

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

AGRICULTURA DE PRECISÃO
Um Novo Olhar

Ricardo Yassushi Inamasu
João de Mendonça Naime
Álvaro Vilela de Resende
Luis Henrique Bassoi
Alberto Carlos de Campos Bernardi
(editores)

Embrapa Instrumentação
São Carlos, SP
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação

Rua XV de Novembro, 1452

Caixa Postal 741

CEP 13560-970 - São Carlos - SP

Fone: (16) 2107-2800

Fax: (16) 2107-2902

www.cnpdia.embrapa.br

E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa

Presidente

João de Mendonça Naime

Membros

Débora Marcondes Bastos Pereira Milori

Sandra Protter Gouvea

Washington Luiz de Barros Melo

Valéria de Fátima Cardoso

Membro Suplente: Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Normalização bibliográfica

Editora Cubo

Capa

Editora Cubo

Tratamento de ilustrações

Editora Cubo

Ilustração da Capa

Embrapa Instrumentação

Editoração

Editora Cubo

Impressão e acabamento

Globalprint

1ª edição

1ª impressão (2011): tiragem 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no. 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Instrumentação

A278 Agricultura de precisão: um novo olhar. / Ricardo Yassushi Inamasu, João de Mendonça Naime, Álvaro Vilela de Resende, Luis Henrique Bassoi, Alberto Carlos de Campos Bernardi, editores. — São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011.

334 p.

ISBN 978-85-86463-31-0

1. Agricultura de precisão. 2. Instrumentação. 3. Automação Agropecuária. I. Inamasu, Ricardo Yassushi. II. Naime, João de Mendonça. III. Resende, Álvaro Vilela de. IV. Bassoi, Luis Henrique. V. Bernardi, Alberto Carlos de Campos.

EDITORES

Ricardo Yassushi Inamasu

Engenheiro Mecânico, Doutor
Pesquisador da Embrapa Instrumentação
Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos - SP
Caixa Postal 741
CEP: 13560-970
E-mail: ricardo@cnpdia.embrapa.br

João de Mendonça Naime

Engenheiro Eletrônico, Doutor
Pesquisador da Embrapa Instrumentação
Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos - SP
Caixa Postal 741
CEP: 13560-970
E-mail: naime@cnpdia.embrapa.br

Álvaro Vilela de Resende

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo
Rod MG 424 Km 65, Sete Lagoas - MG
Caixa Posta 151
CEP: 35701-970
E-mail: alvaro@cnpms.embrapa.br

Luís Henrique Bassoi

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Semiárido
BR 428, Km 152, Petrolina, PE
Caixa Postal 23
CEP: 56302-970
E-mail: lhbassoi@cpatsa.embrapa.br

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Engenheiro Agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste
Rod. Washington Luiz, Km 234, São Carlos - SP
Caixa Postal 339
CEP: 13560-970
E-mail: alberto@cppse.embrapa.br



COMISSÃO GESTORA DA REDE

Ricardo Yassushi Inamasu
Embrapa Instrumentação

Alberto Carlos de Campos Bernardi
Embrapa Pecuária Sudeste

Carlos Manoel Pedro Vaz
Embrapa Instrumentação

João Camargo Neto
Embrapa Informática Agropecuária

João de Mendonça Naime
Embrapa Instrumentação

Leonardo Ribeiro Queiros
Embrapa Informática Agropecuária

Álvaro Vilela de Resende
Embrapa Milho e Sorgo

Marina de Fátima Vilela
Embrapa Cerrados

Luis Henrique Bassoi
Embrapa Semiárido

Naylor Bastiani Perez
Embrapa Pecuária Sul

Edilson Pepino Fragalle
Embrapa Instrumentação





PREFÁCIO

A rede de pesquisa e desenvolvimento em Agricultura de Precisão (AP) da Embrapa iniciou suas atividades em novembro 2009 e conta com 20 Unidades de pesquisa da Embrapa e cerca de 200 pesquisadores; 15 unidades experimentais distribuídas nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do País; 11 culturas entre perenes e anuais e cerca de 100 atividades de P&D&I. O projeto propõe durante quatro anos estabelecer conceitos de AP focada na sustentabilidade do sistema produtivo das culturas anuais de milho, soja, arroz, trigo, algodão, e culturas perenes e semiperenes como pinus, uva, pêsego, pastagem e cana de açúcar. A presente edição registra algumas das atividades que foram realizadas nos primeiros dois anos de execução.

Esta publicação é uma compilação dos trabalhos apresentados na Convenção da rede AP da Embrapa realizada entre os dias 21 a 25 de novembro de 2011. Está organizada em seis seções. A primeira seção é a apresentação da rede e dos conceitos da Agricultura de Precisão nos quais os trabalhos estão fundamentados. As demais seções representam a composição da rede. A rede está dividida em cinco Projetos Componentes: Gestão; Desenvolvimento de novas ferramentas; Culturas anuais; Culturas perenes e Inovação. A sessão “Organização da rede” apresenta as atividades realizadas pela gestão, onde inclui as atividades transversais como organização do sistema de informação da rede e sistema de apoio aos campos experimentais como condutividade elétrica aparente do solo. A seção “Ferramentas para Agricultura de Precisão” inclui trabalhos de desenvolvimentos de equipamentos, metodologias de análise, técnicas de imagem, entre outros, que apoiam a prática da AP. As duas próximas seções exploram as atividades realizadas em culturas anuais e perenes, resultado das ações de campo obtidos nas áreas denominadas pela rede de unidades piloto. Por fim, a seção que apresenta o esforço da equipe em direção à inovação por meio da AP.

Agradecemos aos parceiros da Rede AP, que têm colaborado decisivamente na consolidação das atividades. Esses colaboradores incluem as empresas de máquinas, equipamentos e insumos, produtores rurais, universidades e instituições e empresas de pesquisa e transferência de tecnologias.

O conteúdo dos artigos são de responsabilidade dos autores.

Editores



SUMÁRIO



INTRODUÇÃO

14



ORGANIZAÇÃO DA REDE

28

Estratégia de implantação, gestão e funcionamento da Rede Agricultura de Precisão	31
Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo	41
Armazenamento e recuperação de dados eorreferenciados de condutividade elétrica do solo na Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa	46
<i>GeoFielder-Net</i> : Sistema para <i>scouting</i> no campo	51
A oportunidade de manejo por sítio-específico indicada na variação espacial da condutividade elétrica aparente do solo	55
Zonas de Manejo: teoria e prática	60



FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

66

Avaliação geral, resultados, perspectivas e uso de ferramentas de agricultura de precisão	69
Aplicação de técnicas de processamentos de imagens para diferenciação do <i>Greening</i> de outras pragas	73
Diagnóstico de Citrus Greening (HLB) utilizando espectroscopia de fluorescência induzida por laser (LIFS)	78
Geração de mapas de incidência de greening utilizando técnicas <i>Wavelets-Multifractais</i>	82
Medição de impactos durante a pós-colheita de frutas utilizando duas esferas instrumentadas	87

Avaliação de um equipamento portátil para determinação do grau de humificação da matéria orgânica de solos	91
Bancada automatizada para ensaios e desenvolvimento de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob manejo baseado em agricultura de precisão	96
Modelagem de um sistema de injeção direta de herbicida em taxa variável para aplicação em culturas agrícolas	101
Construção automática de mosaico de imagens agrícolas aéreas sequenciais	106
Método de reconhecimento de padrões de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.) baseado no uso de informações de textura e visão computacional	110
Rede de sensores sem fio para monitoramento e controle de processos em ambiente agrícola	115
Robótica na agricultura de precisão	120
Estudo dos elementos mínimos para projeto de sistemas embarcados compatíveis para máquinas e implementos agrícolas	126



AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA CULTURAS ANUAIS **132**

Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas anuais	135
Ajuste de grades amostrais para o mapeamento da resistência à penetração de um Latossolo Bruno	138
Áreas homogêneas e teor de água disponível de um Latossolo Vermelho Amarelo	143
Variabilidade e correlação espacial entre atributos e a umidade gravimétrica de um Latossolo Vermelho Amarelo	148
Variabilidade espacial da produtividade da soja e da condutividade elétrica de um Latossolo Bruno	153
Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e da população de <i>Pratylenchus brachyurus</i>	157
Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás	162
Geotecnologias para suporte à Agricultura de Precisão nos Sistemas Produtivos de Terras Baixas	168

Variabilidade espacial e temporal de carbono e fósforo em sistemas de integração lavoura-pecuária em Mato Grosso	173
Avaliação da produção e propriedades químicas espacializadas e da calagem e adubação a taxas variadas em lavoura de milho para silagem em São Carlos, SP	178
Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis	184
Mapeamento preliminar de zonas de manejo em sistema de produção milho-soja no Cerrado	189
Variabilidade do solo como indicador da oportunidade da agricultura de precisão em sistema de plantio direto	194



AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA CULTURAS PERENES E SEMI-PERENES 202

Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas perenes e semi-perenes	205
Análise espacial da temperatura e umidade relativa do ar em um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS	207
Variabilidade espacial dos atributos físicos numa área cultivada com pêssego	212
Correlação da variabilidade espacial entre a produtividade de um pomar de pêssego e a densidade do solo para o município de Morro Redondo-RS	217
Utilização de ferramentas de SIG para Agricultura de Precisão no planejamento ambiental de uma pequena propriedade rural produtora de maçãs	222
Geoestatística integrada com estatística multivariada e geoprocessamento na definição de unidades de manejo para o <i>Pinus taeda</i>	227
Obtenção de valores de referência do DRIS para <i>Pinus taeda</i>	232
Unidades de Manejo Operacionais para o <i>Eucalyptus</i>	235
Estoque de carbono no solo e produtividade da cana-de-açúcar analisados quanto a variabilidade espacial	240
Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar	245
Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão	249

Condutividade elétrica e atributos físicos e químicos de um Latossolo após 15 anos sob sistemas de manejo em Mato Grosso do Sul	254
Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos, SP	261
Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho	267
Aplicação de processamento digital de imagens orbitais e SIG para apoio à agricultura de precisão nas culturas da videira e macieira no Rio Grande do Sul	273
Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta na UP Uva para Vinho, Bento Gonçalves, RS	277
Visualização espacial de registros de campo referentes ao desenvolvimento e produtividade de planta perene	282
Visualização espacial do teor foliar de N total em videira com uso do medidor portátil de clorofila na folha	286
Zonas homogêneas de condutividade elétrica aparente em Neossolo Quartzarênico no Semiárido	290



INOVAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO	294
Inovação tecnológica em Agricultura de Precisão	297
Comunicação e Agricultura de Precisão: similaridade nas diferenças	303
Impactos da agricultura de precisão na economia brasileira	307
Avaliação do padrão tecnológico e tendências da agricultura de precisão no Estado do Tocantins	314
Avaliação impactos ambientais e uso do Ambitec na Rede AP: uma proposta de aplicação	319
Propriedade intelectual da Rede AP: importância e estratégias - monitoramento tecnológico mundial em documentos de patentes dedicados à Agricultura de Precisão	323
Agricultura de Precisão como ferramenta para promoção da sustentabilidade e competitividade do agronegócio brasileiro	328
Índice de autores	332



INTRODUÇÃO

Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro

Ricardo Y. Inamasu^{1*}, Aberto C. de Campos Bernardi², Carlos Manoel Pedro Vaz¹, João de Mendonça Naime¹, Leonardo Ribeiro Queiros³, Álvaro Vilela de Resende⁴, Marina de Fátima Vilela^{5*}, Lúcio André de Castro Jorge¹, Luís Henrique Basso⁶, Naylor Bastiani Perez⁷, Edilson Pepino Fragalle⁸

¹Pesquisador da Embrapa Instrumentação

²Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste

³Analista da Embrapa Informática Agropecuária

⁴Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

⁵Pesquisadora Embrapa Cerrados

⁶Pesquisador da Embrapa Semiárido

⁷Pesquisador da Embrapa Pecuária Sul

⁸Analista da Embrapa Instrumentação

*e-mail: ricardo@cnpdia.embrapa.br; marina@cpac.embrapa.br



O início da agricultura de precisão (AP) teve foco em máquinas dotadas de receptores GPS (*Global Positioning System*) e mapas de produtividade. Talvez, devido à essa fase, estabeleceu-se no Brasil, um senso comum de que o tema AP é uma área do conhecimento relacionada à sofisticação das máquinas agrícolas por meio de eletrônicas embarcadas e sistemas computacionais complexos, apesar do impacto final objetivar a sustentabilidade do agronegócio. A comunidade acadêmica, por sua vez, priorizou trabalhos iniciais voltados ao desenvolvimento de máquinas e equipamentos, por entender que ali estavam os principais desafios. Como primeiros passos, os temas propostos foram bem fundamentados, mas reforçou de certa forma o senso comum. Cita-se como exemplo o edital da FINEP Chamada Pública MCT/FINEP/CT-AGRO – Agricultura de Precisão 01/2008.

Essa priorização ocorreu uma vez que os primeiros trabalhos de impacto surgiram há vinte anos, com os mapas de produtividade mostrando a variabilidade da produção em uma área que era considerada uniforme. Nesse período um sistema embarcado com GPS ou um computador que pudesse realizar processamento de imagens e mapas era considerado sofisticado e causou euforia tanto no meio produtivo como no acadêmico. A falta de máquinas e o custo delas eram apontados como obstáculo. Hoje GPS e sistemas computacionais de tal capacidade alcançaram um custo que viabilizaram o seu emprego mesmo em equipamentos de uso pessoal.

A nova fase da agricultura de precisão no mundo avançou para além da cultura de milho e soja. O conceito pode ser aplicado em todas as culturas nas quais a variabilidade espacial esteja presente. Gerenciar a variabilidade espacial e maximizar retorno econômico minimizando efeito ao meio ambiente é o objetivo principal da AP. A Agricultura de Precisão é um tema abrangente, sistêmico e multidisciplinar. Não se limita à cultura nem à região. Há ainda muitos desafios a serem vencidos para que a AP apresente resultados mais expressivos no País. A troca de informações é fundamental para ampliar resultados e estabelecer técnicas e procedimentos de AP para as condições da agricultura brasileira.

Há quem defina que a AP nada mais é do que “[...] um jeito novo de produzir por meio de conceitos antigos [...]” (AUERNHAMMER, 1994, p. 31), isto é, utilizar os conceitos agrônômicos tradicionais, porém fazendo-se uso de ferramentas como GPS e SIG (Sistema de Informação Geográfica) apoiando o reconhecimento de sítios. Stafford (2000), atual coeditor da revista *Precision Agriculture*, conclui que a AP é um conceito de gerenciamento da lavoura. Se seguirmos esse conceito, há um número muito maior de pesquisadores que atuam ou poderiam atuar no tema. Isso implica que há possibilidade de aperfeiçoar os recursos empregados na Embrapa e nas instituições parceiras e direcionar resultados também para a temática da AP. A rede, portanto entende que a **AP é uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial para maximizar o retorno econômico e minimizar efeito ao meio ambiente.**

A rede Agricultura de Precisão é complexa, pois reúne um número de diferentes culturas entre anuais, perenes e semiperenes; com diferentes áreas de atuação em pesquisa; resultados em diferentes níveis de maturidade tecnológica e de profundidade em AP; apresentando uma variedade de conceitos e até de diferentes expectativas entre os membros do projeto (ver estratégia de gestão para organização da rede). O projeto em rede tem como outro foco importante para a Embrapa e instituições parceiras a viabilização da própria rede e criação de um fórum para discutir AP nessa forma mais ampla, compartilhando e planejando as atividades entre pesquisadores de forma a potencializar resultados, na dimensão requerida pelo conceito de um projeto em rede. O projeto busca tomar proveito das ferramentas virtuais de gestão bem como compartilhar softwares e ferramentas, padronizar e integrar dados de diferentes fontes por meio de unidades piloto (UP) de referência temática. Hoje já há massa crítica no País para auxiliar a Embrapa e as instituições parceiras a uniformizar conceitos e metodologias por meio de treinamento. A rede tem como objetivo fortalecer e subsidiar grupos para potencializar captação de recursos e formar parcerias.

Com a rede, procura-se explorar o benefício na adoção da Agricultura de Precisão em variadas

culturas de forma sistemática. A rede estruturou-se em torno de alguns produtos e cadeias que apresentam demandas mais significativas para AP e, portanto com maior potencial de contribuição. A agricultura é um sistema muito complexo quando se inclui produção vegetal e animal, alimentação, ambiente, energia e sociedade como parte do agronegócio. A sustentabilidade e a competitividade da economia desse sistema é relevante não apenas para o Brasil, mas para a humanidade. É fundamental que exista capacidade e tecnologia para um planejamento eficaz, gestão e funcionamento de todos os aspectos da agricultura. A Embrapa tem como ferramenta institucional o Planejamento Estratégico que envolve atores do agronegócio brasileiro. Segundo a análise prospectiva realizada pela RIPA (Rede de Inovação e Prospecção Tecnológica para o Agronegócio do Brasil) e apresentada no quinto plano diretor da Embrapa (2008) as principais tendências consolidadas identificadas e vinculadas à pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) listadas na Tabela 1.

É posto ainda pelo plano diretor a necessidade de desenvolver e validar tecnologias que aperfeiçoem o uso de insumos, fomentem a automação de sistemas de produção, reduzam as perdas e minimizem os impactos ambientais e sociais ao longo da cadeia produtiva. Essa necessidade induz a Embrapa a pesquisar e a desenvolver a Agricultura de Precisão como um tema chave para os próximos anos.

Segundo a comissão formada pela Secretaria da Agricultura do governo americano (COMMITTEE..., 1997), a Agricultura de Precisão é considerada como uma estratégia de gestão que utiliza as tecnologias da informação para trazer os dados de múltiplas fontes e apoiar as decisões relacionadas com a produção vegetal. A Agricultura de Precisão tem três componentes: captação de dados em uma escala e frequência adequada, interpretação e análise desses dados, gestão e implementação de uma resposta a uma escala espacial e de tempo adequada. É provável que o impacto mais significativo da Agricultura de Precisão ocorra na forma como as decisões de gestão da variabilidade espacial e temporal no sistema produtivo vegetal serão tomadas.

Segundo a comissão a grande diferença entre o gerenciamento convencional e a Agricultura de Precisão seria a aplicação das modernas tecnologias da informação a coletar, processar, analisar os dados de múltiplas fontes de alta resolução espacial e temporal para a tomada de decisões e operações de gestão de produção vegetal. Os avanços nas tecnologias seriam, portanto, um processo evolutivo e seriam continuamente adaptados para a tomada de decisão agrícola.

Stafford (2000) citou um circular da estação experimental de Illinois do ano de 1929 mostrando que a variabilidade espacial era conhecida, porém não havia ferramentas tecnológicas nem conhecimento científico para tratá-la adequadamente. Apontou direções importantes para implementação da AP citando sistemas de sensoriamento para identificação localizada de ocorrências e de atributos da cultura; aplicação à taxa variada de insumos com rastreabilidade e gestão da informação com necessidade de padronização nessa área. Na sua conclusão, considerou a AP como um processo de gestão que leva em conta a variabilidade.

Naas (2000) iniciou o conceito da Zootecnia de Precisão, no Brasil como integração de conhecimento de áreas relacionadas à automação (mecânica, eletrônica, informática e mecatrônica) com a zootecnia, mostrando o seu potencial. A sua integração atualmente é vista como fundamental para rastreabilidade de produtos de origem animal de forma econômica e confiável. Ainda, o conceito de Zootecnia de Precisão está relacionado com redução otimizada das perdas, em todo o processo gerenciado por meio de modernas tecnologias da informação para coletar, processar e tomar as decisões.

Já em Anandacoomaraswamy e Ediriweera (2000), mostra que a AP pode ser viável em culturas de menor escala, apresentando resultados na qualidade da cultura de chá utilizando a informação da variabilidade espacial da sombra para obter retorno econômico. O trabalho utilizava como ferramenta uma prancheta e dispensava o uso de GPS e outras ferramentas da informática como um SIG. Nesse sentido, apesar de em algumas culturas o uso da

tecnologia avançada da informação e da automação trazer contribuição e até viabilidade ao processo de manejo da cultura, não se apresentaria mais como parte inerente da Agricultura de Precisão. McBratney (2005) apontou abundância de definições sobre AP e indicou a lista de dezenas de definições encontrada na página do Laboratório de Máquinas Agrícolas e Processamento, Universidade Católica da Bélgica (2009) e generalizou o conceito como sendo um tipo de agricultura que aumenta o número de decisões corretas por unidade de área e de tempo com benefícios associados em rede. Defendeu também a possibilidade de realizar a AP sem a presença de sensores, GPS, SIG, VRT etc. E argumentou que poderia ser aplicado em diferentes culturas como pecuária, aquicultura, florestas e outras gestões em recursos naturais. Após uma década, a Agricultura de Precisão amadureceu e percebe-se significativo avanço também no Brasil. No banco de dados do CNPq

pôde-se localizar 488 pesquisadores doutores (consulta realizada em 5 de setembro de 2008 na página <http://lattes.cnpq.br>) que tem relacionado direto ou indiretamente com o tema. Portanto pode-se dizer que há uma massa crítica na comunidade científica formada no País. Em relação ao conceito, alguns autores ainda preservam definições que guardam forte vínculo com a mecanização e a automação. Segundo Ting (2008), a Agricultura de Precisão é um sistema inteligente poderoso de produção que requer capacidade de coleta, processamento de informações e de tomada de decisões, dispositivos mecatrônicos de controle e acionamento, bem como a capacidade de integrar sinergicamente componentes em sistemas funcionais. No Brasil, a Zootecnia de Precisão estabeleceu-se em áreas como ambiência e de rastreabilidade animal. Essa terminologia e o conceito foram adotados e apresenta-se em currículos de muitos pesquisadores. Em consulta

Tabela 1. Principais tendências consolidadas identificadas e vinculadas à pesquisa, desenvolvimento e inovação (EMBRAPA, 2008).

Macroambiente	PD&I para o Agronegócio
1. Ampliação da pressão para a conservação e o manejo racional dos recursos ambientais no processo produtivo, inclusive com normas ambientais mais rígidas.	1. Aumento da complexidade no mercado brasileiro de CT&I.
2. Busca por tecnologias alternativas que valorizem a diversidade biológica e por cultivares mais eficientes.	2. Avanços na fronteira de geração de conhecimento científico-tecnológico, incluindo o surgimento de novas tendências e a progressiva ampliação do uso de produtos ligados à biotecnologia, nanotecnologia, agricultura de precisão e bioenergia.
3. Disseminação de sistemas integrados e rotacionados (integração floresta lavoura pecuária agroenergia).	3. Crescimento da importância da PD&I no esforço para aumentar a competitividade dos produtos do agronegócio.
4. Aumento mundial da procura por agroenergia, impulsionando o mercado de energia renovável no Brasil.	4. Crescente incorporação de informação, conhecimento e tecnologia ao agronegócio.
5. Expansão e mudança do perfil do consumo de alimentos.	5. Avanço na participação do setor privado em segmentos específicos da PD&I, com destacada participação do setor público em segmentos estratégicos.
6. Ampliação continuada da importância do agronegócio para o desenvolvimento econômico brasileiro.	6. Disseminação de arranjos multiinstitucionais e multidisciplinares envolvendo empresas e instituições públicas e privadas, incluindo novas modalidades de gestão financeira de projetos e maior preocupação com propriedade intelectual.
7. A elevação do nível educacional da população.	

no banco de dados do CNPq, há 41 currículos de pesquisadores doutores com atuação de forma direta ou indireta em Zootecnia de Precisão. É importante, porém perceber que o termo Agricultura em inglês contempla a criação de animais. Portanto, entende-se que essa área não deve ser dissociada se adotarmos o conceito aceito pela academia internacional. Em termos internacionais a automação do processo de gestão e de criações de animais tem sido incorporada como o próprio processo de evolução da Zootecnia. Segundo Molin (1997, 2002), a Agricultura de Precisão é um conjunto de ações de gestão do sistema de produção que consideram a variabilidade espacial das lavouras ratificando o conceito mais aceito por muitos autores. A partir da premissa de que a produção nessas lavouras não é uniforme no espaço e no tempo e de que o substrato de produção, representado pelo solo, também tem elevada variabilidade espacial, é de se considerar como fundamental o gerenciamento que incorpore esses fatores, visando à otimização do sistema. Auerhammer, um dos autores do padrão de comunicação entre tratores e implementos (ISO-11783) durante o CONBAP (Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão) de 2010, citou que J. V. Liebig, formulador do NPK, dizia por volta de 1850 que no futuro o agricultor, por meio de uma colheita detalhada, poderia determinar com precisão em cada campo a quantidade de insumo para restaurar a fertilidade. Auerhammer citou dessa forma como as ferramentas atuais de AP têm possibilitado tornar real a visão de Liebig. Para o presente projeto, definimos a Agricultura, a Zootecnia e a Irrigação de Precisão como postura gerencial que leva em conta a variabilidade da cultura animal ou vegetal na busca de maximização do retorno econômico e minimização do efeito ao meio ambiente. Metodologias e ferramentas de Agricultura e de Zootecnia de Precisão são instrumentos que apoiam o processo gerencial a tomar esse tipo de decisões e a executar as prescrições com menor erro possível. A definição abrange todas as atividades da agricultura, incluindo a irrigação, silvicultura, zootecnia e a aquicultura desde que busque por meio de gestão o retorno econômico e ambiental tendo como base conceitual

o manejo que tome proveito das características e potencialidades do grupo, subgrupo ou indivíduo dentro da cultura. A partir desses conceitos e definições, a implementação pode ser traduzida inicialmente no reconhecimento da variabilidade espacial, na interpretação dessa variabilidade e numa ação ou procedimento espacialmente variado. Ou seja, na identificação mais detalhada buscando encontrar as diferenças na lavoura; no entendimento de como elas ocorrem e na implicação dessa variabilidade no resultado; e planejamento de uma ação levando em conta as diferenças buscando maior sustentabilidade nas três dimensões (econômico, ambiental e consequentemente a social).

O aumento de retorno econômico sob a AP pode ser realizado de três formas: aumento da produção (maior volume comercializado), aumento da qualidade do produto (aumento do valor econômico) e melhor uso de recursos e insumos (melhoria no processo e melhor relação custo/retorno). Para que um controle possa apresentar o seu resultado, deve-se inicialmente ler a variável a ser controlada e os fatores que a interferem; analisar o sistema identificando os parâmetros que determinam o resultado do processo e finalmente atuar para que a variável de interesse seja posicionada dentro de uma faixa desejada, ou seja, o denominado ciclo da AP (Figura 1). O retorno ambiental, apesar de ser traduzido em retorno econômico, os focos tem sido no aprimoramento de dados como a variabilidade espacial da capacidade de retenção do carbono, reconhecimento e gerenciamento de áreas e subáreas de maior potencial de degradação e erosão e dentro de conceitos de uso e aplicação sustentável de insumos.

Apesar de existir um número muito elevado de fatores que participam na composição do resultado da produção, para que a AP possa ser abordada e analisada em seu ciclo, identificam-se simplificação em cinco principais grupos de fatores que envolvem a produtividade. O primeiro grupo determinado pela “cultura” caracterizando o comportamento do processo agrônomico e seus requisitos; o segundo grupo determinado pelos “fatores naturais dinâmicos” que alteram

o comportamento da cultura como condição climática; o terceiro grupo, o solo, como função de substrato destaca-se do grupo anterior pela influência mais estável e previsível em relação ao tempo e, portanto mais viável para manejo; o quarto grupo “pragas e doenças”, pelas características de ocorrência localizada e pelas importâncias tanto econômicas como ambientais; e o quinto e último grupo é o de “manejo”, e possui os parâmetros mais controláveis por ser de origem antrópica e causada por máquinas.

As culturas possuem suas próprias técnicas de cultivo e estas podem variar de acordo com a região onde esta está implantada. A cultura determina o objetivo principal do controle em relação à produtividade, qualidade e eficiência. Culturas como soja e trigo têm características de commodities e o interesse maior é na produtividade e eficiência, enquanto que em culturas como uva e café especial o alvo é a obtenção de maior qualidade e eficiência. Escolhas das variedades, densidade de plantas, época de plantio, preparo do solo são fatores que podem ser considerados pertencentes à cultura e que devem ser levados em conta no processo de análise das informações espacialmente variadas para recomendação de uma atuação à taxa variada. Para animais a característica da variedade é igualmente preponderante. A agricultura de precisão tem sido estudada predominantemente nas culturas de milho, soja e algodão nos EUA

(INTERNATIONAL..., 2006, 2008); em culturas de trigo, cevada e colza na Europa e videiras na Austrália e Europa (EUROPEAN..., 2005, 2007). No Brasil há um número significativo de trabalhos em cana de açúcar seguido por trabalhos em forrageira, soja e café. E em zootecnia de precisão as aves e suínos são temas de trabalho (CONGRESSO..., 2008; SIMPÓSIO..., 2007).

Apesar das culturas serem suscetíveis à variabilidade, a cultura em si não pode causar a variabilidade espacial significativa, principalmente se for considerado que os indivíduos da cultura possuem uma razoável uniformidade genética e estes são distribuídos aleatoriamente. Porém, se os indivíduos apresentarem uma variação genética considerável e que se tratadas individualmente haveria retorno econômico, como em algumas culturas animais, extrativismo ou plantas ornamentais muito especiais, esta variação poderia ser considerada. Não se tem estudos apresentados de forma mais ampla pela AP nesse sentido e trabalhos nesse enfoque atualmente pode ser considerado exceção ou de vanguarda.

Considerando que a cultura tradicional apresenta pouca influência na variabilidade, esta pode e é utilizada como um indicador da variabilidade espacial pela AP. Mapa de colheita é um deles e é o indicador principal do resultado do ciclo da AP. As plantas são suscetíveis às demais entradas e apresentam seu estresse variando coloração,

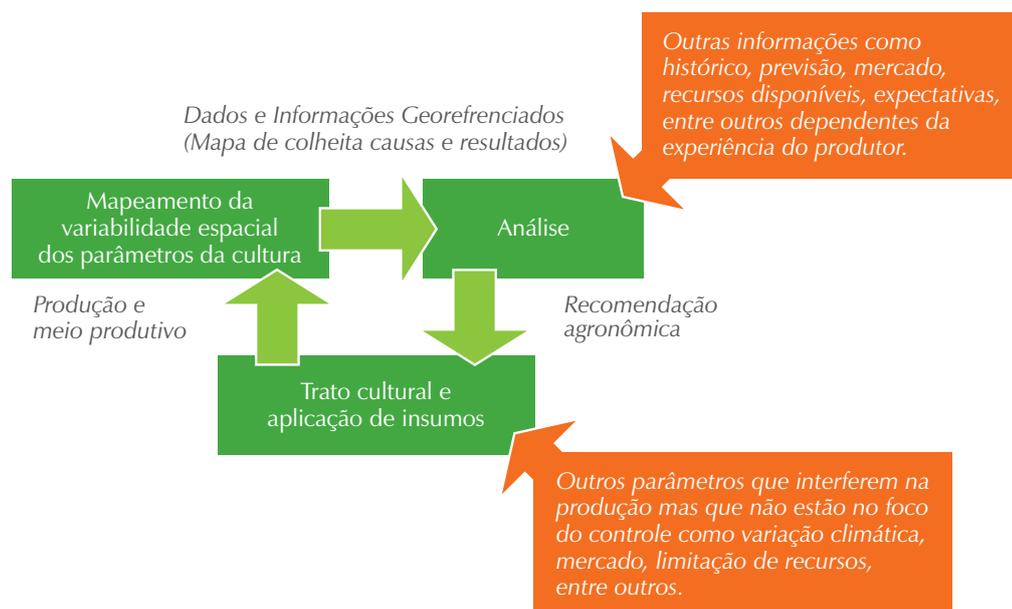


Figura 1. Ciclo da Agricultura de Precisão.

textura, dimensão, densidade entre outros parâmetros fisiológicos, químicos e físicos. Por sua vez, estes formam um conjunto de indicadores interessantes da variabilidade espacial e se esses parâmetros são detectados precocemente, podem ser um indicador para orientar uma intervenção localizada na cultura. Os espectros no visível e no infravermelho são estudados desde 1965 (GATES et al., 1965). Hatfield et al. (2008) apresentaram no suplemento comemorativo do centenário do *Agronomy Journal* o artigo de revisão sobre a aplicação de sensoriamento remoto focando o espectro difratado ou refletido pelas plantas. Nele relatam trabalhos de centenas de autores, inclusive de coleções de forma muito mais detalhada do que essa revisão poderia abordar. O importante processo que hoje pode ser correlacionados por meio de sensoriamento do espectro das plantas são as respostas fornecidas pelas qualidades e conteúdos da clorofila, carotenóides e antocianinas. Por meio desse conhecimento, vários índices compostos por comprimentos de ondas foram desenvolvidos. O mais utilizado na agricultura é o índice conhecido como NDVI (*Normalized Difference Vegetative Index*) proposto por Deering (1978 apud HATFIELD et al., 2008). Associado ao espectro da cultura, a técnica e tecnologia de imagem quer seja por satélite, por aeroplano ou por veículo terrestre, tem-se evoluído principalmente no bojo da AP.

O segundo grupo determinado principalmente pelos fatores climáticos exige acompanhamento e registro temporal. A sua intervenção é possível em ambientes controlados ou em sistemas irrigados para questões de disponibilização de água para a cultura. É o grupo de variáveis que mais interessa à zootecnia de precisão e evidentemente à irrigação de precisão. É complexo, pois necessita um monitoramento temporal e espacial, produzindo um número muito elevado de dados para processamento. Para ambiente de produção extensivo o registro mostra-se importante para auxiliar na determinação dos fatores que causaram a variabilidade na produção numa determinada safra. No ponto de vista agrônomo foram realizados até hoje um número relativamente pequeno de trabalhos considerando esse grupo de

fatores espacialmente e temporalmente variados. As metodologias e as tecnologias atuais exigem investimento muito elevado e o seu retorno econômico deve ser estudado ainda em algumas culturas com alto retorno e de alto valor agregado. É onde há o maior desafio de pesquisa para novas metodologias e tecnologias como sensores sem fio, sensoriamento remoto, sensoriamento *on-the-go* (sensores embarcados em máquinas agrícolas) e ferramentas potencialmente úteis à rastreabilidade. A prática da AP foi primeiramente executada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentado unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Muitas das parcelas experimentais adotaram uma amostra a cada 50 metros, ou seja, quatro amostras por hectare. A geoestatística contribuiu com parâmetros de análise como a “dependência espacial” dos dados para fornecer um pouco mais de segurança no número de amostras (VIEIRA, 2000). Para produtores foram recomendados uma amostra por hectare acreditando-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos de um campo cultivado, dentro ainda de um custo razoável (LUCHIARI JUNIOR et al., 2004). A partir desses dados, constituiria mapas de fertilidade e de recomendação, mas Schepers, Shanahan e Luchiarini Junior (2000) relatava o insucesso dessa metodologia (SCHEPERS, 2000), pois a variabilidade no rendimento da produção não foi resolvida. No Brasil, comercialmente ainda hoje se realiza uma amostragem composta a cada quatro a cinco hectares com relato de retorno econômico global, e não são consideradas mapas de melhor resolução com intuito de baixar custo de análise. Ou seja, apesar da ocorrência de manchas menores do que cinco hectares, o número de amostras praticado no campo está relacionado à capacidade de investimento do produtor.

Varvel, Schlemmer e Schepers (1999) mostraram que a imagem aérea de um solo nú apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo, um número significativo de produtores e provedores de serviço iniciou a considerar o uso de imagem aérea para orientar

os locais de amostragens e diminuir custos de coletas de análises. Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas.

Luchiari Junior et al. (2000) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais potenciais de produção, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Seguido pelo mesmo conceito da imagem aérea, mapa de condutividade elétrica do solo também se estabeleceu como uma ferramenta acessível para visualizar a variabilidade do terreno e orientar amostragem de solo. Corwin e Lesch (2005) apresentam uma revisão extensa da metodologia de medida da condutividade elétrica no solo e relata o expressivo uso na AP. Além desse relato é possível verificar nos trabalhos mais atuais em AP que estes não prescindem mais de mapa de Condutividade Elétrica do solo, mostrando não apenas a popularidade do método, mas a utilidade e praticidade do processo de medida. Adamchuk (2006) relata ainda um grande número de sensores e protótipos *on-the-go* para solo já desenvolvido e os classifica pelos elementos sensitivos apresentados na Tabela 2.

Apesar de um número elevado de trabalhos de pesquisa já realizados, ainda não se vê no País o uso da maioria das alternativas por produtores no campo, o que fortalece a necessidade ainda de se investir no tema. Vale aqui observar que o avanço mais significativo obtido para a prática da AP é o seu uso para identificação da variabilidade do solo - extensão e formato - apoiando na formulação de zonas de manejo. Atualmente, o processo de amostragem do solo em malha é considerado obsoleto em áreas de produção comercial no exterior, mais especificamente na Europa e EUA. Mesmo em áreas experimentais tem-se verificado na prática na maioria dos trabalhos uma amostragem inteligente apoiada por informações que auxiliam na detecção de zonas homogêneas como relevo, imagem aérea e condutividade elétrica do solo. No Brasil, como o uso das ferramentas de apoio ainda não está disseminado, o processo de amostragem em malha persiste.

O tema “pragas e doenças” na AP está intimamente relacionado ao uso de agrotóxico. Segundo a SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola, o mercado de defensivos entre herbicidas, fungicidas, inseticidas e acaricidas foi de 7.8 bilhões de reais em 2007 e 10,2 bilhões de reais em 2008. Um incremento de 31%. As principais culturas para o mercado de agroquímicos são soja, cana de açúcar, milho, algodão, café e citros. A AP pode ser explorada para controlar a aplicação mitigando efeito ao meio ambiente e reduzir o custo por meio de aplicação mais eficiente. O tema depende predominantemente da cultura e da praga, os tratamentos são em muitos casos específicos e cada uma delas apresenta seu processo particular de detecção e reconhecimento. O elemento em comum na maioria do tratamento é a sua aplicação por meio da pulverização. A tecnologia de aplicação de insumos líquidos foi disponibilizada no mercado desde o início da AP, porém o desafio maior tem sido o processo de detecção. As principais linhas que tem sido abordada para detecção e reconhecimento são de sensoriamento remoto, processamento de imagens e espectroscopia ótica.

Imagens por satélite, veículos aéreos tripulados ou não tripulados têm sido exploradas para obtenção de dados em grandes áreas. Alternativas de baixo custo como aeromodelo (SIMPSON et al., 2003) e pipas (ABER; ABER; PAVRI, 2002) são encontradas. Sensores e câmeras acoplados a veículos terrestres também tem sido desenvolvidos. O sensoriamento remoto iniciou seus estudos relacionando por meio do espectro da imagem aérea com vigor de planta e muitos trabalhos foram realizados posteriormente. A Agricultura de Precisão tem explorado intensivamente imagens por satélite e por aeronaves com variada resolução aproveitando os recursos existentes no mercado (NATIONAL..., 1997). Tecnologia mais recente e promissora são as imagens por helicóptero controlado automaticamente. Os helicópteros possuem dimensões reduzidas e alta mobilidade com possibilidade de pairar em uma posição (altura e coordenada) estratégica até em baixas altitudes, se comparadas com pipas, aeroplanos e balões dirigíveis. Porém a necessidade de um

operador hábil e qualificado, devido ao alto potencial de acidente se operados por leigos, torna a operação de alto custo (IWAHORI et al., 2004). A tecnologia de automação tem evoluído consideravelmente e tais limitações tendem a ser vencidas (HUANG et al., 2008). Como o custo de sistemas digitais tem reduzido a cada ano, o potencial de encontrar essas máquinas operando em áreas produtivas é muito alto.

O sistema de visão artificial para detecção de plantas daninhas classifica-as por meio de sua cor, forma, textura ou características (CHO; LEE; JEONG, 2002; CHEN; CHAO; KIM et al., 2002). Técnicas de imagens espectrais que combinam informações espectrais e espaciais também foram estudadas para o seu potencial na detecção de plantas daninhas (ALCHANATIS et al., 2005; FEYAERTS; VAN GOOL, 2001). Dificuldades encontradas pelos sistemas de imagens para detecção de plantas daninhas incluem velocidade lenta de processamento, requisitos de grande

quantidade de memória, bem como os elevados custos do sistema de hardware.

O sensoriamento remoto fornece um método não invasivo de adquirir uma visão concisa de populações de plantas daninhas em solo (LAMB; BROWN, 2001; GOEL et al., 2003). Essa técnica tem sido bem sucedida na detecção da variabilidade espacial de pastagens. No entanto, baseados em satélites de sensoriamento remoto, em geral, é limitado como uma ferramenta de tempo real e em campo de plantas daninhas, devido à sua periodicidade depender do seu posicionamento em momentos cruciais. Essa técnica ainda não é susceptível nos dias de hoje devido aos dois fatores, custo e tecnologias existentes, porém, não deixa de apresentar um potencial muito promissor. O custo parece ser questão de tempo e evolução. As tecnologias são temas que demandam trabalho à pesquisa.

Os sensores ópticos têm encontrado cada vez mais aplicações nos sistemas de produção agrícola.

Tabela 2. Classificação de sistemas de sensoriamento *on-the-go* de solo, sistematizado e adaptado de (ADAMCHUNK, 2004).

Elétricos e eletromagnéticos

Condutividade/resistividade elétrica: método de contato galvânico; método de indução eletromagnético; método de capacitância com resistividade.

Textura/tipo de solo; salinidade; conteúdo de água (umidade); conteúdo de matéria orgânica; variação na profundidade; pH do solo e conteúdo de nitrato no solo.

Sensores capacitivos.

Conteúdo volumétrico de água; textura/tipo de solo; salinidade.

Óticos e radioelétricos

Sensor de absorção/refletância do subsolo: visual (“endoscopia”); infravermelho próximo; infravermelho-médio; luz polarizada; comprimento de onda simples; resposta hiperespectral; análise por imagem.

Conteúdo de matéria orgânica (carbono); Textura de solo; Capacidade de troca catiônica (CTC); conteúdo de água (umidade); pH do solo; nitrogênio mineral, carbono e fósforo.

Radar de penetração no solo (Ground Penetrating Radar).

Conteúdo de água; Estrutura geofísica do solo; Micro-onda; Conteúdo de água.

Acústicos

Sensor de penetração de som no solo.

Conteúdo de argila no solo (tipo); compactação do solo; profundidade de disco (arado).

Pneumáticos

Sensor de permeabilidade do ar.

Estrutura do solo; Conteúdo de água; tipo de solo.

Mecânicos

Transdutor de força; célula de carga; sensor de deformação mecânica em geral.

Resistência mecânica do solo; compactação do solo; umidade do solo; tipo de solo; profundidade de disco (arado); resistência à penetração.

Eletroquímicos

Medida de solução do solo; medida direta do solo; Transistor de efeito de campo ion seletivo (ion-selective field effect transistor – ISFETs); Eletrodo ion-seletivo.

pH do solo (H⁺); Conteúdo de Potássio (K⁺); Nitrogênio residual (NO⁻³); Conteúdo de Sódio (Na⁺).

Vantagens deste tipo de sensor sobre sistemas de imagens incluem baixo custo, sistema com configuração menos complexo e maior velocidade do processamento. A maioria dos sensores ópticos baseados em plantas daninhas detectam características espectrais (FELTON; McCLOY, 1992; VRINDTS; DE BAERDEMAEKER, 1996; WARTENBERG; SCHMIDT, 1999). Dois produtos comerciais, WeedSeeker da NTech Industries (<http://www.greenseeker.com>) e Detectspray (North American Pty Ltd., NSW, Austrália (1995 apud WANG et al., 2008), atingiram uma taxa de detecção de plantas daninhas de 95% (BLACKSHAW et al., 1998 apud WANG et al., 2008).

Um experimento conduzido por Biller (1998), utilizando o Detectspray demonstrou economia de herbicida de 30-70%. A N-Sensor™ (Yara International ASA, Oslo, Noruega, 2004 apud WANG et al., 2008) é um sensor óptico comercialmente disponível, que utiliza um princípio de medição similar. Ao invés de detecção de plantas daninhas, a sua principal função é a de medir o teor de clorofila das culturas com base em seus espectros infravermelhos. Wang et al. (2007) apresentam um sistema de aplicação de herbicida com reconhecimento de plantas daninhas em tempo real com custo de hardware do protótipo de aproximadamente US\$ 2,000.00, o que mostra que a tecnologia está muito próximo de se concretizar. Os fatores principais que causam a variabilidade espacial e que são estudadas pela AP, portanto são os meios. O meio pode ser caracterizado por fatores naturais (edafoclimáticos e biológicos) ou artificiais. As variações artificiais, ou seja, causadas pelo homem, ocorrem no manejo. Os manejos são realizados nas operações agrícolas como preparo do solo, plantio, aplicação de insumos (fertilizantes, herbicidas, acaricidas, fungicidas, corretivos de solo, etc.) e irrigação. Se houver variação da produção devido ao manejo, pode se considerar que a operação foi conduzida de forma não desejável, por exemplo, uma falha na distribuição de sementes ou máquinas em condições de trabalho fora de especificação, entre outros. São variações que se detectadas podem ser corrigidas por meio de ajustes de máquinas,

de procedimentos, melhoria de projetos ou na instalação de sensores e atuadores para que a máquina se autoajuste sem a interferência do operadores. Busca-se para a correção do manejo o emprego de maior “precisão” (ou menor erro) nas operações agrícolas. Nesse aspecto, pode-se dizer que houve um avanço significativo implementado pelo setor de máquinas e equipamentos. O exemplo que pode ser considerado mais recente presente no mercado e em processo de expansão de uso é o piloto automático. O piloto automático realiza a condução automática do trator paralelamente a uma linha referência de plantio, eliminando sobreposição e traçando espaçamento uniforme entre linhas em todo o campo. A primeira versão foi lançada em 2002 (TING, 2002). Com surgimento de um número significativo de fabricantes desse tipo de controlador, surge também a necessidade de procedimento de testes de eficiência para esses sistemas. Propostas têm sido apresentadas (EHRL et al., 2004; HARBUCK et al., 2006; (EASTERLY; ADAMCHUK, 2008) para medir erros menores que um centímetro em percursos de quilômetros. Para o mercado brasileiro, o seu uso está sendo ampliado em culturas de soja e cana-de-açúcar. Debates sobre piloto automático ainda são frequentes em fóruns de discussões sobre equipamentos. Questiona-se se a barra de luz (orientação ao condutor por meio de indicadores luminosos) e piloto automático fazem parte do contexto da agricultura de precisão. Nesse projeto, não se questiona se um determinado equipamento faz ou não parte da AP, pois se entende que a AP é um processo de gestão. Se um equipamento auxilia na gestão da variabilidade espacial e temporal na lavoura, então essa deve ser considerado como ferramenta para AP. Se a intensidade da variabilidade com causa antrópica é significativa e se pode ser corrigida por piloto automático, então é uma ferramenta para AP. Mesmo após duas décadas de AP, ainda não se percebe no Brasil uma ampla compreensão por parte dos produtores e atores. Verifica-se um número maior de entusiastas em grupos que possuem maior afinidade e simpatia com tecnologias de informação. A falta de habilidade com instrumentos eletrônicos não apenas na

operacionalização, mas na manutenção e calibração também são frequentemente lembrados em encontros (CONBAP, 2008). Portanto a facilidade de operação, bem como na manutenção seria um requisito importante a ser pesquisado e desenvolvido. No Brasil ainda há fator agravante que é a existência de poucos fabricantes de implementos que almejam construir competência nessa tecnologia. Os equipamentos para medir CE do solo e GPS, entre outros, são todos importados. Esse é um dos problemas apontados pelo Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão (2008).

A automação, a mecatrônica, o sensoriamento, a eletrônica embarcada e sistemas de informação geográfica, inerentes no início da Agricultura e a Zootecnia de Precisão, passam a ser dissociados na conceituação e no processo de estudo da variabilidade. Porém, a sua importância estratégica e operacional continua para viabilizar uma prática eficiente e em alguns casos imprescindível como produção em larga escala para que a operação traga retorno econômico.

Os efeitos antrópicos na variabilidade espacial sendo corrigidos emerge o enorme desafio que a natureza apresenta ao agricultor. Porém é a forma como a agricultura teve de lidar com a terra desde o seu início. Respeitar as suas diferenças e aptidões locais é o procedimento que a Agricultura de Precisão resgata para o futuro da agricultura sustentável. A pesquisa deve avançar para que os conceitos empíricos sejam apropriados pela ciência e tecnologia.

Referências

ABER, J. S.; ABER, S. W.; PAVRI, F. Unmanned small-format aerial photography from kites for acquiring large-scale, high-resolution, multiview-angle imagery. In: PECORA LAND SATELLITE INFORMATION IV/ISPRS COMMISSION I/ FIEOS CONFERENCE, 15., 2002, Denver. **Proceedings...** Natural Resources Canada, 2002.

ALCHANATIS, V.; RIDEL, L.; HETZRONI, A.; YAROSLAVSKY, L. Weed detection in multispectral images of cotton fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 47, n. 3, p. 243-260, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.019>

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 102., 2008, Providence. **Proceedings...** Providence: ASABE, 2008.

ANANDACOOMARASWAMY, A.; EDIRIWEERA, E. P. S. K. Effect of shade (*grevillea robusta*) on micro-climate and soil fertility in tea plantations at high altitude. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 5., 2000, Minneapolis, MNU. **Proceedings...** Minneapolis: Precision Agriculture Center, 2000. 1 CD-ROM.

AUERNHAMMER, H. (Ed). Special Issue: Global Positioning Systems in Agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 11, n. 1, 1994.

BALASTREIRE, L. A. A Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil. **Piracicaba: L.A. Balastreire**, 2000. v. 1, 224 p.

BILLER, R. H. Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 41, n. 4, p. 357-362, 1998. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1998.0334>

CHEN, Y.; CHAO, K.; KIM, M. S. Machine vision technology for agricultural applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 173-191, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00100-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00100-X)

CHO, S. I.; LEE, D. S.; JEONG, J. Y. Weed-plant discrimination by machine vision and artificial neural network. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 3, p. 275-280, 2002. <http://dx.doi.org/10.1006/bioe.2002.0117>

COELHO, A. M.; INAMASU, R. Y.; MATOSO, M. J.; GESSI, C. **Rede de Conhecimento em Agricultura de Precisão para condições do Cerrado e dos Campos Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa, 2008. 166 p. Relatório Final.

COMMITTEE ON ASSESSING CROP YIELD: SITE-SPECIFIC FARMING, INFORMATION SYSTEMS, AND RESEARCH OPPORTUNITIES, NATIONAL RESEARCH COUNCIL: BOARD ON AGRICULTURE. **Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management**. Washington: National Academy Press., 1997. 168 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2004.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2008.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, n. 46, p. 11-43, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>

- EASTERLY, D. E.; ADAMCHUK, V. I. Auto-Guidance Error Measurement Using a Visual Sensor. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 102., 2008, Providence. **Proceedings...** Providence: ASABE, 2008. 11 p. Paper n. 083810.
- EHRL, M.; STEMPFHUBER, W. V.; DEMMEL, M. R.; KAINZ, M.; AUERNHAMMER, H. AutoTrac-Accuracy of a RTK DGPS based autonomous vehicle guidance system under field conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION TECHNOLOGY FOR OFF-ROAD EQUIPMENT - ATOE, 2004, Kyoto. **Proceedings...**Kyoto: ASAE, JSAM, 2004. p. 274-282.
- EMBRAPA. Secretaria de Gestão e Estratégia. **V Plano Diretor da Embrapa: 2008-2011-2023**. Brasília: Embrapa, 2008. 43 p.
- EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5; EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION LIVESTOCK FARMING, 2., 2005, Uppsala, Suécia. **Proceedings...** Uppsala, 2005. 1 CD-ROM.
- EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE-ECPA, 3; EUROPEAN CONFERENCE OF THE EUROPEAN FEDERATION FOR INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT-EFITA, 3., 2001, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: Ecole National Supérieure Agronomique, 2001. 1 CD-ROM.
- FELTON W, L.; MCCLOY, K. R. Spot spraying. **Agricultural Engineering**, v. 73, n. 6, p. 9-12, 1992.
- FEYAERTS, F.; VAN GOOL, L. Multi-spectral vision system for weed detection. **Pattern Recognition Letters**, v. 22, p. 667-674, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8655\(01\)00006-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8655(01)00006-X)
- GOEL P, K.; PRASHER, S. O.; LANDRY, J. A.; PATEL, R. M.; BONNELL, R. B.; VIAU, A. A.; MILLER, J. R. Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 38, n. 2, p. 99-124, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00138-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00138-2)
- HARBUCK, T. L.; FULTON, J. P.; MCDONALD, T. P.; BRODBECK, C. J. Evaluation of GPS autoguidance systems over varying time periods. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2006, Portland. **Proceedings...** Portland: ASABE, 2006. 12 p. Paper N. 061042.
- HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 117-131, 2008. Supplement to Agronomy Journal: Celebrate the Centennial.
- HUANG, Y.; HOFFMANN, C.; FRITZ, B.; LAN, Y. Development of an Unmanned Aerial Vehicle-Based Spray System for Highly Accurate Site-Specific Application. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 102., 2008, Providence. **Proceedings...** Providence: ASABE, 2008. Paper n. 08-3909.
- HUANG, Y.; LAN, Y.; HOFFMAN, W. C.; FRITZ, F. K. Development of an unmanned aerial vehicle-based remote sensing system for site-specific management in precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. **Proceedings...** Denver: Hyatt Regency Tech Center, 2008. 1 CD-ROM.
- INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 6., 2002, Minneapolis, MNU. **Proceedings...** Minneapolis: Precision Agriculture Center, 2002. 1 CD-ROM.
- INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 7., 2004, Minneapolis, MNU. **Proceedings...** Minneapolis: Precision Agriculture Center, 2004. 1 CD-ROM.
- IWAHORI, T.; SUGIURA, R.; ISHI, K.; NOGUCHI, N. Remote sensing technology using an unmanned helicopter with a control pan-head. In: AUTOMATION TECHNOLOGY FOR OFF-ROAD EQUIPMENT, 2004, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: ASAE, 2004. Publication Number 701P1004.
- LAMB, D. W.; BROWN, R. N. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 78, part 2, p. 117-126, 2001. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0630>
- LUCHIARI JUNIOR, A.; SILVA, A. S.; BUSCHINELLI, C. C. A.; HERMES, L. C.; CARVALHO, J. R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 19-35.
- MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.
- McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. Future directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, n. 6, p. 7-23, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 97-107, 1997.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, p. 83-92, 2002.

- NAAS, I. A. Agricultura de Precisão: Zootecnia de Precisão. In: BORÉM, A.; DEL GUIDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R. (Orgs.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2000. v. 1, p. 43-63.
- SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In BALAZS, E. (Ed.). **Biological Resource Management: Connecting Science and Policy**. Springer, 2000. p. 129-135.
- SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - SIAP, 4., 2007, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2007. 1 CD-ROM.
- SIMPSON, A.; STOMBAUGH, T.; WELLS, L.; JACOB, J. Imaging Techniques and Applications for UAV's in Agriculture. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003, Las Vegas, Nevada. **Proceedings...** ASABE, 2003. Paper n. 083909.
- STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century (Keynote address for the scientific session on Precision Agriculture, presented at AgEng 2000, 2). **Journal of Agricultural Engineering Research**, n. 76, p. 267-275, 2000. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0577>
- STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Spatially variable field operations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 14, n. 2-3, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1699\(95\)00041-0](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1699(95)00041-0)
- TING, K. C. **Systems Approach to Precision Agriculture - Challenges and Opportunities** TRIMBLE Navigation Limited, **Farming with Trimble's AgGPS Autopilot System**. 2002. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.trimble.com>>.
- TING, K.C. 2008. **Systems Approach to Precision Agriculture - Challenges and Opportunities**. Disponível em: <http://www.docstoc.com/docs/21081830/Systems-Approach-to-Precision-Agriculture---Challenges-and>
- VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 291-300, 1999.
- VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Orgs.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.
- VRINDTS, E.; DE BAERDEMAEKER, J. Feasibility of weed detection with optical reflection measurement. BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE PEST & DISEASES, 1996, Brighton. **Proceedings...** Brighton, 1996. v. 1, p. 443-444
- WANG, N.; ZHANG, N.; WEI, J.; STOLL, Q.; PETERSON, D. E. A real-time, embedded, weed-detection system for use in wheat fields. **Biosystems Engineering**, v. 98, p. 276-285, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.08.007>
- WARTENBERG, G.; SCHMIDT, H. Optoelectronic sensors an alternative for weed detection. **Landtechnik**, v. 54, n. 6, p. 340-341, 1999.

ORGANIZAÇÃO DA REDE



A Rede Agricultura de Precisão coordenada pela Embrapa tem sua atuação focada na pesquisa, desenvolvimento e inovação.

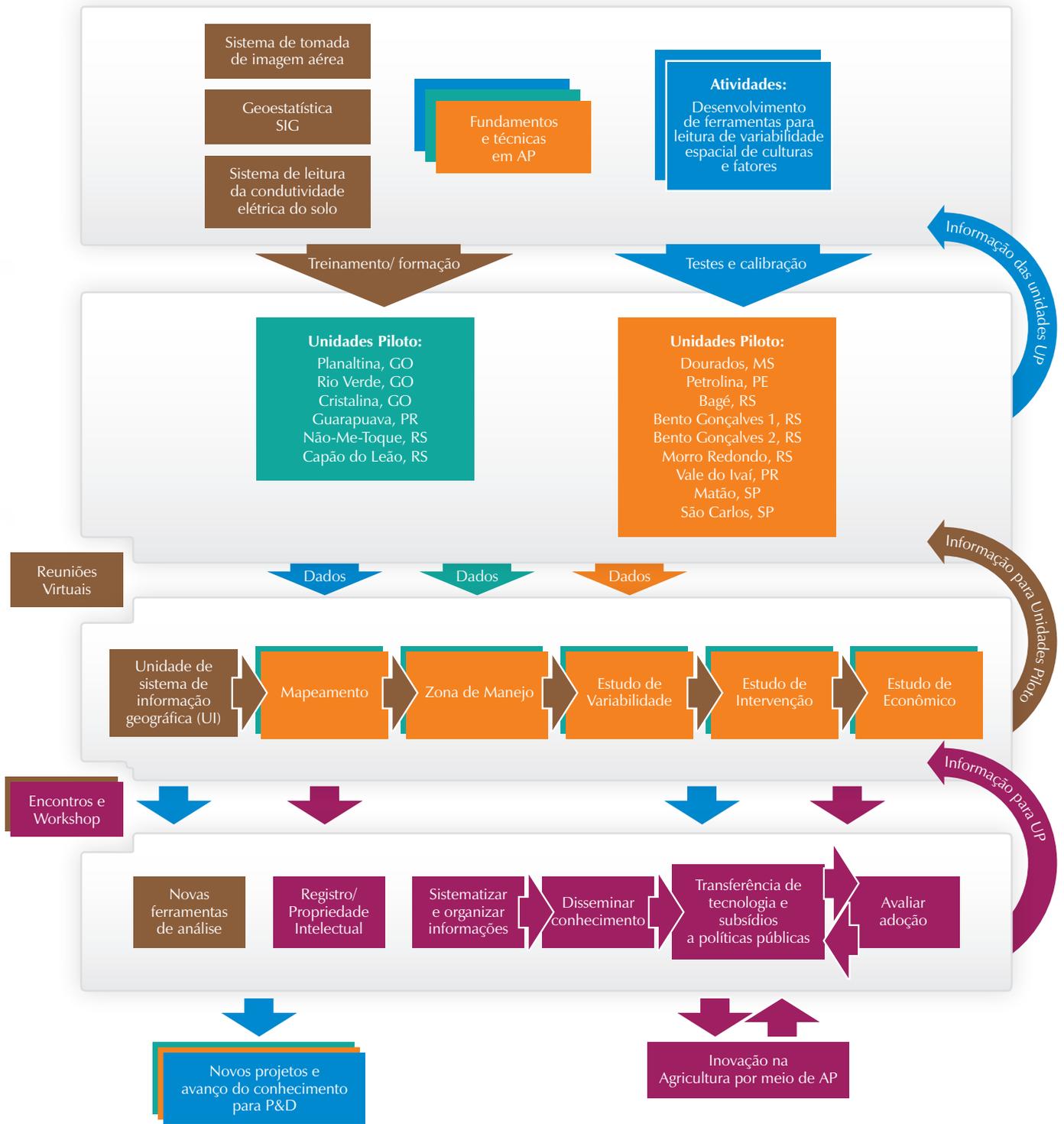
O conceito de que a Agricultura de Precisão é um processo de gestão do sistema produtivo que trata a variabilidade espacial apoiada por um conjunto de ferramentas (novas ou adaptadas) está sendo trabalhado em todas as etapas.

A Rede está articulada entre 20 unidades de pesquisa da Embrapa e parceiros como empresas, instituições de pesquisa, universidades e produtores rurais.

Nesta seção são apresentadas as estratégias para implantação, gestão e organização da Rede. Em Unidades pilotos de pesquisa distribuídas pelo território nacional abrangendo culturas anuais e perenes, serão realizadas medidas de condutividade elétrica do solo e tomadas de imagens aéreas, com o armazenamento dos dados georreferenciados em banco padronizado.

Os resultados obtidos serão utilizados na divulgação da AP e das tecnologias associadas, dos seus benefícios, entraves e alternativas relacionadas à sua adoção.





Legenda:

- Organização da Rede
- Ferramentas para Agricultura de Precisão
- Agricultura de Precisão para Culturas Anuais
- Agricultura de Precisão para Culturas Perenes
- Inovação em Agricultura de Precisão

Estratégia de implantação, gestão e funcionamento da Rede Agricultura de Precisão

Ricardo Y. Inamasu^{1*}, Aberto C. de Campos Bernardi^{2*}, João de Mendonça Naime^{3*}, Leonardo Ribeiro Queiros^{4*}, Álvaro Vilela de Resende^{5*}, Marina de Fátima Vilela^{6*}, Luís Henrique Bassoi^{7*}, Naylor Bastiani Perez^{8*}, Edilson Pepino Fragalle^{9*}

¹ Pesquisador da Embrapa Instrumentação

² Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste

³ Pesquisador da Embrapa Instrumentação

⁴ Analista da Embrapa Informática Agropecuária

⁵ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

⁶ Pesquisadora da Embrapa Cerrados

⁷ Pesquisador da Embrapa Semiárido

⁸ Pesquisador da Embrapa Pecuária Sul

⁹ Analista da Embrapa Instrumentação

*e-mail: ricardo@cnpdia.embrapa.br; alberto@cnpse.embrapa.br; naime@cnpdia.embrapa.br; lqueiros@cnptia.embrapa.br; alvaro@cnpms.embrapa.br; marina@cpac.embrapa.br; lhbassoi@cpatsa.embrapa.br; naylor@cnpssul.embrapa.br; fragalle@cnpdia.embrapa.br

Resumo: A globalização da produção para a alimentação requer proteção, gestão e precisão. O cenário contemporâneo da agricultura brasileira. O cenário atual da agricultura brasileira caminha para uma produção eficiente, com proteção ao meio ambiente. A economia em escala global evidenciou o protagonismo do Brasil, especialmente nesta época, quando há um aumento no consumo mundial de alimentos e a necessidade de produzir energia renovável. O País possui terras, condições climáticas e tecnologia para ajudar a suprir a si e a outras nações com alimento e energia renovável. Para isso, também necessita melhorar sua competitividade em áreas como a pecuária e silvicultura e produtos como o trigo e o algodão, sem perder a perspectiva da sustentabilidade. E a adoção de técnicas e tecnologias com maior precisão para o manejo adequado do ecossistema pode reduzir o impacto ambiental de maneira significativa, a partir de uma aplicação eficiente de insumos. A Ciência pode contribuir decisivamente com a atividade agropecuária com medidas de gestão, via Agricultura de Precisão. Adaptada à realidade tropical, ela pode ser uma ferramenta para a inovação permanente no campo. Ciente desse cenário, em 2009, a Embrapa apresenta sua contribuição, liderando uma Rede de Pesquisa com 214 pesquisadores, 19 centros, 15 campos experimentais, com variabilidade regional e de culturas (anuais e perenes). O trabalho em rede propicia a integração de várias áreas do conhecimento, o compartilhamento de infraestrutura, além da otimização de recursos financeiros e potencialização dos resultados. O objetivo geral da Rede AP é gerar conhecimentos, ferramentas e inovações tecnológicas em Agricultura de Precisão, visando incrementar a eficiência de sistemas produtivos, em busca de maior competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro. E os objetivos específicos são: gerar tecnologias para otimizar a aplicação racional de insumos, para reduzir riscos e degradação ambiental e maximizar o retorno econômico; estudar as causas da variabilidade espacial e temporal das respostas dos sistemas produtivos; desenvolver mecanismos e procedimentos para a construção de sistemas de suporte à tomada de decisão em sistemas produtivos; mensurar a eficiência econômica e identificar indicadores para quantificar os benefícios ambientais resultantes do uso de tecnologias da AP; transferir tecnologias e avaliar o nível de adoção da AP no Brasil.

Palavra-chave: condutividade elétrica do solo, imagem aérea, banco de dados, unidades piloto, pesquisa e desenvolvimento, ferramentas para agricultura de precisão, culturas anuais, culturas perenes, inovação tecnológica.



Strategies for the implementation, management and operation of the Precision Agriculture Network

Abstract: The globalization of food, biomass and fiber production requires safety, management and precision. The actual scenario of Brazilian agriculture walks towards efficient production with environment protection. Nowadays, global scale economy made Brazil a world player, when food consumption and renewable energy production has been increased worldwide. Brazil has agricultural lands, climate condition and technology to help itself and other countries with food and renewable energy supply. In order to reach this objective, the Country needs to improve its competitiveness in forestry, animal production, and some commodities (wheat, cotton, etc.) without losing the sustainability perspective. The adoption of techniques and technologies with greater precision allied with ecosystem management can significantly reduce the environmental impact through an efficient input application. Science can decisively contribute with agriculture through management procedures according to precision agriculture basis. If adapted to the tropical conditions, precision agriculture should be a permanent innovative tool in Brazilian agricultural fields. Based on this, Embrapa recently approved a four years project (2009-2013) titled "Precision Agriculture for the Sustainability of Agricultural Production System in Brazilian Agribusiness", which has as general objective the generation of knowledge, tools and technologies on precision agriculture to enhance the agricultural production systems, and to increase the competitiveness and sustainability of Brazilian agribusiness. The project itself is a network arrangement composed by 214 researchers, 19 research centers, 15 experimental fields, comprising different Brazilian ecosystems and 12 crops (annual and perennial). Hence, several areas of scientific knowledge will be integrated, besides facility sharing, and optimization of financial resources and results. Research, development and innovation will be focused on the responses from 12 annual and perennial crops to the precision agriculture adoption, as well as on the development of tools and technologies for the dissemination of precision agriculture. The organization, training and management related to the team activities is under the responsibility of the management committee, which is also in charge to integrate all results in a data bank. This project will play an important role in the generation of innovation in precision agriculture to maximize the capacity of Brazilian agricultural fields towards efficient production with environmental protection. Academic and extension events will support partnership between private and governmental sectors to enhance precision agriculture adoption in Brazilian agriculture. The general objective of PA network is generate knowledge, tools and technological innovations on PA, in order to increase the efficiency of production systems, regarding the competitiveness and sustainability of Brazilian agribusiness. The specific objectives are listed: generate technologies for optimization of rational input application; reduce environmental risks and degradation, and maximize profit; analyze causes of spatial and temporal variability of agricultural production systems; develop mechanisms and procedures to construct decision maker support systems in agricultural production systems; measure the economic efficiency and identify indicators to quantify the environmental benefits as a consequence of precision agriculture adoption; transfer technologies and evaluate the adoption level of precision agriculture in Brazil.

Keywords: soil electrical conductivity, aerial imagery, data bank, pilot units, research and development, PA tools, annual crops, perennial crops, technological innovation.

1. Introdução

A agricultura de precisão é um conjunto de tecnologias destinadas ao manejo de solos, culturas e insumos, que visa um melhor e mais detalhado gerenciamento do sistema de produção agrícola em todas as etapas, desde a semeadura até a colheita. Por isso, a AP tem como foco a gestão de sistema produtivo agrícola considerando a variabilidade espacial e temporal visando minimizar efeito negativo ao meio ambiente e maximizar retorno econômico.

Atualmente existem resultados práticos e de pesquisa mostrando que a aplicação de insumos a taxa variável, comparada com a aplicação pela maneira tradicional (uniformemente na área) há uma otimização dos volumes necessários utilizando a agricultura de precisão, portanto significativa redução de custos e de desperdícios, com ganhos econômicos e ambientais. Estas experiências mostram também que a AP não se limita a procedimentos que exigem aparelhos de

alta sofisticação e investimentos caros. Qualquer propriedade, inclusive a familiar, pode adotar alguns desses procedimentos e equipamentos, a custos mais baixos. Além disso, a AP pode ser implementada por partes. Pode ser iniciada em operações que sejam consideradas mais importantes para uma determinada cultura como, por exemplo, correção do solo, detecção de pragas e doenças, fertilidade, etc.

Atualmente já existem algumas máquinas para aplicação à taxa variada no País e o mercado está iniciando o seu uso, porém a intensidade de adoção da agricultura de precisão ainda está muito aquém de países como EUA e Argentina. Um dos problemas que surge com a aquisição dessas máquinas, por sua vez, é a dificuldade em interpretar os mapas e realizar uma recomendação agrícola, ou seja, uma gestão da variabilidade espacial e temporal da propriedade. É compreensível que sem um diagnóstico da variabilidade com suas causas determinadas, não é possível realizar uma análise e gerar uma recomendação de um tratamento à taxa variada. Entender as dificuldades apenas após a aquisição de equipamentos não é uma forma muito adequada de implementação da agricultura de precisão. O levantamento inicial das variações de atributos agronômicos no campo, o reconhecimento, a identificação do potencial do tratamento da variabilidade e a sua gestão, quer seja por aquisições de máquinas, quer seja por tratamentos diferenciados, fundamenta a projeção de retorno do investimento e, portanto deveria ser os passos da adoção da agricultura de precisão. As metodologias de levantamento inicial das variabilidades de atributos agronômico do campo ainda não estão bem estabelecidas no Brasil. Nos EUA, em muitas áreas medidas de condutividade elétrica do solo, tomada de imagens aéreas e detalhamento da topografia são elementos básicos para iniciar o reconhecimento da variabilidade de uma área agrícola produtiva. São medidas de baixo impacto no investimento, porém apresenta informação quanto à intensidade e distribuição espacial e temporal de alguns dos atributos mais importantes para a agricultura. A topografia apesar de simples pode ser um indicador interessante para gerir a área, pois em áreas côncavas pode ocorrer

acúmulo de matéria orgânica e de fertilizantes. Imagens podem apresentar “manchas” que indicam alguma diferença de atributo. Uniformidade em condutividade elétrica pode ser indício de uniformidade em atributos químicos e físicos do solo. No Brasil, tais metodologias poderiam ser exploradas em diferentes culturas, em diferentes condições edafoclimáticas, antecipando a aplicação da agricultura de precisão.

No Brasil, fica evidente que para que a agricultura de precisão atinja seus objetivos e reforçar a sustentabilidade do processo produtivo há ainda grandes desafios. Considerar a variabilidade como um fator importante de gestão para a sustentabilidade do negócio agrícola e do meio ambiente é ainda uma postura a ser desenvolvida para o campo. A pesquisa em agricultura de precisão também deve avançar na dimensão mais agronômica em diferentes culturas e regiões, considerando a distribuição espacial e temporal das doenças e pragas, fertilidade do solo, qualidade dos produtos, água, entre outros elementos para considerar uma gestão precisa em direção à sustentabilidade do processo produtivo agrícola. A rede de pesquisa em Agricultura de Precisão da Embrapa foi estabelecida levando em consideração as várias dimensões do sistema produtivo e tem como objetivo principal gerar conhecimentos, ferramentas e inovações tecnológicas, visando incrementar a eficiência de sistemas produtivos, em busca de maior competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro. Tem os seguintes objetivos específicos:

- Gerar tecnologias para otimizar a aplicação racional de insumos, para reduzir riscos e degradação ambiental e maximizar o retorno econômico;
- Estudar as causas da variabilidade espacial e temporal das respostas dos sistemas produtivos;
- Desenvolver mecanismos e procedimentos para a construção de sistemas de suporte à tomada de decisão em sistemas produtivos;
- Mensurar a eficiência econômica e ambiental pela adoção de tecnologias da Agricultura de Precisão;
- Disseminar as tecnologias e avaliar o nível de adoção da Agricultura de Precisão no Brasil.

Estes objetivos e metas vêm sendo executadas desde novembro de 2009, quando se iniciou a rede, e estão registrados na homepage da Rede de Pesquisa (<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>).

Para alcançar os objetivos, a rede conta com 19 Unidades de pesquisa da Embrapa e cerca de 200 pesquisadores; 15 unidades experimentais distribuídos nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país; 11 culturas entre perenes e anuais e cerca de 100 atividades de PD&I. A Embrapa aprovou a rede com 2,5 milhões de reais com a recomendação de que, por meio de captação externa, atingisse os 6,7 milhões de reais solicitadas pela proposta com o intuito de fortalecer parcerias e compromissos com instituições de fomento, pesquisa, ensino e com empresas privadas.

A Agricultura de Precisão (AP) na Embrapa estabeleceu-se inicialmente em culturas de grãos como soja e milho. Para cobrir demais culturas importantes ao País, o projeto agrupou por afinidade de processo (preparo de solo, plantio, cultivo e colheita), ou seja, em culturas anuais e em culturas perenes. Nas culturas anuais, estão presentes os grupos mais experientes em AP devido a estes terem participado de projetos Prodetab (<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2001/outubro/bn.2004-11-25.7504740075/>) ou na primeira rede no Macroprograma 1 (MP1) da Embrapa (<http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionais/pesquisa-em-rede/>). Entre as culturas perenes o grupo mais experiente está na citricultura por ter um histórico com projeto financiado com recursos do Prodetab e FAPESP/PIPE. Nas demais culturas (algodão, pastagem, trigo, uva, arroz, pêssego, eucalipto e pinheiro), estão presentes as Unidades não tradicionais nessa área, o que merece uma atenção maior em relação ao nivelamento de conhecimentos, previsto como uma das primeiras atividades da rede. As áreas experimentais denominadas aqui de Unidades Piloto (UP) previstas para serem exploradas estão listadas abaixo. São 8 UP na região Sul, 5 na região Centro-oeste, 2 na região Sudeste e 1 na região Nordeste, dos quais 6 são culturas anuais e 9 são perenes e semiperenes. Portanto

as UP são áreas de condução de experimentos de campo diversificados onde poderão ser exploradas as diferenças regionais e culturais com uma abrangência significativa do território agrícola do País. Estão sendo realizadas ações de pesquisa e de tomadas de dados transversais e sincronizados com a realização de dias de campo.

Unidades Piloto – culturas anuais:

- Milho/Soja: Planaltina de Goiás, DF - Embrapa Cerrados e Embrapa Milho e Sorgo;
- Soja/Milho/Sorgo: Rio Verde, GO - Comigo e Embrapa Solos;
- Algodão/Soja/Milho: Cristalina, GO - Grupo SLC e Embrapa Algodão;
- Soja/Milho/Trigo: Guarapuava, PR - Cooperativa Agrária Agroindustrial (Cotrijal), Embrapa Soja e Embrapa Milho e Sorgo;
- Trigo/Soja/Milho/Cevada: Não-Me-Toque, RS - Cotrijal e Embrapa Trigo;
- Arroz irrigado: Pelotas, RS - Embrapa Clima Temperado.

Unidades Piloto – culturas perenes e semiperenes:

- Cana de Açúcar: Mogi Mirim, SP - CTBE e Embrapa Monitoramento por Satélite;
- Laranja: Matão, SP - Grupo Fischer e Embrapa Instrumentação Agropecuária;
- Lavoura-pecuária: Bagé, RS - Embrapa Pecuária Sul;
- Lavoura-pecuária: Dourados, MS - Embrapa Agropecuária Oeste;
- Pastagem tropical intensiva: São Carlos, SP - Embrapa Pecuária Sudeste;
- Pêssego: Canguçu, RS - Embrapa Clima Temperado;
- Uva de mesa: Petrolina, PE - Embrapa Semiárido;
- Uva de vinho: Bento Gonçalves, RS - Vinícola Miolo e Embrapa Uva e Vinho.

Paralelamente às atividades de pesquisas nas culturas anuais e perenes conduzidas nas UP, estão sendo desenvolvidas novas ferramentas como metodologias em geoprocessamento, tecnologia da informação, processamento de imagem, mineração de dados, eletrônica embarcada, redes de sensores sem fio, protocolo de comunicação entre máquinas agrícolas, novos sensores, atuadores e controladores. Esses temas relacionados às pesquisas básicas

predominantemente na área de tecnologia da informação e de instrumentação atuarão de forma a receber orientações das UP, para aumentar o potencial de uso e de impacto nas cadeias das culturas abordadas pelo projeto. Os testes e eventuais validações dos protótipos em campo ocorrerão nessas UP. Os dados dos protótipos obtidos nas UP poderão integrar aos dados armazenados na Unidade de Sistema de Informação Geográfica da rede fornecendo um arsenal de informação mais rica do que uma análise isolada.

2. Três estratégias de integração e transversalidade entre atividades da Rede AP

Estão previstos três processos estratégicos transversais para integrar as atividades entre as UP. O primeiro processo estratégico é a integração por meio de fundamentos e conhecimentos básicos em AP. A base conceitual em AP da Embrapa está sendo uniformizada e consolidada desde o início do projeto por meio de treinamento para os membros da Rede. E será aperfeiçoada em temas específicos durante o desenvolvimento do projeto com a realização de Workshops, a medida que forem detectadas as demandas. Essa base molda o conceito das atividades das 15 Unidades de Pesquisa e fornece uma linguagem a toda equipe para que os membros das UP interajam mesmo sendo de especialidades diferentes, trabalhem com diferentes culturas e estejam em diferentes agroecossistemas. Os resultados parciais estão sendo igualmente consolidados e divulgados em novos eventos técnico científicos no país como Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão e no exterior como a *Intenational Conference on Precision Agriculture*. A interação com o Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão também tem sido estimulada.

O segundo processo estratégico é a de construção de um repositório dos dados geograficamente referenciados. Todos os dados e informações estão sendo inseridos em um Sistema de Informação Geográfica localizado na Embrapa Informática Agropecuária e dados de segurança copiados na

Embrapa Pecuária Sudeste. A esse sistema foi denominado nessa proposta de Unidade de Sistema de Informação Geográfica (UI) onde estão sendo instalados os SIG mais utilizados em AP e também os recursos (máquinas, softwares e ferramentas) de custo elevado. O acesso remoto também está sendo considerado para dinamizar contatos e trocas de informações entre membros da equipe e especialistas de diferentes áreas.

O terceiro processo estratégico consiste no levantamento de dados básicos das UPs. Entre muitos processos de identificação e medição de variabilidade da área há três procedimentos estabelecidos que a princípio podem ser utilizados em todas as culturas. Uma delas é a medida da condutividade elétrica (CE) do solo, outra é a altimetria e por último a tomada de imagem aérea. Com esses três procedimentos, será possível alimentar a UI com informações da variabilidade da cada UP num formato comum a todos e integrar aos dados fornecidos por ações durante o desenvolvimento das etapas do projeto. A orientação da medida e o uso da imagem aérea, topografia e CE do solo serão explorados juntamente com a estratégia de integração conceitual, ou seja, no encontro/treinamento. Essas três estratégias, consideradas chaves para a rede e garantem a transversalidade do uso de ferramentas, aquisição e disponibilização de dados e transferência de conhecimento.

3. Estratégia de medida da CE do solo e altimetria de todas as UP

O mapeamento de CE do solo é uma estratégia que pode ser considerada como a mais utilizada em AP para auxílio na identificação da variabilidade do solo e orientação inteligente para amostragem, devido ao custo e praticidade operacional. A topografia, principalmente as áreas côncavas e convexas, por ser indicador do tipo de solo, causa de acúmulo ou lixiviação de água e nutrientes, assim como definir o potencial de erosão, é também um potencial indicador de variabilidade do solo a baixo custo. Como a medida de CE é alternativa viável, a rede supre com medidor de CE portátil econômico construído em atividade do projeto,

potencializando o efeito multiplicador dessa estratégia. Em UP com áreas maiores, o projeto utilizará o equipamento Veris adquirido pela Embrapa em projetos anteriores. A altimetria deverá ser realizada por cada Unidade responsável pela UP e conferida por receptor GPS RTK de maior precisão a ser adquirido pelo projeto. Observa-se que esses dados fornecerão uma orientação da variabilidade em comum às 15 UP, porém a análises de fertilidade e outras variáveis de interesse agrônômico para fornecer diagnóstico e prescrição de tratamento da cultura deverão ser realizados pelas atividades de pesquisa previstas em cada UP.

4. Estratégia de tomada de imagem aérea

A imagem aérea também tem sido uma ferramenta muito aplicada por usuários de AP por conseguir sintetizar variabilidade de uma grande área aos produtores sem conhecimento computacionais ou sem domínio de metodologias científicas complexas. Assim como a CE do solo, os seus dados favorecem a análise visual e fornece informações sobre a variabilidade do campo úteis independente de cultura. Porém, apesar do seu uso corrente possibilitar análise informal, essa técnica possui ainda muito potencial a ser explorado (abordado no “estado da arte”) e o presente projeto busca, dentro do tema sensoriamento remoto e processamento de imagens, obter avanços. Há na prática uma variação muito grande de alternativas de tomadas aéreas inicialmente por imagens por satélite; por veículos aéreos (aeroplanos e helicóptero) convencionais (inclui-se ultraleve); por veículos aéreos não tripulados (VANT), pipas e posicionamento de câmeras em torres. Atualmente existem VANT no mercado com recursos automatizados possibilitando uma operação segura com custo baixo em comparação com outras alternativas. Observando ainda que a redução de custo desses sistemas tem sido uma tendência consistente e aponta para a possibilidade de observar uso cada vez maior dessa ferramenta no campo. A estratégia proposta pela rede é de adquirir câmeras e um VANT para tomada de imagem aérea das 15 UP do projeto. Como essa atividade pertence a vários

planos de ação distribuídos em três PC e requer uma sincronização entre os cronogramas das UP, esta tem sido organizada sob coordenação geral do projeto. Observando que atividades relativas a essa estratégia assim como medida da CE do solo e altimetria estão espalhadas nas atividades de outros Projetos Componentes e o PC1 irá realizar a gestão. Essa ferramenta apoiará as atividades das UP, uniformizará a qualidade das imagens utilizadas por UP, auxiliará na padronização de métodos de análise e fornecerá dados de campo no desenvolvimento de metodologias de processamento e uso dessas imagens, juntamente com mapas de CE do solo e topografia.

5. Estratégia de organização (estrutura do projeto)

A rede está estruturada em cinco Projetos Componentes (PC). O PC1 de Gestão cuida do gerenciamento técnico, administrativo, financeiro e de comunicação do projeto em rede. É composto um comitê gestor formado pelos líderes dos PC. O PC1 apresenta quatro Planos de Ação (PA): Gestão de recursos financeiros; Gestão técnica; Gestão de relações institucionais e Gestão do conhecimento e da informação.

O PC2 “Desenvolvimento e validação de instrumentos e de tecnologias de informação” executa ações de pesquisa, desenvolvimento e padronização de novas ferramentas como softwares, sensores, equipamentos e metodologias associadas à AP. O PC3 “Caracterização, monitoramento e manejo da variabilidade espaço temporal em sistemas de culturas anuais” deve desenvolver e aplicar os conhecimentos e as tecnologias em culturas de milho, soja, algodão, arroz e trigo. Estão atuando sob esse tema como responsáveis por atividades as unidades da Embrapa: Algodão, Milho e Sorgo, Solos, Soja, Trigo, Cerrados, clima Temperado e Pecuária Sudeste, e as respectivas Unidades Piloto (UP) onde são realizados os experimentos e estudos de campo em culturas anuais. O PC4 “Caracterização, manejo e monitoramento de atributos do solo e da planta em sistemas de produção de plantas perenes” cuida de silvicultura (eucalipto), fruticultura

(pessegueiro, macieira, laranja e videira), cana de açúcar e pastagem. As UP foram instaladas pelas seguintes Unidades da Embrapa: Semi Árido, Agropecuária Oeste, Clima Temperado, Floresta, Uva e Vinho, Pecuária Sudeste e Pecuária Sul. Essas Unidades estão listadas com as respectivas atividades às quais são responsáveis. O PC5 “Inovação tecnológica em agricultura de precisão” é o que possui interação com os resultados de todos PC e interage com as UP para promover ação de transferência e estabelecer Unidades Demonstrativas. Informações técnicas geradas deverão estar disponíveis para PC5 por meio da UI, e este deve sistematizar para potencializar inovação no sistema produtivo. O PC5 deve ainda viabilizar e fomentar outros PC para proteção intelectual e negociação de tecnologias para o mercado, assim como oferecer informações que subsidiem Políticas Públicas do governo. Todas as estratégias e a estrutura do projeto estão ilustradas no diagrama.

6. Estrutura do PC1 Gestão da Rede AP

O PC1 “Gestão” está estruturado em 4 Planos de Ação (PA) e apresenta 17 atividades. A gestão de recursos financeiros está sob a responsabilidade do PA1 desse PC e subdividido em três atividades compreendendo o planejamento, acompanhamento e distribuição.

A gestão técnica, aqui entendida como gestão técnica dos membros da rede, buscará a integração das equipes por meio de temas relacionados à AP, acompanhar o cronograma e o avanço técnico das atividades da rede. Essa gestão está formalizada no PA2 desse PC executada por 5 Atividades. As atividades relacionadas ao treinamento e encontros no âmbito da rede estão alocadas nesse PA.

A gestão de relações institucionais (PA3) atuará administrando e secretariando os contatos com as instituições executoras, clientes e parceiras envolvidas na rede. Essa gestão é responsável para auxiliar o estabelecimento das ações, das responsabilidades e do compartilhamento de resultados entre as instituições envolvidas. Essa gestão sugere contrato de parceria às Unidades com atividades em conjunto descobertas de formalidade

contatando e envolvendo a Assessoria de Inovação Tecnológica – AIT e a Coordenadoria de Apoio à Inovação e à Propriedade Intelectual - CAP da Assessoria Jurídica – AJU da Embrapa. Observando que algumas atividades dessa rede já contam com financiamentos de órgãos de fomento e parcerias firmadas com empresas privadas e instituições parceiras, e estão um pouco mais detalhados no item “Envolvimento do Setor Privado”.

O PA4 trata da gestão do conhecimento e da informação a ser gerado pelo projeto, com propósito de buscar interação e integração. Estão previstos nesse PA atividades relativas à implementação e à gestão do portal na Web, da Unidade de Sistema de Informação Geográfica (UI), da tomada de imagem aérea, da medição da CE do solo e da altimetria nas UP. O portal apoia tanto na inserção de informações geradas para disseminação ao público externo, quanto à gestão das atividades e interação entre os membros da equipe. Observando que a gestão do conhecimento para o público externo está prevista no PC5 e para essas informações não há acesso restrito. A gestão da UI viabiliza o armazenamento e o acesso aos dados georreferenciados gerados nas UP. Com o armazenamento dos dados e a instalação de arsenal de SIG implementados na UI por meio da Atividade 2 do PA4 busca-se a padronização tanto dos dados como de métodos de análise, construindo ao mesmo tempo a capacitação da Embrapa para análise desse tipo de dados em um elevado número de regiões e de produtos, somente possível em projetos em rede. O acesso a esses dados serão geridos pelas Atividades 4 e 5 desse PA onde serão implementados critérios de acesso controlado pelo portal por meio de senha com diferentes níveis de hierarquia. A geração de dados comuns às 15 UP (imagem aérea, CE do solo e topografia) bem como a obtenção dos mesmos, como são estratégicos para garantir a transversalidade e integração, estão implementadas nesse PC1 Gestão e a sua execução previstas nas Atividades 5 e 6 do PA4. Ajuste de cronograma dessas atividades deverá ser realizado posteriormente à aquisição dos equipamentos e à implantação do plano de trabalho de cada UP.

A proposta foi aprovada em novembro de 2009, e no início 2010 foram realizados dois

encontros agrupando várias atividades para viabilizar o número de reuniões previstas. No primeiro semestre do projeto foram realizados dois encontros. Uma das reuniões foi a do Comitê Gestor, a qual teve como objetivo estabelecer o calendário de eventos da rede, cronograma de trabalho e discutir o compromisso de todos para viabilizar a gestão das atividades previstas no projeto. Foi elaborada a programação da primeira reunião geral da rede, consistindo no segundo encontro do semestre. A primeira reunião geral teve a finalidade de realizar o nivelamento técnico; orientação na montagem das Unidades Piloto e seu relacionamento com atividades transversais; apresentar a dimensão e a estrutura do projeto; apresentar os principais atores da rede e finalmente discutir calendários e compromissos de cada um para consecução do objetivo final. Observa-se a importância e a dimensão da organização dessa reunião, pois a rede possui cerca de 200 membros de 20 Unidades da Embrapa distribuídos em 176 atividades (27 planos de ação), além de parceiros de Universidades, institutos e empresas.

O projeto tem como meta realizar uma reunião geral anual e uma reunião semestral do Comitê Gestor buscando sempre agrupar as atividades. O comitê tem utilizado regularmente reuniões virtuais utilizando voz sobre IP ou VoIP (*Voice over Internet Protocol*), como forma de manter os membros informados, discutir atividades e compartilhar a tomada de decisões.

7. Estrutura do PC2 – novas ferramentas em relação aos PC3 - culturas anuais e PC4 – culturas perenes

O PC2 busca o desenvolvimento de novas ferramentas para a AP. Foi estruturado com 30 atividades distribuídos em 3 PAs atuando no desenvolvimento de equipamentos, sensores, metodologias e processos. A integração do PC2 com o PC3 e PC4 está na troca de experiências. As atividades do PC2 deverão obter subsídios do campo por meio de parâmetros de requisito de funcionamento fornecido pelas UP do PC3 e PC4. Testes e validação também deverão ocorrer

nas UP buscando interação e integrando-se com as informações armazenadas na UI.

8. Estrutura do PC3 e PC4 para culturas anuais, perenes e semiperenes

O conjunto de Unidades Piloto (UP) gerenciadas pelos PC3 e PC4 compõe o elemento referencial principal do projeto onde ocorrem estudos e demonstrações abrangendo as culturas perenes, semiperenes e anuais nas diversas regiões do país. No primeiro ano as atividades foram concentradas na integração dos membros da equipe, treinamento, aquisição e instalação de ferramentas (SIG, fotografia aérea e condutividade elétrica do solo) no apoio ao estabelecimento das UP. Novas atividades de pesquisas com natureza específica de uma cultura ou região, porém de interesse à Agricultura de Precisão, estão sendo submetidas às instituições de fomento para viabilizar ações de estudos pontuais durante o desenvolvimento do projeto. No segundo ano os dados gerados pelas UP estão sendo integrados à Unidade de Sistema de Informação e preparadas para receber atividades do PC2 para testes, ajustes e validação. Atividades de levantamento da variabilidade espacial em UP deverão ser iniciadas e continuadas. No terceiro ano, com os primeiros dados obtidos nas UP, deverão ser estudados e propostos meios de intervenção considerando aspectos econômicos além dos técnicos e operacionais. No quarto ano os resultados da intervenção deverão ser apresentados por meio do PC5.

Observa-se que nas culturas anuais como o milho e a soja as atividades serão coordenadas por grupos experientes e maduros. As suas áreas de campo são de produtores com máquinas colhedoras providas de monitor de colheita e há uma massa crítica comparativamente muito maior que outras culturas. A possibilidade de trabalhar no tema com diferentes áreas e com metodologias e dados que permitem estudo comparativo traz um potencial de resultados maior em comparação aos trabalhos isolados. Nas culturas de algodão, arroz e trigo as pesquisas serão realizadas por grupos menos experientes, porém há grupos internacionais com trabalhos relativamente avançados nessas culturas.

Pela proximidade dos processos de amostragem e análise com as culturas mais avançadas (soja e milho) é provável que esses grupos avancem rapidamente no domínio do conhecimento. Devido a essas características e potencialidades, os PA foram organizados por processo, ou seja, processo de mapeamento de variabilidade de culturas, processo de mapeamento do solo e assim por diante. Ao todo são 5 PA, sendo um deles de gestão. Para as culturas perenes e semiperenes (PC4), o desafio parece maior considerando a inexistência de massa crítica na Embrapa. Devido à peculiaridade de cada cultura abordada por esse PC, apesar das características perenes e semiperenes da cultura, há clara diferença no produto final da silvicultura, pastagem e fruticultura. A AP em fruticultura tem sido explorada internacionalmente em números menores de trabalhos em relação à de grãos e há uma disponibilidade menor de equipamentos apropriados como, por exemplo, para produção de mapa de colheita, mas muito mais intensa do que em silvicultura e pastagem. Ainda no caso da fruticultura os aspectos qualitativos da produção devem ser ainda mais relevantes que os quantitativos. Devido às essas características o PC4 foi estruturado com enfoque maior de culturas com o intuito de concentrar discussão no tema e suas soluções. Porém seus dados, incluindo imagem aérea, topografia e CE do solo, continuam sendo armazenados na UI do projeto e, portanto, passíveis de estudos comparativos com especialistas de diferentes áreas.

9. Estratégia de integração dos resultados

O PC 5 foi estruturado para que as informações geradas na rede fossem sistematizadas e formatadas para adequar ao público interno e externo. Os públicos considerados externos ao projeto de modo geral são indústria, técnicos, produtores, pesquisa, ensino e governo. As demandas e possibilidades de colaborações e parcerias serão sistematizadas e divulgadas aos membros (público interno) pela rede comunicação e nas reuniões presenciais do grupo. Já o público interno refere-se aos membros do projeto, uma vez que se detectou que os conceitos de AP deveriam ser internalizados e difundidos

entre os pesquisadores e analistas da Embrapa e parceiros.

O PC5 realiza ainda a comunicação e interface entre a rede com outras instituições, governo e empresas privadas. As metas principais desse PC para divulgar resultados e conceitos são:

- Homepage do projeto;
- Documento marco referencial da Agricultura de Precisão pela Embrapa;
- Cartilha em Agricultura de Precisão (foco em extensionistas e produtores);
- Vídeo sobre Agricultura de Precisão;

No PA1 do PC5 são realizadas as atividades para a integração, troca de experiências e articulação de toda a equipe do projeto componente. Isso se dá por meio das reuniões gerais e Workshops previstos para ocorrer pelo menos uma vez por ano. Nesta oportunidade tem sido realizadas reuniões com todos os responsáveis pelos PAs do PC2, os quais apresentarão os principais resultados obtidos e serão discutidos aspectos de orçamento, fluxo de informações, principais dificuldades e eventuais alterações. Nessas reuniões tem sido estimuladas ações de parceria e troca de conhecimentos e informações entre os membros da equipe e destacadas ações de sucesso que possam ser disseminadas com os demais membros do projeto. É estimulado também o uso e compartilhamento das informações contidas nos bancos de dados a serem criados no projeto, bem como a utilização da homepage para inserir e obter informações atualizadas do andamento das atividades, facilitando também o processo de encaminhamento dos relatórios anuais de acompanhamento do projeto.

A difusão dos resultados é realizada por meio de diversos mecanismos como as publicações técnicas e científicas, participação em feiras e eventos científicos, dias de campo, unidades demonstrativas e palestras, dentre outros. As questões referentes à inovação tecnológica também são tratadas nesse PC. Dessa forma as atividades de proteção intelectual, análise de mercado e negociação de tecnologias estão com atividades e equipes mobilizadas.

10. Recursos de investimento presente nesse projeto

Na proposta para a Embrapa, o valor do investimento orçado foi de 1,2 milhões de reais. Apesar da aprovação da proposta, a Embrapa liberou orçamento de 200 mil reais para quatro anos (50 mil por ano) para essa alínea, sugerindo que o restante fosse captado com órgãos de fomento e outras instituições parceiras. A rede busca, portanto por meio de parcerias, empréstimo de máquinas e equipamentos como colhedoras com monitor de colheita, aplicadoras de insumos localizados, coletores de solo, entre outros com objetivo de envolver usuários e potencializar resultados. No link da rede, já apresentado anteriormente estão reportados alguns eventos já realizados. Em meados

de 2011, a Embrapa liberou os 1,2 milhão de reais com intuito de fortalecer a contrapartida da rede e incentivar parcerias.

Para atrair parceiros, algumas contrapartidas foram propostas pela rede. Os equipamentos listados e propostos para serem adquiridos nesse projeto, além de serem fundamentais para oferecer uma contrapartida aos potenciais parceiros, fazem parte de ações de pesquisa transversais e fornecem sustentação e conexão entre os participantes da rede. Estão agrupados em três: Aquisição de dados espacialmente variados, Equipamentos de apoio à gestão de dados do campo para as 15 Unidades Piloto distribuído pelo País e uma Unidade de Informação onde serão concentrados todos os dados e informações da rede.

Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo

Ladislau Marcelino Rabello^{1*}, Ricardo Y. Inamasu^{2*},
Alberto C. de Campos Bernardi^{3*}, João de Mendonça Naime^{4*},
José Paulo Molin^{5*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação

² Pesquisador, Embrapa Instrumentação

³ Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste

⁴ Pesquisador, Embrapa Instrumentação

⁵ Professor, ESALQ, Universidade de São Paulo – USP

*e-mail: rabello@cnpdia.embrapa.br; ricardo@cnpdia.embrapa.br; alberto@cppse.embrapa.br;
naime@cnpdia.embrapa.br; jpmolin@esalqu.usp.br

Resumo: Em agricultura de precisão, talvez, um dos grandes problemas fosse o número de amostragem de um determinado fenômeno para definir as regiões de manejo dentro desta mesma área. Áreas pequenas o número de amostras é também pequena e fácil de coletar, mas quando se trata de grandes áreas a dificuldade aumenta, tanto em tempo como em custo. A medida condutividade elétrica do solo vem sendo muito usada e vem se tornando uma importante ferramenta para uma prévia avaliação da área a ser estudada, facilitando as definições das áreas de manejo. São usados alguns sistemas, porém de origem estrangeira, assim este documento descreve um protótipo para a medida e mapeamento da condutividade elétrica do solo de maneira automática e manual de acordo como a demanda do projeto MP1-Agricultura de Precisão para utilização nos seus planos de ações.

Palavras-chave: agricultura de precisão, condutividade elétrica, mapeamento, sistema quatro pontos.

Mapping of soil electrical conductivity – A prototype system

Abstract: *The measured electrical conductivity of the soil has been widely used and is becoming an important tool for a preliminary assessment of the area being studied, making the definitions of management areas. Some systems are used, however of foreign origin, so this document describes a prototype for measuring and mapping soil electrical conductivity automatically and manual according to the demand of the project MP1-Precision Agriculture for use in their action plans.*

Keywords: *precision agriculture, electrical conductivity mapping system, four points.*

1. Introdução

Ferramentas e metodologias que possam auxiliar aos usuários de uma forma rápida no modo de como decidir essa amostragem ou definir sobre regiões de estudo levando em consideração a variabilidade espacial, são de grande importância tanto para a pesquisa como para empresas especializadas.

Uma metodologia muito usada para esta demanda é a medida de condutividade elétrica, tendo como meio condutor o próprio solo, podendo ser medida com equipamentos relativamente simples e com grande eficiência operacional. Alguns equipamentos foram desenvolvidos para esta medida, sendo um dos mais conhecidos



o sistema VERIS 3100 de fabricação da Veris Technologies (2008), que é um equipamento importado e sua utilização requer que ele seja conduzido por um veículo motorizado para realizar as medidas antes de qualquer atividade de manejo da região e depois correlacioná-las, através de mapas de condutividade elétrica com alguns parâmetros agronômicos que se esta estudando.

Contornando os sistemas importados, pesquisadores adaptaram tal sistema a um implemento agrícola de uso normal da propriedade, reduzindo assim o tempo, os gastos de combustível e custo do equipamento com a coleta das medidas.

Os resultados destes trabalhos podem ser visto nos escritos de Inamassu et al. (2007) e Rabello (2008a,b), onde abordavam a medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola, no caso, um subsolador.

Com a aprovação do projeto inscrito nos programas de pesquisa da Embrapa, especificamente no macro programa 1 (MP1), foi possível projetar e montar um sistema nacional para o mapeamento e medida de condutividade elétrica do solo, sendo de uso restrito aos planos de ações do MP1-Agricultura de Precisão.

Este trabalho descreve a seguir detalhes do sistema projetado.

2. Material e métodos

2.1. Princípio da medida da condutividade elétrica

Primeiramente para falarmos da condutividade elétrica devemos partir da medida de resistividade elétrica de uma amostra, assim, conforme ilustra a Figura 1, para uma amostra de dimensões conhecidas.

A resistividade elétrica para a amostra da Figura 1 pode ser calculada usando a Equação 1.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

Onde:

R = resistência elétrica [ohm];

ρ = resistividade elétrica [ohms centímetros];

L = comprimento da amostra [centímetros];

A = área da seção transversal da amostra [centímetros quadrados];

Ao aplicarmos uma diferença de potencial, V (Volts), entre os lados da amostra fará com que circule uma determinada corrente elétrica, I (Ampère), assim de acordo com a Equação 2, temos então a resistência elétrica R (Ohms).

$$V = R \cdot I \quad (2)$$

Conhecendo as dimensões L (cm) e A (cm) temos, pela Equação 1, a respectiva resistividade elétrica, ρ , da amostra.

O mesmo método pode ser aplicado a uma amostra de solo, sendo esta uniforme, para amostra não uniforme e de dimensões não definidas, ou medidas diretas em campo, aplica-se um processo bastante utilizado em geofísica conhecido como “sistema de quatro pontos” (SMITS, 1958).

Este processo como o próprio nome diz, utiliza quatro hastes metálicas de material condutor de corrente elétrica, alinhadas sequencialmente com espaçamentos conhecidos, conforme ilustrado na Figura 2.

Uma corrente elétrica, I, é injetada nos dois eletrodos externos e a tensão, V, é medida entre as duas hastes internas, a resistividade então é calculada com a Equação 3:

$$\rho = \frac{2\pi \left(\frac{V}{I} \right)}{\left[\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} - \frac{1}{(S_1+S_2)} - \frac{1}{(S_2+S_3)} \right]} \quad (3)$$

A condutividade elétrica, σ , é definida como o inverso de resistividade, assim temos a Equação 4:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

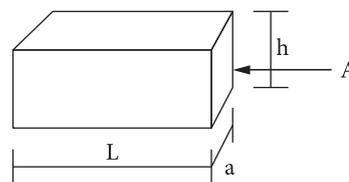


Figura 1. Exemplo de uma amostra retangular para cálculo de resistividade elétrica.

À distância S entre os eletrodos internos esta correlacionada com a profundidade da região que se é medida a condutividade elétrica, descrita como uma circunferência de raio $S/2$, abaixo da linha de superfície.

2.2. Descrição do protótipo

O sistema foi projetado tendo como metodologia de medida de condutividade elétrica, sistema de 4 pontos, utiliza como processador central um microprocessador de fabricação da Microchip Technology (<http://www.microchip.com>), chamado PIC18F258 o diagrama de bloco do sistema é ilustrado na Figura 3.

Da esquerda para a direita na Figura 3, temos os três blocos correspondentes aos eletrodos, estes podem ser as hastes metálicas descritas acima.

O bloco corresponde a “eletrodo 2” tem a mesma função do “eletrodo 1”, a diferença é que neste caso o sistema tem uma amplificação do sinal de leitura da diferença de potencial

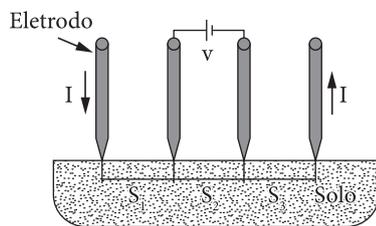


Figura 2. Sistema de quatro pontos.

de três vezes ($3\times$) e o bloco “Reforço sinal” tem a finalidade de reforçar o sinal de saída da fonte de corrente indicada no bloco “fonte de corrente alternada”.

Na sequência dos blocos “voltímetros” até os blocos “RMS verdadeiro”, têm a finalidade de leitura de tratamento dos sinais lidos.

O bloco “microprocessador” tem a finalidade, através de um programa computacional dedicado, converter o sinal dos três eletrodos para níveis digitais, através dos conversores analógicos digitais. Tem também a finalidade de sincronizar as medidas com a respectiva localização georreferenciada, através de um sistema GPS (Global Position System – Sistema de Posicionamento Global, bloco GPS) e armazenamento dos sinais lidos.

O usuário pode enviar comandos para o sistema microprocessador através de um teclado de quatro funções, bloco “teclado 4 funções” que são informados no mostrador na medida que são solicitados.

Para recuperação dos dados gravados em memória, o sistema possui uma interface de comunicação serial, padrão RS232, bloco “porta serial”, que pode ser conectado a outro computador para registro de todas as medidas.

Na Figura 4 é ilustrado o sistema protótipo para mapeamento de condutividade elétrica do solo.

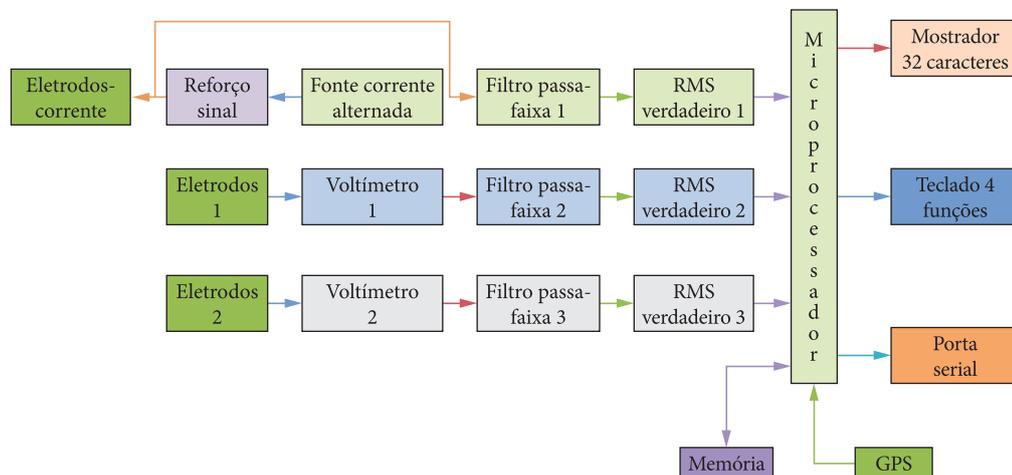


Figura 3. Diagrama de bloco do sistema protótipo para mapeamento de condutividade elétrica do solo.

3. Resultados e discussão

O equipamento foi testado em uma área de pastagem, com irrigação via pivô central, pertencente a Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos, SP (latitude 21° 57' 351" S e longitude 47° 50' 872" O). Compreendia esta área várias divisões onde são realizados experimentos com alimentação para gado.

A área de teste é composta de uma vegetação densa para pasto denominada capim tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia). Outra

característica dessa vegetação é a formação de touceiras que dificulta em muito a posição linear dos eletrodos de medida de equipamentos tracionados, obrigando a realização das medidas de forma manual.

Os pontos de medida foram escolhidos ao acaso dentro de cada divisão de pasto, sendo adotada uma média de cinco medidas por divisão. Isto por causa da densidade de capim e também por não haver pontos de referência dentro das áreas. As medidas podem ser observadas na Figura 5, nesta pode se ver a variação das medidas em diferentes cores nos pontos de amostragem.



Figura 4. Ilustração do sistema protótipo de medida de condutividade elétrica do solo.

4. Conclusões

O protótipo mostrou-se viável para medidas de condutividade elétrica do solo de maneira manual em áreas de difícil acesso e também de modo pontual deixando o usuário escolher e definir os pontos de medida.

Apesar de ter sido feita as medidas de modo manual, o equipamento também pode fazer medidas de modo automático, para grandes áreas junto com um implemento simulando os eletrodos e tracionado via veículo tracionado.

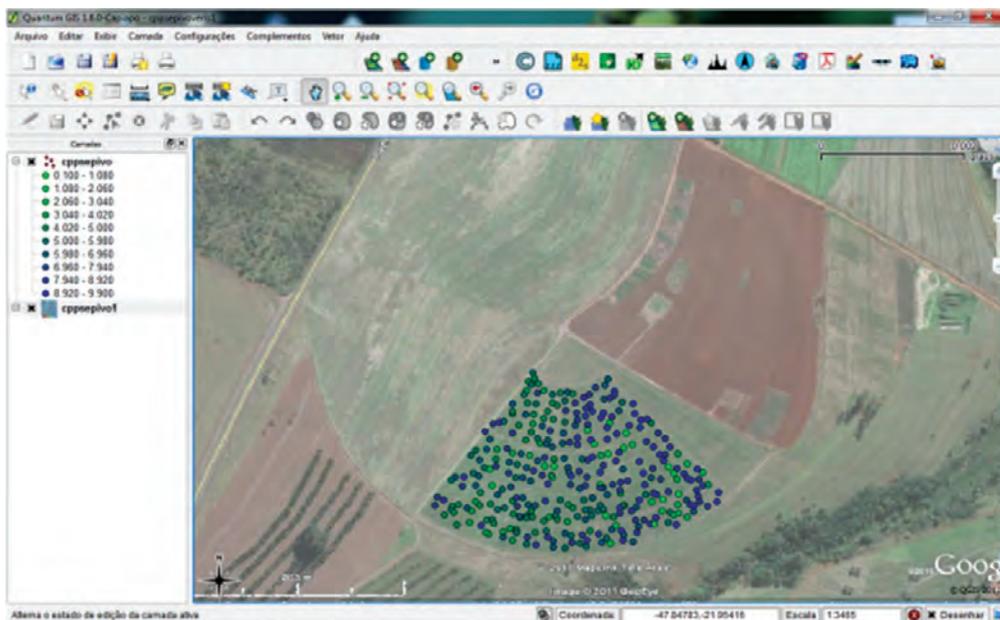


Figura 5. Área de medida de condutividade elétrica do solo, com os respectivos valores variando conforme a cor.

Agradecimentos

Agradecemos a Embrapa Pecuária Sudeste, Uva e vinho, Semi-Árido, Solos pela disponibilização da área e testes, à Embrapa Instrumentação através do projeto MP1 Agricultura de Precisão, o que tornou possível a construção do protótipo.

Referências

INAMASSU, R. Y.; SIMÕES, M. S.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; RABELLO, L. M.; MOLIN, J. P. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador)**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária, Circular Técnica, n. 40).

RABELLO, L. M.; YNAMASSU, R. Y.; TORRE NETO, A.; MOLIN, J. P.; LUCHIARI JUNIOR, A.; SIMÕES, M. S. Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - ConBAP, 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2008a. p. 22-35. 1 CD-ROM.

RABELLO, L. M.; INAMASSU, R. Y.; TORRE NETO, A.; LUCHIARI, A.; MOLIN, J. P.; SIMÕES, M. S. Soil conductivity electrical measurement system suited to an agricultural implement (subsoiler). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. **Proceedings...** Denver, 2008b.

SMITS, F. M. Measurements of sheet resistivities with the four-point probe. **Bell System Technical Journal**, v. 37, p. 711-718, 1958.

VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

Armazenamento e recuperação de dados georreferenciados de condutividade elétrica do solo na Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa**

Eduardo Antonio Speranza^{1*}, Leonardo Ribeiro Queiros¹,
Ladislau Marcelino Rabello^{2*}, Célia Regina Grego^{3*}, Ziany Neiva Brandão^{4*}

¹ Analista de Sistemas, Embrapa Informática Agropecuária, Av. André Toselo, 209, Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil

² Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, Campinas, SP, Brasil

⁴ Analista, Sensoriamento Remoto, Embrapa Algodão, Rua Oswaldo Cruz, 1143, Centenário, Campina Grande, PB, Brasil

*e-mail: speranza@cnptia.embrapa.br; rabello@cnpdia.embrapa.br; crgrego@cnpm.embrapa.br; ziany@cnpa.embrapa.br

**Financiado pela Embrapa dentro do MP1 - Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa

Resumo: Este trabalho descreve a implantação de uma ferramenta para armazenamento em uma base de dados espacial de informações georreferenciadas de condutividade elétrica do solo obtidas em campo. A partir dos dados coletados, mapas são gerados para suporte à tomada de decisão em agricultura de precisão. Este trabalho utilizou coletas de dados realizadas em uma área de plantio de cana-de-açúcar em Mogi Mirim, SP, no âmbito do projeto da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa (Rede AP).

Palavras-chave: condutividade elétrica do solo, base de dados geoespacial, georreferenciamento, agricultura de precisão.

Storage and recovery of georeferenced electrical soil conductivity data in Precision Farming Network of Embrapa

Abstract: This work describes the implementation of a tool for storing in a geospatial database information from georeferenced soil electrical conductivity obtained in the field. From the data collected, maps are generated to support decision making in precision farming. This study used data collection conducted in a planting area of sugar cane in Mogi-Mirim, SP, under the Embrapa's Precision Farming Network (AP Network).

Keywords: electrical soil conductivity, geospatial database, georeferencing, precision farming.

1. Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) pode ser definida como uma estratégia ambientalmente amigável e holística, onde os produtores rurais podem utilizar diversas entradas e métodos de cultivo para encontrar variações de solo e avaliar as condições das culturas no campo (SRINIVASAN, 2006). Pierce e Novak (1999) definem AP como aplicações de tecnologias e princípios para gerenciar variabilidades espaciais e temporais associadas com todos os aspectos da produção agrícola. O fato de a AP estar sendo definida nos últimos anos como um sistema de gestão ou gerenciamento agrícola que prescinde de muita informação, o termo “tecnologia da informação” vem sendo amplamente utilizado nessa área, visto que a AP vem se tornando um agente gerador de bases de dados de alto valor gerencial (MOLIN, 2003).

A Embrapa vem trabalhando, desde 2009 em um projeto em rede, denominado “Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa - Rede AP”, no qual já iniciou a geração de conhecimentos, ferramentas e inovações tecnológicas na área, a partir de experimentos realizados em 15 Unidades piloto, espalhadas por vários estados do Brasil. Com o grande volume dados - georreferenciados ou não - gerados pela rede, e a necessidade de armazenamento e disponibilização dos mesmos para uso futuro, foi criado um repositório de dados para atender a essas necessidades (SPERANZA; QUEIROS, 2010). Um dos pré-requisitos desse repositório é que o mesmo realize a conversão de dados georreferenciados obtidos em campo para um formato de arquivo que possa ser utilizado por vários sistemas de informações geográficas, como , por exemplo, o shapefile.

Uma das primeiras demandas desse repositório surgiu dos primeiros dados gerados pela Rede AP, através do mapeamento da Condutividade Elétrica dos Solos, ou CE baseada em Sistemas de Posicionamento Global (GPS). A CE é uma ferramenta simples que tem sido amplamente utilizada em AP para estimar a textura do solo, além de outras propriedades (LUND et al., 1999). Para obtenção dessas medidas, vários sensores de campo são utilizados, tendo sido escolhido, especificamente para a Rede AP, o sensor VERIS

Soil EC 3100 (Veris Technologies, Inc, Salina, Kansas, USA) (LUND et al., 1999), que chega a gerar informações para cerca de 500 pontos por ha, o que enfatiza a importância de um adequado armazenamento desses dados. Por outro lado, para o armazenamento e posterior disponibilização e manipulação das informações georreferenciadas coletadas em campo, os Sistemas de Informação Geográficas (SIG) vem sendo bastante utilizados, em conjunto com Sistemas Gerenciadores de Base de Dados (SGBD) com extensões espaciais. Nos últimos anos, os SIGs têm se tornado mais populares com a sua expansão para aplicações disponíveis na internet, como os WebGIS baseados em técnicas de WebMapping (MITCHELL, 2005). Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi a construção de um conversor de dados de condutividade elétrica do solo para o formato *shapefile*, a ser utilizado pelo repositório da Rede AP para visualização e download de usuários.

2. Material e métodos

As áreas utilizadas para testes se localizam nas Fazendas Aparecida, entre as cidades de Santo Antônio de Posse e Mogi Mirim, São Paulo, com coordenadas UTM 2999650;7504750 e 300050;7505250, totalizando aproximadamente 17 ha utilizados para o plantio de cana-de-açúcar, e Pamplona, em Cristalina, GO, cujas coordenadas centrais são UTM 218774,25 m E; 8210286,12 m S, totalizando 53 ha, sendo estas áreas piloto do Projeto Rede AP. A coleta de dados de condutividade elétrica das áreas foi realizada com a utilização do equipamento VERIS EC 3100 (Veris Technologies, USA). O VERIS consiste de seis discos dispostos lado a lado em um eixo e que entram em contato com o solo a uma profundidade de 7 cm. Os dois discos extremos emitem uma corrente elétrica e nos quatro discos internos é medida a diferença de potencial (MACHADO et al., 2004). As medidas foram realizadas para duas profundidades - 0 a 30 cm (p1) e 0 a 90 cm (p2) - e as coordenadas geográficas foram obtidas por meio de GPS conectado ao equipamento. Os arquivos gerados pelo equipamento durante a coleta são em formato texto e seguem um padrão específico. Cada

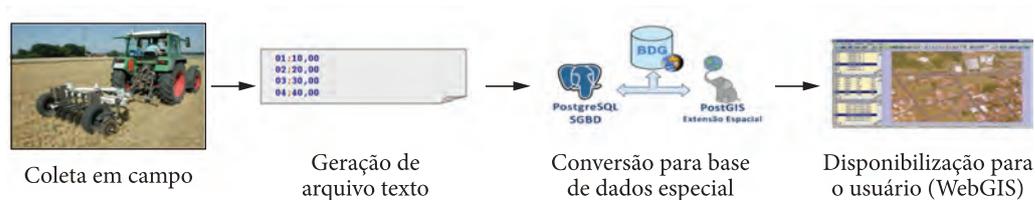


Figura 1. Coleta e disponibilização de dados de condutividade elétrica do solo.

linha do arquivo, contendo uma coleta realizada, disponibiliza a latitude, longitude e altitude do ponto coletado, além dos valores de p1 e p2, em mili Siemens por metro (mS/m).

Para construção do conversor dos dados do VERIS para o repositório da Rede AP, foram utilizadas as linguagens PHP e JavaScript. Esse conversor foi incluído como uma ferramenta do repositório de dados da Rede AP (SPERANZA; QUEIROS, 2010), baseado no servidor de mapas MapServer (Ambiente de software livre para construção de aplicativos espaciais na internet) e no software i3Geo (Aplicativo desenvolvido para o acesso e análise de dados geográficos.). O repositório da Rede AP possui funções WebGIS, e, portanto, permite a exibição dos dados coletados em forma de mapa. Os dados vetoriais do repositório da Rede AP são armazenados no SGBD PostgreSQL com extensão espacial PostGIS. Cada coleta de dados pode conter um ou mais arquivos, e por esse motivo, a interface da ferramenta permite o upload de vários arquivos ao mesmo tempo. Além disso, essa interface possibilita a informação de alguns metadados pelo usuário, como Título, Data e Créditos, constituindo uma pré-catalogação da informação. Quando o upload é realizado, a ferramenta cria um novo tema que conterá a configuração básica para a exibição dos dados em forma de mapa. Cada um dos pontos de coleta é convertido no formato "POINT" disponível no PostGIS, e armazenado em uma tabela juntamente com os dados de profundidade (p1 e p2) e de altitude. O tema criado possui algumas configurações básicas geradas automaticamente, como a classificação da p1 em cinco classes com intervalos iguais. Esse tema fica disponível na árvore de temas da unidade piloto após o upload, e os usuários do repositório poderão efetuar o download do mesmo em formato shapefile, se essa



Figura 2. Interface de upload de arquivos de condutividade elétrica do solo.

permissão foi concedida pelo autor no momento do upload. A Figura 1, abaixo, mostra a sequência de passos executados, desde a coleta de dados em campo até a exibição das informações em forma de mapa.

3. Resultados e discussão

A ferramenta para upload de arquivos está sendo avaliada e estão sendo verificadas necessidades de modificação, principalmente com relação à interface com o usuário. Testes foram realizados utilizando-se arquivos obtidos em trabalhos realizados em outras unidades piloto, e os resultados obtidos atendem a expectativa inicial da ferramenta, que é a transformação de arquivos texto obtidos em campo para um formato capaz de ser visualizado e manipulado pelo usuário em forma de mapa. A Figura 2 exhibe um exemplo da interface de upload de arquivos da ferramenta. Com relação à exibição dos dados, inicialmente os temas de condutividade elétrica do solo são criados com legenda padrão e classificação em cinco intervalos iguais referentes às medidas de p1 (0 a 30 cm). No entanto, o repositório da Rede AP



Figura 3. Visualização de dados de condutividade elétrica do solo no repositório da Rede AP.

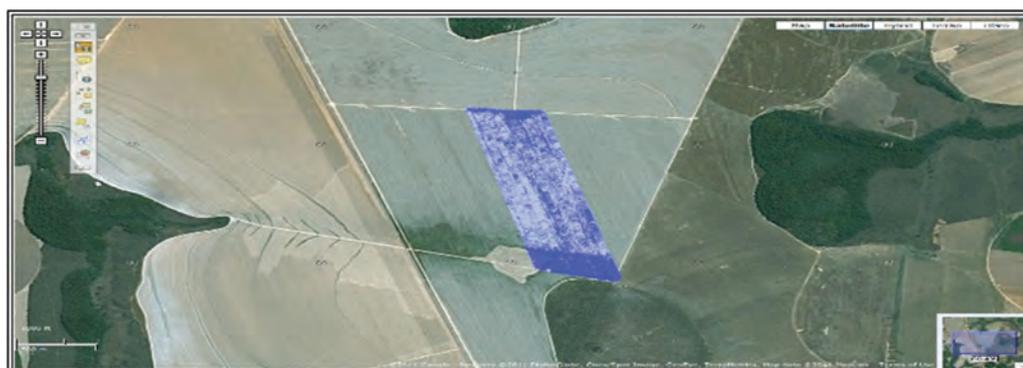


Figura 4. Condutividade elétrica do solo em Cristalina-GO.

permite ao usuário modificar essas configurações, variando os campos utilizados na classificação, bem como o método utilizado para a realização da mesma. A Figura 3 mostra um exemplo de visualização georreferenciada de dados coletados na unidade piloto de Mogi-Mirim, classificados por medidas de p2 em forma de quartis, com a visualização do *Google Maps* disponível no repositório da Rede AP.

As regiões mais claras representam uma condutividade elétrica do solo mais baixa, enquanto que as regiões mais escuras representam uma condutividade elétrica do solo mais alta, em profundidades de 0 a 90 cm. A Figura 4 ilustra os dados de condutividade elétrica do solo obtidos na Fazenda Pamplona, Goiás, onde foi realizado o plantio de Algodão. A classificação foi realizada por meio de quartis, referentes a profundidades entre 0 e 90 cm (p2), e as regiões mais escuras representam condutividade mais alta enquanto que as regiões mais claras representam condutividade mais baixa.

Por meio dessa figura, mais precisamente na região onde existe uma alta condutividade elétrica do solo, pode-se verificar uma correlação com a imagem, que pode indicar que essa região é normalmente mais úmida, ou que retém mais água.

4. Conclusões

A ferramenta construída nesse trabalho indica apenas o primeiro passo para a construção de um repositório completo de dados para a Rede AP. Outros conversores serão incluídos para dar suporte a novos sensores que serão utilizados nos experimentos do projeto.

Os metadados informados no momento do upload do arquivo (Título, Créditos, Data e Projeção), que constituem a pré-catálogoção do recurso de informação inserido no repositório, serão úteis para a sua catalogação final. Está sendo desenvolvida uma interface especial no repositório, capaz de possibilitar aos usuários realizar essa catalogação, e possibilitar a sua visualização por meio da ferramenta Geonetwork (Aplicação livre e de código

aberto para catalogação de recursos espacialmente referenciados). Com isso, poderá ser estabelecida uma política na rede onde apenas os dados com catalogação completa serão disponibilizados.

Agradecimentos

À Fazenda Aparecida, localizada em Mogi-Mirim (SP), e à Fazenda Pamplona, pertencente ao Grupo SLC Agrícola, localizada em Cristalina (GO), pela parceria e contribuição na obtenção e divulgação dos dados obtidos em suas respectivas unidades piloto.

Referências

LUND, E. D.; COLIN, P. E.; CHRISTY, D.; DRUMOND, P. E. Applying soil conductivity technology to Precision Agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison. **Proceedings...** Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1999. p. 1089-1100.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo e relação com os teores de argila de um Latossolo Vermelho sob plantio direto de grãos no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Unipress Disc Records Ltda., 2004. p. 1-10.

MITCHELL, T. **Web Mapping Illustrated**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2005.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: situação atual e perspectivas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Milho**: estratégia de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. v.1, p. 89-98.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. **Aspects of Precision Agriculture**. San Diego: Advances in Agronomy, 1999. vol. 67, p. 1-85. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)

SPERANZA, E. A.; QUEIROS, L. R. Organização de Dados Georreferenciados: Estudo de Caso - Rede de Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** SBEA, 2010.

SRINIVASAN, A. **Handbook of Precision Agriculture**. Philadelphia: Haworth Press, 2006. 683 p.

GeoFielder-Net: Sistema para scouting no campo**

Lúcio André de Castro Jorge^{1*}, André Di Thommazo^{2*}, Vinicius Valls³, Daniel Caio de Lima³, Aried de Aguiar Sá³, Pedro Pavan³, Ricardo Y. Inamasu^{4*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

² Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rod. Washington Luís, Km 235 AT-6, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

⁴ Bolsista, Embrapa, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: lucio@cnpdia.embrapa.br; andredt@gmail.com; ricardo@cnpdia.embrapa.br

**Financiamento Rede Agricultura de Precisão Embrapa e Projeto CNPq nº 578627/2008-6

Resumo: Este trabalho apresenta o software gratuito desenvolvido para levantamento georeferenciado no campo, denominado GEOFIELDER-Net, GeoFielder versão para Netbooks. Este sistema está sendo utilizado no projeto Rede de Agricultura de Precisão coordenada pela Embrapa e será integrado nas ferramentas de análise de inspeção nas estações experimentais do projeto. Também deverá ser distribuído gratuitamente. Neste artigo, apresenta-se as principais funcionalidades e ferramentas testadas na unidade piloto produtora de citros de São Paulo.

Palavras-chave: inspeção, agricultura de precisão.

GeoFielder-Net: A system for scouting field

Abstract: This paper presents the free software designed to scouting georeferenced datas in the field, GEOFIELDER-Net, the GeoFielder version for Netbooks. This system is being developed and used by Precision Agriculture Network coordinated by Embrapa and will be integrated as tools of analysis of inspections in the experimental areas. It should also be freely distributed. In this article, we present the main features and tools tested in the pilot plant of citrus production in São Paulo.

Keywords: scouting, precision agriculture.

1. Introdução

Avanços tecnológicos mostram que é possível alocar insumos com base nas necessidades de cada unidade do campo. Este é um método de administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura, para adequar as diferentes condições encontradas em cada parte da lavoura, tendo em vista, a não uniformidade intrínseca dos solos. Neste caso, o manejo é feito por unidades (centímetros ou metros), observando a variabilidade espacial. Essa técnica tem sido denominada de Agricultura de Precisão. (MORAN; INOUE; BARNES, 1997; MOLIN, 1997).

O desenvolvimento de softwares para computadores de mão utilizados na aquisição de dados e também no controle de sistemas, por serem uma plataforma com considerável capacidade computacional, portátil e de baixo custo, atualmente são muito estudados.

A proposta deste projeto foi a construção de uma plataforma computacional para captura e gerenciamento de informações georeferenciadas em propriedades rurais. No sistema é possível realizar o planejamento de missões em campo para captura de informações georeferenciadas como talhões, imagens, dados



de questionários personalizados ou anotações. Após essas informações terem sido capturadas elas são recuperadas e descarregadas em um software gerenciador. Com essas informações é possível a geração de mapas no formato *shapefile* e relatórios. Por fim, os mapas gerados podem ser disponibilizados na Internet.

2. Material e métodos

O sistema foi implementado na linguagem C#, com o ambiente de desenvolvimento Visual Studio 2010. Essa plataforma permite desenvolvimento de interface com boa usabilidade, atendendo assim o público para o qual está sendo desenvolvido. Além disso, existem várias bibliotecas prontas que auxiliam no projeto, principalmente com relação à construção de interfaces visuais. Explorou-se também geração de relatórios com uso do Crystal Reports. Para a persistência dos dados foi utilizado o banco de dados PostgreSQL no Gerenciador e banco de dados SQLite no coletor de dados (NetBook). Dessa forma é possível que vários inspetores realizem missão em campo coletando dados e que todas as informações sejam centralizadas em um banco de dados único, após sincronização das informações.

A Figura 1 ilustra o funcionamento do sistema GeoFielder, destacando as funcionalidades e locais onde são executadas.

Como pode ser observado na Figura 1, o sistema tem dois módulos. O módulo Gerenciador é

utilizado no escritório da fazenda, onde são planejadas as missões em campo, definidos os questionários que serão aplicados assim como os operadores e talhões envolvidos nas missões. Uma vez que a missão é planejada, ela deve ser exportada para o módulo Coletor onde os operadores buscam em campo as informações solicitadas, através da resposta às perguntas do questionário, captura de imagens ou observações. Depois que as informações são coletadas elas devem voltar ao módulo Gerenciador, onde são produzidos mapas e relatórios a partir dos dados coletados.

É importante observar que os dados que serão buscados em campo podem ser personalizados de acordo com a necessidade do usuário. Os questionários de inspeção, por exemplo, permitem que sejam inseridas questões objetivas (com resposta única), subjetivas (para registro de observações dos operadores em campo), questões de múltiplas escolhas ou questões numéricas. Na Figura 2 apresenta-se a tela onde um questionário é criado. Ressalta-se ainda que podem ser inseridas dependências entre as perguntas, de forma a facilitar a execução da tarefa de coleta de dados em campo.

Na Figura 3 pode ser observado um exemplo de execução de missão no campo. A interface permite que a qualquer momento o usuário possa responder o questionário de inspeção ou fazer a captura de uma foto. É possível visualizar posicionamento do operador no talhão com a indicação dos pontos

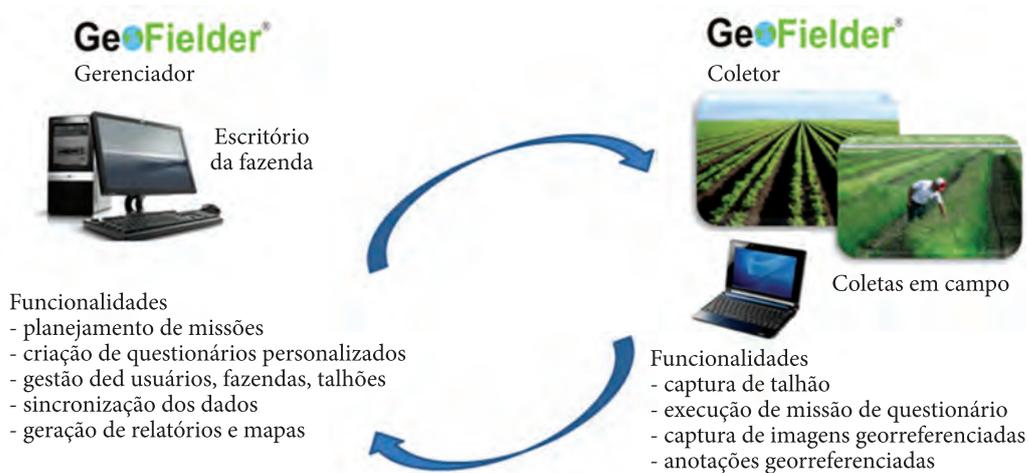


Figura 1. Arquitetura do sistema GeoFielder.



Figura 2. Exemplo de interface para criação de questionários de inspeção.

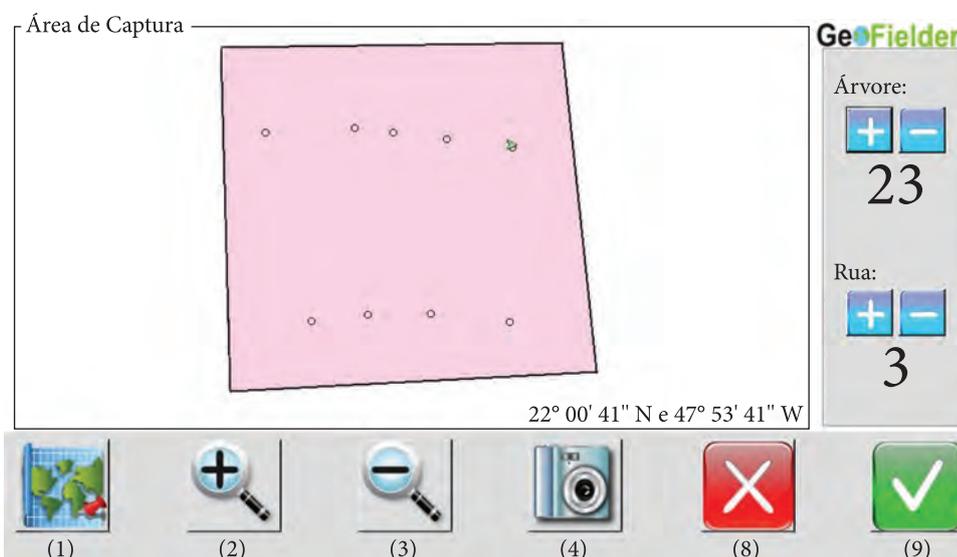


Figura 3. Exemplo de interface durante a execução de missão.

que já foram capturados, podendo ainda indicar a posição de árvore e rua, nos casos de culturas que trabalhem com esse tipo de registro.

3. Resultados e discussão

O sistema GeoFielder dá suporte a coleta de dados no campo e está em fase final de validação em campo. Estão sendo realizados testes em um estudo de caso com o processo de inspeção de citros junto a uma fazenda do Grupo Fischer, verificando todas as limitações de usabilidade e dificuldades de operação em campo.

Foi adotado o NetBook como plataforma de uso no campo, no entanto, para que esta se viabilize, alguns ajustes estão sendo feitos, como por exemplo o uso de um suporte para levar em campo o sistema de tal forma que não fique complicado segurar e ao mesmo tempo caminhar, baterias reserva que são também gargalos na operação, iluminação da tela, pois a claridade presente no ambiente pode dificultar a visualização na tela. Neste último, foi adotado uma interface com botões grandes, bem contrastantes para que seja fácil a operação no campo. A utilização e aplicação do sistema GeoFielder nos processos de inspeção praticados pelo Grupo Fischer está dando

subsídios para as propostas de melhoria do sistema, pois as características dos talhões, o número de plantas, a forma de navegar para minimizar tempo no campo, bem como as condições de uso em plataforma de inspeção tem apontado os gargalos no uso e a busca de soluções. Essas melhorias já deverão estar implementadas na primeira versão do sistema. Outras funcionalidades estão sendo desenvolvidas, como a visualização dos dados e geração de uma interface utilizando a ferramenta I3Geo, hoje utilizada pelos órgãos do governo para divulgação de dados e mapeamentos.

Todas as simulações realizadas em campo foram conduzidas de forma individual, devido à limitação de equipamentos. Dessa forma, a avaliação dos impactos causados pelo uso da tecnologia móvel no desempenho dos Inspetores de Campo em suas atividades, teve caráter amostral. Observou-se que a uso da tecnologia móvel em substituição ao processo manual de inspeção, resultou em maior tempo de execução na coleta de informações em campo, algo que pode ser minimizado à medida que o usuário for devidamente treinado e se familiarizar com a tecnologia. Por outro lado, a precisão e integridade da informação foram mais satisfatórias com a utilização da tecnologia móvel. Além dessa qualidade da informação, gasta-se um menor tempo para consolidar as informações de diversos inspetores em um banco de dados único e confiável, favorecendo a velocidade na tomada de decisão.

4. Conclusões

O GeoFielder-Net, a versão do GeoFielder para Netbooks está praticamente pronta, podendo ser utilizada no projeto em rede de Agricultura de Precisão a partir da próxima safra monitorada. Deverão ser realizadas futuramente o desenvolvimento de novas ferramentas e também a geração da versão para outros dispositivos móveis, como celulares e tablets, utilizando-se o Android.

Apesar de o software apresentar uma boa interface, ainda nota-se que as limitações se encontram na operação em campo, como condições de poeira, luminosidade, peso do equipamento, dentre outros. Estes pontos estão em análise e deverão ser tratados ao longo do projeto.

No exemplo de operação da Fischer, onde cada talhão de citros possui perto de 10 mil plantas, foi necessário repensar a forma de varrer as linhas e ruas para que se aperfeiçoasse o tempo de captura de dados. Deve-se aproveitar o percurso do operador ou do veículo de inspeção para fazer a inspeção dos dois lados, ou seja, duas linhas, e voltar do lado oposto ao que foi iniciada a missão. Este simples processo de varredura e coleta, sendo que a coleta de cada linha deveria ser realizada por um equipamento distinto, que depois sincronizariam as missões e teria o mapeamento completo, fez com que o projeto sofresse alterações. Ou seja, vários pontos levantados durante a operação têm servido como validação de itens não levantados durante a fase de levantamento de requisitos. Além disso, deve variar de cultura para cultura e de fazenda para fazenda. O que se pretende ao final do projeto é ter um sistema em plena condições de operação em diferentes propriedades.

Agradecimentos

Agradecemos à Fischer pelo apoio no campo e fornecimento de suporte para realização de testes e validação, ao CNPq pelo financiamento pelo projeto Geotecnologias CNPq nº 578627/2008-6.

Referências

- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.
- MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing Environment*, v. 61, p. 319-346, 1997.

A oportunidade de manejo por sítio-específico indicada na variação espacial da condutividade elétrica aparente do solo

Ronaldo P. de Oliveira^{1*}, Alberto C. de Campos Bernardi²,
Ladislau Marcelino Rabello³

¹ Engenheiro Eletrônico, Doutor em Agricultura de Precisão, Embrapa Solos Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Pecuária Sudeste São Carlos, SP, Brasil

³ Engenheiro Eletrônico, Doutorando em Engenharia, Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: ronaldo@cnpq.embrapa.br

Resumo: O monitoramento intensivo da condutividade elétrica aparente do solo é uma técnica eficaz que, indiretamente, pode auxiliar no entendimento da variação espacial de algumas propriedades do solo. Considerando a caracterização quantitativa da variabilidade do solo como ferramenta de suporte ao processo de adoção da agricultura de precisão, este trabalho foi realizado em áreas experimentais no município de Ribeirão Preto, SP, utilizando dados de sensores da condutividade elétrica aparente do solo por contato. O objetivo foi o de validar um modelo para a quantificação semiautomática da variabilidade espacial do solo, de forma a gerar um índice de oportunidade para a adoção da tecnologia. Os resultados do índice de variabilidade espacial mostraram coerência com valores típicos previamente observados para dados oriundos de sensores da condutividade elétrica aparente do solo por indução eletromagnética. Valores finais do índice mostraram boa correlação com valores individuais de seus componentes de magnitude da variação e de estrutura espacial da variação, que podem ser computados para dados de topografia e da variação espacial da condutividade do solo observada em duas profundidades. O modelo utilizado mostrou ser robusto, apresentando consistência de resultados e flexibilidade de aplicação. Com base no conhecimento agrônomo de campo foi possível sugerir que os índices acima de médias históricas correspondem ao potencial de adoção existente nos talhões.

Palavras-chave: variabilidade espacial, índice de oportunidade, condutividade elétrica aparente do solo, manejo de culturas, sítio-específico.

The opportunity for Site-Specific Management related to spatial variation of soil apparent electrical conductivity

Abstract: High resolution sensing of apparent soil electrical conductivity (EC_a) is an efficient, precision agriculture (PA) technology that may indirectly indicate the degree and the distribution of variation for some soil properties. Suggesting that quantitative characterization of spatial soil variation may support the PA adoption process; this work used a coulter-based sensor data from experimental fields in Ribeirão Preto, SP. The aim was to apply a semi-automatic quantitative model in order to compute an opportunity index (S_i) for the adoption of PA technology. Results for S_i computations have fit within typical ranges as for data gathered by electromagnetic-induction (EMI). Final S_i values have shown correlation with values of its individual components, the magnitude of variation and the spatial structure of variation, which can be determined for the relative topography and the spatial distribution of soil conductivity variation at two depths. Supported by field agronomic knowledge it was suggested that indices above historical averages could show the actual potential of fields for the adoption of PA.

Keywords: spatial variability, opportunity index, apparent soil electrical conductivity, crop



management, site-specific.

1. Introdução

A caracterização da variabilidade espacial é um fator básico no processo de adoção da Agricultura de Precisão (AP). Entretanto, a disponibilidade de ferramentas de suporte a decisão efetivas e acessíveis é um dos principais entraves na adoção da AP (McBRATNEY et al., 2005). Condições básicas para a adoção da tecnologia de Manejo de Culturas por Sítio-Específico (MCSE) foram definidas em árvores de decisão (WHELAN; McBRATNEY, 2000), as quais requisitam a determinação de limiares para facilitar a interpretação da estrutura espacial da variação de fatores determinantes da produção. Métodos preliminares para determinar um índice de oportunidade de adoção da AP foram introduzidos em Pringle et al. (2003). Esta modelagem é parametrizada por análise variográfica e características operacionais dos equipamentos. Valores típicos deste índice já foram determinados para diversas culturas, principalmente nas indústrias de grãos e vitivinicultura, utilizando sensores de produção, condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) por indução eletromagnética (IEM) e imagens aéreas multiespectrais. Outra tecnologia para o monitoramento da CE_a é o uso de sensores por contato, capaz de promover uma caracterização eficaz, relativamente acessível e pouco invasiva. Apesar de este sensor gerar uma informação qualitativamente similar aos dados observados por IEM, estudos comparativos sugerem que os sensores por contato podem apresentar leituras quantitativamente diferentes (SUDDUTH et al., 2003). Estas evidências justificam a aplicação de índices com dados de sensores por contato. Os objetivos específicos do trabalho foram o de validar o modelo proposto em Oliveira (2009), determinando um índice de oportunidade indicado pela variabilidade espacial do solo (S_s), bem como o de validar o uso do modelo com a entrada de dados gerados por sensores de CE_a por contato.

2. Material e métodos

Este estudo foi realizado para dois talhões, 26 (9 ha) e 49 (5,5 ha), na área da dinâmica do Agrishow, município de Ribeirão Preto, SP, utilizando dados de sensores de CEa por contato, Veris 3100 (Veris Technologies[®]) nas profundidades de 30 e 90 cm. Informações detalhadas sobre as principais características das diferentes implementações físicas e das características de operação deste sensor podem ser encontradas em Rabello et al. (2008). O princípio de funcionamento baseia-se tradicionalmente na utilização dos discos de corte do sistema subsolador como eletrodos de contato elétrico com o solo para a medida de CEa, sendo as observações armazenadas com sua correspondente posição georreferenciada em um coletor de dados de fabricação da Veris Technology. Para fins da modelagem do índice de oportunidade Si, os dados originais do sensor foram transformados em suas projeções cartográficas e formatos de arquivos nas etapas de análise exploratória, variografia, interpolação por krigagem, geoprocessamento; segundo o protocolo descrito em Taylor, McBratney e Whelan (2007) no estabelecimento de zonas de manejo para tratamento diferenciado. O pacote estatístico JMP[®] foi utilizado para análise exploratória e formatação dos dados na determinação dos valores de Si. O modelo ainda utiliza classes de objetos desenvolvidas em Java[™] 2 e parâmetros da variografia extraídos do pacote geoestatístico Vesper (WHELAN; McBRATNEY; MINASNY, 2001). O modelo proposto em Oliveira (2009) considera dois componentes principais, sendo a magnitude da variação (MV) e a estrutura espacial da variação (SV). A determinação da magnitude considera inicialmente a covariância média, para todo o talhão, subtraída pelo efeito pepita indicado no variograma de melhor ajuste, para um posterior cálculo do coeficiente de variação por unidade de área que é finalmente normatizado pela média dos valores obtidos em todas as observações. O componente da estrutura espacial considera a maior distância de autocorrelação da variável e um comprimento operacional estabelecido segundo as dimensões e a velocidade de reação dos

equipamentos para aplicação de taxas variadas. Em resumo, o índice de oportunidade como função da variabilidade espacial do solo (S_i) é dado pela Equação 1:

$$S_i = \sqrt{M_v \cdot S_v} = \sqrt{\frac{CV_A}{q_{so}(CV_A)} \times \frac{C_D}{OL}} \quad (1)$$

em que: M_v - magnitude da variação; S_v - estrutura espacial da variação; CV_A - coeficiente da variação espacial; C_D - maior distância de autocorrelação; e O_L - comprimento operacional.

Para visualização da distribuição espacial da variação da magnitude de valores de CE_a , as malhas de pontos monitorados, 4.944 observações para o talhão 26 e 1.955 para o talhão 49, foram interpoladas por krigagem no Vesper (WHELAN; McBRATNEY; MINASNY, 2001). Para melhor visualização e crítica dos mapas de CE_a nas diferentes profundidades e talhões, os diferentes intervalos foram normatizados por uma legenda padrão com 13 classes de valores determinados manualmente segundo a análise dos histogramas de distribuição dos valores de CE_a .

3. Resultados e discussão

Os valores de S_i dos dois talhões e profundidades correlacionaram com valores típicos de CE_a por indução magnética (Tabela 1), mostrando uma flexibilidade de aplicação do modelo em dados de diferentes sensores. Outro aspecto na resposta

do índice de CE_a por contato foi a manutenção das correlações parciais entre o valor final do índice e de seus componentes (Tabela 2). Estas contribuições, menor para a magnitude e maior para a estrutura espacial, refletem a natureza de variação dos solos que tende a ser pouco abrupta em seus aspectos estruturais com menores variações de magnitude em maiores distâncias.

Em relação ao mapeamento de CE_a dos talhões e sua interpretação em relação aos valores resultantes de S_i , as estruturas espaciais da variação nos dois talhões mostraram boa correlação com as respectivas topografias e com os valores finais do índice e de seus componentes. No talhão 26 (Figura 1), um acréscimo na dispersão na estrutura espacial e uma elevada variação na magnitude dos valores de CE_a em profundidade justificam uma maior redução do índice (de 6,2 para 3,7), uma vez que incrementam o aspecto aleatório da variação espacial e reduzem a oportunidade de otimizar a resposta dos equipamentos de aplicação por taxas variadas.

O talhão 49 (Figura 2) observa-se a continuidade de uma variação espacial bem estruturada ao longo do perfil do solo. Um menor intervalo de variação nos valores de CE_a reflete uma redução do índice em profundidade (de 5,8 para 4,1). Outro fato a ser destacado na análise variográfica dos dois talhões, é a estabilidade de resposta do modelo, mesmo nos casos que sugerem uma não-estacionariedade na variação dos valores de CE_a , como pode ser

Tabela 1. Análise da distribuição dos valores do índice de oportunidade utilizando dados oriundos de diferentes sensores utilizados em AP.

Índice de oportunidade	Mínimo	Médio	Máximo
Sensor de produção (Y_i)	1,6	5,2	17,3
Imagem aérea (I_i)	2,6	7,7	18,1
CE_a por indução (S_{i_EMI})	2,0	3,7	9,0
CE_a por contato (S_{i_Veris})	3,6	3,6	6,2

Tabela 2. Correlações entre valores finais dos índices de oportunidade para diferentes sensores e seus componentes de magnitude e da estrutura espacial da variação.

Índice de Oportunidade	$r(M_i)$	$r(S_i)$
Sensor de produção (Y_i)	0,82	0,85
Imagem aérea (I_i)	0,82	0,71
CE_a por indução (S_{i_EMI})	0,83	0,94
CE_a por contato (S_{i_Veris})	0,86	0,96

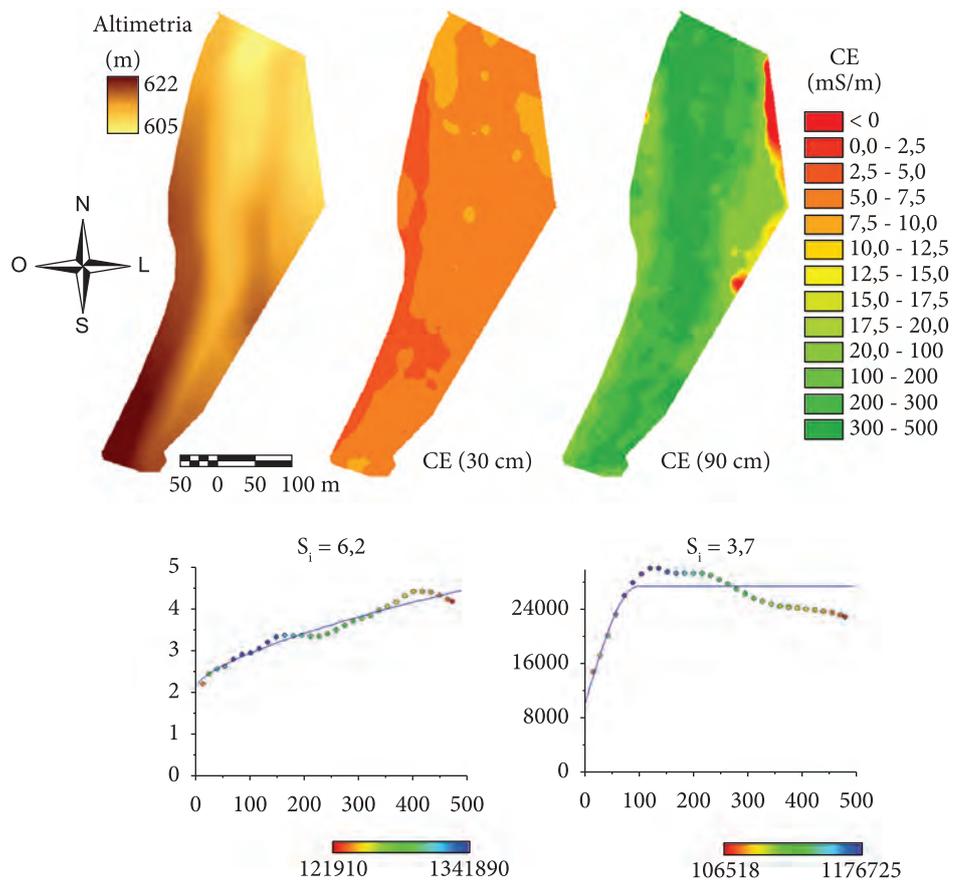


Figura 1. Mapas interpolados por krigagem de altimetria, $CE_{a\ 30\ cm}$ e $CE_{a\ 90\ cm}$ do talhão 26 com os respectivos variogramas e índices de oportunidade (S_i).

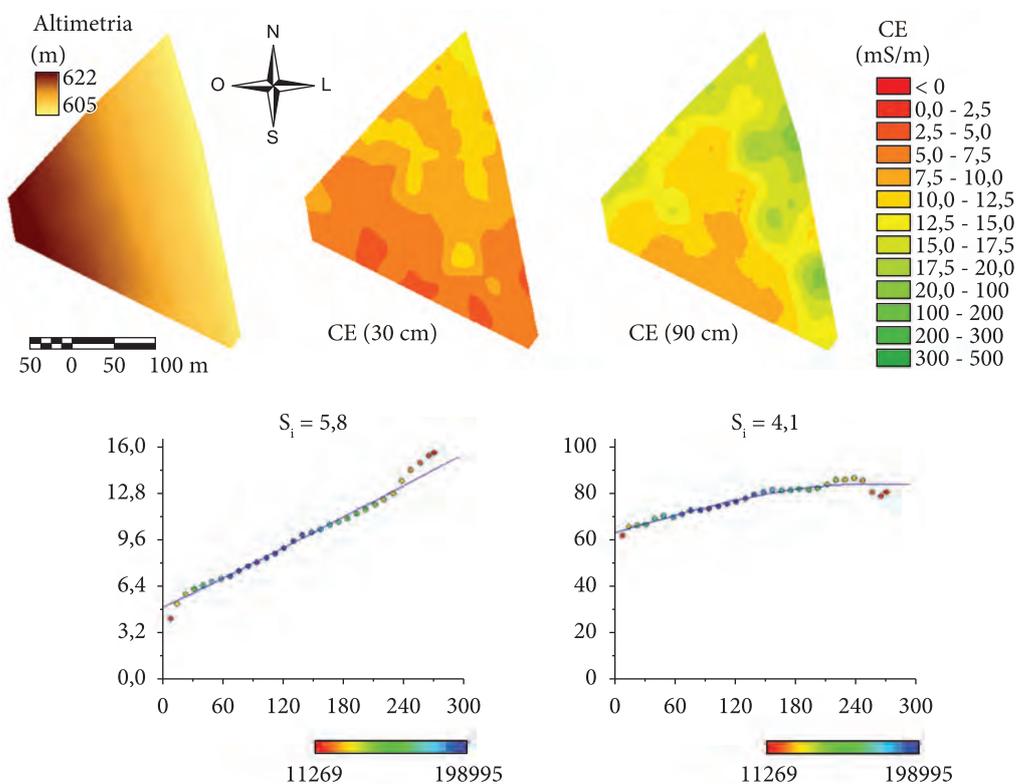


Figura 2. Mapas de altimetria, $CEa_{30\ cm}$ e $CEa_{90\ cm}$ do talhão 49, interpolados por krigagem, para fins da análise dos respectivos variogramas e dos índices de oportunidade (S_i) resultantes.

observado nos variogramas para a profundidade de 30 cm (Figuras 1 e 2).

4. Conclusões

O monitoramento de CE_a por sensores de alta resolução espacial pode prover informações importantes no suporte a decisão de adoção das técnicas de AP. A quantificação da variabilidade do solo através de um índice de oportunidade respondeu adequadamente as características conhecidas do sistema produtivo e correspondeu a interpretação dos mapas interpolados de CE_a nas duas profundidades monitoradas. O conhecimento agrônomo do sistema produtivo sugere que os índices computados refletem uma potencial oportunidade na adoção do manejo diferenciado por sítio específico. Os resultados obtidos validam o uso dos sensores de CE_a por contato para fins da determinação do índice de oportunidade, possibilitando a escolha de diferentes sensores de CE_a (indução ou contato) conforme particularidades do sistema produtivo e o contexto de análise dos dados.

Agradecimentos

Agradecemos a Rede AP o apoio, financiamento e oportunidade de validação e difusão do índice de variabilidade espacial; que pode ser de grande uso em culturas anuais e perenes.

Referências

McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 1-17, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>

OLIVEIRA, R. P. **Contributions towards decision support for site-specific crop management**: a study of aspects influencing the development of knowledge-intensive differential management decisions. Australian Centre of Precision Agriculture, Universidade de Sydney, 2009. 318 p.

PRINGLE, M. J.; McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; TAYLOR, J. A. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using a yield monitor. **Agricultural Systems**, v. 76, p. 273-292, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00005-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00005-7)

RABELLO, L. M.; INAMASSU, R. Y.; TORRE NETO, A.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; MOLIN, J. P. Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador). **Circular Técnica / Embrapa Instrumentação Agropecuária**, n. 46, p. 4, 2008.

SUDDUTH, K. A., KITCHEN, N. R.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; WIEBOLD, W. J. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 472-482, 2003. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.0472>

TAYLOR, J. A., McBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. Establishing management classes for broadacre grain production. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1366-1376, 2007. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0070>

WHELAN, B. M.; McBRATNEY A. B. The null hypothesis of precision agriculture management. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 265-279, 2000. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011838806489>

WHELAN, B. M., McBRATNEY, A. B., MINASNY, B. Vesper - Spatial Prediction Software for Precision Agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 3., 2001, Montpellier, France. **Proceedings...** Montpellier, 2001. p. 139-144.

Zonas de Manejo: teoria e prática

Ariovaldo Luchiari Junior^{1*}, Emerson Borghi², Junior Cesar Avanzi³, Alexandre Ayres de Freitas⁴, Leandro Bortolon¹, Elisandra Solange Oliveira Bortolon⁵, Marta Eichenberger Ummus⁶, Ricardo Y. Inamasu⁷

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agricultura, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

³ Engenheiro Agrícola, Doutor em Ciência do Solo, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

⁴ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

⁵ Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

⁶ Geógrafa, Mestre em Sensoriamento Remoto, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

⁷ Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: ariovaldo.luchiari@embrapa.br

Resumo: Os recentes desenvolvimentos e adoção dos conceitos para práticas de zonas de manejo em sítios específicos ou agricultura de precisão têm implicado em mudanças estruturais nos processos de geração e de tomada de decisão, quanto ao uso das tecnologias agrícolas, geoespaciais e das informações para fins agrícolas. Esse avanço ou inovação tecnológica pode ter incluído em sua concepção o uso mais racional de insumos, a possibilidade de preservar e rastrear a qualidade dos produtos agrícolas mostrando possibilidades reais de ganhos econômicos e benefícios ambientais. O objetivo deste trabalho foi abordar aspectos teóricos sobre o uso de zonas de manejo na agricultura de precisão como forma de aumentar a eficiência de recursos naturais e orientar o desenvolvimento de práticas de manejo mitigadoras de possíveis riscos ambientais. Uma abordagem prática também foi feita, demonstrando a aplicação do conceito de zonas de manejo em área de produção de milho na região do *Corn Belt*.

Palavras-chave: eficiência de uso de recursos naturais, manejo de nutrientes, potencial de produtividade, risco ambiental, sítio específico.

Management zone: theory and applied knowledge

Abstract: recent developments and concepts adoptions of site-specific management zones or precision agriculture have been implied in structural challenges into generation processes of the decision support due geospatial agricultural information technologies. This advance or technology innovation might be include in its conception the rational use of natural resources, the possibility to preserve agricultural products quality showing real possibilities to achieve economic and environmental benefits. The aim of this presentation was to review some aspects regarding to site specific management zone in precision agriculture to improve natural resources efficiency use and to development of management practices to mitigate environmental risks from agriculture. A practical review was also reported showing the application of site specific management zone concept in a corn production system in Corn Belt region.

Keywords: natural resources efficiency use, nutrient management, potential yield, environmental risks, site specific management.

1. Aspectos teóricos relativos a zonas de manejo

A prática da agricultura de precisão foi primeiramente iniciada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentado unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Como este era um procedimento que teve muitos resultados de sucesso quando usado em parcelas experimentais, avaliou-se que o mesmo seria muito promissor também quando utilizado em grandes áreas. Acreditava-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos de um campo cultivado. Uma malha de 1 ha por amostra foi definido para a maioria das aplicações e a partir dessas amostragens os mapas de fertilidade e de recomendações eram construídos. Entretanto a maioria dos agricultores ficou desapontada, porque a variabilidade nos rendimentos de seus campos de produção não desapareceu (SCHEPERS et al., 2000a). Estudos geoestatísticos a esse respeito mostraram que os mapas resultantes apresentavam distorções mais devidas ao local de coleta da amostra (centro ou intersecção da malha) e ao tamanho da malha de amostragem (SCHEPERS et al., 2000b) do que devido ao método de interpolação empregado, kriging ou potência do inverso da distância (VARVEL et al., 1999).

Adicionalmente, outro problema que emergiu foi referente aos custos envolvidos nos esquemas das amostragens e das análises de solo e que começou a ser questionado pelos agricultores, quanto à sua viabilidade prática e econômica. Destes questionamentos novas direções começaram a ser buscadas. Varvel et al. (1999) mostraram que a imagem aérea de um solo descoberto apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo um grande número de produtores e provedores de serviço começaram a considerar o uso de imagem aérea para orientar os locais de amostragens e diminuir custos de coletas e

análises (SCHEPERS et al., 1999; WAGNER, 1999). Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo (DOERGE, 1999; FLEMING; WESTFALL; WIENS, 1999) mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas. Luchiari Junior et al. (2000), conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Estes últimos autores utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo. Shanahan et al. (2000) usaram procedimento similar para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Luchiari Junior et al. (2002) aplicaram o conceito de zonas homogêneas de manejo em solos tropicais de cerrados, cultivados com culturas anuais em plantio direto.

O uso de nutrientes dentro do conceito de zonas de manejo deve focar vários aspectos. A demanda por nutrientes pelas culturas depende de vários fatores, dentre eles, da cultura e suas variedades, o potencial de rendimento e qualidade dos grãos, da distribuição de chuvas e do potencial produtivo do solo. Os principais atributos do solo que determinam seu potencial produtivo são aqueles responsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes. Dentre eles estão, a textura, estrutura, agregação e sua estabilidade, relação macro e microporosidade, grau de compactação do solo e densidade. Os atributos físicos do solo muitas vezes são utilizados de forma reduzida na definição de zonas de manejo. Alguns atributos, como a densidade do solo poderia ser incorporada no plano de manejo, pois impedimentos físicos para o crescimento radicular, mesmo em áreas onde a fertilidade química é alta, fazem com que o potencial produtivo do solo seja reduzido, bem com o potencial da cultura.

2. Aspectos práticos relativos às zonas de manejo

2.1. Aplicação do conceito de zonas de manejo – estudo de caso na região do “Corn Belt”

Luchiari Junior et al. (2000) e Shanahan et al. (2000) utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo em duas situações: em Nebraska, para o manejo de N e do Colorado, para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Aqui serão apresentados os procedimentos utilizados em Nebraska.

Uma foto aérea da área de estudo foi tirada na primavera de 1999, quando o solo estava descoberto. Uma câmera fotográfica equipada com um filme colorido de 35 mm (Kodak Ektachrome) foi montada numa aeronave e quando esta atingiu a altitude aproximada de 2.130 m a foto foi tirada. Antes da aquisição da imagem, cinco alvos (placas de madeira de 1,2 × 2,4 m pintadas de branco) foram colocados no centro e no experimento da área. As coordenadas geográficas destes alvos foram obtidas com um GPS diferencial e usadas para o georreferenciamento da imagem. Uma versão impressa da imagem georreferenciada foi mostrada ao produtor. A ele foi solicitado que desenhasse na imagem os contornos das áreas de baixa, média e alta produção do terreno. Este procedimento foi denominado como zonas de manejo estabelecidas pelo produtor. Em seguida, a foto foi escaneada, importada para um sistema de informação geográfica – SIG (ERDAS, Atlanta, GA), georreferenciada e processada em valores de reflectância para o azul, verde e vermelho. Os valores de reflectância foram processados e interpretados digitalmente para gerar três zonas de manejo, as quais foram denominadas zonas geradas pelo computador. Com base na interpretação destes dois procedimentos, foi estabelecido um esquema de amostragem georreferenciada para

caracterizar as propriedades químicas do solo em diferentes pontos das três zonas. Em cada ponto, uma amostra composta para a camada de 0-20 cm foi obtida. Estabeleceu-se um círculo de 20 m de diâmetro, dividido em 4 partes, nas quais foram coletadas cinco amostras na profundidade de 0-20 cm. Um total de 48 pontos foram amostrados e analisados quanto aos seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, nitrato e fósforo.

A condutividade elétrica do solo (0-90 cm) foi mapeada usando-se um sensor de indução magnética do solo (EM 38, Geonics Ltd, Ontário, Canadá), conectado a um DGPS, montado numa pequena carreta não metálica a 36 cm da superfície do solo, movendo-se a 6,0 km.h⁻¹ em faixas contínuas espaçadas em 20 m de intervalo. As medidas georreferenciadas de condutividade elétrica do solo e de elevação do terreno foram coletadas em intervalos de um segundo. Mapas de colheita ou produtividades foram obtidos em 1997, 1998, 1999 e 2001, com uma colhedora de 12 linhas (John Deere 9600), equipada com o monitor de colheita (Green Star). Dados da produtividade, umidade dos grãos e coordenadas geográficas foram registrados a cada segundo. Os dados de produtividade foram processados e mapeados com o programa Farm HMS (Red Hen System, Fort Collins, CO). Os mapas de condutividade elétrica, altitude do terreno, reflectância do solo e produtividade de grãos foram obtidos usando-se o método de interpolação do inverso do quadrado da distância com malhas de 15 m. Análise de correlação simples foi usada para determinar a associação da produtividade com vários atributos do terreno. O método de regressão múltipla usando-se o “*stepwise*” para seleção de variáveis foi usado para determinar a importância dos atributos do terreno nos índices de produtividade. A área estudada exibiu uma variabilidade considerável na cor do solo e na topografia (Figura 1a). As áreas mais escuras (menos reflectivas) são solos com maiores teores de matéria orgânica que estão localizados nas partes mais baixas do terreno, enquanto as áreas mais claras são solos com menores teores de matéria orgânica, dissecados pela erosão e localizados nas partes mais elevadas do terreno. Na Tabela 1 são mostrados

os valores dos principais indicadores de solo associados à produtividade potencial. É possível ver claramente que a amostragem direcionada possibilitou caracterizar distintamente as zonas de manejo. Solos mais escuros, localizados na parte mais baixa do terreno, apresentaram um maior grau de fertilidade do que os solos mais claros localizados nas partes altas do terreno. Os altos teores de nitrato e de fósforo nas baixadas foram devidos ao acúmulo destes elementos provenientes das partes mais altas, transportados por processos de erosão e lixiviação. Os níveis de nitrato estavam acima dos requerimentos da cultura e já apresentavam risco de contaminação da água subterrânea. Ficou então evidenciada a necessidade de se intervir no manejo deste elemento.

O Mapa de condutividade elétrica do solo (CE) (Figura 1b) revelou padrões similares aos mapas de reflectância e de zonas de manejo (Figura 1a,c). Valores menores de CE foram encontrados nos solos escuros das baixadas, enquanto que valores maiores foram encontrados nas partes mais elevadas do terreno, onde os processos erosivos têm sido mais severos. Como o subsolo das áreas erodidas continha calcário, houve uma influência direta nos valores de CE e pH, resultando nos altos valores mostrados na Tabela 1. Na Tabela 2 são mostrados os efeitos do tempo das propriedades do solo na produtividade do milho. A análise de regressão múltipla mostrou que, em média, os atributos altitude, cor do solo, inclinação e CE explicaram aproximadamente 60% da variabilidade

Tabela 1. Propriedades químicas* dos solos das três zonas de manejo.

Zona	N	CE _{1:1} (ds m ⁻¹)	pH	MO (%)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P
					kg ha ⁻¹		
Azul	18	0,42	7,37	0,94	7,7	6,0	13,2
Púrpura	19	0,28	6,48	1,31	10,2	8,3	27,5
Cyan	10	0,24	6,17	1,68	17,0	2,9	68,9

*CE: Condutividade elétrica do extrato solo/água (relação 1:1); MO: matéria orgânica.

Tabela 2. Associação entre a variação espacial das propriedades do terreno e variação na produtividade de grão determinada pela análise de regressão.

Variável	Anos					Média
	1997	1998	1999	2000	2001	
Cor do Solo	<0,0001	<0,0001	0,0975	0,0995	<0,0001	<0,0001
Altitude	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CE	0,0057	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0120
Inclinação	0,2162	<0,0001	0,0255	0,0019	<0,0001	0,1960
Múltiplo R ²	0,7110	0,4600	0,0940	0,0911	0,4117	0,6010

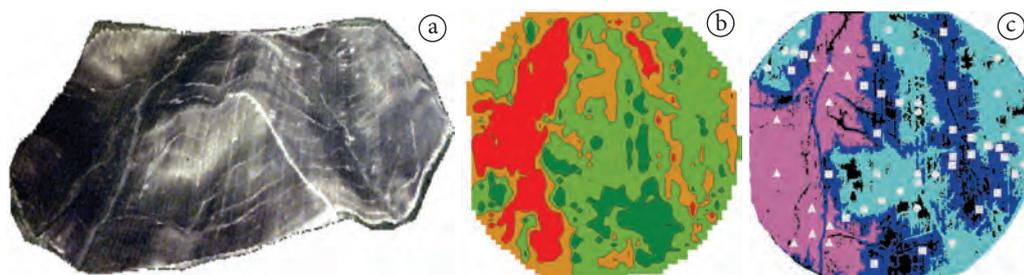


Figura 1. Foto aérea de solo descoberto (a); mapa de condutividade elétrica do solo (b) e; mapa de zonas homogêneas de manejo (c).

da produtividade da cultura. Além disso, os efeitos desses atributos foram variáveis ao longo do tempo. Analisando a estabilidade temporal das produtividades relativas de cada zona de manejo ficou evidenciado que em 80% os padrões eram consistentes, ou seja, zonas de alta produtividade apresentavam baixa produtividade um ano em cada cinco. Tais fatos evidenciaram a importância de se considerar a variabilidade temporal e não somente a variabilidade espacial quando se deseja tomar decisões de manejo.

3. Considerações finais

O uso da zona de manejo é uma estratégia válida para aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais e reduzir o impacto da agricultura no ambiente. A aplicação das zonas de manejo deve ser evoluída considerando aspectos físicos do solo que limitam a produtividade potencial dos solos, como a densidade e compactação, os quais são fatores limitantes ao crescimento radicular, limitam a disponibilidade de água e conseqüentemente a absorção e uso eficiente de nutrientes.

Agradecimentos

Agradecemos à Rede AP pelo apoio e oportunidade de divulgação do trabalho a ser iniciado pelo Núcleo Temático de Sistemas Agrícolas da Embrapa Pesca e Aquicultura. Também aos Drs. James Schepers e John Shanahan.

Referências

DOERGE, T. A. **Management Zones Concepts**. Norcross, 1999.

FLEMING, K. L.; WESTFALL, D. G.; WIENS, D. W. **Field test management zones for VRT**. Norcross, 1999.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for Establishing Management Zones for Site Specific Nutrient Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, A.; INAMASU, R.Y.; FRANCA, G.; MANTOVANI, E.; GOMIDE, R. Crop and soil based approaches for site specific nutrient management. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2002.

SCHEPERS, J. S.; SCHLEMMER, M. R.; FERGUNSON, R. B. Site- specific considerations for managing phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, p. 125-130, 2000a. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900010016x>

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Precision Agriculture as a tool for sustainability. In: GALANTE, E.; SCHEPERS, J. S.; WERNER, D.; WERRY, P. A. T. J. (Eds.). **Biological Resource Management: Connecting Science and Policy**. INRA Editions-Springer, 2000b. p.129-138.

SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SYNER, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates in the great plains. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 291-300, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009973008521>

WAGNER, G. L. **A producers view-charting the course for site-specific agriculture**. Bloomington: SOILTEQ, 1999. Charting the Course for Site-Specific Agriculture - Presentation and Executives Summaries.

FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO



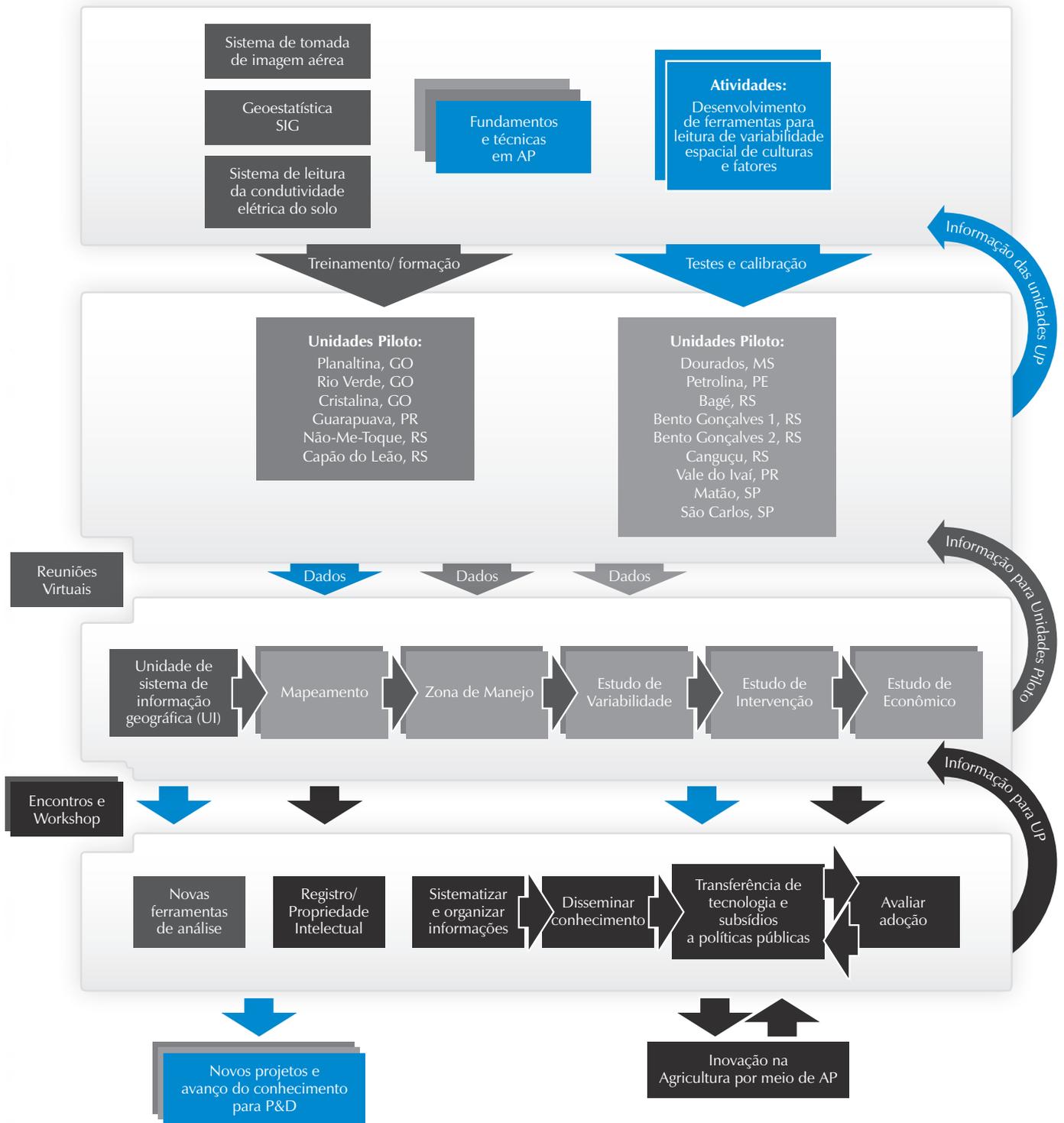
Os instrumentos que auxiliam a aquisição, tratamento e transmissão dos dados dos sistemas agrícolas, transformando-os em informações são as ferramentas da Agricultura de Precisão.

Nesta seção são apresentados os equipamentos, sensores, métodos, programas computacionais e uma plataforma de rede de sensores sem fio que estão sendo desenvolvidos e adaptados.

Também são apresentados resultados de equipamentos para a medida da matéria orgânica e umidade dos solos e de doenças de plantas; bancada de ensaios para a aplicação de insumos; esfera instrumentada para a avaliação de impactos no transporte de hortifrúteis; modelagem, processamento de imagens e visão computacional; rede de sensores sem fio; robótica e projetos de sistemas embarcados para máquinas e implementos agrícolas.

Participam deste Projeto Componente as seguintes Unidades da Embrapa e parceiros: Embrapa Instrumentação, Embrapa Informática, CSEM Brasil, Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Pecuária Sul, Embrapa Trigo, Embrapa Hortaliças, Embrapa Florestas, Centro Internacional de la Papa (Peru) e Força Tarefa ISOBUS.





Legenda:

- Organização da Rede
- Ferramentas para Agricultura de Precisão
- Agricultura de Precisão para Culturas Anuais
- Agricultura de Precisão para Culturas Perenes
- Inovação em Agricultura de Precisão

Avaliação geral, resultados, perspectivas e uso de ferramentas de agricultura de precisão

João de Mendonça Naime^{1,3*}, João Camargo Neto^{2*}, Carlos Manoel Pedro Vaz^{1,3*}

¹ Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, Brasil

² Embrapa Informática Agropecuária, São Carlos, Brasil

³ Bolsista do CNPq

*e-mail: naime@cnpdia.embrapa.br; camargo@cnptia.embrapa.br; vaz@cnpdia.embrapa.br

Resumo: A agricultura de Precisão aplica o conceito da espacialização ou da análise da variabilidade espacial dos fatores que influenciam a produção agropecuária. Dessa forma, a AP é bastante dependente de instrumentos que auxiliam na aquisição, tratamento e transmissão dos dados nos campos agrícolas, transformando-os em informações úteis para o manejo sítio específico. Neste projeto componente estão sendo desenvolvidos e adaptados equipamentos, sensores, métodos, programas computacionais e uma plataforma de rede de sensores sem fio, denominadas de ferramentas de AP. São apresentados resultados de equipamentos para a medida da matéria orgânica e umidade dos solos e de doenças de plantas; bancada de ensaios para a aplicação de insumos; esfera instrumentada para a avaliação de impactos no transporte de hortifrúteis; modelagem, processamento de imagens e visão computacional; rede de sensores sem fio; robótica e projetos de sistemas embarcados para máquinas e implementos agrícolas. Participam deste Projeto Componente as seguintes Unidades da Embrapa e parceiros: Embrapa Instrumentação, Embrapa Informática, CSEM Brasil, Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Pecuária Sul, Embrapa Trigo, Embrapa Hortaliças, Embrapa Florestas, Centro Internacional de la Papa (Peru) e membros da Força Tarefa ISOBUS.

Palavras-chave: equipamentos on-the-go, rede de sensores sem fio, tecnologia da informação, sensoriamento remoto, SIG, robótica.

General evaluation, results, and perspectives of the precision agriculture tools use

Abstract: Precision Agriculture applies the concept of spacialization or the spatial variability of the factors influencing the agricultural production. Therefore, the AP depends on instruments to acquire, treat and transmit the data from the fields, transforming then to useful information for site-specific management. In the current project several instruments, sensors, methods, computing programs and a wireless sensors network platform have been developed or adapted, denominated AP tools. It is presented results on instruments to measure the organic matter and humidity of soil and plant diseases; a assay bench top system for fertilizers and agrochemicals application; an instrumented sphere for fruit and vegetables impact evaluation, modeling, image processing and computational vision; wireless sensors network; robotic and on-board systems for machines and agricultural implements. The following research centers and partners institutions participate in this project: Embrapa Instrumentation, Embrapa Informatics, CSEM Brasil, Embrapa Cattle Southeast, Embrapa Cattle South, Embrapa Wheat, Embrapa Vegetables, Embrapa Forests, International Potato Center (Peru) and members of ISOBUS Task Force.

Keywords: on-the-go equipment, wireless sensor network, information technology, remote sensing, GIS, robotics.



1. Introdução

A essência da agricultura de precisão reside na análise da variabilidade espacial dos fatores que influenciam a produção, como solo, água, nutrientes, clima, doenças e outros. Os resultados dessa análise, interpretados sob a óptica de ganhos econômicos e de benefícios ambientais, devem orientar o manejo e a aplicação dos insumos de forma localizada e com doses precisas. Para tanto, são utilizadas diversas tecnologias como o GPS, GIS, sensores, atuadores, processadores embarcados, entre outras. No Brasil, principalmente por suas características geográficas, climáticas e culturais, o nível de adoção da agricultura de precisão ainda é relativamente baixo.

Visando o aumento da adoção da AP torna-se necessário ampliar a utilização dessas ferramentas, adaptadas às condições de produção para as diferentes realidades regionais e considerando os distintos níveis de tecnificação dos produtores. O objetivo dessa pesquisa é de desenvolver novas ferramentas de AP e testar outras já disponíveis, mas que necessitem avaliação, validação e adaptação para condições específicas de solos, climas e realidades locais e regionais da produção agrícola e pecuária. Especificamente serão focalizados equipamentos de laboratório e campo, sensores, metodologias, técnicas de processamento e análise de imagens e mapas, além de programas e sistemas computacionais dirigidos ao manejo espacialmente diferenciado.

Diversas áreas experimentais (Unidades Piloto) de culturas como laranja, pastagem, uva e outras serão utilizadas para teste dessas ferramentas de modo que possam ser úteis também na avaliação da variabilidade espacial das Unidades Piloto e, conseqüentemente, contribuam com informações que possam ser úteis para a tomada de decisão com enfoque no manejo sítio específico dessas áreas. A seguir são apresentadas as principais ferramentas a serem desenvolvidas, adaptadas e avaliadas neste Projeto Componente, subdivididos em 3 Planos de Ação, com ênfase em ferramentas instrumentais, em programas computacionais e em uma plataforma de sensoriamento e transmissão remota de dados em campo.

O Plano de Ação *Desenvolvimento e teste de protótipos de sensores, equipamentos, sistemas e novas metodologias*, é composto por 21 atividades de pesquisa. As ações de desenvolvimento de equipamentos utilizarão a infraestrutura dos laboratórios de Eletrônica e Desenvolvimento e de Mecânica da Embrapa Instrumentação Agropecuária e também de parceiros como a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Os métodos para a medida de parâmetros de plantas estão sendo desenvolvidos nos laboratórios de Instrumentação em Pós-colheita e de Óptica e Fotônica Aplicadas à Agricultura da Embrapa Instrumentação, que contam também com toda infraestrutura de instrumentação necessária para a execução das ações em andamento. Os testes e validações estão sendo realizados nas unidades piloto (UP) de citricultura, viticultura e na Embrapa Trigo. Existe um número muito grande de equipamentos, sensores e sistemas para uso na agricultura de precisão, mas muitos deles são importados e muitas vezes inadequados para algumas condições específicas das culturas, climas e solos brasileiros. Portanto, há necessidade de testar inicialmente as tecnologias desenvolvidas principalmente na Europa, Estados Unidos e Japão e realizar estudos que visem a realização de adaptações ou mesmo novos desenvolvimentos mais adequados às condições específicas da agricultura brasileira. Nesse cenário, este plano de ação prevê o teste e adaptação de sensores, equipamentos e métodos para:

- Medida de parâmetros do solo: condutividade elétrica, matéria orgânica, resistência, umidade e potencial da água, textura, retenção de água e condutividade hidráulica, nutrientes e contaminantes;
- Medida de parâmetros de plantas: evapotranspiração, estresse nutricional, pragas e doenças;
- Aquisição de dados em campo por meio de *scouting*, mosaicamento, robô agrícola;
- Teste de conectividade e adoção do padrão ISOBUS;
- Modelamento e tratamento das informações utilizando metodologias como

wavelet-multifractal, aprendizado de máquina/mineração de dados.

A maioria das atividades será executada nas unidades piloto de citricultura e videira, de forma integrada com os experimentos do projeto componente *Caracterização, manejo e monitoramento de atributos do solo, da planta e do clima em sistemas de produção de plantas perenes e semiperenes*.

O Plano de Ação *Avaliação de uma plataforma de rede de sensores sem fio para diversas aplicações* está sendo desenvolvido principalmente nos laboratórios de Eletrônica e Desenvolvimento e Mecânica da Embrapa Instrumentação. Os testes, implementações e coletas de dados estão sendo realizados na Embrapa Hortaliças, Embrapa Florestas, Embrapa Pecuária Sul e na UP de citricultura.

A elevação dos custos de produção, as exigências dos mercados por alimentos mais seguros e a preocupação crescente com a contaminação ambiental e as mudanças climáticas são fatores que têm contribuído para intensificar os avanços da microeletrônica nos campos agrícolas. Atualmente é comum embarcar-se nas cabines dos tratores e máquinas, terminais eletrônicos ligados a receptores GPS e conectados a uma ampla rede de sensores e atuadores distribuídos no motor, nas rodas e especialmente nos implementos, para a prática da agricultura de precisão. Seguindo a tendência da indústria automobilística, essa rede de instrumentos embarcados tem sido estabelecida com o protocolo *Control Area Network*, CAN, sobre um barramento que perpassa as diversas partes da maquinaria (MUNACK; SPECKMANN 2001). A produção animal é outro exemplo a ser considerado. A substituição de sistemas identificadores na forma de brincos com códigos de barra, por dispositivos injetáveis conhecidos por *Radio Frequency Identification*, RFID, é uma realidade que melhora o processo de identificação e a rastreabilidade nessa cadeia produtiva (SAHIN; DALLERY; GERSHWIN, 2002).

Se por um lado existem soluções já adotadas e aceitas como estas, por outro, o recente desenvolvimento das redes de sensores sem fio poderá ampliar ainda mais a presença da

tecnologia eletrônica no agronegócio. O uso de instrumentos transmitindo dados via rádio ou via infravermelho no ambiente agrícola é comum há algumas décadas. Há atualmente várias opções no mercado de estações climatológicas e de sistemas de automação de irrigação que se utilizam desses meios de comunicação. A vantagem óbvia é a grande facilidade de instalação e manutenção de sistemas operando sem fio no campo. Entretanto, diante das possibilidades de aplicações do que se designou de computação pervasiva ou sistemas ubíquos, estabelecidos através das redes de sensores sem fio distribuídos no campo e atravessando as porteiras, os benefícios serão inúmeros (WANG; ZHANG; WANG, 2006). Se a prática da agricultura de precisão nos modelos atuais permite uma economia potencial de insumos e a menor contaminação ambiental, esse impacto positivo pode ser ainda mais significativo se o controle de processos, como a pulverização ou a irrigação, for auxiliado por uma ampla grade de sensores sem fio monitorando as plantas o solo e o ambiente com informações espacializadas em tempo real. Fora da porteira, o monitoramento em tempo real, das condições de armazenamento, transporte e distribuição de frutas, hortaliças, madeira, entre outros produtos, garantiria informações precisas não somente de procedência, mas de toda possível injúria sofrida nesses processos.

O Plano de Ação *Desenvolvimento, validação e extração de conhecimento de tecnologias de informação*, está sendo desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, Instituto de Ciências Matemáticas da USP Campus de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Fundecitrus e Grupo Fischer. Essas instituições dispõem da infraestrutura computacional necessária para os desenvolvimentos de software e dos estudos previstos. As imagens aéreas estão sendo obtidas pelo helicóptero recém adquirido pelo projeto. O sistema de visão computacional para detecção e mapeamento de plantas daninhas para a aplicação de herbicida a taxa variada. O protótipo do sistema especialista georreferenciado para ajuste de correção e adubação de solos será desenvolvido utilizando a estrutura do sistema especialista de diagnóstico de doenças de plantas.

A ampla gama de aparatos tecnológicos disponíveis atualmente tem propiciado novas formas de monitoramento e atuação no âmbito da agricultura e da agropecuária, viabilizando assim a essência que concerne à área de AP. O uso de imagens aéreas obtidas a partir de veículos tripulados e não tripulados, novos sensores, técnicas e equipamentos, tecnologias para georreferenciamento e geoprocessamento, modelos e bancos de dados praticamente ilimitados delineiam um arcabouço tecnológico importante para a evolução e sucesso da AP. Trata-se, porém, de um escopo tecnológico integrado que demanda pesquisa, desenvolvimento, validação e testes. Importantemente vinculados a esses aparatos, tornam-se imprescindíveis sistemas, métodos e modelos capazes de lidar com os dados gerados, extraindo informações úteis que possam nortear o processo de tomada de decisão e a atuação, assim como a análise para descoberta de conhecimento novo. Nesse contexto, este plano de ação trabalha no desenvolvimento, validação e testes de sistemas de tecnologia de informação, assim como o uso de ferramentas estatísticas, mineração de dados, matemáticas e computacionais para análise, extração de conhecimento e suporte à tomada, automática ou não, de decisão.

As ações de desenvolvimento de sistemas e softwares estão sendo executadas no laboratório de Imagem e Modelamento da Embrapa Instrumentação e no Instituto de Ciências Matemáticas da USP. Neste plano de ação serão desenvolvidos os seguintes produtos:

- Programas baseados em computadores de mão para obtenção de informações georreferenciadas diversas (*scouting*);
- Método *wavelet-multifractal* para simulação e modelagem a partir de imagens aéreas e de

scouting, e metodologia para mosaicamento automático por transformada SIFT (*scale invariant feature transform*);

- Sistema computacional de análise multiespectral de cobertura do solo;
- Métodos de mineração de dados /aprendizado de máquina para estudo, aumento da precisão de modelos de predição e descoberta de conhecimento nos dados gerados;
- Método para análise da textura de folhas e plantas invasoras e extratores para abordagem em folhas largas e finas;
- Metodologia *Wavelet-Multifractal* para simulação e modelagem a partir de imagens aéreas, *scouting*, etc.;
- Modelo de decisão com gestão de risco envolvendo reconhecimento e especialização da planta invasora selecionada.

No primeiro ano do projeto diversos avanços já foram obtidos e os trabalhos apresentados a seguir descrevem os principais resultados no desenvolvimento, adaptação e teste de ferramentas de AP.

Referências

- MUNACK, A.; SPECKMANN, H. Communication Technology is the Backbone of Precision Agriculture. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development**, v. 3, 2001.
- SAHIN, E.; DALLERY Y.; GERSHWIN, S. Performance evaluation of a traceability system: an application to the radio frequency identification technology. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, 2002, Yasmine Hammamet, Tunisia. **Proceedings...IEEE**, 2002. v. 3, p.647-650.
- WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computer & Electronics in Agriculture**, v. 50, p. 1-14, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2005.09.003>

Aplicação de técnicas de processamentos de imagens para diferenciação do Greening de outras pragas**

Patricia Pedroso Estevam Ribeiro^{1*}, Maria Stela Veludo de Paiva^{2*},
Ricardo Yasushi Inamasu³, Lúcio André de Castro Jorge^{3*}

¹ Pós-graduando, Bolsista, Embrapa

² Professora, Departamento da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC,
Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação de São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: patriciapedrosoestevam@hotmail.com; mstela@eesc.usp.br; lucio@cnpdia.embrapa.br

**Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

Resumo: O greening é uma das mais graves doenças dos citros no Brasil. Causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter spp.* é transmitida pelo inseto psílídeo *Diaphorina citri*, que ao se alimentar de uma planta doente transmite a doença às demais plantas. O greening apresenta manchas amareladas nas folhas, muitas vezes confundidas com deficiências nutricionais. A erradicação da planta e o controle do inseto transmissor são as únicas formas de prevenção. Atualmente, a determinação da severidade dessa doença e a proporção da área foliar manchada são feitas de forma visual. Este fato levou à proposta de desenvolvimento de um software que permita analisar imagens digitalizadas de folhas cítricas sintomáticas, quantificando a severidade das manchas e identificando a probabilidade desta ser o greening ou outras doenças similares. Foram fornecidas pela empresa FISHER 324 amostras de folhas cítricas. Estas amostras foram digitalizadas por um scanner de mesa, e em seguida, foi realizada uma segmentação por cor sobre as imagens digitalizadas, fazendo uso de uma rede neural artificial (RNA) *Perceptron* Multicamada (PMC) com algoritmo *backpropagation*. Os pixels da imagem RGB foram utilizados como entrada para a RNA PMC, para segmentar as manchas amarelas, do fundo verde da folha, e as áreas marrom com alguma necrose. As folhas foram divididas em quadrantes para análise, e foi calculada a porcentagem de cada classe. Com os dados gerados será definida uma técnica para diferenciar o greening das outras pragas, gerando uma escala diagramática para o usuário final. A metodologia para segmentar as folhas, separando as manchas amarelas, marrons e verdes, usando RNA PMC, mostrou ser adequada para o objetivo proposto.

Palavras-chave: escala diagramática, greening, métodos de segmentação por cor.

Application of image processing techniques to differentiate Greening from other pests

Abstract: The greening is one of the most serious diseases of citrus orchards present in Brazil. Caused by the bacterium *Candidatus spp. Liberibacter*, it is transmitted by the psyllid insect *Diaphorina citri*, and this insect feeding on a diseased plant, it transmits the disease to other plants. The greening presents as a symptom, yellowish spots on leaves, often confused with nutritional deficiencies. The eradication of plant and insect control transmitter are the only forms of prevention. Currently, determining the severity of the disease and the proportion of leaf area spotted are done visually. This fact led to the proposal of develop a software for analyzing images of symptomatic citrus leaves, quantifying the severity of the stains and identifying the likelihood of this being the greening or other similar diseases. The company FISHER provided 324 citrus leaf samples. These samples were scanned by a flatbed scanner and then, it was performed a segmentation by color on the scanned



images, using an artificial neural network (ANN) Multilayer Perceptron (MLP) with backpropagation algorithm. The RGB image pixels were used as input to the ANN MLP neural network to segment the yellow stains from the bottom of the green leaf, and brown areas showing necrosis. The leaves were divided into quadrants for analysis, and calculated the percentage of each class. With the data generated will be defined a technique to differentiate the greening of other pests, creating a diagrammatic scale for the end user. The methodology to segment the leaves, separating the yellow spots, brown and green, using ANN MLP, proved to be suitable for the proposed objective.

Keywords: diagrammatic scale, greening, segmentation methods by color.

1. Introdução

No Brasil, a produção de laranjas tanto para suco como para o consumo *in natural* vem crescendo em todo o país, com a produção estimada para os anos 2009 a 2010, de 318,6 milhões de caixas de 40,8 kg, sendo que deste montante 83,4% foi destinada à indústria e 16,6% para o consumo (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2010) e para os anos de 2011 a 2012 estima-se 357 milhões de caixas (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011). Apesar desta grande quantidade de plantas cítricas estarem expostas durante todo ano a vários ataques de pragas e doenças, somados à variabilidade genética muito baixa, conduzem à ocorrência de epidemias de doenças conhecidas e novas doenças, abalando a sustentabilidade do agronegócio.

Dentre essas doenças o greening, afeta todas as variedades cítricas e é umas das doenças que tem causado maior preocupação, sendo considerada atualmente a mais grave doença dos citros no mundo (BOVÉ, 2006). Causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter spp.* é transmitida pelo inseto psilídeo *Diaphorina citri*, que ao se alimentar de uma planta doente transmite a doença às demais plantas. Por não possuir cura ou tratamento ou variedade porta-enxerto resistente à doença seu controle é realizado através de inspeção constante da plantas e do inseto transmissor. Os métodos existentes atualmente mais utilizados para diagnosticar a doença, pode-se citar o método de inspeção visual e a análise do PCR (*Polymerase Chain Reaction*) (INNIS et al., 1990). O PCR é um dos métodos, com maior precisão no diagnóstico, apesar de um método

caro e demandar tempo para análise. A inspeção visual é efetuada por técnicos treinados com dedicação exclusiva às inspeções que devem ser realizada periodicamente segundo o manual técnico da Fundecitrus (2010), num intervalo de dois meses, com a detecção e eliminação imediata de todas as plantas identificadas com o sintoma, embora observou-se a variação dos resultados, não somente entre as equipes, mas também entre as inspeções realizadas pela mesma equipe (BELASQUE JUNIOR et al., 2010). Destacando-se que a diferença de mensuração entre os inspetores depende da habilidade e condições físicas de cada um para discriminar o nível da doença na folhas. Buscando reduzir a subjetividade das estimativas de severidade entres os inspetores, melhorando a acurácia e precisão, levou o objetivo de desenvolver um software, que permitia analisar imagens de folhas sintomáticas digitalizadas, quantificando a severidade das manchas e identificando a probabilidade desta ser greening ou outras doenças com sintomas similares, nas folhas de citros, possibilitando gerar uma estimativa da propagação da doença no pomar de citros.

2. Material e métodos

Foram fornecidas pela empresa FISHER 324 amostras, divididas em seis tipos de folhas de citros com sintomas de doenças e deficiência nutricional, contendo 54 amostras para cada tipo de doença (Greening, CVC e Rubelose) e deficiência nutricional (Manganês, Magnésio e Zinco). Estas amostras foram selecionadas por um técnico agrônomo denominado pragueiro,

que identificou os sintomas, apenas por meio da inspeção visual, segundo instruções do manual técnico do greening, fornecido pela Fundecitrus (2009).

Para evitar problemas na segmentação das imagens devida à iluminação, as amostras foram digitalizadas por um scanner de mesa, com resolução de 100 DPI, e dimensão de 400×200 pixels, no modelo de cores RGB, utilizando somente a parte frontal da folha. Para evitar o cálculo de porcentagem de área foliar incorreta foi retirado o caule das folhas.

O software foi desenvolvido em linguagem *Java* no ambiente de desenvolvimento integrado *Netbeans*. Para o processamento das imagens utilizou-se a biblioteca *Imagem*, desenvolvida no laboratório de imagens e modelamento da Embrapa Instrumentação, a biblioteca *ImageJ*, a API da *Jai* (*Java Advanced Imaging*), a API da *Jxl* (*Java Excel*) para gerar as tabelas com o resultado em Excel.

A Figura 1 apresenta as etapas de desenvolvimento para este trabalho: aquisição das imagens foliares; pré-processamento das imagens; treinamento da RNA; segmentação por cor; divisão da folha em quadrantes; aplicação da técnica para diferenciar o greening das outras pragas e geração da escala diagramática.

Neste trabalho foi utilizada uma RNA do tipo *Perceptron* multicamada (PMC) com o algoritmo

backpropagation, da API do *toolbox Weka* (2010), com o objetivo de realizar a segmentação da imagem por cor. Foram utilizadas três entradas, nas quais foram aplicadas as componentes de cor RGB de cada *pixel*; e três neurônios na saída que fornecem a porcentagem para cada classe de cor (verde, amarelo e marrom), representando as cloroses com a cor amarela, a folha com o verde e marrom para as necroses ou lesões. A classe foi definida, selecionando-se manualmente pixels da região da imagem pertencente à classe em questão, indicando o valor da saída a ser treinada. Para os testes, foram aplicadas nas entradas da RNA somente as informações referentes à folha, delimitada pelo contorno. Para que a segmentação fosse visualizada, foram atribuídas pseudocores para representar cada padrão, sendo amarelo para clorose, verde para folha sadia e marrom para as necroses ou lesões.

3. Resultados e discussão

Devido às manchas de greening apresentarem a cor amarela assimetricamente, foi proposta a divisão da folha em quadrantes para se determinar a porcentagem de cada cor utilizada em cada quadrante. Para a divisão da folha em quadrantes, foi determinado o centro de massa na coordenadas (xCM, yCM) e os pontos delimitadores do

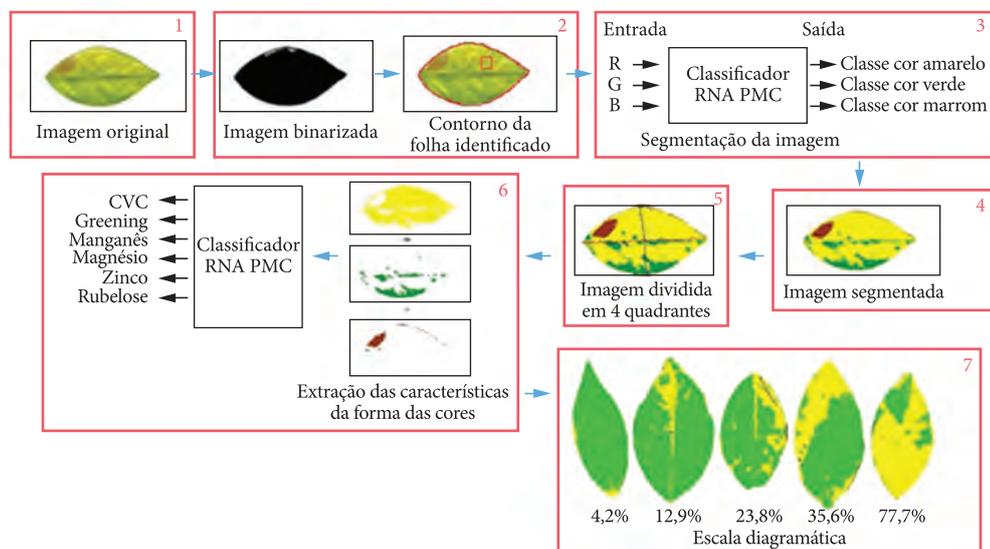


Figura 1. Etapas de desenvolvimento do trabalho.

momento central (α_{\min} , α_{\max} , β_{\min} e β_{\max}), conforme apresentado na Figura 2.

Para calcular os níveis de severidade serão considerados os valores de máximo e de mínimo de proporção de área foliar manchada com a cor amarela, como os limites da escala diagramática. Serão utilizados cinco níveis de severidade das doenças analisadas, conforme padrão adotado em campo pela FISCHER. As escalas diagramáticas foram geradas manualmente, para cada tipo de doença baseando-se nos resultados preliminares obtidos com a RNA PMC. A Figura 3a apresenta a escala diagramática da doença CVC, com os seguintes níveis de severidade: 56,69, 43,10, 27,86, 13,12 e 0,077%. Observa-se nas folhas a presença de pequenas manchas amareladas e irregulares,

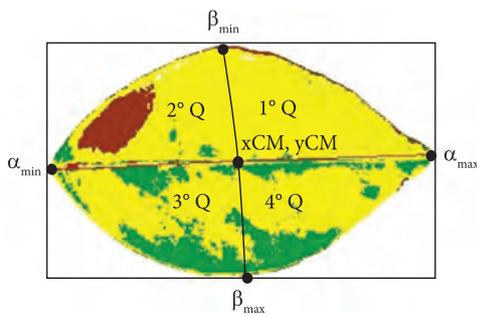


Figura 2. Imagem segmentada em quadrantes.

e lesões na cor marrom. A Figura 3b apresenta a escala diagramática para a deficiência de Magnésio, com os seguintes níveis de severidade: 57,27, 42,31, 28,87, 13,02 e 0,23%. Observa-se nas folhas o amarelecimento em forma de “V” invertido. A Figura 3c apresenta a escala diagramática para a deficiência de Manganês, com os seguintes níveis de severidade: 13,52, 9,81, 0, 6,71 e 3,54%. Observa-se nas folhas que as manchas são menores entre as nervuras, sendo menos acentuadas que na deficiência de Magnésio, além de serem distribuídas de uma forma mais simétrica. A Figura 3d apresenta a escala diagramática para a deficiência de zinco, com os seguintes níveis de severidade: 74,07, 54,247, 35,43, 17,56 e 3,05%. Observa-se que as folhas apresentam clorose acentuada do limbo entre as nervuras. A Figura 3e apresenta a escala diagramática para o greening, com os seguintes níveis de severidade: 83,34, 39,34, 28,93, 12,86 e 0,003%. Observa-se nas folhas a clorose assimétrica. A Figura 3f apresenta a escala diagramática para a Rubelose, com os seguintes níveis de severidade: 83,03, 65,22, 42,06, 21,87 e 0,307%. Observa-se nas folhas manchas amarelas com lesões.

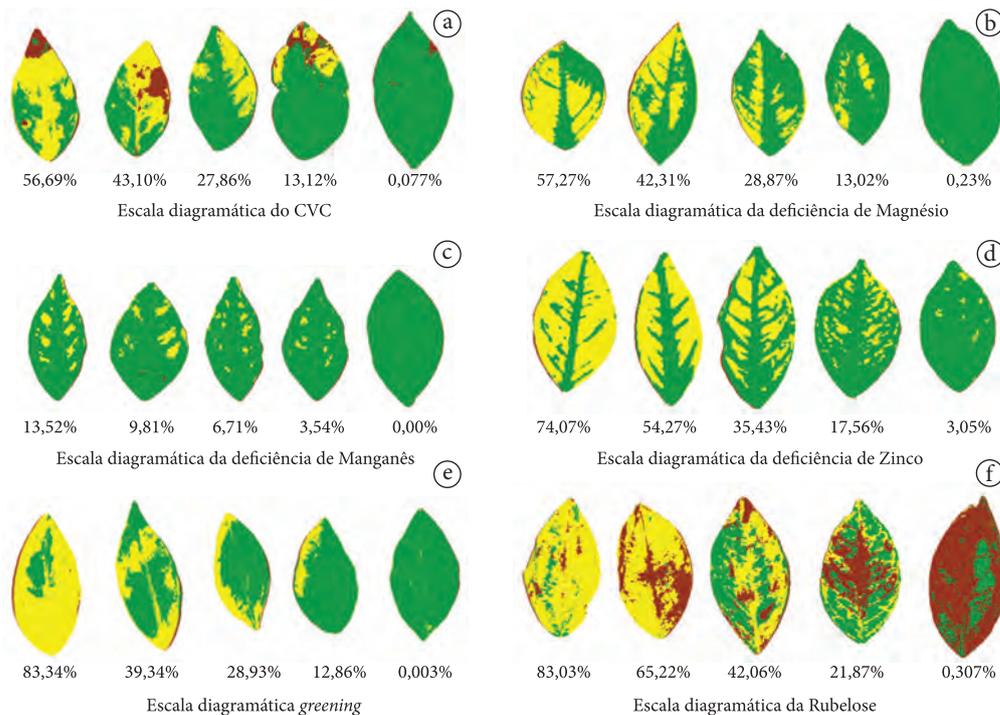


Figura 3. Escalas diagramáticas.

4. Conclusões

A proposta deste trabalho é aplicar técnicas de processamento de imagens em folhas de citros digitalizadas, para diferenciar o greening de outras pragas.

Até o presente momento foi montado um banco de imagens digitalizadas de folhas de citros, contendo seis tipos de doenças (CVC, deficiência de Manganês, deficiência de Magnésio, deficiência de Zinco, greening e Rubelose), com 54 amostras de folhas para cada doença. As imagens digitalizadas foram binarizadas e em seguida foi determinada a contorno da folha em cada imagem. O contorno foi aplicado na imagem original, e na imagem resultante foi realizada a segmentação por cor usando RNA PMC, que mostrou ser adequada, com acurácia de 96,04%. Em seguida a imagem foi dividida em quadrantes para possibilitar uma análise inicial para diferenciar a variação das manchas em cada quadrante, para cada doença. A próxima etapa do trabalho consistirá na avaliação das tabelas levantadas nos para definir uma técnica que permita diferenciar o greening de outras pragas, e posteriormente construir a escala diagramática.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq (processo 578627/2008-6) e o fornecimento das amostras de foliares pela empresa FISHER.

Referências

- BELASQUE JUNIOR, J.; YAMAMOTO, P. T.; MIRANDA, M. P.; BASSANEZI, R. B.; AYRES, A. J.; BOVÉ, J. M. Controle do *huanlongbing* no estado de São Paulo, Brasil. *Citrus Research & Technology*, v. 31, n. 1, p. 1-100, 2010.
- BOVÉ, J. M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, v. 88, p. 7-37, 2006.
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAESP; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. **Produção em laranja de SP deve subir 20% em 2011**. FAESP, 2011. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/geral/noticias-do-agronegocio/detalhe/producao-em-laranja-de-sp-deve-subir-20-em-2011/3543>>. Acesso em: 05 abr. 2011.
- FUNDECITRUS. **Greening**: manual técnico. Araraquara: Fundecitrus, 2009. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/ImageBank/PageFlip/pageflip.aspx?idPage=143>>. Acesso em: 29 abr. 2011.
- _____. **Greening atinge 38,8% dos talhões dos pomares paulistas**. Araraquara: Fundecitrus, 2010. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/Noticias/31.08.10--Greening-atinge-38,8--dos-talhoes-dos-pomares-paulistas,136>>. Acesso em: 04 jan. 2011.
- INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. J.; WHITE, T. J. (Eds.). **CR Protocols**: A guide to methods and applications. Academic Press: San Diego, 1990.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Divulgação da safra paulista de laranja 2009/10**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12002>>. Acesso em: 28 dez. 2010.
- WEKA. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>. Acesso em: 29 abr. 2011.

Diagnóstico de Citrus Greening (HLB) utilizando espectroscopia de fluorescência induzida por laser (LIFS)

Débora M. B. P. Milori^{1*}, Paulino Villas Boas^{1*}, André Leonardo Vemâncio², Marcelo C. B. Cardinali³, Ednaldo J. Ferreira^{4*}, Polyana Kelly Martins^{5*}, Juliana Freitas-Astúa^{6*}, Joana Bresolin^{4*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de novembro, 1452, São Carlos, Brasil

² Pós-graduando, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto – FCLRP, Universidade de São Paulo – USP, Av. Bandeirantes, 3900, CEP 14040-901, Ribeirão Preto, SP, Brasil

³ Pós-graduando, Instituto de Física de São Carlos – IFSC, Universidade de São Paulo – USP, Av. do Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, Brasil

⁴ Analista, Embrapa Instrumentação, Rua XV de novembro, 1452, São Carlos, Brasil

⁵ Pós-doc, Centro Apta Citros Sylvio Moreira, Cordeirópolis, SP, Brazil

⁶ Pesquisador, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n. Cruz das Almas, BA, Brazil

*e-mail: debora@cnpdia.embrapa.br; paulino@cnpdia.embrapa.br; mcardinalian@gmail.com; ednaldo@cnpdia.embrapa.br; polyana@centrodecitricultura.br; jfastua@centrodecitricultura.br; jbresolin@cnpdia.embrapa.br;

Resumo: O Greening ou Huanglongbing (HLB) é uma das mais sérias doenças que a citricultura mundial enfrenta. Após causar muitos estragos na Ásia e na África, a doença surgiu no Brasil em 2004 e nos EUA em 2005. Plantas novas infectadas não chegam a produzir e plantas adultas doentes apresentam queda de frutos e perda de produção. O principal sintoma que leva ao diagnóstico em campo é o mosqueado amarelado das folhas, que aparece em média cerca de um ano após a contaminação, já em um estágio avançado da doença. A transmissão ocorre através do psílídeo *Diaphorina citri*, um pequeno inseto que se alimenta da seiva elaborada. O controle realizado pelos produtores consiste em inspeções visuais frequentes para erradicação de plantas sintomáticas e pulverizações constantes para o controle do vetor. Entretanto, isso não está sendo suficiente para a contenção da doença. Nesse contexto, foi avaliado o potencial de uma metodologia para detecção precoce da doença que permita a confecção de mapas de infestação no campo. Para tanto, durante oito meses foram cultivadas mudas de laranja inoculadas com a bactéria candidatus *Liberibacter Asiaticus* (LAs), agente causador da HLB, para avaliação da precocidade do diagnóstico da doença utilizando técnicas espectroscópicas e de imagens. Como referência um conjunto de mudas foi mantido saudável. Alterações espectrais foram observadas com ambas as técnicas a partir do primeiro mês após a inoculação, que permitiram a construção de modelos para diagnóstico da doença com uma taxa de acerto superior a 80%.

Palavras-chave: citros, diagnóstico precoce, greening, HLB, LIBS.

Citrus Greening (HLB) diagnosis using laser-induced fluorescence spectroscopy

Abstract: Greening or Huanglongbing (HLB) is one of the most serious citrus diseases that the world faces. After a lot of damage in Asia and Africa, the disease appeared in Brazil in 2004. Contaminated seedlings fail to produce and mature plants have fruit drop and yield loss. The main symptom leading to diagnosis in the field is mottled yellow leaves, appearing on average about one year after contamination, already in an advanced stage of the disease. Transmission occurs through the *Diaphorina citri* psyllid, a tiny insect that feeds on plant sap. The control carried out by the producers consists in frequent visual inspections for eradication of symptomatic plants and constant spraying

to control the vector. However, this is not been effective in containing the disease. In this context, this project aims to propose a new method to carry out early diagnosis of this disease. To this end, during eight months seedlings were grown and inoculated with the bacterium *Candidatus Liberibacter Asiaticus* (LAs) to assess the early diagnosis of the disease using spectroscopy techniques. As a reference set of seedlings was kept healthy. Spectral changes were observed in leaves from the first month after inoculation for all the techniques, which allowed the building of models for diagnosis with a success rate exceeding 80%.

Keywords: citrus, early diagnostic, greening, HLB, LIBS.

1. Introdução

A doença de campo mais preocupante atualmente no ramo da citricultura é a Citrus Greening ou Huanglongbing (HLB). Esta é uma doença bacteriana que vem causando perdas enormes na produção do Brasil e do mundo.

O agente causador da doença, a bactéria denominada *Candidatus Liberibacter*, se estabelece no floema da planta acarretando sua obstrução e consequentemente, distribuição inadequada da seiva para raízes, tronco e folhas (BOVÉ, 2006). Este processo, após a infecção da planta é lento e ocorre em duas fases distintas: inicialmente temos aquela denominada de assintomática (geralmente entre 3 e 36 meses) e posteriormente a condição sintomática. A doença afeta as folhas, ramos e frutos da planta. Na fase sintomática é evidenciado o surgimento de um ramo ou galho que se destaca pela cor amarela. As folhas apresentam coloração amarela pálida, com manchas irregulares ou cloroses assimétricas. Por fim as plantas doentes produzem frutos menores e com capacidade menor para produção de suco (BOVÉ, 2006).

O vetor natural do patógeno é um inseto alado denominado *Diaphorina citri*, comumente encontrado nos pomares brasileiros (LOPES et al., 2007).

A planta com a bactéria incubada (fase assintomática) também se transforma em uma fonte propagadora complementar da doença, já que um inseto pode ser contaminado ao se alimentar da seiva (BOVÉ, 2006).

A principal técnica reconhecida para diagnóstico da doença é o PCR (INNIS et al., 1990). Entretanto, há uma grande dificuldade na aplicação desta técnica em folhas de árvores de campo, pois a bactéria se distribui de forma bastante heterogênea na planta (LI et al., 2009). Além disso, o custo da análise e a sensibilidade do método inviabilizam sua aplicação em larga escala.

Atualmente, o controle da doença no Brasil se alicerça em três procedimentos: produção de mudas saudáveis em viveiros telados, inspeção visual e erradicação de plantas sintomáticas e controle da população do inseto vetor. A principal limitação da inspeção visual é a subjetividade na avaliação das plantas acarretando erros da ordem de 50% no diagnóstico. O controle do vetor pode ser efetuado por meio de aplicações de pesticidas para evitar a incidência do mesmo (BOVÉ, 2006). Entretanto, já foi comprovado que há espécies de insetos resistentes. Além disso, este procedimento envolve um impacto ambiental considerável, como exemplo, levando à dizimação de insetos polinizadores. A erradicação das árvores sintomáticas não garante que todas as árvores doentes sejam eliminadas, pois é estimado que em torno de 75% das árvores doentes, aquelas em fase assintomática, sejam mantidas nos pomares. Diante do exposto, é incontestável a necessidade do desenvolvimento de métodos analíticos para o diagnóstico da citrus greening, desde a incubação do patógeno, denominada de fase assintomática até a fase sintomática. O monitoramento é fundamental para o controle da doença e assim, evitar a proliferação da bactéria nos campos citrícolas, até que a cura desta doença seja encontrada. Na literatura são demonstrados alguns métodos utilizando-se ferramentas espectroscópicas (PEREIRA et al., 2010a, 2010b, 2011a, 2011b). Neste trabalho, é avaliado o desempenho da espectroscopia de fluorescência induzida por laser para o diagnóstico de mudas em fase assintomática.

2. Material e métodos

Para o monitoramento da doença foi elaborado um experimento que teve a duração total de 8 meses, durante o período de 13 de Julho de

2009 a 01 de Março de 2010. Foram utilizadas mudas com as seguintes características: copa de laranja doce Valência [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] em porta-enxerto de Citrumelo Swingle [*Citrus paradisi* Macfad. cv. Duncan X *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]. Deste conjunto de plantas de mesma variedade e idade, 60 mudas foram submetidas a inoculações com uma das espécies da bactéria, a *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLAs), principal causadora da citrus greening no Brasil. Outro conjunto com as mesmas características e de igual número de plantas, porém sem inoculações da bactéria, foi mantido como amostras controle. Decorrido um mês após a inoculação, as medidas experimentais com a técnica fluorescência induzida por laser (LIFS) foram efetuadas mensalmente. Cada planta foi representada por 3 folhas (amostras) que foram coletadas seguindo o procedimento: as amostras foram retiradas do terceiro conjunto de folhas, considerando o sentido de cima para baixo, tendo como referência o ápice da planta. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos pretos, sob refrigeração na temperatura de 4 °C. Cada folha foi limpa com o auxílio de algodão umedecido em água deionizada e a secagem foi efetuada ao ar.

Foram realizadas medidas de LIFS utilizando um sistema portátil desenvolvido pela Embrapa Instrumentação. Neste sistema um laser em 561 nm (20 mW) excita a folha através de um cabo óptico bifurcado que também coleta o sinal de fluorescência. O sinal é enviado a um monocromador e um conjunto de fotodiodos calibrados que gera um espectro que pode ser armazenado no software de controle do sistema.

As mesmas folhas que foram submetidas às medidas analíticas com LIFS também foram utilizadas nos ensaios de RT-qPCR. As partes das folhas utilizadas para extração do DNA da bactéria CLAs foram a nervura central e o pedúnculo. Todo o procedimento, desde a extração do DNA da bactéria ao diagnóstico, foi efetuado no Centro Apta Citros Sylvio Moreira situado em Cordeirópolis/SP.

3. Resultados e discussão

A importância dos testes efetuados pelo RT-qPCR foi verificar a eficiência do procedimento de

inoculação da bactéria nas plantas em estudo. Os ensaios identificaram resultados positivos para CLAs que aumentaram gradativamente a cada mês após a inoculação das plantas. Os valores em porcentagem de folhas doentes, nas quais a bactéria foi detectada, foram de 4, 20, 22, 70, 66, 67 e 82% para os meses 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8, respectivamente. Na Figura 1 são mostrados espectros típicos das plantas saudáveis e inoculadas após dois meses da inoculação. Como as mudas estavam em fase de crescimento, a variação espectral devido ao crescimento era maior do que a variação pela doença. Desta forma, foram analisados os resultados por mês, comparando os grupos saudáveis e inoculados. Para cada mês foi construído um modelo para classificação das plantas utilizando redes neurais artificiais (ANN). O resultado por muda está sintetizado na Tabela 1.

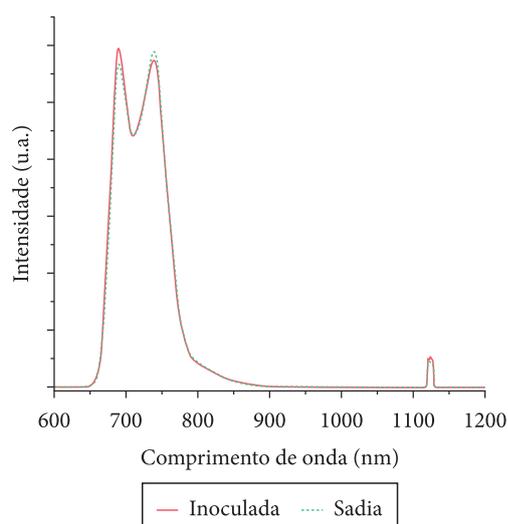


Figura 1. Espectro típico de LIFS para folhas retiradas de plantas saudáveis e plantas inoculadas dois meses após a inoculação.

Tabela 1. Taxas de acerto obtidas pelas ANNs para os dados de LIFS de cada um dos 28 lotes de amostras do experimento de diagnóstico precoce. A tabela contém ainda o valor médio e o desvio padrão para cada mês. Os laudos foram emitidos por planta.

Mês	Média	Desvio padrão
1	47%	13,%
2	60%	10%
3	63%	9%
4	63%	5%
5	65%	8%
6	-	-
7	72,6%	8%
8	80,1%	11%

No sexto mês do experimento não foram realizadas medidas em função de problemas com o transporte das amostras.

O desempenho do método aqui utilizado para diagnóstico de plantas assintomáticas possui eficiência comparável à das inspeções visuais comumente adotadas nas fazendas para diagnóstico de plantas já sintomáticas. Além disso, os resultados obtidos na fase sintomática da doença são superiores aos da inspeção visual. Desta forma, o experimento realizado aponta para um grande potencial da técnica para realização de diagnóstico em fase assintomática da doença.

4. Conclusões

A distinção global média esteve em torno de 60% já no segundo mês. Esse resultado tem grande importância, já que se trata de plantas inteiramente assintomáticas e recém-contaminadas. Portanto, as diferenças espectrais começaram a manifestar quatro meses antes do aparecimento dos sintomas da doença, visíveis apenas a partir do sexto mês, e mesmo assim apenas em um número reduzido de plantas. Esse resultado indica que o diagnóstico pode ser feito desde o início do desenvolvimento da doença, e com precisão muito superior ao que vem sendo obtido pelo método de controle por inspeção visual em fase sintomática.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro; e o Grupo Fischer - Divisão Citrusuco e ao Centro AptaCitros Sylvio Moreira pelo apoio na execução do projeto.

Referências

- BOVÉ, J. M. Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, v. 88, n. 1, p. 7-37, 2006.
- INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. J.; WHITE, T. J. (Eds.). *PCR Protocols: A guide to methods and applications*. San Diego: Academic Press, 1990. 482 p.
- LI, W.; LEVY, L.; HARTUNG, J. S. Quantitative distribution of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' in citrus plants with citrus huanglongbing. *Phytopathology*, v. 99, n. 2, p. 139-144, 2009. PMID:19159305. <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO-99-2-0139>
- LOPES, S. A.; FRARE, G. F.; YAMAMOTO, P. T.; AYRES, A. J.; BARBOSA, J. C., Ineffectiveness of pruning to control citrus huanglongbing caused by Candidatus Liberibacter americanus. *European Journal of Plant Pathology*, v. 119, n. 4, p. 463-468, 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s10658-007-9173-1>
- PEREIRA, F. M. V.; MILORI, D. M. B. P. Investigation of the stages of citrus greening disease using micro synchrotron radiation X-ray fluorescence in association with chemometric tools. *Journal Of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 25, n. 3, p. 351-355, 2010. <http://dx.doi.org/10.1039/b920980h>
- PEREIRA, F. M. V.; MILORI, D. M. B. P.; VENÂNCIO, A. L.; RUSSO, M. S. T.; MARTINS, P. K.; FREITAS-ÁSTUA, J. Evaluation of the effects of Candidatus Liberibacter asiaticus on inoculated citrus plants using laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and chemometrics tools. *Talanta*, v. 83, p. 351-356, 2010. PMID:21111145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.021>
- PEREIRA, F. M. V.; MILORI, D. M. B. P.; PEREIRA-FILHO, E. R.; VENÂNCIO, A. L.; RUSSO, M. S. T.; MARTINS, P. K.; FREITAS-ASTÚA, J. Fluorescence images combined to statistic test for fingerprinting of citrus plants after bacterial infection. *Analytical Methods*, v. 3, n. 3, p. 552-556, 2011a. <http://dx.doi.org/10.1039/C0AY00538J>
- PEREIRA, F. M. V.; MILORI, D. M. B. P.; PEREIRA-FILHO, E. R.; VENÂNCIO, A. L.; RUSSO, M. S. T.; CARDINALI, M. B.; MARTINS, P. K.; FREITAS-ASTÚA, J. Laser-induced fluorescence imaging method to monitor citrus greening disease. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 79, n. 1, p. 90-93, 2011b.

Geração de mapas de incidência de greening utilizando técnicas Wavelets-Multifractais

Diego Carlos Pereira da Silva^{1*}, Adolfo Posadas^{2*}, Lúcio André de Castro Jorge^{3*}, Ricardo Y. Inamasu^{3*}, Maria Stela Veludo de Paiva^{4*}

¹ Mestrando, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil

² Pesquisador, International Potato Center – CIP, CGIAR, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, Brasil

⁴ Professora, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: dicapesilva@usp.br; a.posadas@cgiar.org; lucio@cnpdia.embrapa.br; ricardo@cnpdia.embrapa.br; mstela@sc.usp.br

Resumo: O greening é uma doença devastadora que ataca a citricultura sendo considerada uma das maiores ameaças para a citricultura no âmbito mundial. No Brasil foram constatadas as primeiras ocorrências do greening no ano de 2004 no estado de São Paulo. Desde então houve o avanço gradativo da doença que ameaça o setor citrícola. Esta doença é causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter*, esta bactéria tem como vetor transmissor o inseto *Diaphorina citri*. Ao contaminar a planta, a bactéria aloja-se no interior dos vasos do floema e afeta o metabolismo da planta contaminada provocando o amarelecimento dos ramos, amarelecimento dos ponteiros sintomáticos, cloroses assimétricas no limbo foliar, deformidade dos frutos, necroses amarelo-escuro, sementes abortadas, seca nos ponteiros, perda de folhas e queda dos frutos. Por não apresentar cura até o presente momento o controle da doença consiste na erradicação das plantas contaminadas pela raiz. Para a realização do diagnóstico da doença existem dois métodos que podem ser utilizados atualmente, a análise do PCR e o método de inspeção visual. Este trabalho utiliza a técnica wavelet-multifractal combinada com os padrões temporais e espaciais da distribuição do greening em diferentes escalas no campo (talhões e municípios), permitindo a geração de mapas de incidência da doença, os quais contribuirão para a redução do percentual de falhas nas inspeções visuais.

Palavras-chave: greening, hiperespectral, HLB, multifractal, multiespectral, Wavelet.

Generation maps of the incidence of greening using Wavelets-Multifractals techniques

Abstract: Greening is a devastating disease that attacks citrus and is considered one of the greatest threats to the citrus industry worldwide. In Brazil we found the first occurrence of greening in São Paulo in 2004. Since then there has been gradual progress of the disease, which threatens the citrus sector. This disease is caused by the bacterium *Candidatus Liberibacter*, as this bacterium is the insect vector transmitting *Diaphorina citri*. By contaminating the plant, the bacterium is housed inside the phloem vessels and affects the metabolism of the infected plant causing yellowing of the branches, yellowing of the symptomatic pointers, asymmetric leaf chlorosis, deformation of the fruit, dark yellow necrosis, aborted seeds, pointer dry, loss of leaves and falling fruit. As there is not a cure for the disease so far, its control is done by eradicating the infected plants by the roots. For the diagnosis of the disease there are two methods that can be used today: the analysis by the PCR method and visual inspection method. This work uses the wavelet-multifractal technique combined with the temporal and spatial patterns of distribution of greening in the field at different scales (plots and cities), and allows the generation of maps of disease incidence, which will contribute to reducing the percentage of failures in visual inspections.

Keywords: greening, hyperspectral, HLB, multifractal, multispectral, Wavelet.

1. Introdução

A *Huanglongbing* (HLB), também conhecida como greening, é uma doença devastadora que ataca a citricultura sendo considerada uma das maiores ameaças para a citricultura no âmbito mundial (BOVÉ, 2006).

No Brasil foram constatadas as primeiras ocorrências da greening no ano de 2004 no estado de São Paulo. Desde então, houve um avanço gradativo da doença que ameaça o setor citrícola. Esta doença é causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter* e tem como vetor transmissor o inseto *Diaphorina citri* no Brasil (BOVÉ, 2006).

Segundo Coletta Filho e Carlos (2010) ao contaminar a planta, a bactéria aloja-se no interior dos vasos do floema, afetando o metabolismo provocando o seguinte quadro sintomatológico: amarelecimento dos ramos da planta; cloroses assimétricas no limbo foliar; deformação nos frutos e sementes abortadas; seca nos ponteiros, perda de folhas e queda dos frutos.

Por não apresentar cura até o presente momento o controle da doença consiste na erradicação das plantas contaminadas pela raiz, plantio de mudas sadias e controle do inseto vetor (BELASQUE JUNIOR et al., 2010).

Para a realização do diagnóstico da doença existem dois métodos que podem ser utilizados atualmente, a análise do *Polymerase Chain Reaction* (PCR) descrito por Innis et al. (2009) e o método de inspeção visual realizado por pragueiros. Porém, esses dois métodos apresentam como desvantagens, para a análise do PCR o alto custo o que inviabiliza a sua aplicação como método efetivo para o controle da propagação da doença, e o método de inspeção visual, só permite a detecção de plantas sintomáticas.

Por ser a erradicação das plantas o método mais efetivo para evitar a propagação do greening e devido às desvantagens dos métodos existentes para a realização de um diagnóstico mais preciso, diversos esforços vem sendo realizados na tentativa de se desenvolver ferramentas que auxiliem no diagnóstico precoce da doença.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta que permita a análise de imagens aéreas multiespectrais e hiperespectrais, por meio da utilização de técnicas wavelets-multifractais, descrita por Posadas et al. (2005), e que permita a geração de mapas de incidência do greening.

2. Material e métodos

A Figura 1 mostra o fluxograma da visão geral do software que está sendo desenvolvido neste trabalho, ilustrando as várias etapas que devem ser desenvolvidas para que sejam gerados os mapas de incidência do greening.

A aquisição das imagens foi realizada em uma fazenda citrícola, localizada no município de Matão, SP, numa área concedida à EMBRAPA Instrumentação pelo Grupo Fischer.

Foram realizados sobrevoos para a obtenção das imagens aéreas utilizando dois modelos de aeronaves: paulistinha e *cessna*. As imagens aéreas foram capturadas por meio da utilização de uma câmera multiespectral modelo ADC *Series* (desenvolvida pela empresa *Tetracam Inc.* Disponível em: <http://www.tetracam.com>. Acesso em: 20/09/2011).

Foram escolhidas as bandas vermelho e próximo do infravermelho, com base nas informações descritas no trabalho desenvolvido por Hatfield et al. (2008). Após a escolha da banda da imagem a ser analisada, a Transformada *Wavelet* Discreta 2-D descrita por Addison (2002), foi aplicada à imagem e os valores locais máximos foram obtidos por meio da aplicação da Transformada *Wavelet Modulus Maxima* descrita por McAteer et al. (2010).

Para calcular os valores das propriedades multifractais foi utilizada a técnica *wavelet-multifractal* utilizando a abordagem proposta por Muzy, Bacry e Arneodo (1991).

O cálculo multifractal utiliza os valores obtidos por meio da Transformada *Wavelet Modulus Maxima* para cada uma das escalas selecionadas da Transformada *Wavelet* Discreta.

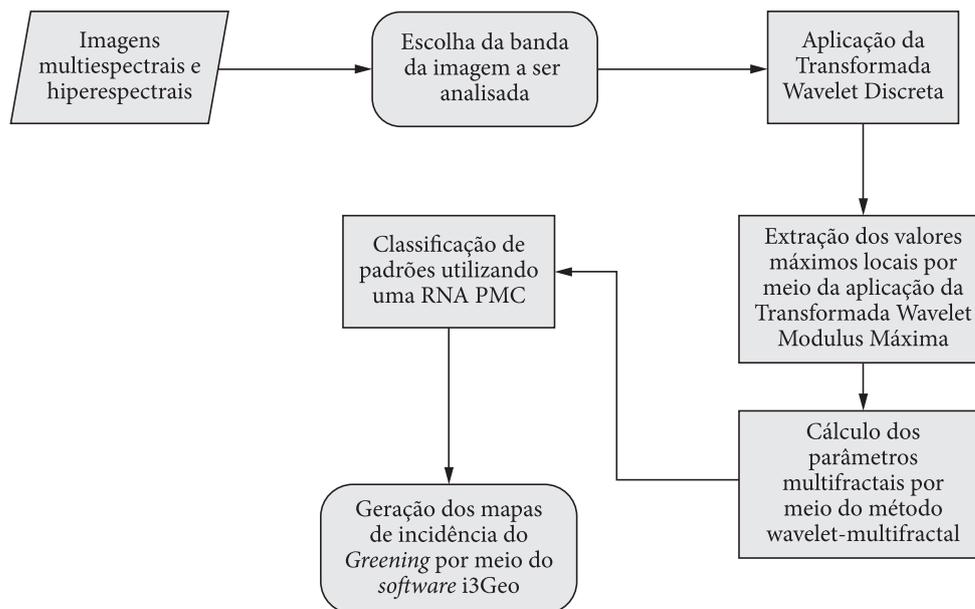


Figura 1. Fluxograma da visão geral do software.

Para a obtenção do espectro multifractal inicialmente foi definida a faixa de valores para os momentos estatísticos q , variando de -5 até 5 , com o valor de q sendo incrementado por 1 a cada passo. Estes valores foram utilizados a priori devido aos bons resultados apresentados por Silva et al. (2011), em que é desenvolvida uma ferramenta baseada na teoria multifractal para caracterizar as auto-similaridades presentes em folhas infectadas com o greening.

Os espectros multifractais obtidos para cada momento estatístico q , e os valores da dimensão fractal D_0 , D_1 e D_2 , são utilizados como parâmetros de entrada para a rede neural artificial do tipo *Perceptron* Multicamadas.

Após a classificação dos padrões são gerados os mapas de incidência do greening por meio da utilização do *i3Geo* (Disponível em: http://www.softwarepublico.gov.br/dotlrn/clubs/i3geo/one-community?page_num=0. Acesso em: 20/09/2011.).

3. Resultados parciais e discussão

Até o presente momento as seguintes etapas foram concluídas: escolha da banda da imagem a ser analisada, aplicação da Transformada *Wavelet* Discreta, extração dos valores máximos locais

por meio da aplicação da Transformada *Wavelet* Modulus Maxima e geração dos mapas temáticos com as informações do talhão em análise.

O software que está sendo desenvolvido permite ao usuário que o mesmo escolha a banda da imagem a ser analisada. Ao carregar a imagem são mostradas ao usuário informações sobre a imagem. A Figura 2a mostra a tela em que o usuário escolhe a banda da imagem a ser analisada. A Figura 2b mostra a tela principal do software em que o usuário escolhe as escalas e a função *Wavelet* que será utilizada durante a análise da imagem. Após a escolha da banda a ser analisada, a dimensão da imagem é ajustada automaticamente pelo software e é aplicada a Transformada *Wavelet* Discreta na imagem. É aplicada a Transformada *Wavelet Modulus Maxima* e os valores extraídos pela aplicação da mesma são armazenados em um vetor para cada escala utilizada.

O software *i3Geo* foi personalizado e já estão sendo gerados os mapas temáticos com as informações do talhão que está sendo monitorado neste trabalho.

A Figura 3 mostra o exemplo de um mapa temático gerado pelo *i3Geo* com o contorno do utilizado no experimento para a obtenção das imagens aéreas.

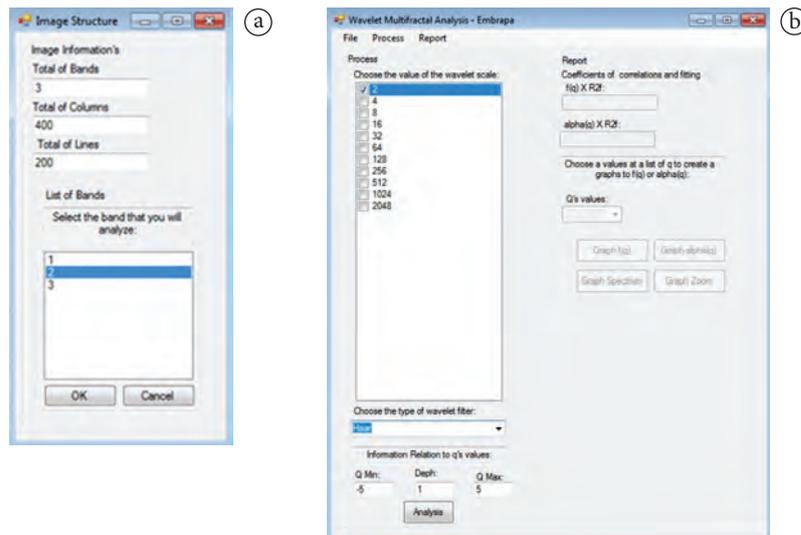


Figura 2. Telas do software. a) Escolha da banda a ser analisada; b) Escolha das escalas e da função wavelet.

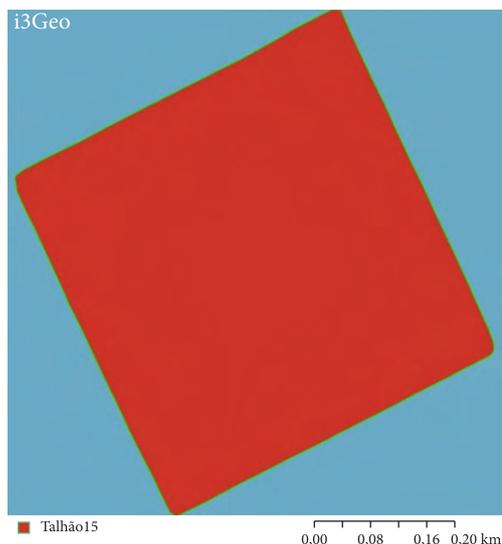


Figura 3. Mapa com o contorno do talhão utilizado para a obtenção das imagens aéreas.

4. Conclusões parciais

Para a metodologia definida neste trabalho foram concluídas todas as etapas descritas na seção de resultados parciais e discussão. A próxima etapa do trabalho consistirá na implementação do cálculo multifractal para os valores dos módulos máximos, obtidos por meio da aplicação da Transformada *Wavelet Modulus Maxima*, na definição da topologia da rede neural a ser utilizada e na geração dos mapas com as informações sobre a incidência do greening.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq (processo nº 578627/2008-6) e à empresa Fischer S.A. pela concessão da área experimental.

Referências

- ADDISON, P. S. **The illustrated wavelet transform handbook**. London: Institute of Physics Publishing Ltd, 2002.
- BELASQUE JUNIOR, J.; YAMAMOTO, P. T.; MIRANDA, M. P.; BASSANEZI, R. B.; AYRES, A. J.; BOVÉ, J. M. Controle do Huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil. **Citrus Research & Technology**, v. 31, n. 1, p. 53-64, 2010.
- BOVÉ, J. M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology**, v. 88, p. 7-37, 2006.
- COLETTA FILHO, H. D.; CARLOS, E. F. Ferramentas para diagnóstico de Huanglongbing e detecção de agentes associados: dos sintomas aos ensaios de laboratório. **Citrus Research & Technology**, v. 31, n. 2, p. 129-143, 2010.
- INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. J.; WHITE, T. J. (Eds.). **PCR Protocols: A guide to methods and applications**. San Diego: Academic Press, 1990.
- HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 117-131, 2008. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>
- McATEER, J. R. T.; KESTENER, P.; ARNEODO, A.; KHALIL, A. Automated Detection of Coronal Loops using a Wavelet Transform Modulus Maxima Method. **Solar Physics**, v. 262, n. 2, p. 387-397, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s11207-010-9530-7>

MUZY, J. F.; BACRY, E.; ARNEODO, A. Wavelets and Multifractal formalism for singular signals: Application to Turbulence Data. **Physical Review Letters**, v. 67, n. 25, p. 3515-3518, 1991. PMID:10044755. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.67.3515>

POSADAS, A.; ZOROGASTÚA, P.; QUIROZ, R.; LEÓN-VELARDE, C. Multifractal characterization of the spatial distribution of ulexite in a Bolivian salt flat. **International**

Journal of Remote Sensing, v. 26, p. 615-627, 2005. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160512331299261>

SILVA, D. C. P.; JORGE, L. A. C.; POSADAS, A.; PAIVA, M. S. V. Geração de um Classificador para Detecção do HLB em Citros Utilizando Técnica Box-Counting Multifractal. In: WORKSHOP DE VISÃO COMPUTACIONAL, 7., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2011. p. 179-183.

Medição de impactos durante a pós-colheita de frutas utilizando duas esferas instrumentadas**

Poliana Cristina Spricigo^{1*}, Marcos David Ferreira^{2*},
Murilo Nicolau^{3*}, Fabiano Fruett^{4*}

¹ Doutoranda em Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar,
Rod. Washington Luís, Km 235, SP-310, São Carlos, SP, Brasil

² Pesquisador Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

³ Professor Doutor, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação,
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Av. Albert Einstein, 400. Campinas, SP, Brasil

⁴ Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP,
Av. Albert Einstein, 400, Campinas, SP, Brasil

*e-mail: polianaspricigo@yahoo.com.br; marcosferreira@cnpdia.embrapa.br;
nicolau@dsif.fee.unicamp.br; fabiano@dsif.fee.unicamp.br

**Projeto em conjunto Embrapa Instrumentação e Faculdade de Engenharia Elétrica/Unicamp

Resumo: O consumo de frutas tem aumentado nos últimos anos, tanto no mercado externo quanto no mercado interno, com maior demanda por frutas frescas e de qualidade. O monitoramento da qualidade pode ser feito utilizando-se instrumentos que auxiliam no bom manejo pós-colheita, evitando que haja perdas ao longo da cadeia produtiva. Para identificar pontos onde frutas possam sofrer impactos foram desenvolvidas esferas instrumentadas. As esferas instrumentadas são frutos falsos que registram a aceleração sofrida pela fruta, e podem ser utilizadas desde a colheita até a comercialização. Existem esferas instrumentadas importadas disponíveis no mercado para comercialização, contudo, seu custo é elevado. Visando oferecer um instrumento mais acessível ao produtor foi desenvolvida a Fruta Eletrônica, que alia a medição de impactos e temperatura, a um custo menor. Este trabalho objetivou testar as duas esferas em linha de beneficiamento e analisar o desempenho da nova esfera “Fruta Eletrônica”. Para isso elas foram colocadas em uma linha de beneficiamento de laranjas, e seus dados foram comparados. A Fruta Eletrônica apresentou desempenho semelhante ao da esfera instrumentada comercial, sendo uma alternativa de baixo custo para identificar pontos de impactos e possíveis danos, além de oferecer a temperatura na qual as frutas estão submetidas.

Palavras-chave: quantificação, impactos, pós-colheita.

Impact measurements during fruit post-harvest using two instrumented spheres

Abstract: Fruit consumption has increased in recent years in the external and internal market, with increased demand for fresh fruit and quality. Quality monitoring can be done using instruments that assist in the postharvest handling, preventing losses along the production chain. To identify points where fruit may be impacted instrumented spheres were developed. The instrumented spheres are false fruit that record acceleration experienced by the fruit, and can be used from harvest to market. There are instrumented spheres imported commercially available in the market, however, they are high cost. In order to provide a more accessible instrumented sphere to the producer was developed the Electronic Fruit, which combines the measurement of impacts and temperature, with lower cost. This study aimed to test the two spheres in packing house and analyzing the performance of a new sphere “Electronic Fruit”. For this, they were placed in a packing line of oranges, and their results were compared. Electronic Fruit had a performance similar to the commercial sphere instrumented, and is a good alternative to identify possible points of impact and damage, and provide the temperature at which the fruits are subjected.

Keywords: quantification, impacts, postharvest.



1. Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, e em 2008 superou 43 milhões de t, representando 5% do total mundial. Cerca de 50% da produção brasileira é destinada ao mercado de frutas frescas e a demanda do mercado interno e externo tem crescido (SEBRAE, 2009).

Houve incremento de 4,38 kg no consumo de frutas por pessoa/ano nos lares brasileiros de 2002 a 2008, com todas as regiões brasileiras apresentando aumento significativo no consumo per capita de frutas. No mercado externo, o Brasil exportou US\$ 355,12 milhões só de janeiro a setembro de 2011, e aponta para fechamento em superávit da balança comercial de frutas (HORTIFRUTI BRASIL, 2011).

Frente à expansão da demanda de frutas, é necessária a utilização de tecnologias que visem à preservação da qualidade desde a colheita até a mesa do consumidor. Impactos causados por quedas após a colheita ao longo da cadeia produtiva podem deteriorar a qualidade final das frutas, podendo causar perdas quantitativas e qualitativas. Para monitorar os impactos sofridos após a colheita foram desenvolvidas esferas instrumentadas, que são frutos falsos que possuem registradores de aceleração, permitindo aquisição de dados para posterior análise. Os frutos falsos podem ser colocados nas linhas de produção e acompanham o trajeto percorrido pelas frutas nas diversas etapas de beneficiamento.

A esfera mais utilizada para fazer medidas de impactos é a IRD® (Impact Recording Device®). Ela é uma esfera comercial da Techmark, Inc, porém

o alto custo de aquisição deste instrumento pode ser inviável e inacessível para produtores rurais. Com a proposta de desenvolver um fruto falso de baixo custo de fácil acesso foi projetada a Fruta Eletrônica (FE), desenvolvida na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Além de monitorar os impactos, ela também é capaz de armazenar dados de temperatura.

O objetivo deste trabalho foi utilizar as duas esferas instrumentadas em linhas de beneficiamento de laranjas e comparar o registro de dados de cada uma (Figura 1), sendo assim um meio de validar a eficiência da Fruta Eletrônica (FE) em monitorar impactos durante a pós-colheita de frutas.

2. Material e métodos

O teste com as duas esferas instrumentadas foi realizado em uma linha de beneficiamento de laranjas, localizado no interior de São Paulo, na cidade de Engenheiro Coelho.

Esfera instrumentada “IRD”: equipamento com envoltório plástico contendo um acelerômetro triaxial utilizado como sensor de impacto. Transferem-se os dados através de um cabo, por meio de um software (FERREIRA, 2008).

Esfera instrumentada “Fruta Eletrônica”: dotada de acelerômetros triaxiais para medir e armazenar dados de impactos, e sensor de temperatura que faz o mesmo na faixa de 0° a 80° C. Ligando-se um cabo, com conector USB, para descarregar os dados que podem ser visualizados instantaneamente em um computador (NICOLAU, 2009).



Fonte: Nicolau, 2009

Figura 1. À esquerda a esfera instrumentada comercial (IRD) e à direita a Fruta Eletrônica FE.

A linha de beneficiamento utilizada tinha 65 m de comprimento e as etapas que compõem essa linha são basicamente: recebimento, pré-classificação, lavagem, secagem, enceramento, secagem da cera, classificação automática e classificação manual em banca classificadora.

Para o monitoramento dos impactos, a linha de beneficiamento foi dividida, utilizando-se os pontos de transferência onde havia quedas no percurso: 1) Entrada lavagem, 2) Saída lavagem, 3) Entrada 1º secador, 4) Saída 1º secador, 5) Entrada 2º secador, 6) Saída 2º secador, 7) Entrada classificação, 8) Entrada esteira, 9) Entrada 2º esteira, 10) Esteira-Banca, 11) Banca classificadora.

As esferas foram colocadas no início da linha, junto com as demais laranjas, e os horários de cada transferência foram anotados. Três repetições para cada esfera foram realizadas.

3. Resultados e discussão

Ao longo do teste as esferas percorreram a linha de beneficiamento juntamente com as demais frutas sem que houvesse qualquer impedimento. Começaram e terminaram a linha com o mesmo lote de laranjas. As esferas obtiveram resultados semelhantes ao longo da linha de beneficiamento no que se refere à aceleração (Tabela 1 e 2). A semelhança nos dados demonstra que as esferas obtiveram perfil comportamental muito próximo diante dos pontos de transferência.

O valor da correlação entre médias da aceleração da esfera instrumentada IRD e esfera instrumentada FE é de 0,69. Este valor expressa forte correlação entre as avaliações, apesar de terem medido magnitudes diferentes de impactos. A diferença na magnitude era esperada, uma vez que as duas

Tabela 1. Valores de aceleração G(m/s²) ao longo dos pontos de transferência da linha de beneficiamento, medidos com a esfera IRD.

				Média
Entrada lavagem	37,40	60,50	67,20	55,03
Saída lavagem	30,70	27,50	37,20	31,80
Entrada 1º secador	123,60	112,20	104,30	113,37
Saída 1º secador	33,60	24,80	36,50	31,63
Entrada 2º secador	24,70	35,60	63,30	41,20
Saída 2º secador	94,00	90,30	15,20	66,50
Entrada classificação	115,20	104,60	102,40	107,40
Entrada esteira	66,60	30,90	143,60	80,37
Esteira- 2º esteira	181,90	175,60	131,90	163,13
Esteira- Banca	13,40	13,10	52,20	26,23
Banca classificadora	17,70	24,90	18,40	20,33

Tabela 2. Valores de aceleração G(m/s²) ao longo dos pontos de transferência da linha de beneficiamento, medidos com a esfera Fruta Eletrônica, e temperatura na média na linha.

				Média	T °C média
Entrada lavagem	9,44	19,02	24,32	17,60	31,67
Saída lavagem	19,89	71,93	140,06	77,29	25,14
Entrada 1º secador	48,99	149,99	244,60	147,86	25,96
Saída 1º secador	20,87	38,28	26,51	28,55	30,69
Entrada 2º secador	78,00	30,27	38,76	49,01	29,38
Saída 2º secador	26,34	41,71	72,90	46,98	32,97
Entrada classificação	58,15	166,98	57,82	94,32	32,48
Entrada esteira	37,04	36,71	44,96	39,57	32,16
Esteira- 2º esteira	113,22	71,59	95,00	93,27	31,34
Esteira- Banca	60,46	37,77	17,56	38,60	31,34
Banca classificadora	42,04	15,14	18,46	25,21	31,18

apresentam material envoltório diferentes, além de outras especificações como diâmetro e peso. A medição da temperatura realizada pela esfera instrumentada FE pode ser um item vantajoso ao produtor, pois ele poderá monitorar o aquecimento excessivo da fruta (ocorrência comum na aplicação de cera), e assim prevenir a perdas de qualidade quanto a atributos sensoriais.

4. Conclusão

A fruta eletrônica demonstrou ser bom instrumento para monitoramento dos impactos após a colheita por meio da medição da aceleração, é uma alternativa acessível ao produtor, e ainda oferece informação adicional sobre a variação da temperatura ao longo da cadeia produtiva.

Agradecimentos

A empresa Ouro do Brasil, Engenheiro Coelho, por permitir a realização de testes.

Referências

FERREIRA, M. D. **Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 144 p.

HORTIFRUTI BRASIL. **Quem é o consumidor brasileiro de frutas e hortaliças?** Hortifruti Brasil, ed. n. 103. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/103/mat_capa.pdf>. Acesso em: 06 out. 2011.

NICOLAU, M. **Esfera instrumentada de baixo custo para monitoramento de impactos e temperatura durante processos pós-colheita**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

SEBRAE. **Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo**. Agência Sebrae de Notícias, 2009. Disponível em: <http://www.sebraemg.com.br/Geral/VisualizarDestaque.aspx?Cod_destaque=5997&cod_areasuperior=4&cod_areaconteudo=670&cod_pasta=675&RedirectNavegacao=true&navegacao=NOT%C3%8DCIAS_SEBRAE/Informativos_do_Sebrae_Minas/%C3%9Altimas_Not%C3%ADcias/Junho2009/Brasil_%C3%A9_o_terceiro_maior_produto_r_de_frutas_do_mundo>. Acesso em: 06 out. 2011.

Avaliação de um equipamento portátil para determinação do grau de humificação da matéria orgânica de solos

Débora M. B. P. Milori^{1*}, Ladislau Martin-Neto¹, Paulino Ribeiro Villas Boas¹, Edilene C. Ferreira^{2*}, Aline Segnini², Ednaldo J. Ferreira^{3*}, Cleber H. dos Santos^{4*}, Renan A. Romano^{5*}, Wilson T. L. da Silva¹, Marcelo L. Simões³, Adolfo Posadas^{6*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, Brasil

² Pós-doc, Embrapa Instrumentação, Rua XV de novembro, 1452, São Carlos, Brasil

³ Analista, Embrapa Instrumentação, Rua XV de novembro, 1452, São Carlos, Brasil

⁴ Pós-graduando, Instituto de Química de São Carlos – IQSC, Universidade de São Paulo – USP, Av. do Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, Brasil

⁵ Graduando, Instituto de Física de São Carlos – IFSC, Universidade de São Paulo – USP, Av. do Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, Brasil

⁶ Pesquisador, International Potato Center, Av. La Molina 1895, La Molina, Peru

*e-mail: debora@cnpdia.embrapa.br; edilene@cnpdia.embrapa.br; ednaldo@cnpdia.embrapa.br; cleber@cnpdia.embrapa.br; renan.romano@gmail.com; a.posadas@cgiar.org

Resumo: O estoque e a estabilidade da matéria orgânica são indicadores importantes de qualidade de solos e da sustentabilidade de sistemas agrícolas. Os métodos atuais de análise da matéria orgânica do solo (MOS) exigem um longo e complexo preparo, sendo inviáveis para utilização na agricultura de precisão. Nesse sentido, técnicas óticas representam uma alternativa promissora por serem rápidas e aplicáveis a solos com quase nenhuma preparação. Exemplos dessas técnicas incluem a espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) para medir o teor de carbono e a espectroscopia de fluorescência induzida por laser (LIFS) para avaliar o grau de humificação da matéria orgânica. LIBS é uma técnica espectroanalítica baseada na observação da radiação emitida por átomos, íons e espécies moleculares em um microplasma gerado por um laser. LIFS tem como princípio básico excitar o solo com um laser com emissão na região do azul ou violeta o que resulta na fluorescência de grupos funcionais da matéria orgânica. A fluorescência, ponderada a partir dos teores de C da amostra, traz informações a respeito do grau de humificação da matéria orgânica, pois a radiação na região do azul é mais ressonante com estruturas aromáticas e cíclicas, presentes principalmente na MOS mais humificada. Testes em laboratório têm demonstrado um alto potencial de ambas as técnicas. Neste trabalho, foi analisado o desempenho de um equipamento portátil que utiliza LIFS para avaliação do grau de humificação da matéria orgânica. Para comparação, foi utilizado como referência um sistema de bancada, previamente validado com técnicas tradicionais.

Palavras-chave: carbono, grau de humificação, matéria orgânica dos solos, LIFS, equipamento portátil.

Assessment of a portable device for determining the degree of humification of soil organic matter

Abstract: Stock and stability of organic matter are important indicators of quality of soils and the sustainability of agricultural systems. Current methods of analysis of soil organic matter (SOM) require a long and complex preparation, being unsuitable for use in precision agriculture. Accordingly, optical techniques represent a promising alternative because they are fast and applicable to soils with almost no preparation. Examples of these techniques include laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) to measure carbon content and laser-induced fluorescence spectroscopy (LIFS) to assess the



humification degree of organic matter. LIBS is a spectro-analytical technique based on observation of the radiation emitted by atoms, ions and molecular species in a micro-plasma generated by a laser. The basic idea of LIFS is to excite the fluorescence using a laser emission at blue or violet region, which is more resonant with aromatic and cyclic structures, mainly present in the more humified SOM. The fluorescence, normalized by C content of the sample, provides information about humification degree of organic matter. Laboratory tests have shown a high potential for both techniques. In this work, a portable equipment based on LIFS to assess the degree of organic matter was analyzed. For comparison, a laboratory system, previously validated with traditional techniques, was used as a reference.

Keywords: carbon, humification degree, soil organic matter, LIFS, portable equipment.

1. Introdução

A MOS é definida como qualquer material produzido por seres vivos – plantas ou animais – que retorna ao solo e é transformado pelo processo de decomposição. Consiste de uma variedade ampla de materiais que vão desde tecidos intactos de plantas e animais até materiais totalmente decompostos, conhecidos como húmus. A maior parte da MOS advém de plantas, sendo composto principalmente por água entre 60 e 90% (BOT; BENITES, 2005). O restante seco contém em sua grande maioria: carbono, oxigênio e hidrogênio e em quantidades menores: enxofre, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro e magnésio. Mesmo apresentando quantidades pequenas desses elementos, a MOS é um importante reservatório de nutrientes para as plantas, garantindo a fertilidade do solo caso seja manejado eficientemente.

A MOS pode ser classificada conforme a sua estabilidade e posição no solo. A parte ativa, em constante decomposição, inclui os microorganismos e pode variar entre 10 e 40%, enquanto que a parte mais resistente ou estável corresponde a 40-60% da MOS total (BOT; BENITES, 2005). Por questões práticas, a MOS pode ser subdivida em frações superficial ou subterrânea. A fração superficial consiste de resíduos de plantas e animais depositados na superfície do solo e a fração subterrânea corresponde aos microorganismos, aos resíduos orgânicos parcialmente decompostos e às substâncias húmicas. Embora essas subdivisões sejam convenientes, elas não representam produtos estáticos, mas sim produtos parciais de um equilíbrio dinâmico. Tal equilíbrio depende fundamentalmente das propriedades do solo e da quantidade de resíduos animais ou vegetais que são depositados. Desta forma, a taxa de

decomposição e o acúmulo de matéria orgânica no solo dependem diretamente de propriedades de solos, tais como, textura, pH, temperatura, umidade, areação, mineralogia, microorganismos, entre outros. Além disso, a própria MOS influencia ou modifica muitas dessas propriedades.

Na superfície, a MOS ajuda a proteger o solo das chuvas, vento e raios solares. Se removida, o solo perde, além dessa proteção natural, uma de suas principais fontes primárias de nutrientes. Internamente, a MOS não apenas provê uma fonte contínua de nutrientes à medida que é decomposta, mas também permite uma melhor agregação entre as partículas constituintes do solo, melhorando a sua estrutura e minimizando os efeitos de erosão. A fração estável da MOS contribui ainda para a capacidade de reter nutrientes pelo solo, pois aumenta a capacidade de troca de cátions.

O manejo adequado da MOS é fundamental para uma agricultura sustentável que minimize o uso de fertilizantes químicos e reduza os problemas com erosão, além, é claro, de mitigar a emissão de CO₂ pela decomposição da MOS. Com um manejo apropriado, é possível inclusive armazenar carbono no solo, ajudando a reduzir os efeitos das mudanças climáticas globais. Desta forma, é importante não apenas medir o teor da MOS, mas também a sua estabilidade para saber o quanto de carbono é sequestrado pelo solos e qual é a sua facilidade em retornar para a atmosfera.

Tanto para questões agrícolas como para as ambientais, é de extrema importância o desenvolvimento de métodos analíticos rápidos e capazes de responder às demandas de quantificação da MOS e à determinação do grau de humificação, pois métodos tradicionais, além de serem muito

demorados, demandam grandes quantidades de solo e de reagentes químicos. Técnicas óticas para quantificação e medida da estabilidade da MOS surgem como alternativas promissoras, por serem rápidas e não necessitarem de tratamento com reagentes químicos. Dentre essas técnicas, destacam-se a espectroscopia de plasma induzido por laser (LIBS) e a fluorescência induzida por laser (LIFS). A primeira delas é comumente utilizada para determinar a composição elementar de amostras, mas, se devidamente calibrada, pode ser usada para determinar a concentração dos elementos constituintes da amostra. No caso de solos, LIBS tem sido utilizada para determinar o teor de carbono (SILVA et al., 2008; CREMERS et al., 2001; EBINGER et al., 2003). A técnica LIFS permite a análise de materiais que emitem fluorescência tais como, por exemplo, substâncias húmicas, e tem sido empregada para determinação do grau de humificação de amostras de solo (MILORI et al., 2006). Ambas as técnicas têm sido aplicadas com êxito na análise da quantidade e da estabilidade de carbono em solos. Neste trabalho foi avaliado o desempenho de um equipamento portátil que utiliza a LIFS para avaliação do grau de humificação da MOS. Como referência foi utilizado um sistema LIFS de bancada previamente validado com técnicas tradicionais, como a avaliação da aromaticidade do ácido húmico através da espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) e a quantificação do número de radicais livres do tipo semiquinona

realizada pela espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR).

As próximas seções apresentarão os materiais e métodos empregados assim como os resultados obtidos. A última seção discute os resultados obtidos e suas implicações.

2. Material e métodos

O solo analisado é um Argissolo Vermelho Distrófico Latossólico, cultivado com capim-Bermuda Tifton 85, submetido a diferentes tratamentos: SI-sem irrigação e sem fertilização nitrogenada mineral (FNM); W100-irrigação com água de consumo e 100% (520 kg.ha⁻¹ ano⁻¹) da dose recomendada de FNM para o capim Tifton - 85; E0-irrigação com efluente e 0% (0 kg.ha⁻¹ ano⁻¹) da FNM; E33-irrigação com efluente e 33% (171,6 kg.ha⁻¹ ano⁻¹) da FNM; E66-irrigação com efluente e 66% (343,2 kg.ha⁻¹ ano⁻¹) da FNM; E100-irrigação com efluente e 100% (520 kg.ha⁻¹ ano⁻¹) da FNM.

O espectrômetro LIFS de bancada, ilustrado na Figura 1a é um sistema composto por um laser de argônio sintonizado na linha de 458 nm com uma potência de 300 mW (1), um prisma para separação da emissão do laser da fluorescência do gás, espelho para a condução da excitação até as amostras de solos (3, 4 e 5), uma lente para coletar a fluorescência (6), um modulador óptico (7), um filtro para suprimir a excitação no sistema de detecção (8), um monocromador (1200 g.mm⁻¹ e “blaze” em 500 nm) (9), uma fotomultiplicadora com pico de resposta espectral em 530 nm (10), um amplificador

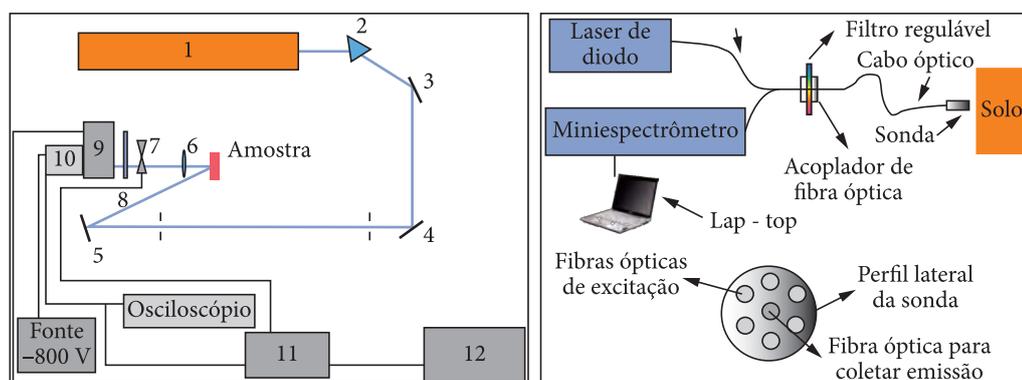


Figura 1. a) Esquema experimental do equipamento LIFS de bancada; b) Esquema experimental do equipamento LIFS portátil.

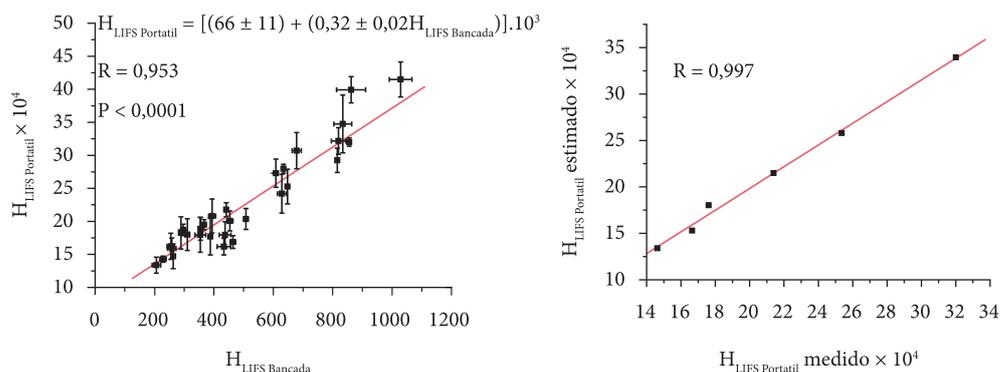


Figura 2. a) Regressão linear simples obtida com os tratamentos E0, E33, E66, E100 e S1; b) Validação da análise de regressão linear simples dos dados obtidos pelo sistema de LIFS portátil para as amostras do tratamento W100.

lock-in (11), um microcomputador dotado de uma placa de aquisição e software de controle e aquisição de dados (12). A área sob a curva dos espectros normalizada pelo teor de carbono da amostra de solo é proporcional ao grau de humificação da MOS (MILORI et al., 2006), que é representado por H_{LIFS} . O espectrômetro LIFS portátil, ilustrado na Figura 1b, para análise do grau de humificação é constituído por um laser de diodo emitindo em 405 nm, com potencia máxima de 50 mW, acoplado a um cabo óptico composto por seis fibras ópticas que excitam a amostra e uma fibra óptica central que coleta o sinal de fluorescência do solo. A fluorescência e a reflectância da amostra são conduzidas até um miniespectrômetro de alta sensibilidade. Antes de atingir o miniespectrômetro, o sinal é filtrado para atenuar o sinal de reflectância. A emissão da amostra é então decomposta através de uma grade de difração fixa e detectada por um conjunto de fotodiodos previamente calibrados. Desta forma, obtém-se o espectro de emissão que é enviado para um computador, o qual é responsável por fazer o controle, a aquisição e o tratamento dos dados. O cálculo do H_{LIFS} é realizado de forma similar ao do sistema de bancada.

A curva de calibração foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados utilizando os índices de humificação determinados pelo sistema LIFS de bancada, denominado $H_{LIFS Bancada}$, como variáveis independentes e os índices de humificação determinados pelo sistema LIFS portátil, denominado $H_{LIFS Portátil}$, como variáveis dependentes.

3. Resultados e discussão

Os solos descritos na seção de Materiais e Métodos foram analisados pelos dois sistemas LIFS e os resultados estão apresentados na Figura 2. Na Figura 2a é mostrada a correlação entre os índices de humificação obtidos pelo sistema LIFS de bancada e o sistema LIFS portátil. A equação obtida por esta curva de calibração foi $H_{LIFS portátil} = [(66 \pm 11) + (0,32 \pm 0,02) (H_{LIFS bancada})] \cdot 10^3$, e o coeficiente de correlação foi de 0,953 ($P < 0,0001$). Foram utilizadas as amostras do tratamento W100 para validação do modelo. Como pode ser observado na Figura 2b, utilizando o modelo linear proposto, o valor estimado do grau de humificação do sistema portátil é muito próximo do valor medido pelo sistema de bancada. Além disso, o coeficiente de correlação entre os sistemas foi de 0,997 com baixa dispersão, indicando um valor baixo do erro na estimativa do grau de humificação da MOS.

4. Conclusões

Um dos principais objetivos da instrumentação da agricultura de precisão é o desenvolvimento de sensores que possam ser embarcados em veículos agrícolas para o levantamento de mapas das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Dentre essas propriedades, destaca-se o grau de humificação da MOS, que tem relação direta com a estabilidade do carbono do solo. Neste trabalho, foi analisado o desempenho de um sistema portátil para avaliação do grau de humificação da MOS. Os resultados mostraram uma excelente correlação do sistema portátil com

o sistema de bancada ($R = 0,997$, $P < 0,0001$). Além da comprovada eficiência, o sistema portátil possui características de grande interesse para ser integrado em um sistema embarcado, como por exemplo, a rapidez da medida (<10 s), baixo custo da análise por amostra e utilização de amostras com mínimo de preparo.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

Referências

BOT, A.; BENITES, J. The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food and production. *FAO Soils Bulletin*, 2005.

CREMERS, D. A.; EBINGER, M. H.; BRESHEARS, D. D.; UNKEFER, P. J.; KAMMERDIENER, S. A.; FERRIS, M. J.; CATLETT, K. M.; BROWN, J. R. Measuring Total Soil Carbon with Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). *Journal Of Environmental Quality*, v. 30, p. 2202-2206, 2001. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2001.2202>

EBINGER, M. H.; NORFLEET, M. L.; BRESHEARS, D. D.; CREMERS, D. A.; FERRIS, M. J.; UNKEFER, P. J.; LAMB, M. S.; GODDARD, K. L.; MEYER, C. W. Extending the Applicability of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for Total Soil Carbon Measurement. *Soil Science Society of America*, v. 67, p. 1616-1619, 2003. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1616>

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PEREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of American Journal*, v. 70, n. 1, p. 57-63, 2006. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2004.0270>

SILVA, R.; MILORI, D. M. B. P.; FERREIRA, E.; FERREIRA, E.; KRUG, F.; MARTIN-NETO, L. Total carbon measurement in whole tropical soil sample. *Spectrochimica Acta. Part B, Atomic Spectroscopy*, v. 63, p. 1221-1224, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2008.09.003>

Bancada automatizada para ensaios e desenvolvimento de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob manejo baseado em agricultura de precisão

Paulo E. Cruvinel^{1*}, Vilma Alves de Oliveira^{2*}, Kleber Romero Felizardo^{3*}, Heitor Vinicius Mercaldi^{3*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, Brasil

² Professora Doutora, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil

³ Pós-graduando, Departamento de Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: cruvinel@cnpdia.embrapa.br; vilma@sc.usp.br; heitor@usp.br; klerfe@sc.usp.br

Resumo: Neste trabalho é apresentada uma bancada automatizada que atua como um sistema de desenvolvimento para pulverizadores, aplicadores de fertilizante líquido e maturadores. O sistema de desenvolvimento possibilita o ensaio de bicos para a aplicação de tais insumos, bem como avaliação da qualidade de espectros das gotas e sua distribuição em diferentes velocidades, faixas e distancias dos alvos. Também, auxilia no desenvolvimento de modelos de decisão, tanto os de caráter teórico como os aplicados em função da dinâmica do tempo de resposta decorrente de diferentes tipos de injeção. O trabalho é de interesse para a agricultura de precisão, uma vez que possibilita avaliar em ambiente de simulação as diversas situações que podem ocorrer em campo, incluindo aplicação taxa variada e otimização do uso de aplicadores.

Palavras-chave: ambiente de simulação, espectro de gotas, fertilizante líquido, maturador, pulverização, sistema de desenvolvimento.

Automated bench for testing and development of herbicide sprayers, liquid fertilizer applicators and maturators in crops under management based on precision agriculture

Abstract: We present an automated bench that acts as a development system for sprayers, liquid fertilizer applicators and agricultural maturators. The development system allows the nozzles to the application of such inputs as well as assessing the quality of spectra of the drops and their distribution in different speed, ranges, and distance from the targets. It also helps the development of decision models, both of a theoretical as applied according to the dynamic response time due to different types of injection. The work is of interest for precision agriculture, because it allows the simulation environment to evaluate the various situations that may occur in the field, including variable rate application and optimization.

Keywords: agricultural maturator, drops spectrum, liquid fertilizer, simulation environment, spray, system development.

1. Introdução

A tecnologia de aplicação de insumos agrícolas ainda é pouco pesquisada no Brasil (MAGNO JUNIOR, 2008). Diante das exigências do mercado internacional, a tecnologia de aplicação deve atender parâmetros que possam agregar maior credibilidade e valor aos produtos agrícolas no mercado interno e no exterior, principalmente no que se refere à certificação e rastreabilidade. Assim como as aplicações de agrotóxicos realizadas atualmente nas áreas rurais do Brasil, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores ainda caracterizam-se pelo alto desperdício de energia e produto, aliado à ineficiência dos resultados de controle. Por outro lado, o crescente aumento nos custos dos produtos químicos, da mão de obra e da energia, e a preocupação cada vez maior em relação aos impactos ambientais e sociais, têm realçado a necessidade de melhorias dos métodos, técnicas, processos e equipamentos, bem como dos procedimentos adequados baseados no uso das Boas Práticas (BPs) e de instrumentos que possam ser caracterizados por padrões metrológicos confiáveis.

As questões que envolvem calibração de equipamentos, novos equipamentos, bem como procedimentos e metodologias de aplicação destes insumos têm encontrado ao longo das últimas décadas uma série de soluções parciais, porém da mesma forma uma série de gargalos, problemas e demandas que continuam aguardando por respostas. O tema é complexo e envolve uma série de variáveis relacionadas à geografia, ao clima, à cultura a ser tratada, as espécies e a localização das plantas invasoras, bem como e principalmente dos métodos, processos, instrumentos e conhecimentos, os quais envolvem o acoplamento de várias áreas do conhecimento.

Os métodos disponíveis para análise de deposição destes insumos são sofisticados e caros. Por isto, alternativas têm sido experimentadas (DERKSEN; JIANG, 1995; JIANG; DERKSEN, 1995; CRUVINEL et al., 1999; TIAN; REID; HUMMEL, 1999; GARCIA et al., 2000; CHAIM et al., 2002; BRESSAN et al., 2008). A deposição de pulverização, por exemplo, pode ser determinada medindo o resíduo químico em

superfícies da planta ou no solo ou através da coleta das deposições em alvos artificiais simples, como papel hidrossensível. Dependendo do espectro de gotas considerado, método mais sofisticado como análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) podem ser requeridos, onde os resultados de volume depositado nos coletores ($\mu\text{L}/\text{m}^2$) são transformados em porcentagem de calda recuperada em relação ao volume total aplicado, sendo estabelecido intervalo e confiança para as quantificações.

Este trabalho apresenta um sistema de desenvolvimento que permite avaliar a qualidade da aplicação agrícola de insumos líquidos, tais como agrotóxicos, fertilizantes líquidos e maturadores, tanto para operação em modelo de manejo convencional ou em modelo de manejo baseado em Agricultura de Precisão, com possibilidade de análise do tempo de resposta, uniformidade da mistura, qualidade do espectro de gotas, variação de parâmetros como vazão, pressão e distância entre bicos e alvos de interesse, com automatização de modelos de decisão. Este sistema de desenvolvimento está instalado em uma infra-estrutura compartilhada entre a Embrapa Instrumentação e o Laboratório de Controle da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

2. Material e métodos

A Figura 1 mostra o diagrama básico do sistema de desenvolvimento projetado e seus módulos componentes. Pode-se notar que a localização dos sistemas de injeção dos bicos de aplicação podem ser arranjados conforme interesse específicos dos projetos que poderão estar sendo desenvolvidos para aplicação de agrotóxicos, maturadores ou mesmo fertilizantes líquidos.

Um sistema de bombas controladas é utilizado e com isto é possível controlar o fluxo do insumo a ser aplicado, o qual é diretamente proporcional à velocidade de rotação deste motor. Para este controle foi previsto o uso de um fluxômetro para regulação do fluxo. Toda esta estrutura (reservatórios, bombas, válvulas elétricas e fluxômetro) é montada em um painel à 150 cm

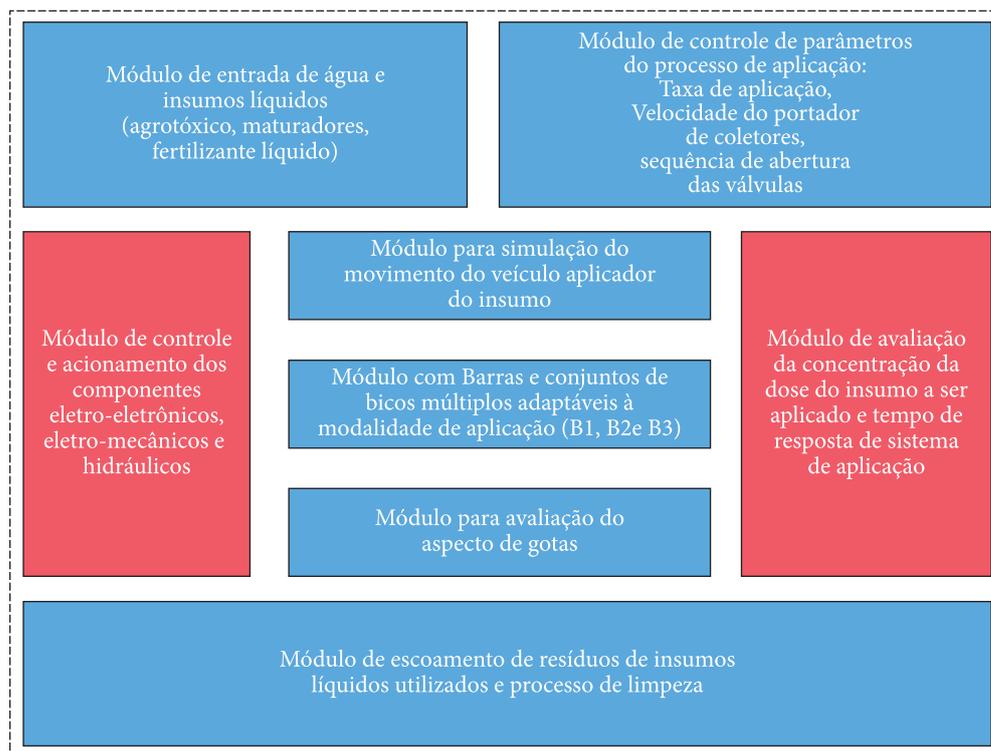


Figura 1. Vistas dos módulos do sistema de desenvolvimento em diagrama de blocos (CRUVINEL et al., 2010).

do chão. Foi dimensionado para trabalhar com até três seções de barras, B1, B2 e B3. As barras B1 e B2 conterão cada uma até 10 corpos de bicos múltiplos (5 saídas) podendo alojar as pontas de aplicadores de jato plano de faixa ampliada, ou outros. A barra B3 foi projetada para acomodar até três destes corpos de bicos múltiplos para testes de análise de espectros de gotas. As barras B1 e B2 têm os seus fluxos das pontas desviados diretamente para uma calha coletora. Deste modo, os respingos dos líquidos ejetados por estes bicos não poderão interferir nas análises de espectros de gotas. Tomando por base uma guia linear acionada por um motor elétrico de corrente contínua é possível simular a dinâmica envolvida no processo. Tal estrutura tem 100 cm de comprimento e 240 cm de largura, sendo útil para alojar papéis hidrossensíveis ou outros coletores com corantes. Também a altura desta estrutura é variável para permitir que a distância dos bicos aos coletores de gotas fique entre 50 a 70 cm. Uma unidade de controle é responsável pelo ajuste da velocidade do controle desta função no sistema de desenvolvimento. Desta maneira é possível variar a sua velocidade podendo ser considerada a faixa de 1 a 12 km/h. A bancada de desenvolvimento

possui uma estrutura para o painel de controle e uma estrutura para aplicação de insumos líquidos, ambas montadas em material metalon e revestidas por uma pintura eletrostática protegida contra ferrugem.

Este trabalho busca estruturar subsídios instrumentais para a implantação de um Laboratório para aplicações de insumos líquidos em processos agrícolas situado na Embrapa Instrumentação, o qual deverá ser utilizado como uma *facility* viabilizando o desenvolvimento de projetos em aplicação de agrotóxicos, maturadores ou fertilizantes em taxa variável, promover ambiente para orientações de alunos em parcerias com Universidades, bem como o desenvolvimento do setor.

3. Resultados e discussão

Um dos aspectos positivos que envolvem a construção de um sistema de desenvolvimento é a possibilidade de se projetar e preparar com otimizações um resultado experimental esperado. Nos dias de hoje a tendência de se usar instrumentação embarcada e sensores *on-the-go* em máquinas e implementos agrícolas

aumentou a complexidade dos projetos voltados ao desenvolvimento de equipamentos e as tecnologias convergentes estão levando os sistemas de teste a serem mais flexíveis. Sistemas de teste têm que ser adaptados às mudanças nos dispositivos ao longo do tempo, apesar das questões de custo envolvido e a demanda por sistemas com maior vida útil. Uma das poucas e eficientes formas de alcançar esses objetivos é através de uma arquitetura modular e definida por software, tomando por base inicialmente o conceito de máquinas virtuais e provendo opções de plataformas de hardware e de desenvolvimento de software que habilite controle como um sistema modular, permitindo testes automatizados.

A Figura 2 ilustra um exemplo de aplicação e uso do sistema de desenvolvimento em um projeto que visa à sistematização da aplicação de herbicidas a taxa variável usando sistema de injeção (FELIZARDO; CRUVINEL; OLIVEIRA, 2010; FELIZARDO, 2011). Neste desenvolvimento para a avaliação dos sistemas de controle foram realizadas simulações usando modelos híbridos para os fluxos de água e herbicida.

Para o sistema de desenvolvimento tem sido buscado o estabelecimento de um sistema de instrumentação e controle modular bem arquitetado, considerando um barramento com baixa latência e elevada largura de banda para

conectar módulos de instrumentos e sensores ao processador compartilhado de forma a realizar medições e ações de controle definidas pelo usuário. A estrutura modular empregada para o sistema de desenvolvimento traz em sua concepção o novo paradigma instrumental mencionado. Tal sistema de desenvolvimento tem hardware de medição, uma base para ensaios, fontes de alimentação, um barramento computacional, processadores baseados em FPGAs, bem como um sistema operacional e uma interface de usuário que se encontra em desenvolvimento. Pelo fato das abordagens em desenvolvimento de projetos usarem componentes básicos, a finalização fica muito mais vinculada à capacidade criativa de como hardware é os componentes de software são combinados para uma determinada aplicação agrícola. O sistema de desenvolvimento atua como um instrumento virtual definido por uma arquitetura que torna os dados brutos adquiridos pelo hardware disponíveis ao usuário para definir suas próprias medições, aplicações e o como fazer.

O software no sistema de desenvolvimento modular converte o fluxo de bits do hardware em uma medição ou ação de controle útil ao processo considerado. Aliás, busca-se considerar múltiplas camadas de software, incluindo *drivers* de entrada e saída para o acoplamento à leitura de mapas georeferenciados ou mesmo por câmeras para

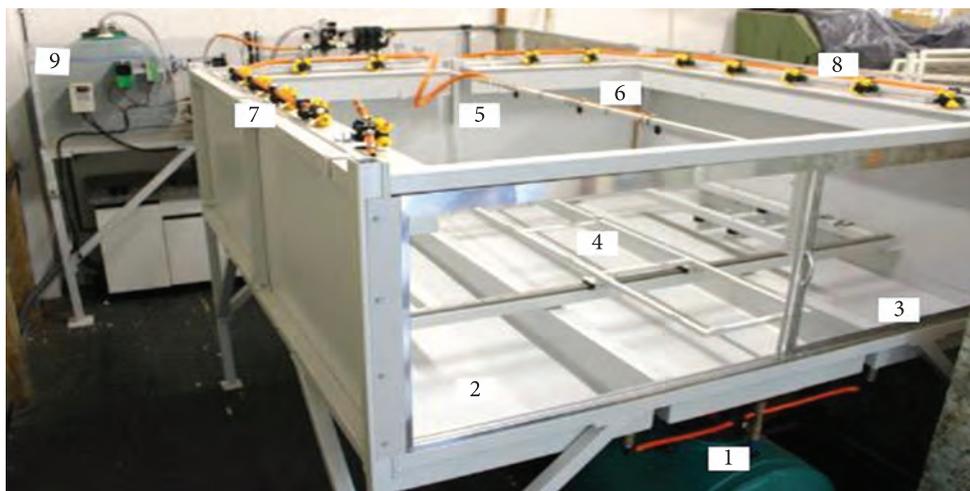


Figura 2. Vista frontal do sistema de desenvolvimento sendo utilizado para especificações de uma aplicação em aplicações de herbicidas, onde podem ser vistos: 1) reservatório de coleta de herbicidas utilizados; 2) uma das três calhas inferiores, 3) porta de correr de policarbonato; 4) sistema de deslocamento com velocidade ajustável para alojamento de papéis hidrossensíveis; 5) um lado do sistema de ajuste de altura da barra B3; 6) a barra B3; 7) a barra B1; 8) a barra B2; 9) painel de controles com detalhes instrumentais eletro-eletrônico e eletro-mecânico.

operação em tempo real, de forma a viabilizar elementos para aplicação e gerenciamento de teste, tanto para agrotóxicos como para maturadores e fertilizantes líquidos.

4. Conclusões

A organização de um sistema de desenvolvimento para aplicadores de insumos líquidos para o ambiente agrícolas encontra grande interesse na agricultura, em particular para o manejo baseado em Agricultura de Precisão. O Sistema de Desenvolvimento apresentado possibilita o desenvolvimento e ensaios sob condições controladas ou ainda o ajuste de parâmetros que envolvem todo o processo de aplicação de insumos líquidos em um ambiente de simulação experimental. Uma vez ajustados os parâmetros de interesse o desenho instrumental pode ser estabelecido ou mesmo embarcado para fins agrícolas. Tal facilidade auxilia e subsidia os detalhamentos hidráulico, elétrico, eletrônico e mecânico de aplicadores de insumos agrícolas, os quais podem influenciar na qualidade do espectro das gotas, tempo de resposta dos sistemas de injeção dos insumos, uniformidade da mistura da calda formulada segundo os receituários agrônômicos, bem como inferir novos modelos de bicos e sistemas de aplicação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa e a EESC-USP pelo apoio à parceria no âmbito da Rede em Agricultura de Precisão (Macro Programa 1, Processo: 01.09.01.002.01) e de projeto apoiado pelo CNPq (Processos: 306988/2007-0, 479306/2008-7 e 143452/2008-8).

Referências

BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E.; KARAN, D. A classification methodology for the risk of weed infestation using fuzzy logic. *Weed research*, v. 48, p. 470-479, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00647.x>

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; CAMARGO NETO, J.; HERMES, L. C. Comparison of microscopic method and computational program for pesticide deposition evaluation of spraying. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 4, p. 493-496, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400010>

CRUVINEL, P. E.; VIEIRA, S. R.; CRESTANA, S.; MINATEL, E. R.; MUCHERONI, M. L.; TORRE-NETO, A. Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, p. 205-217, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00043-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00043-5)

CRUVINEL, P. E.; OLIVEIRA, V. A.; FELIZARDO, K. R.; MERCALDI, H. V.; GODOY, L. A.; OSTE, R.; GOTARDI, M. A. **Sistema de Desenvolvimento para ensaios de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob diferentes sistemas de manejo**. INPI Depósito de Patente Requerida, 2010.

DERKSEN, R. C.; JIANG, C. Automated detection of fluorescent spray deposits with a computer vision system. *Transactions of the ASAE*, v. 38, n. 6, 1647-1653, 1995.

FELIZARDO, K. R. **Sistema de aplicação de herbicidas à taxa variável usando sistema de injeção**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

FELIZARDO, K. R.; CRUVINEL, P. E.; OLIVEIRA, V. A. **Bancada didática para avaliação de sistemas de injeção direta de herbicidas agrícolas de interesse em Agricultura de Precisão**. CONBAP, 2010.

GARCIA, L. C.; ZENY, E. P.; FÁVERO, A. L. F.; JUSTINO, A.; PURÍSSIMO, C.; CANTERI, M. G. C. **Avaliação da qualidade e eficácia de pulverização de um herbicida sistêmico com uso de software para análise de cartões hidrossensíveis**. Ponta Grossa: InfoAgro, 2000.

JIANG, G.; DERKSEN, R. C. Morphological image processing for spray deposit analysis. *Transactions of the ASAE*, v. 38, n. 5, p. 1581-1591, 1995.

MAGNO JUNIOR, R. G. **Desenvolvimento de sistema eletrônico para pulverização e atração de gotas em plantas cítricas**. 2008. 66f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

TIAN, L.; REID, J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. *Transactions of the ASAE*, v. 42, n. 4, p. 893-900, 1999.

Modelagem de um sistema de injeção direta de herbicida em taxa variável para aplicação em culturas agrícolas

Heitor V. Mercaldi^{1*}, Kleber R. Felizardo^{1*},
Vilma Alves Oliveira^{2*}, Paulo E. Cruvinel^{3*}

¹ Pós-graduando, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, São Carlos, SP, Brasil

² Professora Doutora, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: heitor@usp.br; klerfe@sc.usp.br; vilma@sc.usp.br; cruvinel@cnpdia.embrapa.br

Resumo: A aplicação de herbicidas em taxa variável é uma importante ferramenta da agricultura de precisão. Em pulverizadores equipados com módulos de injeção direta, a eficácia da aplicação depende da quantidade correta de herbicida fornecida por estes tipos de módulos. O desenvolvimento de um modelo realístico para módulos desta natureza permitiu quantificar o efeito da pressão da linha de injeção na vazão do herbicida e resultados mostram a validação do modelo desenvolvido para sistema de injeção direta de herbicidas em taxa variável.

Palavras-chave: herbicidas, injeção direta, modelagem matemática, plantas invasoras, taxa variada.

Modeling a system of direct injection for variable rate herbicide application in agricultural crops

Abstract: The application of herbicides in variable rate is an important tool for precision agriculture. In sprayers equipped with direct injection modules, the effectiveness of enforcement depends on the correct amount of herbicide provided by these types of modules. The development of a realistic model for such operation allows the quantification of the effect of the line pressure, as well as the flow of herbicide injection. Results show the validation of the model developed for direct injection, which can operate considering a variable application rate.

Keywords: direct injection, herbicides, mathematical modeling, variable rate, weed.



1. Introdução

Estudos mostram que a densidade e os tipos de plantas invasoras em diferentes regiões de uma mesma cultura podem não ser homogêneos. Devido a esta variabilidade espacial, a aplicação de herbicida pode ser feita de maneira localizada e em taxas variáveis. Para a aplicação em taxas variáveis podem ser utilizados pulverizadores equipados com módulos de injeção direta (CHRISTOFOLETTI, 2004; FIGUEIREDO, 2003). Nesses tipos de pulverizadores, o herbicida e o diluente (água) são mantidos em recipientes separados. De acordo com a localização das plantas invasoras, através de mapas de recomendação ou por sensores de plantas, o herbicida é injetado e misturado ao diluente numa determinada concentração dada de acordo com o tipo da planta infestante (TIAN, 2002; KOCHER, 1998). Esse tipo de sistema traz economia de herbicida, reduz tanto o impacto ambiental como a exposição do operador ao produto químico e permite misturar vários tipos de herbicidas de maneira automatizada (SHIRATSUCHI et al., 2003; STEWARD, 2000). No entanto, esses sistemas trazem os seguintes problemas: i) tempo de retardo, que é o tempo que o sistema leva para entregar a mistura em uma determinada concentração aos bicos de pulverização e ii) não- uniformidade da mistura (CROWE, 2005). Neste trabalho, o modelo completo do módulo de injeção é apresentado. Esse modelo permite simular variações de pressão ocorridas na linha onde é feita a injeção do herbicida. O modelo deste módulo é

importante para a etapa de desenvolvimento do módulo de controle da injeção, o qual é responsável por manter a taxa de aplicação do herbicida conforme uma referência pré-determinada.

2. Material e métodos

O módulo de injeção estudado neste trabalho está situado na linha de pressão da bomba principal, conforme ilustra a Figura 1. O módulo é formado por um motor de corrente contínua (motor CC) acoplado a uma bomba de pistão. O modelo deste módulo é composto de duas partes: modelo do motor CC e modelo do sistema hidráulico.

O modelo do motor CC é representado pelo diagrama de blocos da Figura 2. Nesse modelo, a inércia combinada das partes girantes, envolvendo carga, rotor, eixo e acoplamentos, é dada por J [Nms²/rad]. O atrito viscoso entre motor e carga é designado por B

[Nms/rad]. Os parâmetros L_a [H] e R_a [Ω] são respectivamente, a indutância e a resistência da armadura do motor. As constantes de torque e velocidade do motor são dadas respectivamente pelos parâmetros K_t [Nm/A] e K_e [Vs/rad]. O torque de carga, em oposição ao torque elétrico desenvolvido pelo motor, devido à bomba estar conectada diretamente no eixo do motor, é denominado de T_p [Nm]. A função $G5$ converte a velocidade de rotação do motor, dado por ω , de [rad/s] para [rpm] e o bloco S1 é um saturador que limita a variação desta velocidade. As variáveis de entrada desse modelo são V_a [V] e T_p [Nm] e

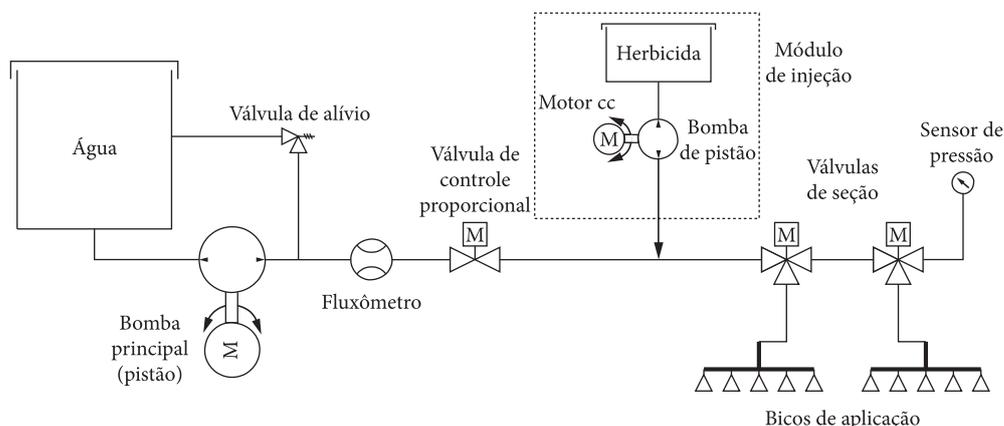


Figura 1. Diagrama esquemático do módulo de injeção direta para aplicação em taxa variada.

as variáveis de saída são I_a [A] e ω [rpm], sendo V_a a tensão aplicada no motor e I_a a corrente de armadura do motor.

O modelo do sistema hidráulico é representado pelo diagrama de blocos da Figura 3. Esse modelo é composto por uma bomba de pistão e por uma tubulação. A bomba de pistão é composta pelos blocos G6 e G8. A vazão da bomba de pistão, dado por Q_h [L/min] é proporcional a ω e seu torque T_p [Nm] é proporcional à pressão P [bar] na saída da tubulação. O parâmetro $Volh$ [L/rev] da bomba de pistão é o deslocamento volumétrico por revolução. A tubulação utiliza mangueira de borracha e sua expansão e contração, devido a variações de P , provoca uma variação no volume da mangueira e um acréscimo na vazão da bomba Q_h , representado pela variável dQ [L/min] (HOLCKE, 2002). Essa dinâmica de expansão e compressão da mangueira é representada pelos blocos G9 a G13, sendo L [m] o comprimento da mangueira e d_0 [m] seu diâmetro interno, K_p [m/Pa] é o coeficiente pressão-diâmetro τ [s] é a constante de tempo visco-elástica e ambos dependem do material da mangueira. As variáveis de entrada

desse modelo são P e ω e as variáveis de saída são T_p , Q_h e $Q'h$, sendo $Q'h$ a vazão real na saída da bomba de pistão considerando o efeito da expansão e contração da mangueira.

O modelo completo do módulo de injeção é a junção dos modelos do motor CC e do sistema hidráulico apresentados anteriormente. O modelo do módulo de injeção é apresentado na Figura 4.

3. Resultados e discussão

Nesta seção são apresentados os resultados experimentais e de simulação considerando restrições na linha de pressão da bomba de pistão ($P = 1$ Bar). Os resultados experimentais foram obtidos por uma placa de aquisição de dados da *National Instruments*, modelo USB-6009. Esses resultados englobam as variáveis V_a , I_a , ω , P ; medidas respectivamente por conversor AD, sensor de efeito hall, encoder incremental e sensor de pressão piezoelétrico. Os parâmetros do modelo do módulo de injeção são encontrados na Tabela 1. O fluido utilizado nos ensaios foi à água. Os parâmetros do modelo do motor CC

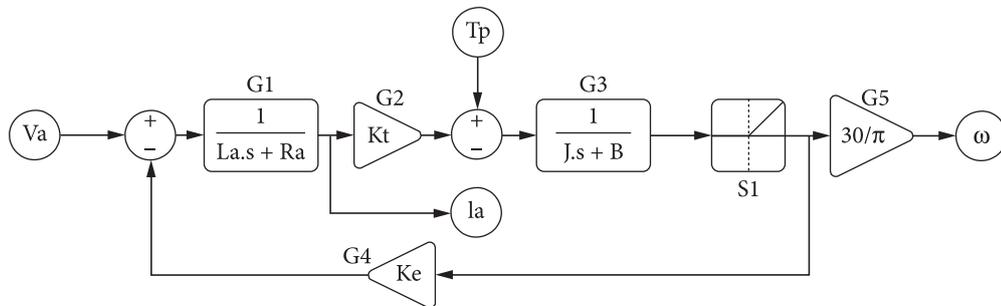


Figura 2. Diagrama de blocos do motor CC usando funções de transferência.

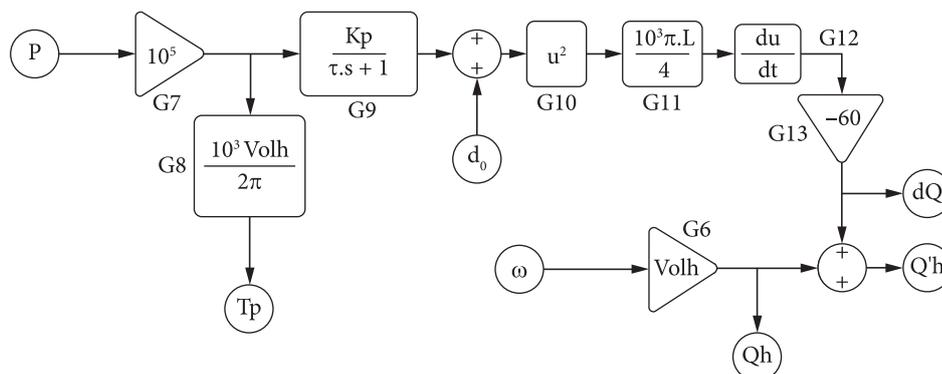


Figura 3. Diagrama de blocos do sistema hidráulico usando funções de transferência.

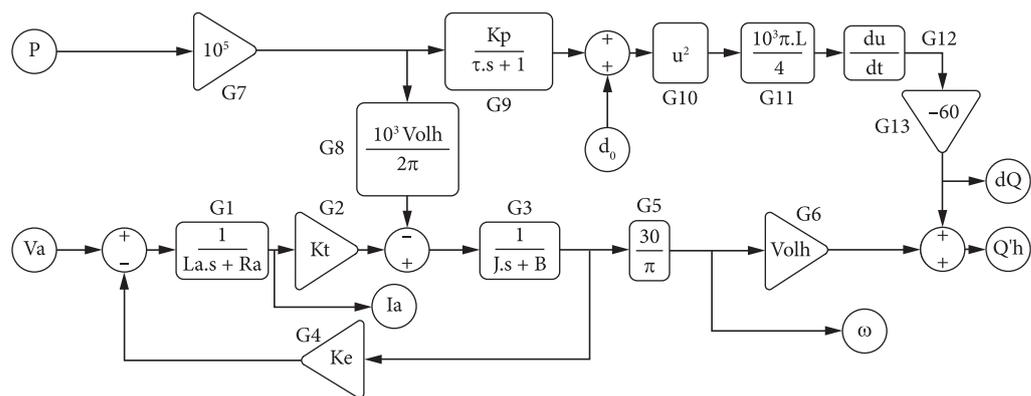


Figura 4. Diagrama de blocos do modelo do módulo de injeção.

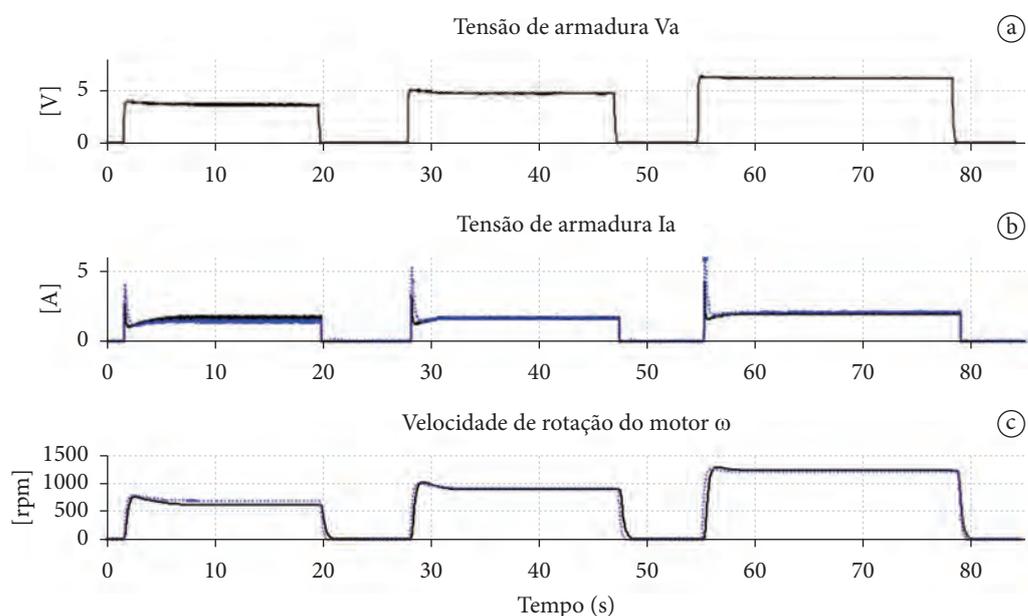


Figura 5. Resultados de simulação e dados experimentais do motor CC. a) Tensão V_a aplicada. b) Corrente I_a medida (linha preta) e simulada (linha azul). c) Rotação ω medida (linha preta) e simulada (linha azul).

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do modelo do módulo de injeção.

Parâmetro	Valor $1,0 \cdot 10^{-3}$	Unidade Henry
R_a	0,803	Ohms
K_t	0,0341	Nm/A
K_e	0,0341	Vs/rad
J_B	$118,5 \cdot 10^{-6}$	Nms ² /rad
	$296,4 \cdot 10^{-6}$	Nms/rad
Volh	0,00128	L/rev
d_0	0,0127	m
L	0,5	m
K_p	$2,24 \cdot 10^{-8}$	m/Pa
τ	0,3	s

R_a , L_a , K_t , K_e , B e J foram obtidos através de ensaios seguindo a metodologia fornecida por (OLIVEIRA, 2005). Os parâmetros da bomba de pistão (FMI-QB3) foram obtidos diretamente do manual do fabricante e os parâmetros da mangueira flexível foram ajustados na simulação de acordo com os dados experimentais.

As respostas do modelo do motor CC são apresentadas na Figura 5. Como pode ser observado, o modelo do motor CC reproduziu corretamente os dados experimentais. O efeito da expansão e da contração da mangueira, causado pela variação da pressão na linha de injeção, ocasionam respectivamente um decréscimo e um

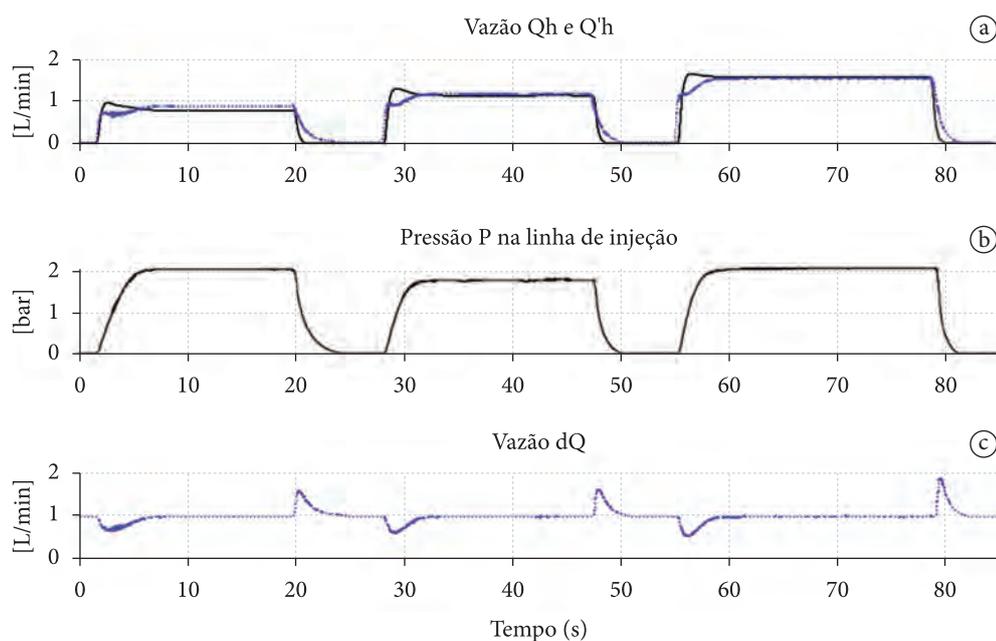


Figura 6. Resultados de simulação e dados experimentais da parte hidráulica. a) Vazão Q_h (linha preta) e vazão real $Q'h$ considerando os efeitos de expansão e compressão da mangueira (linha azul). b) Pressão P medida na linha de injeção. c) Variação da vazão dQ devido aos efeitos da pressão na mangueira.

acréscimo na vazão (Figura 6a) durante o regime transitório de P (Figura 6b). Neste estudo os erros na vazão atingiram 0,9 L/min (Figura 6c), o que representam erros na concentração da dose e na taxa aplicação.

4. Conclusões

Com este trabalho foi possível avaliar de maneira quantitativa a variação da vazão devido ao efeito da pressão na mangueira utilizada em um módulo de injeção. O modelo apresentado descreveu apropriadamente o comportamento dinâmico da vazão em função da variação de pressão na linha de injeção. Desta forma o modelo desenvolvido encontra potencial aplicação para taxa variável, tanto para uso em culturas anuais como para culturas perenes.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa e a EESC-USP pelo apoio á parceria no âmbito da Rede em Agricultura de Precisão (Macro Programa 1, Processo: 01.09.01.002.01) e de projeto apoiado pelo CNPq (Processos: 306988/2007-0, 479306/2008-7, 479306/2008-8 e 143452/2008-8).

Referências

- CHRISTOFOLETTI, J. C. Direto no alvo. *Revista Cultivar Máquinas*, n. 34, p. 7-10, 2004.
- CROWE, T. G.; DOWNEY, D.; GILES, D. K.; SLAUGHTER, D. C. An electronic sensor to characterize transient response of nozzle injection for pesticide spraying. *Transactions of ASAE*, v. 48, n. 1, p. 73-82, 2005.
- FIGUEIREDO, Z. N. *Desenvolvimento e avaliação de um sistema de injeção para aplicação localizada de defensivos*. 2003. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- HOLCKE, J. *Frequency response of hydraulic hoses*. 2002. Dissertação (Mestrado)-Royal Institute of Technology, Stockholm, 2002.
- KOCHER, M. F.; LANY, Y.; CHENZ, C.; SMITH, J. A. Opto electronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. *Transactions of the ASAE*, v. 41, n. 1, p. 237-245, 1998.
- OLIVEIRA, V. A.; AGUIAR, M. L.; VARGAS, J. B. *Sistemas de Controle: Aulas de Laboratório*. São Carlos: EdUSP, 2005.
- SHIRATSUCHI, L. S.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FONTES, J. R. A. *Aplicação Localizada de Herbicidas*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. (Documentos, n. 91).
- STEWART, B. L.; HUMBURG, D. S. Modeling the raven SCS-700 chemical injection system with carrier control with sprayer simulation. *Transactions of the ASAE*, v. 43, n. 2, p. 231-245, 2000.
- TIAN, L. Development of a sensor-based precision herbicide application system. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 36, n. 2-3, p. 133-149, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00097-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00097-2)

Construção automática de mosaico de imagens agrícolas aéreas sequenciais**

André de Souza Tarallo^{1*}, Alan Kazuo Hiraga^{2*}, Maria Stela Veludo de Paiva^{3*},
Lúcio André de Castro Jorge^{4*}, Francisco Assis da Silva¹

¹ Pós-graduando, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil

² Pesquisador do Departamento de Ciência da Computação, Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Rua José Bongiovani, 700, Cidade Universitária, CEP 19050-680, Presidente Prudente, SP, Brasil

³ Docente do Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo – EESC, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil

⁴ Pesquisador da Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: andre.tarallo@gmail.com; alanhiraga@hotmail.com; mstela@sc.usp.br; lucio@cnpdia.embrapa.br

**Parte da tese de doutorado do primeiro autor

Resumo: A geração de mosaicos automáticos a partir de imagens digitais de alta resolução é uma ferramenta muito importante, porque aumenta a eficiência na obtenção dos resultados e ajuda nas tomadas de decisão. Na agricultura, mosaicos automático de imagens de áreas de floresta e de cultivo, ajudam diferentes aplicações na agricultura de precisão que necessitam obter respostas de maneira rápida. Um problema desta área é juntar duas ou mais imagens em uma nova imagem com a menor distorção possível. Neste artigo foi apresentado uma ferramenta para construção automática de mosaicos, usando um método baseado na transformada SIFT para juntar imagens sequenciais. Para gerar os resultados, foram utilizadas 50 imagens aéreas sequencias, obtendo 100% de junção das imagens. Os resultados foram inspecionados visualmente por um profissional da área, que confirmou a boa qualidade das junções.

Palavras-chave: agricultura, automático, imagens, mosaicos, sift.

Automatic construction of agricultural aerial image mosaic sequential

Abstract: The generation of automatic mosaics from high-resolution digital images is a very important tool, because it increases the efficiency in obtaining results and helps fast decision making. In agriculture, the automatic image mosaics of forest and crop areas, helps different applications in precision farming that needs to answer in a very fast way. A problem of this area is joining two or more images in a new image without great distortion. In this paper it is presented a tool for automatic mosaic construction, using a method based on SIFT transform to join sequential images. Satisfactory results were obtained using two image databases. To generate the results, we used 50 aerial sequences, obtaining 100% of junction of the images. The results were visually inspected by a professional, which confirmed the quality of the joints.

Keywords: agriculture, automatic, images, mosaics, sift

1. Introdução

Até o presente momento, a construção de mosaicos de imagens na agricultura vem sendo feita de maneira semiautomática, necessitando obter o modelo digital do terreno, fazer a ortorretificação de imagens e colocação manual de bandeirinhas, que são usadas como marcadores para que um software possa

construir um mosaico deste terreno. Utilizando este tipo de implementação, a construção de mosaicos é demorada e trabalhosa, podendo demorar um dia todo ou mais dias.

Com os mosaicos é possível direcionar vistorias de campo durante o ciclo do cultivo ou em datas posteriores à colheita, possibilitando fornecer

um diagnóstico preciso da área de cultivo. A partir daí, podem ser elaborados os mapas de recomendações: descompactação, fertilidade e aplicação de insumos em taxa variável.

Mais recentemente, aplicações na agricultura passaram a exigir maior rapidez na construção destes mosaicos para possibilitar a obtenção mais rápida de informações para tomada de decisões relativas a controle de pragas, doenças ou queimadas.

O problema em utilizar imagens digitais de grande dimensão e alta qualidade, é que a geração dos mosaicos se torna lenta, devido ao custo computacional. Outro problema é que imagens sequenciais, com mesmas características (mesma textura), dão a impressão de uma única área contínua e, podem dificultar a detecção de pontos comuns entre pares de imagens para formar um mosaico. Finalmente não é trivial a união de duas ou mais imagens, em uma nova imagem com a menor distorção possível.

Este fato levou à implementação de uma ferramenta, apresentada neste artigo, para a construção automática de mosaicos para a agricultura a partir de imagens digitais aéreas obtidas com uma câmera de alta resolução acoplada em um avião. A alta resolução da câmera minimiza possíveis problemas de distorção nas imagens, causados pela distância entre a aeronave e o solo. Para resolver o problema da lentidão, uma técnica de processamento paralelo vai ser aplicada.

2. Material e métodos

Primeiramente, as 50 imagens que formam a base de imagens aéreas possuem dimensão de 3504×2336 pixels, com 24 bits por pixel e 72 dpi e foram obtidas em Santa Rita do Sapucaí – MG. A base de imagens foi dividida em 5 subclasses de 10 imagens para acelerar o processamento. A base de imagens foi adquirida de acordo com o seguinte procedimento: a câmera foi acoplada ao suporte do avião de maneira bem horizontal à superfície da terra; o avião percorreu sempre a mesma distância, fazendo movimentos horizontais na área demarcada, para obtenção das imagens; a obtenção entre uma imagem e a próxima imagem

foi feita com um tempo determinado e síncrono, entre a imagem anterior e a posterior (3 s). Na Figura 1 é apresentada uma imagem exemplo da base de imagens.

Neste projeto foram utilizadas as técnicas SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) (LOWE, 2004) BBF (*Best-Bin-First*) (BEIS; LOWE, 1997) e RANSAC (*Random Sample Consensus*) (FISCHLER; BOLLES, 1981). A SIFT é utilizada para a extração de características, a BBF para encontrar pontos correspondentes entre pares de imagens, a partir das características extraídas e o RANSAC é utilizado para filtrar os falsos pontos correspondentes entre imagens.

A SIFT (LOWE, 2004) é capaz de transformar uma imagem, em uma coleção de vetores de características locais (descritores de características), e cada um desses vetores são invariantes à escala, rotação e parcialmente invariante à mudanças de iluminação e ponto de vista. Os quatro principais estágios que compõem a SIFT para gerar o conjunto de características de imagens são:

- **Detecção de extremos no Espaço Escala:** Neste primeiro estágio é feito a procura por todas as escalas e locais de uma imagem. Para isto é utilizada uma função conhecida como Diferença da Gaussiana, para identificação dos potenciais pontos de interesse que são invariantes à escala e orientação. Esta é a parte mais custosa do algoritmo.
- **Localização dos pontos chave:** Para cada local candidato, é determinada a sua posição



Figura 1. Exemplo de imagem da base de imagens aéreas.

e escala. Os pontos chave são selecionados baseados em medidas de sua estabilidade.

- **Definição da Orientação:** Uma ou mais orientações são atribuídas para cada ponto chave localizado, baseada em direções do gradiente. Todas as operações posteriores são realizadas sobre os dados da imagem que foram considerados ponto chave e que foram transformados em relação à orientação, escala e localização, proporcionando invariância a estas transformações.
- **Descritor dos Pontos Chave:** Os gradientes da imagem são mensurados na escala selecionada, na região ao redor de cada ponto chave, sendo criados histogramas de orientações para compor o descritor.

Com as características extraídas a partir de todas as imagens, as mesmas devem ser pareadas. Na Figura 2 pode ser observado um exemplo da localização de características através da SIFT.

Para encontrar correspondências entre duas imagens, conhecendo-se os descritores, é necessário localizar os melhores candidatos a serem seus equivalentes na outra imagem. Isto é feito procurando-se o vizinho mais próximo ou *nearest neighbor* do descritor do ponto entre todos os possíveis candidatos. Quando se procura classificar um ponto em um extenso banco de dados de descritores para vários objetos, a busca exaustiva do vizinho mais próximo pode ser demorada, assim Lowe propõe o uso de uma variação do K-D Tree (FRIEDMAN; BENTLEY; FINKEL, 1977), o BBF (BEIS; LOWE, 1997) para acelerar a busca (LOWE, 2004). Para determinar-se o vizinho mais próximo, é utilizada a mínima distância euclidiana entre os descritores. Porém, nem sempre o vizinho mais próximo é o ponto

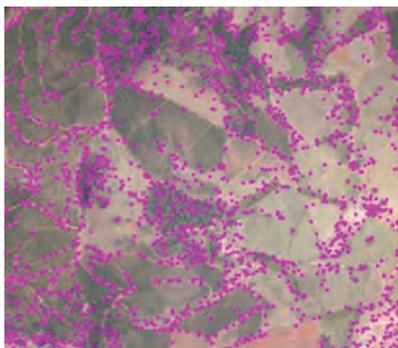


Figura 2. Localização de características com a SIFT.

procurado, assim é necessária a utilização da distância euclidiana com segundo vizinho mais próximo, sendo excluídas correlações que tem a razão entre o vizinho mais próximo e o segundo maior que um determinado limiar, Lowe propõe 0,8, removendo assim 90% de falsos verdadeiros (*outliers*) e apenas 5% de correlações corretas (LOWE, 2004).

Algumas vezes, pode acontecer do par definido pela correlação não se o par correto, assim, o sistema deve ser capaz de identificar e remover essas falsas correlações. Uma solução para o problema é através da geometria epipolar, que será explicada brevemente a seguir, visto que a única restrição geométrica entre dois pares de imagens não calibrados que existe é a geometria epipolar. Considerando a geometria epipolar, é possível calcular a matriz fundamental. Sendo, $m = [x, y, 1]$ um ponto sobre o plano imagem L e $n = [x', y', 1]$ um ponto sobre o plano imagem L' (DUBROFSKY, 2009). Assim a Equação 1 define tal matriz.

$$m^T F n = 0 \quad (1)$$

Diversos métodos para estimação da matriz fundamental são encontrados na bibliografia, contudo o método mais conhecido é o algoritmo de 8 pontos, tal método, dado um conjunto com $n \geq 8$ correspondências, estima a matriz fundamental de forma linear, solucionando a Equação 2.

$$\sum_{i=1}^n \| m_i^T F n_i \|^2 \quad (2)$$

A estimação robusta da matriz fundamental é feita pesando o residual para cada ponto. O resíduo é mostrado pela Equação 3, sendo r o resíduo e i o número do par de pontos na lista de pontos correlacionados.

$$r_i = m_i^T F n_i \quad (3)$$

Muitas funções peso diferentes foram propostas, cada uma sendo uma nova variação do método. Os resultados obtidos são muito bons na presença de *outliers*, mas são ruins quando os pontos não estão bem localizados. Uma das funções mais utilizadas é o RANSAC que é baseada na seleção randômica de um conjunto de pontos que são usados para a estimação linear da matriz



Figura 3. Resultados aplicando transformações.

fundamental. O RANSAC calcula o número de *inliers*, ou verdadeiras correlações, para cada matriz F e escolhe a que maximiza esse número. Tendo eliminado os *outliers*, a matriz F é recalculada com o objetivo de obter melhoramento da estimação. Uma vez que os pares de correspondências foram determinados entre as imagens, com as devidas transformações entre as imagens, é possível conectar sequencias de imagens.

3. Resultados e discussão

Foi aplicado as transformações planar, cilíndrica e esférica (OPENCV, 1999; SZELISKI; SHUM, 1999) para achar as correspondências entre duas imagens sequenciais, testando o algoritmo desenvolvido. Cada uma das transformações tem a desvantagem de que com o aumento da quantidade de imagens sendo inseridas na composição do mosaico, as imagens vão sendo reduzidas ao fazer as junções. Vale lembrar que a construção do mosaico se inicia pelo meio da imagem resultante e cresce no sentido das duas extremidades da imagem resultante. A Figura 3 apresenta uma comparação dos resultados gerados pelas três transformações. De acordo com a aplicação das três transformadas em cada uma das 5 subclasses da base de imagens, foi possível observar por inspeção visual por um profissional da área que a transformação cilíndrica gerou imagens finais com menos distorção ao formar o mosaico.

Para gerar os resultados e diminuir o custo computacional, uma vez que a técnica de processamento paralelo ainda não foi implementada, as 50 imagens tiveram sua dimensão reduzida em 70% da dimensão original apresentada. O tempo de processamento médio para a construção de um mosaico contendo 10 imagens reduzidas é de 10 min.

4. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se a possibilidade desta ferramenta funcionar de maneira satisfatória, com geração de resultados confiáveis e de maneira automática, auxiliando com rapidez no controle de pragas, desmatamento e queimadas devido à redução do tempo de construção do mosaico, da ordem de horas (semiautomático) para minutos (automático). A ferramenta pode ser modificada para atender outras necessidades na área, relacionadas à análise do mosaico, necessitando para isso somente adaptações para a nova aplicação em questão.

Referências

- LOWE, D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, v. 60, n. 2, p. 91-110, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
- BEIS, J.; LOWE, D. G. Shape indexing using approximate nearest-neighbor search in high dimensional spaces. In: CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 1997, Washington. *Proceedings...* Washington, 1997. p. 1000-1006.
- FISCHLER, M. A.; BOLLES, R. C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. *Communications of the ACM*, v. 24, p. 381- 395, 1981.
- FRIEDMAN, J.; BENTLEY, J.; FINKEL, R. An algorithm for finding best matches in logarithmic expected time. *ACM Transactions on Mathematical Software*, v. 3, n. 3, p. 209-226, 1977. <http://dx.doi.org/10.1145/355744.355745>
- DUBROFSKY, E. *Homography Estimation*. 2009. Dissertação (Mestrado)-Universidade de Columbia, Vancouver, 2009.
- OPENCV. *The open computer vision library*. 1999. Disponível em: <<http://opencv.willowgarage.com/wiki/Welcome>>. Acesso em: 14 abr. 2011.
- SZELISKI, R.; SHUM, H.-Y. Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 24., 1997, Los Angeles. *Proceedings...* ACM, 1997. p. 251-258.

Método de reconhecimento de padrões de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) baseado no uso de informações de textura e visão computacional

Paulo E. Cruvinel*¹, Décio Karam²*

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil

*e-mail: cruvinel@cnpdia.embrapa.br; karam@cnpms.embrapa.br

Resumo: É conhecido o fato de que o rendimento de uma cultura de milho (*Zea mays* L.) pode variar dependendo das espécies de plantas invasoras envolvidas, como também do seu número por área, período de competição, estágio de desenvolvimento da cultura e das condições de edafo-climáticas. Na cultura do milho a aplicação de herbicida de forma localizada e em taxa variável pode trazer subsídios ao produtor para que se possam minimizar os impactos econômicos e ambientais, bem como maior competitividade. Este trabalho apresenta um método baseado em visão computacional para a construção de mapas de aplicação de herbicida em taxa variável dedicado a plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho.

Palavras-chave: agricultura de precisão, planta invasora, produção de milho, tomada de decisão, visão computacional.

*A pattern recognition method for weeds in a maize crop (*Zea mays* L.) based on both geometries of the narrow and broad leaves, the information of texture, and use of computer vision*

Abstract: It is well known that the yield of a crop of corn (*Zea mays* L.) may vary depending on the weed species involved, as well as the number of plants per area, competition period, stage of culture development, and due to soil and climatic conditions. In the management of the herbicide in maize culture the application can be based on the weed localization and with variable rate. Using such procedure the producer may find benefits to minimize the economic and environmental impacts, as well as to increase competitiveness. This paper presents a method based on computer vision to construct maps georeferenced for herbicide application, which are function of the geometric information of the weed leaves, broad or narrow leaves format, present in the crop field.

Keywords: precision agriculture, weed, corn production, decision making, computer vision.

1. Introdução

O milho é um importante alimento humano e também tem sido amplamente utilizado para ração animal e em alguns países para a produção de energia. São várias as espécies e variedades de milho, sendo que todas elas são pertencentes ao gênero *Zea* (gênero botânico pertencente à família Poaceae. *Zea mays* ssp. *Mays*, sendo o único táxon domesticado). No Brasil, cerca de 20% de produção brasileira se destina ao consumo humano. Assim como em outras culturas de cereais, na cultura do milho há ocorrência de plantas invasoras (KARAM; MELHORANÇA; OLIVEIRA, 2006), o que tem motivado a procura de melhor gerenciamento do processo produtivo da agricultura, visando competitividade e controle dos problemas causados pelas técnicas de manejo, que envolvem a qualidade da água, do ar e dos alimentos.

Pesquisadores têm buscado meios para reduzir a quantidade de defensivos e o impacto sobre o meio ambiente e a variabilidade espacial das plantas invasoras têm sido objeto de estudo e neste caso a agricultura de precisão tem se mostrado útil (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002). A detecção de plantas invasoras através do sensoriamento remoto orbital ainda possui limitações quanto à resolução espacial e temporal. Entretanto, existe potencial para utilização de sistemas de visão artificial como sensores que possam promover a coleta de dados para o auxílio aos processos de tomada de decisão.

Os avanços em processamento digital de imagens, o sensoriamento remoto, particularmente quando se faz uso de imagens digitais não orbitais, passou a ser uma importante estratégia a ser utilizada, as quais associadas ao estudo da variabilidade espacial das culturas e das plantas invasoras podem resultar em equipamentos para o manejo localizado de culturas em taxa variável e em tempo real (THOMPSON; STAFFORD; MILLER, 1990; ALVES et al., 2002; CRUVINEL; KARAM, 2010).

Segundo Tian, Reid e Hummel (1999), pesquisas realizadas nos Estados Unidos têm mostrado que o gerenciamento espacial e os sistemas de aplicações localizadas possuem grande potencial de diminuição do uso de agrotóxicos agrícolas.

Sabe-se que a ocorrência de algumas espécies de plantas invasoras se dá em reboleiras, devido à forma de propagação das mesmas. Bressan e colaboradores (BRESSAN et al., 2008) tratam da classificação do risco de infestação por plantas invasoras usando técnicas geoestatísticas e análise de imagens.

Este trabalho apresenta um método de reconhecimento de padrões de plantas invasoras de folhas largas e estreitas para auxílio ao processo de decisão de aplicações de herbicidas com taxa variável em campos agrícolas da cultura do milho (*Zea mays* L.).

2. Material e métodos

A Figura 1 ilustra a arquitetura estabelecida para identificação da área de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) para manejo baseado em agricultura e precisão. O modelo de abordagem considera etapas de coleta da informação geo-referenciada, pré-processamento para qualificar a informação de interesse, construção de mapa de textura, extração de características geométricas, geração de mapas de plantas invasoras de folhas largas e estreitas, integração de resultados e geração de mapa de recomendação para a aplicação de herbicida em taxa variável. Utilizou-se assim, como método de reconhecimento das plantas invasoras técnicas de visão computacional e algoritmos de processamento de imagens. A etapa do processamento que subtrai componentes da imagem de entrada permite extrair das mesmas, informações que não são oriundas das plantas invasoras (informações de fundo, como palha, milho e solo).

A partir das imagens que contenham apenas plantas invasoras é a planta invasora selecionada para reconhecimento com base na utilização de descritores computacionais baseado em textura e nas características geométricas dos objetos a serem identificados (SANTOS; CRUVINEL, 2008). O mapa de textura é calculado com janelamento de 30 × 30 pixels. As medidas estatísticas foram realizadas considerando a matriz de co-ocorrência e o contraste das imagens.

As imagens foram adquiridas em um campo experimental com 38 ha. de área da Embrapa Milho e Sorgo (Rodovia MG 424 km 45 - Sete Lagoas, MG, Brasil), dividido em 41 parcelas espaçadas de 100,0 × 100,0 m e com área de 12 m² (4,0 × 3,0 m). Para a aquisição das imagens foi utilizada uma câmera digital da marca Canon, modelo PowerShot Pro 1, com 180 pixels/polegadas de resolução, a qual apresenta tamanho de imagens de 600 × 600 pixels no espectro visível e um quadro de madeira medindo 0,5 × 0,5 m como elemento de escala para a caracterização de dimensões das plantas e quadro de captação.

Foram consideradas para análise plantas invasoras de folhas largas e de folhas estreitas, conforme ilustra a Figura 2, as quais são impactantes para a cultura do milho.

A planta invasora Leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.) tem suas folhas ao longo do caule, com gemas nas axilas. São glabras, medindo de 4 a 10 cm de comprimento. As folhas inferiores são alternadas

e lanceoladas, enquanto as superiores são opostas ou verticiladas. Abaixo das inflorescências há maior concentração de folhas. A planta invasora Picão-preto (*Bidens pilosa*) tem folhas pecioladas, opostas no caule e ramos, de formato ovalado ou lanceolado; coloração verde, podendo ter tonalidades violáceas; podem ocorrer folhas simples ou compostas, com até 8 cm de comprimento por 4 cm de largura; folhas com margens serradas, com ou sem a presença de pêlos.

A planta invasora de folhas estreitas Capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* Scop.) tem folhas com até 15 cm de comprimento e 12 mm de largura, as lâminas são planas, com margens lisas; podem apresentar pêlos em sua extensão. A coloração é verde, podendo adquirir cor arroxeada quando em condições desfavoráveis. Por outro lado, a planta invasora Capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) tem folhas presentes em grande quantidade e distribuídas sobre os colmos. Lâmina foliar plana, com pêlos na parte de cima

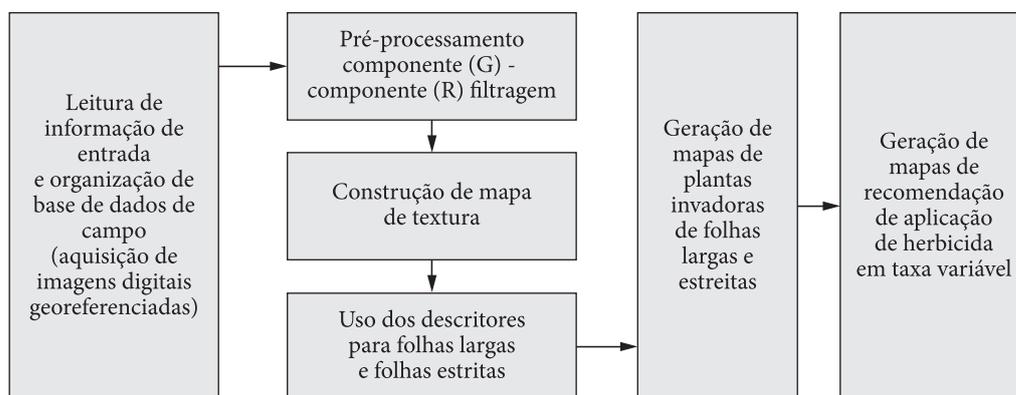


Figura 1. Diagrama de blocos da arquitetura para identificação da área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) e respectivo mapa de aplicação de herbicida em taxa variável.



Figura 2. Fotos de plantas invasoras da cultura do milho. Folhas largas: a) Leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.), b) Picão-preto (*Bidens pilosa*). Folhas estreitas: c) Capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* Scop.), d) Capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) respectivamente.

e lisa na parte de baixo. Medem de 10 a 30 cm de comprimento por 5 a 10 cm de largura. Tem também, bainha lisa ou com pequena quantidade de pêlos marginais na parte superior com anéis de pêlo branco.

O sistema foi desenvolvido utilizando-se o Builder C++ 5.0 da Borland, sendo executado em um processador *Intel Core 2 Duo P8600 2,40 GHz*, 4,0 GBs de memória RAM e sistema operacional *Windows 7*.

3. Resultados e discussão

A Figura 3 ilustra o mapeamento para um dos quadros de amostragem de área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas, o qual foi realizado com base no sistema descrito, o qual possibilitou observar a variabilidade na ocupação e a derivação para um mapa de recomendação para aplicação de herbicida em taxa variável. A textura que é um atributo espacial tem origem na sensação visual causada pelas variações tonais existentes em uma determinada região da imagem. Neste trabalho, foi utilizada como elemento para a segmentação sobre os atributos espaciais da imagem no seu processamento. Foi utilizada a abordagem do contraste, com a extração de janelas pertencentes a uma determinada classe. Da análise do contraste provém da matriz de concorrência dos níveis de cinza. Através do

cálculo do valor desses atributos em diversas imagens, constatou-se que existem relações entre eles. A granularidade definida para a textura foi estabelecida em relação ao objeto de análise, ou seja, plantas invasoras que foram selecionadas como classes presente na imagem que se deseja classificar. A subtração das componentes $(g_{i,j}-r_{i,j})$ traz como consequência a minimização do efeito de iluminação do ambiente. A aplicação do filtro de mediana possibilitou a filtragem dos ruídos da imagem, como também para tornar bordas mais nítidas em algumas situações.

As infestações das plantas invasoras normalmente não ocorrem de modo uniforme nas áreas agrícolas e com o uso das técnicas do processamento de imagens sua variabilidade espacial e localização puderam ser determinadas. Desta forma, a variabilidade espacial e a densidade de plantas invasoras podem estar associadas a mapas de infestação, os quais poderão ser utilizados como referência no controle da aplicação dos herbicidas. Uma vez realizado o mapeamento da taxa de ocupação de plantas invasoras de folhas largas ou estreitas torna-se possível à consolidação da informação para a recomendação de aplicação de herbicida em taxa variável, específicos para cada modalidade de planta invasora considerada. Os resultados mostraram uma taxa de acerto em ambiente de campo da ordem de 84% para folhas largas e 79% para folhas estreitas.

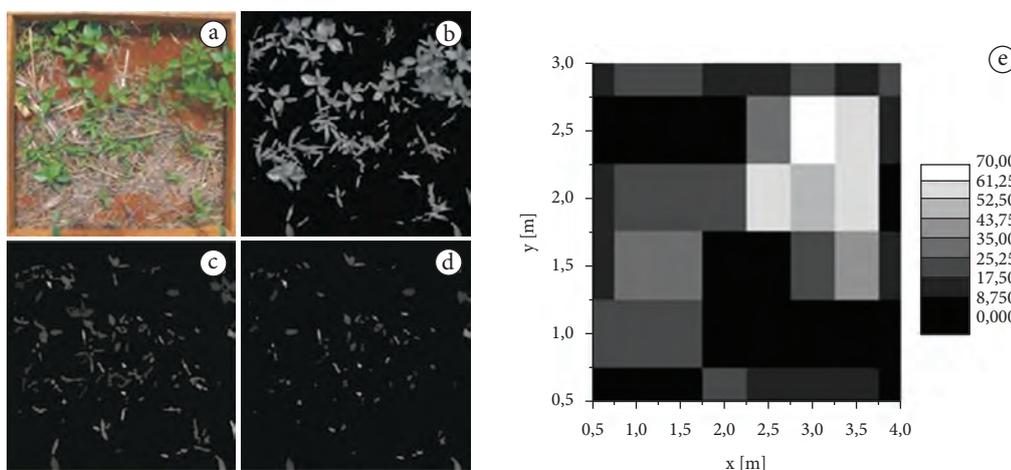


Figura 3. Fases de processamento considerando um caso para folhas largas onde: a) imagem digital de entrada, b) imagem resultante após a retirada de informações de solo, palha e ruídos de alta frequência, c) mapa de textura, d) mapa de plantas invasoras de folhas largas, e) mapeamento da taxa de ocupação de plantas invasoras de folhas largas em uma parcela de 12m^2 (4×3 m), com sitio de informação de ocupação amostrado em uma área de $0,5 \times 0,5$ m.

4. Conclusões

Foi apresentado um sistema para mapear a área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho, o qual foi fundamentado com base em visão computacional e ferramentas da agricultura de precisão. Resultados dos estudos de caso real mostraram que sua importância encontra aplicação não somente para o controle de plantas invasoras para ganhos de produtividade da cultura, mas também como instrumento para diminuir o impacto econômico e ambiental do uso de herbicidas com base no uso de mapas de aplicação em taxa variável, o que é de interesse para o produtor.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa no âmbito da Rede em Agricultura de Precisão (Macro Programa 1, Processo: 01.09.01.002.01) e de projeto apoiado pelo CNPq (Processo: 306988/2007-0).

Referências

ALVES, E. A.; KHOURY JUNIOR, J. K.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M. Classificação de Plantas Daninhas Utilizando Características Texturais em Imagens Digitais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2002. CD ROM.

BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E. ; KARAN D. A classification methodology for the risk of weed infestation using fuzzy logic. **Weed research**, v. 48, p. 470-479, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00647.x>

CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. Construção de mapas de aplicação em taxa variável de herbicida para cultura do milho (*Zea mays* L.) com base em visão computacional e ocupação de plantas invasoras de folhas largas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2010.

KARAM, D.; MELHORANÇA, A. L.; OLIVEIRA, M. F. **Plantas daninhas na cultura do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica).

SANTOS, A. P. O.; CRUVINEL, P. E. Desenvolvimento de um modelo de descritores de imagens para reconhecimento de padrões de plantas invasoras (folhas largas e folhas estreitas). In: ENCONTRO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2008, Volta Redonda. **Anais...** Volta Redonda, 2008. CD-ROM

THOMPSON, J. F.; STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Selective application of herbicides to UK cereal crops. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1990, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph, 1990. Mich. Paper nº 901629.

TIAN, L.; REID J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. **Transactions of the ASAE**, v. 42, n. 4, p. 893-900, 1999.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução a agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, vol. 32, n. 1, 2002.

Rede de sensores sem fio para monitoramento e controle de processos em ambiente agrícola

André Torre-Neto^{1*}, Raquel Ghini^{2*}

¹ Engenheiro Eletrônico, Pesquisador Dr., Embrapa Instrumentação, CP 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Agrônoma, Pesquisadora Dra., Embrapa Meio Ambiente, CP 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP, Brasil

*e-mail: andre@cnpdia.embrapa.br; raquel@cnpma.embrapa.br

Resumo: As mudanças climáticas devem interferir no cenário mundial da agricultura. Os seus impactos econômicos, sociais e ambientais podem ser positivos, negativos ou ainda neutros. Um tipo de experimento chamado FACE (*Free Air Carbon-dioxide Enrichment*) tem sido conduzido nos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão, Austrália, Itália, Dinamarca, entre outros países, para estudar particularmente os impactos do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre as plantações. O primeiro experimento FACE da América Latina está sendo instalado no Brasil por um grupo de cientistas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Comparado aos projetos existentes, a implantação do FACE brasileiro inova com a utilização da tecnologia de rede de sensores sem fio. Neste trabalho são descritos os detalhes desta abordagem e apresentados os resultados preliminares obtidos. Apesar da instrumentação apresentada primariamente ter sido desenvolvida para um experimento FACE, ela tem características adequadas ao monitoramento e controle de processos no ambiente agrícola em geral.

Palavras-chave: rede de sensores sem fio, monitoramento ambiental, instrumentação agrícola.

Wireless Sensor Network for monitoring and controlling processes in the agricultural environment

Abstract: *Climate change is considered one of humankind's greatest challenges in the near future. The climate change is expected to interfere in the scenario of worldwide agriculture. Its economic, social and environmental impacts can be positive, negative or neutral. A type of experiment known by FACE, Free Air Carbon-dioxide Enrichment, has been conducted in the USA, UK, Germany, Japan, Australia, Italy, Denmark, among other countries to study particularly the impacts of the CO₂ concentration increasing on crops. In Brazil, the first FACE experiment in South America is being installed by a group of scientists of Embrapa (Brazilian Agricultural Research Corporation). Compared to the existing FACE projects, the Brazilian implementation innovates with a wireless sensor network approach. In this article it is described the details for that implementation and presented the preliminary results. Despite of this instrumentation has been primarily developed for a FACE experiment it has adequate features for monitoring and controlling processes in the agricultural area.*

Keywords: *wireless sensor network, environment monitoring, agricultural instrumentation.*



1. Introdução

A concentração de dióxido de carbono atmosférico vem aumentando nos últimos anos e esse aumento continuará por décadas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2010). Tal aumento resulta em benefícios para o desenvolvimento das plantas. Porém, há poucos trabalhos publicados sobre os efeitos do aumento do CO₂ para a sanidade vegetal (GHINI; HAMADA, 2008). Testes conduzidos em ambientes controlados podem auxiliar na elucidação de efeitos isolados, mas, de modo geral, apresentam limitações. Podem não refletir a resposta das plantas nas condições de campo, onde há variações de interações entre temperatura, precipitação e outros fatores. A busca por condições mais realistas tem levado ao uso de câmaras de topo aberto (Open-top chambers, OTCs) ou experimentos com emissão de CO₂ a céu aberto (Free Air Carbon-dioxide Enrichment, FACE) como descrito por Hendrey e Miglieta (2006).

No Brasil, o primeiro FACE está sendo instalado próximo à cidade de Jaguariúna, SP, por iniciativa de Embrapa, através do projeto “Impacto das Mudanças Climáticas Globais Sobre Problemas Fitossanitários”. Além do FACE, também estão previstos seis experimentos com OTCs espalhados pelo país (Belém, PA; Petrolina, PE; Sete Lagoas, MG; Londrina, PR; Jaguariúna, SP e Vacaria, RS). O FACE está planejado para estudos sobre as pragas e doenças do café e as OTCs sobre espécies florestais, maçã, pêssego, soja, uva, milho, algodão, forrageiras, mandioca e banana.

2. Material e métodos

Os FACES existentes consistem de um conjunto de anéis circundados por tubos perfurados que fazem a fumigação do CO₂. O diâmetro destes círculos variam e podem chegar a até 30 m. A principal questão operacional de uma instalação FACE está em se manter a flutuação e o gradiente da concentração de CO₂ dentro dos círculos em níveis aceitáveis diante, principalmente, das condições do vento. Muitas instalações seguem um arranjo octogonal da tubulação. Cada segmento do octógono tem uma válvula associada e um

controlador de fluxo para compensar as mudanças na velocidade e direção do vento. As OTCs têm círculos menores, cerca de 2 m de diâmetro, e são circundadas por um revestimento plástico com o topo afunilado e aberto. A instrumentação básica para experimentos FACE e OTCs normalmente consiste de um analisador de gás por infravermelho (*Infra Red Gas Analyzer, IRGA*) para medir a concentração do CO₂, um anemômetro, válvulas liga/desliga e proporcionais, além de sensores ambientais como, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar. A inovação planejada para o FACE e OTCs brasileiros é a utilização de uma instrumentação baseada na tecnologia de rede de sensores sem fio. Trata-se de uma tecnologia já presente no campo agrícola (WANG et al., 2006) e de domínio do grupo responsável pela implantação destes experimentos (TORRE-NETO et al., 2005). A expectativa é facilitar a instalação e manutenção do sistema, além de melhorar sua compatibilidade eletromagnética, visto que no país a incidência de raios é uma questão relevante.

Decidiu-se adquirir sensores e atuadores convencionais e adaptá-los a módulos de comunicação sem fio via um circuito de interface para propósito geral. Na Tabela 1 é mostrada uma lista dos dispositivos escolhidos e as características relevantes consideradas no desenvolvimento da interface. O Sensor 1 de CO₂, o IRGA GMP343, foi escolhido para o experimento FACE e o Sensor 2, o IRGA GMM222, foi adquirido para as OTCs. Os sensores climatológicos, ou seja, o anemômetro, o sensor de temperatura e umidade do ar, o pluviômetro e o sensor barométrico são todos partes do mesmo instrumento, a estação climatológica WXT520.

Os módulos de rede sem fio foram comprados da empresa Telegesis Inc. [UK], especificamente a série ETRX3. Eles incorporam o protocolo ZigBee no padrão IEEE 802.15.4 e operam na frequência de 2.4 GHz. O alcance esperado está na faixa de 100 m entre eles e operando com antena interna, incorporada na placa do módulo. Possuem todas as entradas e saídas analógicas e digitais necessárias para interface com os dispositivos previstos, o que inclui uma interface serial e cinco temporizadores.

O desenvolvimento do software é facilitado por um conjunto de comandos AT, que inclui operações tanto para o estabelecimento e manutenção da rede, como para acesso às portas e conversão analógico/digital.

O diagrama em blocos deste circuito é apresentado na Figura 1a. Este circuito básico foi utilizado para a interface de todos os dispositivos listados na Tabela 1. Na Figura 1b é mostrada a implementação

do dispositivo sem fio para o IRGA GMM222. Devido ao elevado consumo de energia desta sonda, foi utilizada a opção de bateria externa de chumbo-ácido associada a um painel fotovoltaico e controlador de carga.

A comunicação entre um microcomputador e os dispositivos da rede sem fio é proporcionada por um circuito de interface USB-ZigBee, também adquirido da empresa Telegesis. Baseando-se no

Tabela 1. Lista dos sensores e atuadores e as características consideradas no desenvolvimento do circuito para interface de propósito geral.

Dispositivo	Princípio de funcionamento	Sinal de interface / Protocolo	Requisitos de energia (W)	Tempo de resposta (s)	Fabricante	Modelo / Comentários
CO ₂ Sensor 1	IRGA	Serial RS-232/ ASCII ou analógico (0-2.5 V)	A 12 Vdc (11 to 36): 1 (max. 3.5)	2 (sem filtro)	Vaisala	GMP343 / Sonda por difusão
CO ₂ Sensor 2	IRGA	Serial TTL/ASCII ou analógico (0-2.5 V)	A 12 Vdc (11 to 20): 2.5	20	Vaisala	GMM222 / OEM / Difusão
Anemômetro Temperatura do ar	Ultrassom Capacitivo	Serial RS-232/ ASCII	A 12 Vdc (5 to 32): 0,036 (sem aquecimento do sensor de precipitação para caso de neve)	0.25 Imediato	Vaisala	WXT 520 / Estação Climatológica integrada em um único instrumento
Umidade do ar	Capacitivo			Imediato		
Precipitação	Piezelétrico			Imediato		
Pressão Barométrica	Capacitivo			Imediato		
Radiação solar	Fotodiodo de silício	Analogico (mV)	Não há	Imediato	Li-cor	LI-90 (Quantum) e LI-200 (Piranômetro)
Controle de Fluxo	Diferença de temperatura com precisão	Serial RS-232/ ASCII ou analógico (0-5V)	A 12 Vdc: 9.6	2	Aalborg	GFC 17 com RS-232 opcional
Válvula Solenoide	“Latching”	Pulsos de corrente c/ polaridades direta e reversa	12 Vdc / 24W (Pulsos de 100ms)	Imediato	Jefferson	BA222-70

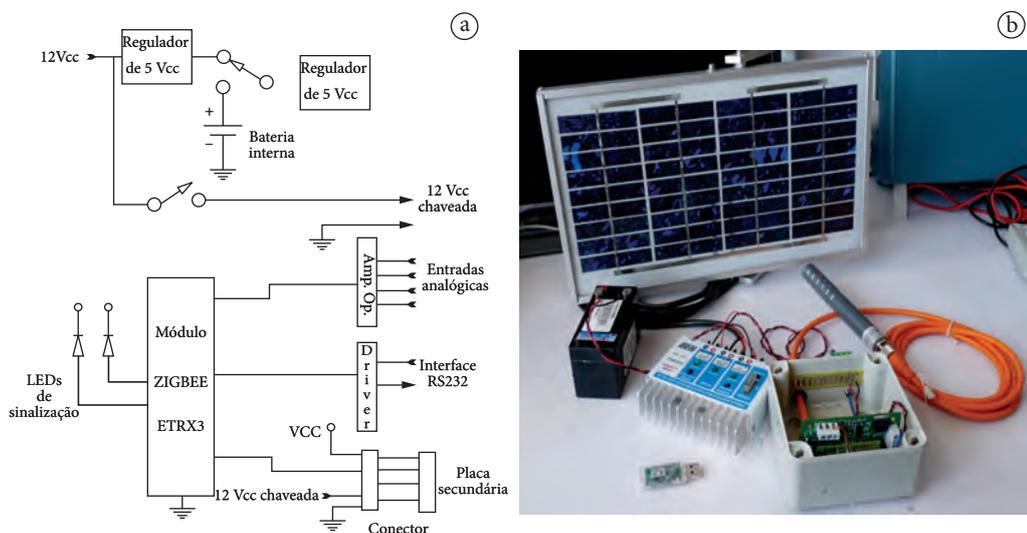


Figura 1. a) Diagrama em blocos do circuito da interface de propósito geral dos nós da rede de sensores sem fio e b) adaptação da sonda IRGA GMM222 como nó sem fio.

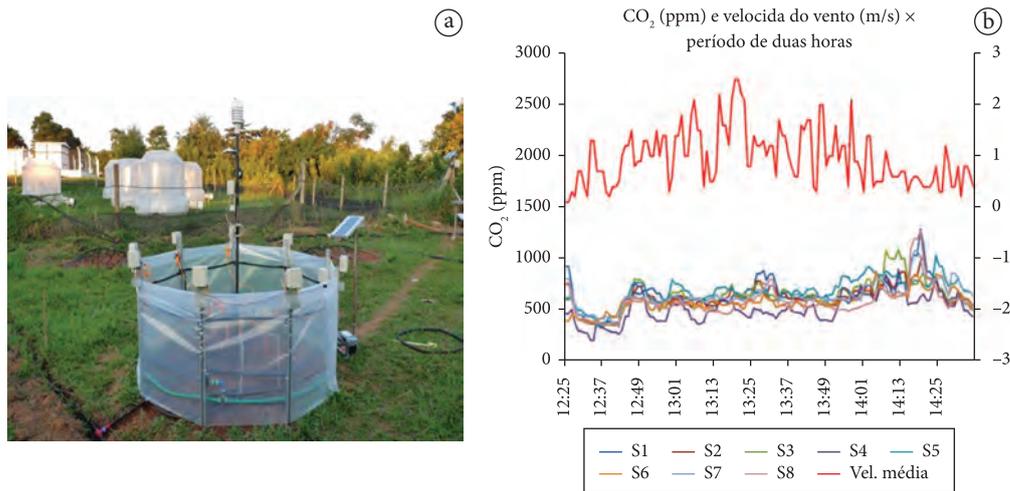


Figura 2. a) O experimento OTC implantado com a rede de sensores sem fio e b) avaliação de curto termo para verificar a variabilidade espacial do CO₂ em um anel dos anéis.

elenco de comandos AT, foi escrito um programa de controle e monitoramento das OTCs na linguagem de programação visual *LabView* versão 8.2.

3. Resultados e discussão

Um piloto do experimento OTC foi implantado com os dispositivos sem fio desenvolvidos (Figura 2a). Oito sondas de CO₂ IRGA GMM22 foram distribuídas em um anel, juntamente com uma estação climatológica WXT520 localizada no centro, a 2 m de altura. Um controlador de fluxo foi instalado para a se regular a injeção do CO₂. Este arranjo permitiu a fumigação controlada e o monitoramento da flutuação da concentração de CO₂ em função da velocidade e direção do vento. Com este teste preliminar conduzido em Jaguariúna, SP, obteve-se os gráficos mostrados na Figura 2b. Durante os 10 min iniciais não houve fumigação de CO₂. Em seguida o fluxo foi mantido constante a 3 L/min. Devido à distribuição das sondas, igualmente espaçadas ao longo da meia circunferência entre a borda e o centro da OTC, o efeito da direção do vento pode ser observado como mostra o gráfico do Sensor 4, o qual, na maior parte do tempo apresenta valores ligeiramente inferiores comparado com a média dos demais sensores. Uma possível explicação é a posição contra a direção predominante do vento.

4. Conclusões

A instrumentação sem fio não oferece tempos de atraso significativos e permite que as mudanças de concentração influenciadas pelo vento sejam rapidamente acompanhadas. Trabalhos futuros incluem testes operacionais com um número maior de nós sensores e a implementação do algoritmo de controle da fumigação para manter a concentração de CO₂ no nível desejado (usualmente em torno de 550 ppm). Para os anéis do FACE, além do controle do fluxo, as válvulas solenoide *Latching*, lembrando que há uma por seção do octógono, serão utilizadas para compensar também os efeitos da direção do vento.

Os circuitos, interfaces e softwares desenvolvidos deverão ser portados para um sistema de irrigação espacialmente diferenciada baseado em tecnologia de rede de sensores sem fio.

Agradecimentos

À Embrapa, através do Macroprograma 1, projetos “Impacto das mudanças globais sobre problemas fitossanitários” e “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”; ao CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo, FAPESP, projeto INCT NAMITEC: <http://namitec.cti.gov.br/>.

Aos técnicos da Embrapa Instrumentação, especialmente ao Sr. Gilmar Victorino.

Referências

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças Climáticas: Impacto sobre Doenças e Plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa, 2008.

HENDREY, G. R.; MIGLIETA, F. FACE Technology: past, present and Future. In: NOSBERGER, J.; LONG, S. P.; NORBY, R. J.; STITT, M.; HENDREY, G. R.; BLUM, H. (Eds.). **Managed ecosystem and CO2**. Alemanha, 2006. v. 187.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/index.htm>>. Acesso em: out. 2010.

TORRE-NETO, A.; FERRAREZI, R. A.; RAZERA, D. E.; SPERANZA, E.; LOPES, W. C.; LIMA, T. P. F. S.; RABELLO, L. M.; VAZ, C. M. P. Wireless sensor network for variable rate irrigation in Citrus. In: FRUIT, NUT AND VEGETABLE PRODUCTION ENGINEERING SYMPOSIUM; INFORMATION & TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE FRUIT & VEGETABLE PRODUCTION, 7., 2005, Montpellier, França. **Proceedings...** Montpellier, 2005. CD-ROM.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computer and Electronics in Agriculture**, n. 50, p. 1-14, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2005.09.003>

Robótica na agricultura de precisão**

Rubens Andre Tabile^{1*}, Ricardo Y. Inamasu^{2*}, Arthur José Vieira Porto^{3*}

¹ Doutorando, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo - USP

² Pesquisador Embrapa Instrumentação

³ Professor Titular, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo - USP

*e-mail: rubens.tabile@gmail.com; ricardo@cnpdia.embrapa.br; ajporto@sc.usp.br

**Financiamento concedido pela FINEP, chamada MCT/FINEP/CT-AGRO – Agricultura de Precisão 01/2008

Resumo: Estudos em robótica e sistemas autônomos voltados para aplicações agrícolas é um tópico pivotal na pesquisa em Agricultura de Precisão dos últimos anos. A multidisciplinaridade que atualmente envolve esse tópico gera a necessidade da discussão do seu processo de desenvolvimento e implementação, a fim de se compreender as necessidades do sistema como um todo e não somente focar em problemas pontuais. Desta forma, o objetivo desse trabalho é descrever os principais desafios encontrados para a implementação de sistemas robóticos no ambiente agrícola e quais as expectativas futuras.

Palavras-chave: aquisição de dados, ISOBUS, sensores.

Robotics on precision agriculture

Abstract: Researches in robotics and autonomous systems for use in agriculture is one of the pivotal topics related with Precision Agriculture in the last years. The multidisciplinarity which recently involves this topic generates the discussion need of the development and implementation process in order to understand the whole system needs and not only focus in specific issues. In reason that, the objective of this paper is to describe the main challenges to the implementation of the robotics systems in the agricultural environment and the futures expectative.

Keywords: data acquisition, ISOBUS, sensors.

1. Introdução

Antes de iniciar o estudo sobre robótica agrícola, é necessário entender como a automação de sistemas e o uso de tecnologia de informação está presente no setor agrícola. Basicamente, podemos dizer que estes tópicos, assim como uma série de outros, contribuem para formar o sistema de manejo conhecido como Agricultura de Precisão (AP). Esta deve ser vista como um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para que o sistema de produção agrícola seja otimizado, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e de fatores relacionados (MOLIN, 2001). Para isto, os membros envolvidos com o seu desenvolvimento e uso precisam utilizar uma vasta quantidade de dados, que por sua vez, são oriundos de múltiplas fontes, para realizar as tarefas de tomadas de decisão (McBRATNEY et al., 2005). Isto resulta em um método gerencial com caráter multidisciplinar, pois incorpora diversas áreas da ciência como, engenharias, geoestatística, ciências biológicas, ciências da computação entre outras (SRINIVASAN, 2006; PEREIRA, 2008). A multidisciplinaridade faz com que diversos métodos, baseados em distintas áreas da ciência, sejam desenvolvidos visando uma mesma aplicação. Da mesma forma, uma determinada tecnologia não fica restritamente comprometida em melhorar uma única prática, mas pode ser empregada em múltiplas situações, auxiliando no processo como um todo. Devido ao processo contínuo de evolução das áreas que englobam a Tecnologia da Informação, tais como, microeletrônica, sensores, computadores, telecomunicações, o avanço da tecnologia é constante e novas ferramentas continuam a ser desenvolvidas e testadas (GOZDOWSK; SAMBORSKI, 2007). Assim sendo, a dinâmica deste processo possibilita que, uma determinada prática ou tecnologia que era inviável tecnicamente ou economicamente torne-se viável com o resultado de pesquisa e desenvolvimento de áreas não agrícolas. Diversos autores como Schellberg et al. (2008), Lee et al. (2010), Ahamed et al. (2011), Aqeel et al. (2011) fizeram revisões bibliográficas mostrando os principais tópicos alvos de pesquisas. Dentre

as variáveis agrícolas destacam-se produtividade, propriedades físicas e químicas do solo, nutrição vegetal, volume vegetal, biomassa, conteúdo de água, pragas (doenças, plantas invasoras, insetos). Os recursos utilizados para obter dados que possam ser correlacionados com estas variáveis são vastos e incluem sensores espalhados no campo, espectrorradiômetros, visão de máquina, sensoriamento remoto aéreo multiespectral e hiperespectral, imagens de satélite, imagens térmicas, redes de dados, entre outros.

Em função das inovações expostas anteriormente, constata-se o crescimento da demanda de especialistas para operar instrumentos complexos nas operações de aquisição massiva de dados. Por ser um recurso escasso no Brasil, os poucos especialistas aptos, devem atuar de forma otimizada em atividades-chaves, evitando demandar tempo em operações repetitivas e exaustivas no campo. Além disto, a escala amostral desejável em confronto com a extensão da atual área agricultável, torna esta tarefa estafante. Uma das alternativas que merece destaque é o uso de sistemas autônomos para coleta de dados.

Neste ponto é interessante fazer um comparativo entre os objetivos do uso de sistemas autônomos no Brasil e na Europa, Japão ou Estados Unidos. A grande diferença é que nesses países, ao contrário do Brasil, a mão de obra especializada não é um problema e, muitas vezes as operações são realizadas pelo proprietário ou membros da família. Assim, a automação de tarefas vem no sentido de trazer conforto e redução da jornada de trabalho. Além disso, por ser considerado um setor estratégico, o governo fornece subsídios aos produtores (FIGUEIREDO et al., 2010) a fim de garantir a produção e barrar a entrada de produtos importados. O acesso a tecnologia também é um fator determinante, pois essa geralmente tem um valor inferior ao praticado no Brasil. No Brasil, os sistemas autônomos vem para suprir a carência de profissionais frente a demanda crescente, além de servir como laboratório para desenvolvimento de tecnologia nacional.

Dentre as áreas de pesquisas de sistemas autônomos uma que se enfatiza é a área de veículos não tripulados. Robôs móveis foram desenvolvidos

e podem operar autonomamente em diferentes ambientes, tais como no ar, água e no espaço externo. Existe um aumento contínuo no interesse de pesquisas sobre veículos terrestres não tripulados, especialmente para uso nas áreas militar, agrícola e transporte terrestre. Avanços nas áreas de tecnologias de sensoriamento tais como: Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS); capacidade computacional; miniaturização de eletrônica; algoritmos inteligentes para planejamento e controle, e também avanços nos projetos mecânicos, possibilitam realizar operações autônomas reais para aplicações usando veículos terrestres não tripulados como visto em Yao et al. (2009) e Moore e Flann (2000).

Salienta-se que em projetos de veículos não tripulados não existem limitações no que concerne ao espaço destinado ao operador do veículo, caso este fosse tripulado. A eliminação do espaço destinado ao operador do veículo pode promover a atribuição de novas características que podem ser incorporadas ao projeto de estrutura destas máquinas, como, por exemplo, configuração de rodas, formato, tamanho, peso, potência, entre outros. Apesar do potencial de maior liberdade de projeto, na literatura pode-se encontrar trabalhos que buscam adaptar máquinas agrícolas comerciais em plataformas agrícolas autônomas (veículos autônomos ou robôs móveis autônomos) e, também, trabalhos em que plataformas são construídas especificamente para serem veículos autônomos ou robôs agrícolas.

No segundo caso, identifica-se dois desafios: desenvolver uma estrutura física adequada ao ambiente agrícola e que atenda as necessidades da aplicação desejada; e desenvolver uma arquitetura eletrônica para integrar os diversos dispositivos presentes em sistemas como esses, bem como permitir sua expansão através da inserção de novos dispositivos. O objetivo desse trabalho é descrever os principais desafios encontrados para a implementação de sistemas robóticos no ambiente agrícola e quais as expectativas futuras.

2. Material e métodos

A tentativa de prever o que vai acontecer no futuro é notoriamente difícil e propensa a erros. No campo da tecnologia essa tarefa toma proporções ainda maiores, devido a elevada velocidade de mutação dessa área, e até nomes renomados já cometem enganos. Baseado em outros setores industriais, como automobilístico, têxtil, mineração, eletrônica entre tantos outros que já fazem uso de sistemas autônomos e robóticos para realização de tarefas repetitivas e ou perigosas, espera-se que o agrícola também passe por uma transformação nesse sentido. Este artigo busca dar uma visão geral sobre o processo para desenvolvimento de um robô móvel para aplicação agrícola. Para isto, são listadas algumas etapas que devem ser observadas no processo de criação bem como trabalhos relacionados com o tema.

3. Resultados e discussão

O primeiro passo é a identificar a função de um robô móvel. Está pode ser descrita como o sensoriamento inteligente das sequências de tarefas de tomada de decisão e atuação (JONES; FLYNN; SEIGER, 1998). Aqui, dependendo da complexidade do procedimento de sensoriamento e atuação, vários níveis de tarefas computacionais são empregadas, variando de microprocessadores com simples estruturas de controle reativo até estruturas complexas com sistemas deliberativos (ARKIN, 1998; OREBÄCK; CHRISTENSEN, 2003) ou ainda os altamente populares sistemas híbridos, que são uma combinação dos dois (ARKIN, 1998; OREBÄCK; CHRISTENSEN, 2003; YAVUZ, 1999). Conforme o exposto anteriormente, a eminente necessidade de sistemas autônomos tem incentivado a realização de pesquisas nesta área. Contudo, o escopo das pesquisas foca no desenvolvimento individual do projeto de cada robô, e não nas necessidades da agricultura em relação aos robôs. Segundo Blackmore et al. (2007), esta condição faz com que os projetos de robôs não atinjam o nível máximo de qualidade possível. Assim, uma das técnicas que pode ser aplicada é a análise sob múltiplas perspectivas, possibilitando uma visão sistêmica dos pontos fortes e fracos do projeto. São

citadas oito perspectivas que devem ser abordadas no processo de desenvolvimento: segurança, energia, economia, meio ambiente, gerenciamento, mecanização, tecnologia e sociedade.

No que tange ao sistema móvel em si, estes precisam superar problemas relacionados à limitação de recursos computacionais e alimentação, devido a restrições relacionadas com a mobilidade do sistema. Recorrente a este aspecto, o desafio é projetar esses complexos sistemas com configuração móvel com baixo consumo de energia, mantendo o alto poder computacional requerido. Para esclarecer este ponto, Yavuz (2007) verificou, com base em resultados provenientes de uma análise de causa-efeito, as interações existentes no sistema de um típico robô móvel autônomo.

A análise ilustra que fatores de projeto geram complexas relações de causa e efeito, conseqüentemente resultando em conflitos. É importante ressaltar que cada função adicionada ao sistema aumenta sua complexidade geral, uma vez que cada função requer, de alguma forma, módulos de hardware e software, bem como alimentação adicional, tornando o projeto mais difícil. Um bom projeto depende de um equilíbrio entre os fatores como custo, tamanho, alimentação, desempenho e complexidade, com as funções requeridas. Assim, é necessária uma metodologia sistemática para a concepção, desenvolvimento e integração de sistemas nos diversos estágios do processo de desenvolvimento.

Outro ponto a ser considerado são os recursos que serão disponibilizados para o usuário. O uso de ferramentas de tomada de decisão para projetos como o QFD e o Modelo Kano são alternativas interessantes, com resultados positivos em diversas outras áreas. Um estudo dos parâmetros de projeto e das necessidades do cliente para o projeto de um robô agrícola foi desenvolvido por Sørensen et al. (2006, 2007, 2008, 2010) e uma análise para uma aplicação no Brasil foi feita por Arietti Junior (2010). Os autores simulam a aplicação da ferramenta QFD ao projeto de um robô agrícola móvel. A aplicação seguiu o modelo apresentado por Chan e Wu (2005). Ao longo das publicações dos

estudos, novas comparações e conclusões foram apresentadas. O resultado é um quadro ilustrando quais fatores causam mais impacto no produto final e quais podem ser relevados. Cita-se como exemplo que a necessidade de uma plataforma que seja capaz de receber módulos específicos para cada tarefa é mais importante que a aparência ou usar energia renovável.

Por ser um processo que ainda esta em fase de desenvolvimento é difícil fazer previsões econômicas. Principalmente no Brasil que se pretende suprir uma deficiência, não se tem parâmetros comparativos. Alguns trabalhos como Blackmore e Griepentrog (2002), Blackmore et al. (2005), Pedersen et al. (2005, 2006) trazem comparativos econômicos entre sistemas automatizados e tradicionais. Observa-se que o sistema automatizado tem o custo de instalação superior ao sistema convencional, entretanto, o custo operacional compensa esse investimento inicial apresentado uma tendência de ganho econômico durante a vida útil do produto. Salienta-se que, a medida que a demanda de uma tecnologia aumenta, seu custo total diminui, seja pela diluição do investimento gasto no desenvolvimento da tecnologia, como o decréscimo do custo de produção. Outro ponto que se deve levar em consideração é a resistência intrínseca existente nesse setor por parte dos agricultores as mudanças na forma de manejo praticadas. Além disso, há a necessidade do entendimento que a automação não é uma solução imediatista a determinada carência ou problema, mas parte de um processo gerencial.

4. Conclusões

A multidisciplinaridade e os avanços tecnológicos que passam a envolver as novas práticas agrícolas abrem a oportunidade para inserção de sistemas autônomos no campo. Esse por sua vez, deve ser interpretado como uma ferramenta de auxílio que irá compor e incrementar o sistema de manejo e não como uma solução isolada e imediatista.

Referências

- AHAMED, T. ; TIAN, L.; ZHANG, Y.; TING, K. C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2455-2469, 2011.
- AQEEL UR, R.; ABBASI, A. Z.; ISLAM, N.; SHAIKH, Z. A. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. **Computer Standards & Interfaces**, In Press, 2011.
- ARIETTI JUNIOR, A. M. Análise dos requisitos da qualidade em projetos de robôs agrícolas. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- ARKIN, R. C. **Behavior-based robotics**. London: MIT Press, 1998. 491 p.
- BLACKMORE, S.; GRIEPENTROG, H. W. A future view of precision farming. In: PREAGRO PRECISION AGRICULTURE CONFERENCE, 2002, Muncheberg. **Proceedings...** Muncheberg: Center for agricultural landscape and land use research - ZALF, 2002. p. 131-145.
- BLACKMORE, S.; GRIEPENTROG, H. W.; FOUNTAS, S.; GEMTOS, T. A. A Specification for an Autonomous Crop Production Mechanization System. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, v. 9 n. PM 06 032, 2007.
- BLACKMORE, S.; STOUT, B.; WANG, M.; RUNOV, B. Robotic agriculture the future of agricultural mechanisation. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2005, Uppsala. **Proceedings...** Uppsala, Sweden: Wageningen Academic Publishers, 2005. p. 621-628.
- CHAN, L. K.; WU, M. L. A Systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. **The International Journal of Management Science of Computer Programming**, v. 33, n. 2, p. 119-139, 2005.
- FIGUEIREDO, A. M.; SANTOS, M. L. D.; OLIVEIRA, M. A. S.; CAMPOS, A. C. Impactos dos subsídios agrícolas dos Estados Unidos na expansão do agronegócio brasileiro. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 40, p. 445-467, 2010.
- GOZDOWSK, D.; SAMBORSKI, S. Book Reviews - Precision agriculture. **Communications in Biometry and Crop Science**, v. 2, p. 90-94, 2007.
- JONES, J. L.; FLYNN, A. M.; SEIGER, B. A. **Mobile robots: inspiration to implementation**. Natick: A. K. Peters, 1998
- LEE, W. S.; ALCHANATIS, V.; YANG, C.; HIRAFUJI, M.; MOSHOU, D.; LI, C. Sensing technologies for precision specialty crop production. computers and electronics in agriculture, **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 2-33, 2010.
- McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future Directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 7-23, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>
- MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão - O Gerenciamento da Variabilidade**. Piracicaba, 2001. v. 1.
- OREBÄCK, A.; CHRISTENSEN, H. I. Evaluation of Architectures for Mobile Robotics. **Autonomous Robots**, v. 14, n. 1, p. 33-49, 2003. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1020975419546>
- PEDERSEN, S. M.; FOUNTAS, S.; HAVE, H.; BLACKMORE, B. S. Agricultural robots: an economic feasibility study. **Precision Agriculture**, p. 589-596, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-006-9014-9>
- _____. Agricultural robots-system analysis and economic feasibility. **Precision Agriculture**, v. 7, p. 295-308, 2006.
- PEREIRA, R. R. D. **Protocolo ISO 11783: procedimentos para comunicação serial de dados com o Controlador de Tarefas**. 2008. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- SHELLBERG, J.; HILL, M. J.; GERHARDS, R.; ROTHMUND, M.; BRAUN, M. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. **European Journal of Agronomy**, v. 29, n. 2-3, p. 59-71, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- SØRENSEN, C. G.; JØRGENSEN, R. N.; MAAGAARD, J.; BERTELSEN, K. K.; DALGAARD, L.; NØRREMARK, M. User-centered and conceptual technical guidelines of a plant nursing robot. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2008, Providence. **Proceedings...** Providence, Rhode Island: ASABE, 2008.
- _____. Conceptual and user-centric design guidelines for a plant nursing robot. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 1, p. 119-129, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.10.002>
- SØRENSEN, C. G.; JØRGENSEN, R. N.; PEDERSEN, J. M.; NØRREMARK, M. HortiBot: Application of Quality Function Deployment (QFD) Method for Horticultural Robotic Tool Carrier Design Planning - Part II. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2006, Portland. **Proceedings...** Portland, Oregon: ASABE, 2006. p. 1-12.
- SØRENSEN, C. G.; NØRREMARK, M.; JØRGENSEN, R. N.; JENSEN, K.; MAAGAARD, J.; JENSEN, L. A. Hortibot: Feasibility study of a plant nursing robot performing weeding operations - part IV. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: ASABE, 2007.

SRINIVASAN, A. **Handbook of precision agriculture: principles and applications**. Bringhamton: Food Products Press, 2006. 683 p.

YAO, L.; LI, L.; ZHANG, M.; MINZAN, L. Automatic Guidance of Agricultural Vehicles Based on Global Positioning System. **IFIP International Federation for Information Processing**, v. 187, p. 617-624, 2005. http://dx.doi.org/10.1007/0-387-29295-0_67

YAVUZ, H. **Conceptual design and development of an autonomous mobile robot**. 1999. Tese (Doutorado)-University of Lancaster, Lancaster, 1999.

_____. An integrated approach to the conceptual design and development of an intelligent autonomous mobile robot. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 55, n. 6, p. 498-512, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2006.12.010>

Estudo dos elementos mínimos para projeto de sistemas embarcados compatíveis para máquinas e implementos agrícolas**

Rafael V. de Sousa^{1*}, Wellington C. Lopes^{2*}, Robson R. D. Pereira^{2*},
Ricardo Y. Inamasu^{3*}

¹ Professor do Centro de Ciência Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil

² Pós-graduando, Núcleo de Pesquisa e Ensino em Automação e Simulação, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: rafael.sousa@gmail.com; wlopes@gmail.com; robsondutra.pereira@gmail.com; ricardo@cnpdia.embrapa.br

**Financiado pela FINEP (processo: 01.09.0285.00), Fundo para o Setor do Agronegócio, CT, Agro – MAPA 01/2008

Resumo: Este trabalho apresenta o estudo das normas relacionadas com o ISOBUS. A sistematização dos resultados origina um documento referencial prático para projetos de redes embarcadas para automação de máquinas e implementos agrícolas.

Palavras-chave: ISOBUS, automação de máquinas agrícolas, redes embarcadas, padrões.

Study of the minimum elements for designing compatible embedded systems for agricultural machinery and implements

Abstract: This work presents the study of the standards related to ISOBUS. The systematization of the results generate a practical reference documentation for agricultural machinery (tractor, combine and implements) designs of embedded networking applied to agricultural machinery automation.

Keywords: ISOBUS, agricultural machinery automation, embedded networking, standards.

1. Introdução

Atualmente, instituições de pesquisa e associações de normas concentram esforços significativos para padronização da eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas através da implantação norma ISO 11783, conhecida no mercado também como ISOBUS (BENNEWEISS, 2005; GODOY, 2007; PEREIRA, 2009; FORÇA..., 2011). Observa-se também o esforço por parte de fabricantes de máquinas, implementos e de outros equipamentos para a promoção e para a implantação do ISOBUS. São exemplos dessas parcerias entre fabricantes, instituições de pesquisa e associações de normas: a *Association of Equipment Manufacturers*, que congrega os fabricantes de máquinas e implementos norte-americanos, representada pelo *North American ISOBUS Implementation Task Force* (NAIITF), nos Estados Unidos (AGRICULTURAL..., 2011); e a *Federation of Engineering Industry*, que congrega os fabricantes de máquinas e implementos europeus, representada pelo *Implementation Group ISOBUS* (IGI), na Comunidade Européia (VERBAND..., 2011). Em 2008, membro dessas associações fundiram as atividades em uma associação internacional AEF (*Agricultural Industry Electronics Association*) (AGRICULTURAL ..., 2008).

Benneweis (2005) cita que os objetivos das forças tarefas IGI e NAIITF são: promover a divulgação do padrão ISOBUS em conferências e em feiras agrícolas; desenvolver procedimentos de certificação para os fabricantes; e organizar reuniões, denominadas *plugfest*, para testar a conformidade de equipamentos de mercado com norma ISO 11783.

Constata-se em Oksanen, Linja e Visala (2005) que um dos desafios relacionados ao uso da rede ISO 11783 é o desenvolvimento de implementos compatíveis que realizem tarefas específicas, como o sensoriamento remoto e as aplicações VRT (*Variable Rate Technology*: tecnologias de aplicação à taxa variável que permitem a aplicação controlada de insumos agrícolas). No Brasil, embora haja o entendimento da importância desse padrão, os fabricantes de máquinas e equipamentos agrícolas, e, principalmente, os fabricantes nacionais de implementos se deparam com barreiras técnicas por

não possuírem tradicionalmente departamentos para desenvolvimento de eletrônica embarcada e pela carência no mercado de empresas fornecedoras de eletrônica própria para aplicações agrícolas. Essas barreiras impõem às empresas a necessidade de investimentos significativos para serem superadas, e, além disso, demandam-se investimentos para formação mão-de-obra especializada.

Para suprir as carências tecnológicas destacadas anteriormente e apoiar as empresas nacionais, está em andamento o projeto do Fundo para o Setor do Agronegócio, CT - Agro - MAPA 01/2008, financiado pela FINEP (processo: 01.09.0285.00), sob o título “Sistemas para Viabilizar Monitoramentos e Intervenções Localizadas”, que tem como objetivo geral de fomentar no mercado nacional as tecnologias relacionadas com o ISOBUS para tratores e, principalmente, para implementos agrícolas. O projeto trata também da integração das tecnologias de certa forma estabelecidas para monitoramento do solo e de plantas para desenvolvimento de tecnologias ISOBUS compatíveis para o mercado nacional.

Em consonância com o objetivo geral descrito, uma das etapas do projeto é promover a divulgação e a assimilação de conhecimentos relacionados com o ISOBUS e estabelecer metodologias de projeto para sistemas de automação em Agricultura de Precisão, para concepção de algumas tecnologias “gargalos” baseadas em Unidades Eletrônicas de Controle com ISOBUS (*Electronic Control Unit – ECU*). Nesse sentido esse trabalho apresenta uma sistematização de informações sobre a estrutura das normas ISO 11783 e ABNT NBR ISO11783, assim como se destaca os elementos de automação mínimos (as principais ECUs) para compor um barramento ISOBUS com especificações que permitam a implantação de aplicações agrônomicas automatizadas em máquinas e implementos agrícolas.

2. Material e métodos

O comitê da ISO responsável pela norma ISO 11783 sob o título *Tractors and machinery for agriculture and forestry – serial control and communications*

data network é o TC23/SC19/WG1. No Brasil a Comissão de Estudos de Comunicação Eletrônica e Embarcada CE-04:015.15 do Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos CB-004 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é responsável pelo projeto da norma ABNT NBR ISO-11783 sob o título “Tratores e máquinas agrícolas e florestais - rede serial para controle e comunicação de dados” que a versão nacional da norma ISO 11783.

O levantamento foi realizado utilizando os documentos da norma ISO 11783 e os documentos da norma ABNT NBR ISO 11783. No levantamento buscou-se explicitar os documentos básicos e determinar o estágio atual dos projetos das normas. Além disso, o levantamento foi direcionado também para identificar os elementos de rede básicos para implantação de sistemas embarcados de automação em máquinas e implementos agrícolas.

No Brasil um grupo de trabalho formado por pesquisadores e representantes da indústria de máquinas e implementos agrícolas busca desde 2006 fomentar o desenvolvimento e a aplicação da norma ISO 11783 e da ABNT NBR ISO11783 através da organização denominada Força Tarefa ISOBUS Brasil (FORÇA..., 2011). Além da FTI Brasil apóia as ações da do Comitê CE 04:15:15 e colabora com as atividades de intercâmbio entre os membros da IGI e da NAIITF.

3. Resultados e discussão

O propósito da norma ISO 11783 é prover um padrão aberto para interconexão de sistemas eletrônicos

embarcáveis através de um barramento digital para permitir a comunicação de dados entre estes dispositivos sensores, atuadores e controladores. Uma única ECU pode ser responsável pela conexão de um ou mais dispositivos a um barramento de comunicação. Também, um dispositivo pode ser conectado a um barramento por uma ou mais ECUs. O conjunto formado por uma ECU e por dispositivos ISOBUS compatíveis constitui um nó de rede padrão CAN – *Controller Area Network* (SOUSA, 2002).

A ISO 11783 adota o protocolo CAN como enlace de comunicação por fio e algumas especificações da norma foram baseadas na norma DIN 9684 e muitas outras foram baseadas na norma SAE J1939. A Tabela 1 apresenta as partes da documentação da norma ISO 11783 e uma síntese sobre o estado do projeto de cada parte da norma.

A norma ABNT NBR ISO 11783 é a versão nacional da norma ISO 11783. Essa norma encontra-se em fase de elaboração, sendo que quatro documentos foram publicados. A Tabela 2 apresenta as partes da documentação da norma e uma síntese sobre o estado do projeto de cada parte da norma.

A Figura 1 ilustra um exemplo de uma rede segundo o padrão da ISOBUS disposto em um trator com um implemento conectado.

Os padrões relacionados com o ISOBUS têm definidos três tipos de sub-redes, que são conectados por dispositivos denominados *Network Interconnection Unit* (NIU) ou Unidade de Interconexão de Rede. Estas NIUs podem ser *Repeaters* (Repetidores), *Briges* (Pontes), *Routers* (Roteadores) e *Gateways* (Portais), com funções

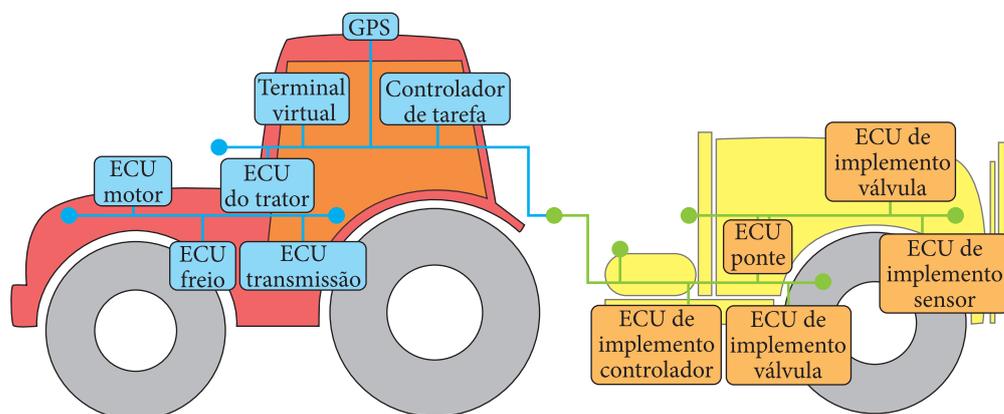


Figura 1. Ilustração de uma rede ISO 11783 e ABNT NBR ISO 11783.

Tabela 1. Status da norma ISO 11783.

Código do documento	Parte	Estágio atual do documento
ISO 11783-1:2007	Part 1: General standard for mobile data communication	Padrão Internacional para ser revisado*
ISO/FDIS 11783-2	Part 2: Physical layer	Protótipo final registrado para aprovação formal*
ISO 11783-3:2007	Part 3: Data link layer	Padrão Internacional para ser revisado*
ISO 11783-4	Part 4: Network layer	Padrão Internacional para ser publicado*
ISO 11783-5:2011	Part 5: Network management	Padrão Internacional publicado
ISO 11783-6:2010	Part 6: Virtual terminal	Padrão Internacional publicado
ISO 11783-7:2009	Part 7: Implement messages application layer	Padrão Internacional para ser revisado*
ISO 11783-8:2006	Part 8: Power train messages	Padrão Internacional confirmado para publicação*
ISO/FDIS 11783-9	Part 9: Tractor ECU	Protótipo final registrado para aprovação formal*
ISO 11783-10:2009	Part 10: Task controller and management information system data interchange	Padrão Internacional publicado
ISO 11783-11:2011	Part 11: Mobile data element dictionary	Padrão Internacional publicado
ISO 11783-12:2009	Part 12: Diagnostics services	Padrão Internacional para ser revisado*
ISO 11783-13:2011	Part 13: File server	Padrão Internacional publicado

*Padrão publicado é submetido a revisão periódica.

semelhantes às funções destes elementos nas redes de computadores pessoais convencionais. Um tipo de sub-rede é a sub-rede do veículo, denominada Barramento do Trator, onde podem estar conectadas ECUs para parâmetros veiculares associados, por exemplo, com o motor e com a transmissão (Figura 1). O outro tipo é a sub-rede principal de implementos, denominada Barramento de Implemento, onde podem estar conectadas ECUs para parâmetros relacionados com aplicações agrícolas como, por exemplo plantio e pulverização (Figura 1).

A presença de três ECUs específicas ilustradas na Figura 1 é necessária para viabilizar a operação da rede ISOBUS, sendo essas o Terminal Virtual (*Terminal Virtual* - VT), o Controlador de Tarefas (*Task Controller* - TC) e a ECU do Trator (*Tractor ECU* - TECU).

O Terminal Virtual (VT), especificado na parte 6 das normas, é uma ECU com tela gráfica que promove a interface entre a máquina (trator e implemento) e o operador (ser humano), e fica localizada na cabine de operação da máquina agrícola. Quando um implemento ISOBUS em é conectado em um trator ISOBUS, uma ECU de implemento qualificada como Mestre do Grupo de ECU (*Working Set Máster* - WSM) é responsável por interconectar todos os dispositivos do implemento e demais ECUs relacionadas com uma aplicação agrícola com o VT através de um arquivo padrão denominado *Object Pool* (OP) trafegado na rede. O *Object Pool* é um arquivo que contém a descrição de um conjunto de objetos definidos pelas normas (máscaras, botões, variáveis, indicadores gráficos, figuras, etc.) que são exibidos no Terminal Virtual para representar graficamente

Tabela 2. Status da norma ABNT NBR ISO 11783.

Código do documento	Parte	Estágio atual do documento
ABNT NBR ISO 11783 parte 1	Norma geral para comunicação de dados móvel	Padrão Nacional em elaboração
ABNT NBR ISO 11783 parte 2	Camada física	Padrão Nacional publicado*
ABNT NBR ISO 11783 parte 3	Camada de enlace de dados	Padrão Nacional em fase final de revisão para consulta nacional
ABNT NBR ISO 11783 parte 4	Camada de rede	Padrão Nacional publicado*
ABNT NBR ISO 11783 parte 5	Gerenciamento de rede	Padrão Nacional em fase final de revisão para consulta nacional
ABNT NBR ISO 11783 parte 6	Terminal virtual	Padrão Nacional em elaboração
ABNT NBR ISO 11783 parte 7	Camada de aplicação - mensagens de implemento	Padrão Nacional em elaboração
ABNT NBR ISO 11783 parte 8	Mensagens do veículo	Padrão Nacional em elaboração
ABNT NBR ISO 11783 parte 9	ECU do trator	Padrão Nacional publicado*
ABNT NBR ISO 11783 parte 10	Controlador de tarefas e gerenciamento da troca de dados do sistema de informação	Trabalhos para iniciar
ABNT NBR ISO 11783 parte 11	Dicionário de dados	Padrão Nacional publicado*
ABNT NBR ISO 11783 parte 12	Serviços de diagnósticos	Trabalhos para iniciar
ABNT NBR ISO 11783 parte 13	Servidor de arquivos	Padrão Nacional em elaboração

*Em fase de Consulta Nacional para publicação.

a ECU do implemento responsável pelo comando a aplicação agrícola.

Controlador de Tarefa especificado na parte 10 é uma ECU especial responsável pelo envio, recebimento e armazenamento de dados de processos agrícolas, e, além disso, contém a interface de dados para sistemas computacionais externos à máquina agrícola. Essa ECU é responsável por gerenciar o controle de tarefas pré-determinadas, sendo que as tarefas são prescritas previamente, e são transmitidas para o trator no formato de arquivo *XML*. Para que as tarefas possam ser realizadas, um implemento ISOBUS compatível deve enviar as características de seus dispositivos o Controlador de Tarefas utilizando um arquivo denominado *Device Description Object Pool* (DDOP), também no formato XML. Essa ECU não

possui uma tela gráfica e por isso pode apresentar as tarefas no VT.

A ECU do Trator especificado na parte 9 é uma NIU com funções especiais e faz a interconexão do barramento do trator com o barramento de implemento.

4. Conclusões

A sistematização das informações realizada sobre as normas que definem o ISOBUS, associada ao levantamento de elementos de automação básicos para compor um barramento ISOBUS permitiu a geração de uma documentação referencial de suporte para projetos de sistemas embarcados de automação para máquinas e implementos agrícolas. Destaca-se a importância das ECUs especiais (VT,

TC e TECU) e identifica-se que os esforços de desenvolvimento devem ser direcionados também para os arquivos *Object Pool* e *Device Description Object Pool* para viabilizar respectivamente a operações das ECUs de implimento e a ECU Controlador de Tarefa, pois tais elementos são essenciais na definição da operação da máquina e do implimento na aplicação agrícola automatizada.

Referências

- AGRICULTURAL INDUSTRY ELECTRONICS FOUNDATION - AEF. **Pense ISOBUS**. Disponível em: <http://www.aef-online.org/fileadmin/MEDIA/downloads/AEF_brochure_POR.pdf>. Acesso em: 07 out. 2011.
- BENNEWEIS, R. K. Status of the ISO 11783 serial control and communications data network standard. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa. **Proceedings...** Tampa: ASAE, 2005.
- FORÇA TAREFA ISOBUS BRASIL. Disponível em: <<http://www.isobus.org.br>>. Acesso em: 07 out. 2011.
- GODOY, E. P. **Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho de redes CAN (Controller Area Network) para aplicações em sistemas agrícolas**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- OKSANEN, T.; LINJA, M.; VISALA, A. Low-cost positioning system for agricultural vehicles. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE IN ROBOTICS AND AUTOMATION, 2005, Espoo, Finland. **Proceedings...** Espoo: IEEE, 2005. <http://dx.doi.org/10.1109/CIRA.2005.1554293>
- OKSANEN, T.; OHMAN, M.; MIETTINEM, M.; VISALA, A. ISO 11783 - Standard and its implementation. In: INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL - IFAC WORLD CONGRESS, 16., 2005, Prague, Czech Republic. **Proceedings...** IFAC, 2005.
- OKSANEN, T.; SUOMI, P.; VISALA, A.; HAAPALA, H. ISOBUS compatible implements in the project AGRIX. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2005, Uppsala, Sweden. **Proceedings...** Uppsala, 2005.
- PEREIRA, R. R. D. **Protocolo ISO 11783: procedimentos para comunicação serial de dados do controlador de tarefa**. 2009. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- SOUSA, R. V. **CAN (Controller Area Network): uma abordagem para automação e controle na área agrícola**. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- SOUSA, R. V.; GODOY, E. P.; PORTO, A. J. V.; INAMASU, R. Y. **Redes Embarcadas em Máquinas e Implementos Agrícolas: o Protocolo CAN (Controller Area Network) e a ISO11783 (ISOBUS)**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007.
- VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN UND ANLAGENBAU - VDMA. Disponível em: <<http://www.vdma.org>>. Acesso em: 07 out. 2011.

AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA CULTURAS ANUAIS

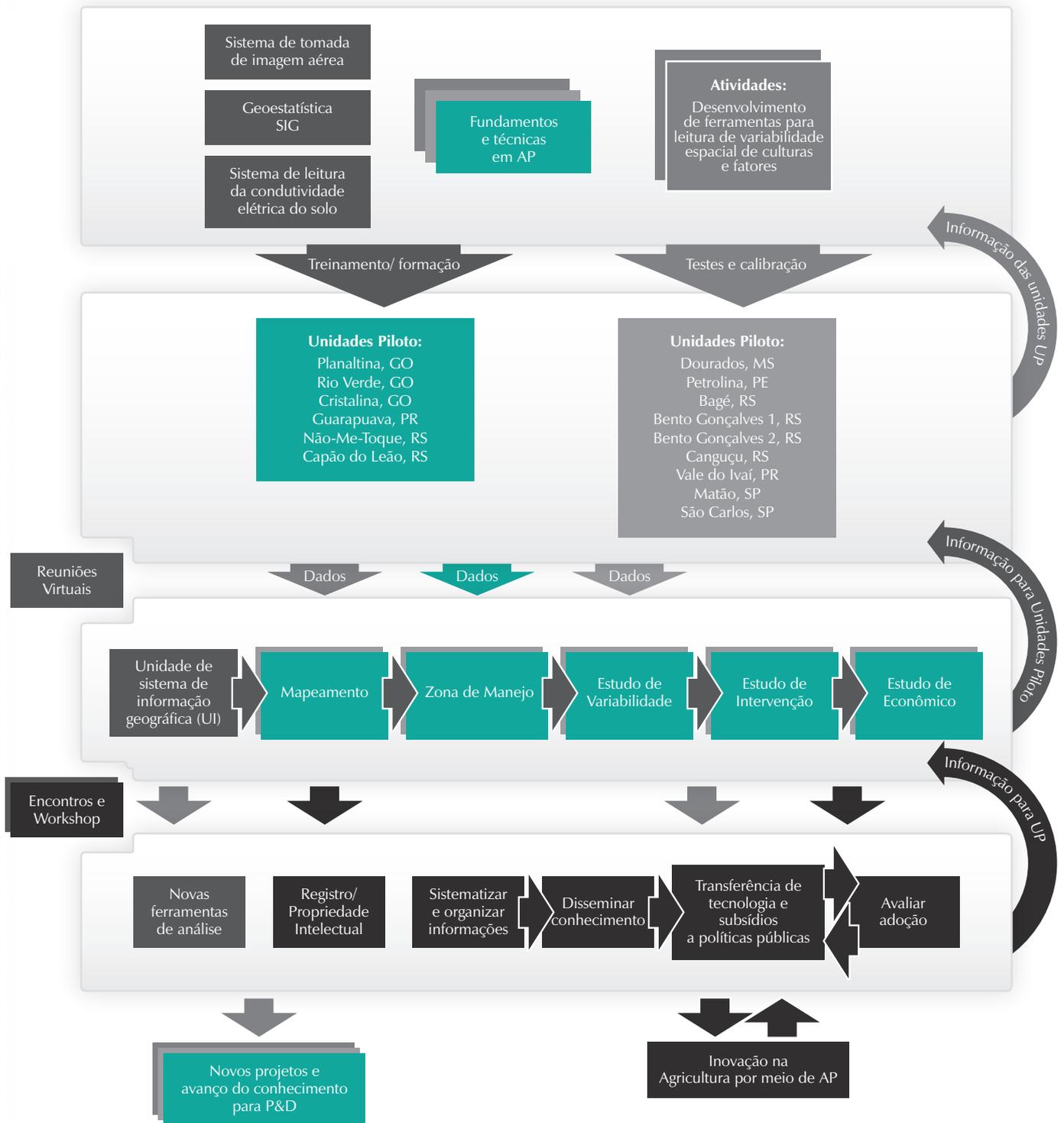


Essa seção compreende os primeiros resultados das ações de pesquisa da Rede AP voltadas para o uso da agricultura de precisão na caracterização, monitoramento e manejo da variabilidade espaço-temporal em sistemas de culturas anuais. Busca-se desenvolver, validar e difundir técnicas de agricultura de precisão que permitam determinar a variabilidade espaço-temporal de fatores bióticos e abióticos condicionantes da produtividade das culturas, identificar zonas para manejo sítio-específico das lavouras e monitorar as alterações decorrentes das intervenções nos sistemas de produção. Parcerias entre diversas unidades da Embrapa, universidades, cooperativas, fazendas e prestadores de serviço permitiram estabelecer unidades pilotos de pesquisa em diferentes regiões do País.

Como componente base do sistema de produção, o solo precisa ser caracterizado de forma apropriada e confiável, primeiro passo na busca de um manejo racional e que garanta maior rendimento físico e econômico das lavouras. É exatamente essa a tônica desta fase do projeto e da maioria dos trabalhos que o leitor encontrará nesta seção. São apresentadas diversas abordagens experimentais para caracterização da variabilidade espacial de atributos dos solos e das culturas. Também são descritas iniciativas para o mapeamento de nematóides, identificação de zonas de manejo considerando múltiplos fatores e definição de critérios para adubação a taxa variável. Os resultados preliminares demonstram que há grande potencial de avanço das tecnologias de agricultura de precisão no Brasil, mas ainda há muito que ser feito na pesquisa e na prática.

Estamos vivenciando na pesquisa em agricultura de precisão o que os agricultores enfrentam no seu dia a dia: as particularidades e a complexidade do ambiente de produção de cada talhão e o que isso representa em desafios para uma tomada de decisão mais acertada no manejo das lavouras. Porém, não resta dúvida de que um acervo de informações detalhadas e georreferenciadas dos talhões, cada vez mais, constituirá o diferencial para aprimorar o gerenciamento da propriedade agrícola.





Legenda:

- Organização da Rede
- Ferramentas para Agricultura de Precisão
- Agricultura de Precisão para Culturas Anuais
- Agricultura de Precisão para Culturas Perenes
- Inovação em Agricultura de Precisão

Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas anuais

Álvaro Vilela de Resende^{1*}, Marina de Fátima Vilela^{2*}

¹ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424, Km 45, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG, Brasil

² Pesquisadora, Embrapa Cerrados, Rod. BR 020, Km 18, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

*e-mail: alvaro@cnpms.embrapa.br; marina@cpac.embrapa.br

Resumo: O Projeto Componente 3 da Rede de Agricultura de Precisão, intitulado “Caracterização, monitoramento e manejo da variabilidade espaço-temporal em sistemas de culturas anuais” constitui-se de cinco planos de ação que contam com a participação interativa de várias unidades da Embrapa, Universidades e parceiros da iniciativa privada. A estratégia de trabalho baseia-se na implantação de Unidades Pilotos (UPs) de pesquisa de agricultura de precisão nas diferentes regiões do País, envolvendo principalmente as culturas de algodão, arroz, milho, soja e trigo. Ferramentas de caracterização da variabilidade das áreas das UPs, utilizando sensor de condutividade elétrica do solo, modelo digital de elevação do terreno e imagens aéreas, constituem atividades transversais da Rede, subsidiando o diagnóstico de fatores condicionantes de variações de produtividade nos talhões em estudo. Os planos de ação contemplam atividades voltadas para o mapeamento da variabilidade espaço-temporal das características agrônômicas das culturas e de atributos físicos e químicos dos solos, para a identificação de zonas visando manejo localizado e posterior monitoramento das alterações decorrentes das intervenções. Estão também previstas atividades de desenvolvimento de metodologias para tomada de decisão de manejo dos agentes causadores de estresses bióticos nas culturas. Dentre os impactos esperados, destacam-se o desenvolvimento, adaptação e validação de estratégias de mapeamento da variabilidade e de práticas de manejo sítio-específico adequadas às particularidades dos sistemas de produção de culturas anuais no Brasil.

Palavras-chave: agricultura de precisão, variabilidade espacial, manejo sítio-específico, sensoriamento remoto, geoprocessamento, produção de grãos.

General evaluation, results, and perspectives of the precision agriculture use in annual crops

Abstract: The Component Project “Characterization, monitoring and management of spatio-temporal variability in annual cropping systems”, of the Embrapa Precision Agriculture Network, consists of five action plans which rely on the interactive participation of several units of Embrapa, Universities and private partners. The work strategy is based on the implementation of Pilot Units of precision agriculture research in different regions of the country, involving mainly the crops of cotton, rice, corn, soybeans and wheat. Electrical conductivity mapping of the soil, terrain digital elevation model, and aerial imagery are cross-cutting activities of the Network, supporting the diagnosis of factors responsible for yield variations on the experimental plots. The action plans include the mapping the spatial and temporal variability of crops and soil properties aiming to identify zones for site-specific management and subsequent monitoring of changes resulted from interventions. Other activities involve the adjustment of decision-making methodologies for control of the biotic agents responsible for stresses in the crops. Impacts are expected in terms of the development, adaptation and validation of strategies to assess the variability and to define practices appropriate to the site-specific approach, taking into account the peculiarities of the production systems of annual crops in Brazil.

Keywords: precision agriculture, spatial variability, site-specific management, remote sensing, GIS, grain production.



1. Introdução

Atualmente a produtividade média das culturas de grãos e fibras no Brasil está muito abaixo daquela alcançada nas áreas com adoção de boas práticas tecnológicas. Desta forma, torna-se estratégico o emprego de novas abordagens de manejo, que proporcionem aumentos de produtividade, melhorem o aproveitamento dos recursos disponíveis e evitem prejuízos ao ambiente.

A agricultura de precisão (AP) deve visar à obtenção de informações detalhadas e posterior gerenciamento de todos os fatores e processos envolvidos no sistema de produção e, portanto, não pode focar somente mapeamentos diversos ou controle das aplicações de insumos. Grandes investimentos foram feitos até hoje, no sentido de responder às indagações sobre os fatores limitantes da produtividade e, com a AP, pode-se encontrar respostas que até então não eram vislumbradas. Por mais que o conhecimento do manejo das principais culturas venha aumentando de forma organizada e haja incorporação rápida das inovações tecnológicas, ainda faltam ferramentas que auxiliem no processamento de informações obtidas nos talhões de cultivo, na tomada de decisão e na operacionalização de manejo diferenciado. O Projeto Componente 3, da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, tem como objetivo geral desenvolver, validar e difundir tecnologias mais eficientes para caracterização, monitoramento e manejo da variabilidade espaço-temporal em sistemas de culturas anuais. No presente trabalho são descritas as principais ações em andamento no projeto e perspectivas.

2. Material e métodos

O Projeto está estruturado em rede, com ações articuladas e envolvimento de unidades da Embrapa, Universidades e parceiros da iniciativa privada. Até o momento foram definidas seis Unidades Pilotos (UPs) de agricultura de precisão para as culturas do algodão, arroz, milho, soja e trigo em diferentes regiões do País. Em cada UP são realizadas ações para monitoramento, amostragens, diagnóstico e intervenção na forma de manejo sítio-específico de fatores de produção bióticos e abióticos.

Métodos indiretos de monitoramento tais como mapeamento da produtividade, condutividade elétrica do solo, fotografias aéreas e sensores diversos estão sendo avaliados, calibrados e validados. As informações georreferenciadas são tratadas por meio de sistemas de informações geográficas (SIG) e geoestatística. São gerados mapas diagnósticos de características vegetativas e produtivas das culturas, atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, bem como da incidência de agentes causadores de estresses bióticos.

Serão estabelecidos critérios que auxiliarão na tomada de decisão e definição de zonas para o manejo sítio-específico dos fatores em estudo nas UPs. Na sequência, as áreas receberão intervenções e tratos culturais localizados, tais como aplicações de corretivos, fertilizantes e defensivos em taxas variáveis (VRT).

As equipes de maior experiência acumulada com pesquisa em AP procuram avançar nessas linhas de estudo e em demandas emergentes. Nas áreas acompanhadas há mais tempo e que já receberam aplicações VRT serão monitoradas a variabilidade espacial e estabilidade temporal de atributos do solo e da produtividade das culturas, tendo em vista os benefícios esperados em termos de homogeneização dos talhões, ganhos de produtividade ou economia de insumos.

Atenção é dada à validação de dispositivos de monitoramento de baixo custo e de sistemas inteligentes de suporte no processamento de dados georreferenciados e na tomada de decisão visando intervenções baseadas na agricultura de precisão. As atividades de calibração e validação do uso do sensor de condutividade elétrica do solo (Veris) e de fotografia aérea, ferramentas de baixo custo para o monitoramento, diagnóstico e delimitação de zonas de manejo são transversais, sendo realizadas em unidades pilotos com cada cultura considerada no projeto.

Nas UPs melhor estruturadas, serão geradas informações para subsidiar avaliações de sustentabilidade da adoção de tecnologias de agricultura de precisão em sistemas de culturas anuais. Tendo como referência o manejo tradicional em cada região/cultura, serão realizadas análises de custo e de retorno econômico decorrentes do manejo diferenciado baseado na agricultura de precisão.

3. Resultados e discussão

Os benefícios potenciais da AP são muitos. Entretanto, no Brasil, as diversas tecnologias de AP e respectivos resultados não foram ainda passíveis de ser satisfatoriamente avaliados no seu conjunto. Atualmente a aplicação de insumos, principalmente corretivos e fertilizantes, a taxas variáveis é a tecnologia mais difundida entre os produtores que praticam a AP em culturas anuais. Mesmo nesse caso, os impactos da tecnologia quanto aos esperados benefícios econômico e ambiental não foram devidamente quantificados. Nas regiões de agricultura com maior investimento tecnológico, existem muitas empresas prestadoras de serviços como, por exemplo, amostragem georreferenciada do solo e aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis. Todavia, ainda permanecem vários questionamentos e oportunidades para aperfeiçoamento e incremento na confiabilidade dos procedimentos adotados.

Sensores remotos como o Crop Circle® (Holland Scientific) e o GreenSeeker® (NTech) têm sido testados, possibilitando a confecção de mapas para a identificação de áreas com estresses tais como deficiências nutricionais e incidências de danos de pragas e doenças em diversos estádios vegetativos das culturas. Esses novos sensores apresentam, ainda, a possibilidade de interagir com implementos para a aplicação de fertilizantes em taxa variada, corrigindo as deficiências em tempo real.

Outra técnica utilizada na AP que merece destaque refere-se ao uso de monitores de produtividade para auxiliar na identificação das causas da sua variabilidade, definição de possíveis zonas de manejo e visualização do sistema de produção da fazenda como um todo. Há, porém, que se disseminar o seu uso como subsídio ao gerenciamento dos talhões de cultivo no Brasil, atentando ao processamento criterioso dos dados registrados pelas colhedoras dotadas destes monitores.

Dentre os resultados preliminares e perspectivas do projeto componente, destacam-se:

Unidades Pilotos de pesquisa em agricultura de precisão foram implantadas em diferentes regiões do País, contemplando as culturas de algodão, arroz de várzeas subtropicais, milho, soja e trigo. Face à

repercussão positiva dessa estratégia, a tendência é que novas UPs sejam estabelecidas e integradas à Rede de AP, ampliando a cobertura geográfica e contemplando outros sistemas de produção de culturas anuais.

Já é possível notar considerável aumento e fortalecimento de massa crítica da pesquisa brasileira em agricultura de precisão para sistemas de produção de culturas anuais. Há, contudo, necessidade de reforçar o treinamento de mão-de-obra e da assistência técnica envolvida na utilização da AP.

As diversas ações do projeto vêm contribuindo para promover o desenvolvimento e a aplicação de práticas de agricultura de precisão em culturas anuais no Brasil.

4. Conclusões

As Unidades Pilotos de AP com culturas anuais encontram-se em fase de consolidação e ampliação de parcerias.

Foram gerados os primeiros resultados dos trabalhos em andamento e os grupos locais de pesquisa estão estabelecidos, levando a um expressivo aumento de massa crítica dentro de Unidades da Embrapa e em interação com parceiros externos.

A agregação de novos projetos e financiamentos é necessária para o fortalecimento e continuidade da proposta de trabalho, bem como, ao atendimento das demandas emergentes para a pesquisa em AP. Em médio prazo, há expectativa de impactos importantes no desenvolvimento, adaptação e validação de estratégias de mapeamento da variabilidade e de práticas de manejo sítio-específico adequadas às particularidades dos sistemas de produção de culturas anuais no Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos especialmente o empenho da equipe de pesquisadores e o compromisso e confiança dos parceiros externos, sem o que não haveria êxito na condução deste Projeto Componente.

Ajuste de grades amostrais para o mapeamento da resistência à penetração de um Latossolo Bruno

Henrique Debiasi^{1*}, Julio Cezar Franchini¹, Fabio Álvares de Oliveira¹,
Thiago Martins Machado^{2*}

¹ Pesquisador, Embrapa Soja, CP 231, CEP 86001-970, Londrina, PR, Brasil

² Pesquisador, FAPA, Rua Praça Nova Pátria, s/n, CEP 85139-400, Guarapuava, PR, Brasil

*e-mail: debiasi@cnpso.embrapa.br; tmachado@agraria.com.br

Resumo: O efeito da intensidade de amostragem na variabilidade espacial da resistência à penetração (RP) de um Latossolo Bruno sob sistema plantio direto foi avaliado em uma área de 18,9 ha localizada em Guarapuava/PR. A RP foi determinada em maio de 2011, por meio de um penetrômetro eletrônico, nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm. Utilizou-se uma grade amostral de 30 × 30 m, totalizando 210 leituras de RP. Os dados foram submetidos à análise geoestatística, realizada para diferentes intensidades de amostragem, simuladas pela exclusão de pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área. Considerando todos os 210 pontos amostrados, a RP apresentou dependência espacial em todas as profundidades avaliadas. Os modelos ajustados para os semivariogramas variaram de acordo com a profundidade, sendo os piores ajustes obtidos para a camada de maior interesse para avaliação da compactação do solo (10 a 20 cm). Com a diminuição do número de observações, a RP não apresentou dependência espacial simultaneamente em todas as profundidades entre 10 e 20 cm. A variabilidade espacial da RP é influenciada pela profundidade e pela intensidade de amostragem, de modo que a redução do número de pontos amostrais promove maior erro na estimativa desta variável por krigagem, principalmente na camada de maior interesse para o monitoramento do estado de compactação (10 a 20 cm).

Palavras-chave: agricultura de precisão, geoestatística, compactação do solo.

Adjustment of sampling grids for soil resistance to penetration mapping in a Haplohumox

Abstract: The effects of sampling rate on spatial variability of soil resistance to penetration (SRP) in a Haplohumox managed under long-term no-tillage were assessed in an agricultural area with 18.9 ha located at Guarapuava County, Paraná State, Southern Brazil. SRP was evaluated in May 2011 at 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cm depth. A sampling grid of 30 × 30 m was used, so that 210 SRP measurements were taken at each depth. The data were analyzed using geostatistical techniques, considering different sampling rates by excluding sampling points evenly distributed in the area. Considering all 210 points sampled, SRP values showed spatial dependence for all depths evaluated. The models adjusted to semivariograms varied according to depth. Worse adjustments were obtained for the most important layer regarding soil compaction evaluation (10-20 cm). By lowering the number of sampling points, the RP showed no spatial dependence simultaneously at all depths between 10 and 20 cm. Spatial variability of SRP is influenced by sampling depth and rate. Reductions in the number of sampling points promote a greater error in the SRP estimate by kriging, especially at the layer of interest to soil compaction measurement.

Keywords: precision farming, geostatistics, soil compaction.

1. Introdução

Em áreas manejadas sob sistema plantio direto (SPD), tem sido observada a formação de uma camada de solo mais compactada a 8-20 cm de profundidade (GENRO JUNIOR et al., 2009). Em algumas situações, o grau de compactação dessa camada atinge valores limitantes à produtividade das culturas (FRANCHINI et al., 2009). O estado de compactação do solo pode ser avaliado pelos valores de resistência do solo à penetração (RP), determinada por meio de penetrometria. A principal vantagem desse método relaciona-se à facilidade e rapidez na obtenção de dados, o que favorece a sua utilização em escala de lavoura.

A definição de um esquema de amostragem adequado, principalmente no que se refere à intensidade de amostragem, é um dos aspectos mais importantes para a avaliação da variabilidade espacial de atributos do solo, como a RP. Ao mesmo tempo em que o número de amostras deve ser o suficiente para refletir adequadamente a variabilidade espacial da RP, ele é limitado pelo custo e pelo tempo disponível para a avaliação. É importante salientar que a quantificação da RP deve ser realizada no menor espaço de tempo possível, para minimizar as variações no conteúdo de água do solo, que interferem nos valores de RP. O objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito do número de pontos amostrais na variabilidade espacial da RP em um Latossolo Bruno manejado sob SPD.

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado em uma área de 18,9 ha (450 × 420 m) pertencente à Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), localizada no município Guarapuava/PR (25° 32' S, 51° 30' O e altitude média = 1120 m). O solo da área é classificado como Latossolo Bruno Alumínico típico, de textura muito argilosa (737 g kg de argila, 174 g kg de silte e 89 g kg de areia). A área vem sendo manejada sob SPD há mais de 15 anos, e cultivada com trigo, aveia ou cevada no inverno e soja ou milho no verão, em esquema de rotação de culturas.

A RP foi determinada após a colheita da soja (maio/2011), nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm, por meio de um penetrômetro eletrônico equipado com cone de 12,83 mm de diâmetro e 30° de ângulo. As avaliações de RP foram feitas em uma grade amostral de 30 × 30 m, com uma repetição por ponto, totalizando 210 leituras em cada profundidade. Em 75 pontos distribuídos na área, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, para determinação do conteúdo gravimétrico de água no solo, conforme Embrapa (1997).

Os dados de RP foram submetidos à análise geoestatística, conforme Vieira (2000). Os semivariogramas foram ajustados para diferentes números de pontos amostrais: 210, 161, 140, 112, 105, 84, 70 e 56. A distribuição dos pontos amostrais na área, em função do seu número, é mostrada na Figura 1. O modelo escolhido para ajuste do semivariograma foi aquele que resultou no maior coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. A partir dos parâmetros do ajuste do modelo ao semivariograma, os valores de RP para os pontos não medidos foram estimados por meio de krigagem, sendo os mapas de variabilidade espacial construídos por meio do programa Surfer 9.0. Nas situações em que todos os modelos ajustados apresentaram coeficiente de determinação (R^2) inferior a 0,20, os valores de RP não foram krigados e mapeados. Para verificar o efeito do número de pontos amostrais na qualidade do mapeamento, os valores de RP krigados a partir de diferentes intensidades de amostragem foram correlacionados (correlação de Pearson) aos valores krigados quando se utilizou todos os 210 pontos originalmente avaliados (grade de 30 × 30 m).

3. Resultados e discussão

O conteúdo de água do solo no momento da avaliação da RP foi de 0,41 e 0,40 kg.kg⁻¹ nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Esses valores correspondem, aproximadamente, ao conteúdo de água na capacidade de campo para esse solo, situação considerada adequada para a determinação da RP (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1999).

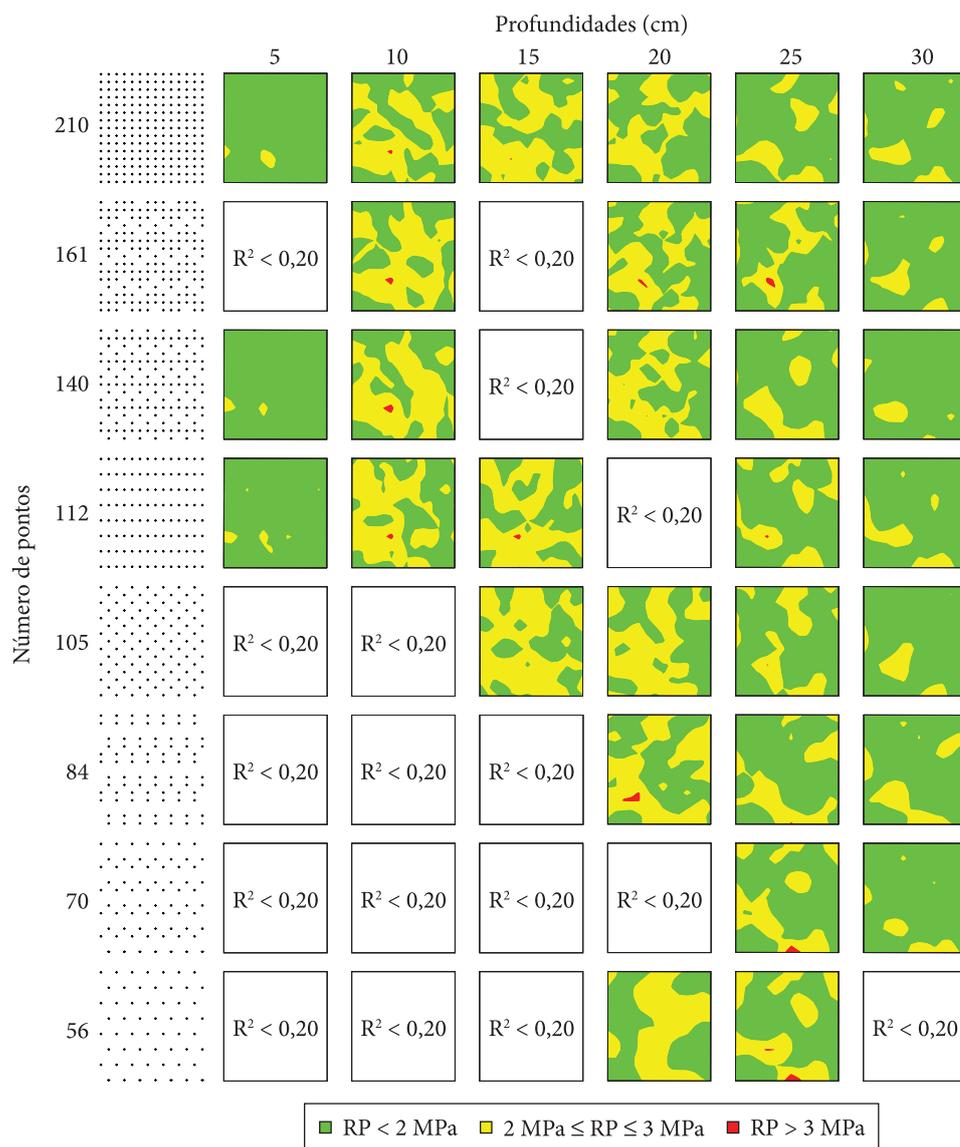


Figura 1. Mapas krigados da resistência à penetração de um Latossolo Bruno, determinada em área agrícola localizada em Guarapuava/PR.

Quando a análise geoestatística foi realizada com os 210 pontos amostrados, a RP apresentou dependência espacial em todas as profundidades (Tabela 1). Já os modelos ajustados para os semivariogramas variaram conforme a profundidade avaliada. Os valores de R^2 mostram que os piores ajustes ocorreram para as profundidades entre 10 e 20 cm, que apresentam as maiores limitações em termos de compactação do solo no SPD (FRANCHINI et al., 2009). Esse fato pode ser atribuído ao aumento da compactação do solo causado pelo efeito acumulativo das pressões aplicadas pelo tráfego de máquinas agrícolas, o que aumentou a variabilidade aleatória. Na condição de 210 pontos amostrais, o alcance

variou entre 43,0 e 53,2 m para as profundidades entre 5 e 20 cm. Para as camadas abaixo de 20 cm, o alcance foi maior, variando de 73,4 a 77,1 m. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance tem distribuição espacial aleatória e por isto são independentes entre si (VIEIRA, 2000). Portanto, a distância entre as observações deve ser inferior ao alcance.

Com a diminuição do número de pontos, não foi possível obter modelos com ajuste satisfatório ($R^2 \geq 0,20$) para os semivariogramas em todas as profundidades referentes à camada de maior interesse para estudos de compactação do solo (10-20 cm) (Tabela 1). Quando os semivariogramas não se ajustam a nenhum modelo, a variação da

RP é totalmente aleatória (efeito pepita puro), não havendo, portanto, dependência espacial, o que impediu o seu mapeamento (Figura 1). Por outro lado, a utilização de 56 amostras na profundidade de 25 cm, e de 70 amostras na profundidade de 30 cm, proporcionou ajuste satisfatório dos modelos gaussiano e esférico, respectivamente. No entanto, para essas profundidades, a diminuição do número de pontos amostrais reduziu a qualidade do ajuste, expressa pelo valor do R².

Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes de correlação (r) entre os valores krigados para diferentes intensidades de amostragem e os valores krigados quando se utilizou todos os 210 pontos avaliados. A redução do número de observações diminuiu os valores de r em todas as profundidades, indicando aumento do erro na estimativa por krigagem. Por outro lado, considerando um valor de r de 0,80 como satisfatório, seria possível reduzir o número de pontos amostrais de 210 para 105 nas profundidades de 25 e 30 cm, e de 210 para 140 nas profundidades de 5, 10 e 20 cm. No entanto, para a profundidade de 15 cm, a redução do número de pontos não seria possível, pois os valores de r,

para as situações em que o ajuste dos modelos ao semivariograma foi satisfatório (112 e 105 pontos), foram inferiores a 0,80.

Nas profundidades de 5, 25 e 30 cm, a RP, na maior parte da área, foi inferior a 2 MPa (Figura 1), valor considerado crítico ao desenvolvimento da maioria das culturas (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Já para as profundidades entre 10 e 20 cm, a maior parte da área apresentou valores de RP entre 2 e 3 MPa, indicando que a compactação do solo pode limitar a produtividade das culturas. Esses resultados confirmam que, no SPD, os problemas de compactação do solo se concentram na camada de 10-20 cm. Verifica-se ainda que a redução do número de pontos de 210 para 105 (profundidades de 25 e 30 cm) e 140 (profundidades de 5, 10 e 20 cm) não alterou substancialmente os mapas de RP, respaldando os resultados obtidos por meio da análise dos valores de r (Tabela 2). Porém, a utilização de um número de pontos menor implicou em modificações importantes nos mapas, o que pode conduzir a erros na interpretação e no manejo localizado a ser aplicado na área.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do semivariograma para a resistência à penetração de um Latossolo Bruno nas diferentes intensidades e profundidades de amostragem.

Pt	Pf (cm)	Mod	Co	C1	a (m)	R ²	Pt	Pf (cm)	Mod	Co	C1	A (m)	R ²
210	5	EXP	0,008	0,24	53,2	0,55	112	5	GAU	0,000	0,22	41,6	0,56
210	10	EXP	0,000	0,27	43,6	0,22	112	10	GAU	0,077	0,21	42,9	0,29
210	15	EXP	0,000	0,26	47,6	0,51	112	15	GAU	0,000	0,24	41,2	0,55
210	20	GAU	0,118	0,18	43,0	0,36	112	25	EXP	0,006	0,37	74,5	0,81
210	25	GAU	0,173	0,16	77,1	0,84	112	30	GAU	0,171	0,18	93,1	0,82
210	30	EXP	0,000	0,32	73,4	0,77	105	15	GAU	0,000	0,23	44,9	0,22
161	10	GAU	0,082	0,19	47,7	0,22	105	20	ESF	0,117	0,16	69,3	0,36
161	20	GAU	0,000	0,30	43,1	0,39	105	25	ESF	0,003	0,32	75,5	0,79
161	25	GAU	0,000	0,31	54,2	0,79	105	30	GAU	0,202	0,12	92,8	0,78
161	30	GAU	0,143	0,19	65,9	0,65	84	20	GAU	0,003	0,37	44,4	0,28
140	5	EXP	0,000	0,24	64,3	0,58	84	25	EXP	0,000	0,35	82,5	0,59
140	10	EXP	0,000	0,25	57,9	0,29	84	30	GAU	0,154	0,16	101,1	0,47
140	20	GAU	0,000	0,29	43,8	0,51	70	25	GAU	0,000	0,33	66,3	0,36
140	25	GAU	0,184	0,16	83,7	0,80	70	30	ESF	0,099	0,19	81,6	0,36
140	30	EXP	0,000	0,31	62,7	0,65	56	20	ESF	0,019	0,26	108,2	0,30
							56	25	GAU	0,003	0,45	75,5	0,22

Pt: número de pontos; Pf: profundidade, em cm; Mod: modelo ajustado; Co: efeito pepita; C1: variância estrutural; a: alcance, em m; R²: coeficiente de determinação. Modelos ajustados com R² < 0,20 não foram utilizados para krigagem.

Tabela 2. Coeficientes de correlação (r) entre os valores de resistência à penetração de um Latossolo Bruno estimados por krigagem para diferentes intensidades de amostragem e os valores krigados quando se utilizou todos os 210 pontos avaliados.

Número de pontos	Profundidade (cm)					
	5	10	15	20	25	30
161		0,89		0,91	0,87	0,95
140	0,85	0,83		0,83	0,90	0,90
112	0,74	0,74	0,78		0,85	0,83
105			0,74	0,74	0,84	0,80
84				0,76	0,76	0,76
70					0,68	0,64
56				0,50	0,74	

4. Conclusões

A variabilidade espacial da RP é influenciada pela profundidade e pela intensidade de amostragem. A redução do número de pontos amostrais promove maior erro na estimativa da RP por krigagem, o que é mais evidente na camada de maior interesse para avaliação da compactação (10 a 20 cm).

Para a RP, a intensidade ótima de amostragem deve ser definida em função da variabilidade espacial na camada de 10 a 20 cm. Assim, para uma área de 18,9 ha, é necessário avaliar um número mínimo de 210 pontos.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer** - ASAE EP542. Saint Joseph: ASAE, 1999.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Embrapa Soja, Documentos, n. 314).

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1 p. 65-73, 2009.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 1, p. 1-53, 2000.

Áreas homogêneas e teor de água disponível de um Latossolo Vermelho Amarelo**

José Francirlei de Oliveira^{1*}, Stanislas Mayi III¹, Robélio Leandro Marchão^{4*},
Edemar Joaquim Corazza^{2*}, Sandro Manuel Carmelino Hurtado^{4*},
Maria de Fátima Guimarães^{5*}

¹ Pós-graduando, Universidade Estadual de Londrina – UEL, Pr 445 Km 380, Londrina, PR, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

³ Pesquisador da Embrapa Informação Tecnológica, CP 040315, CEP 70770-901, Brasília, DF, Brasil

⁴ Bolsista CNPq, Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

⁵ Professor Associado C, Universidade Estadual de Londrina – UEL, CCA, CP 6001,
CEP 86051-990, Londrina, PR, Brasil

*e-mail: jfoliveira79@yahoo.com.br; robelio.leandro@cpac.embrapa.br; edemar@sct.embrapa.br;
sandroelbat@gmail.com; mfatima@uel.br

**Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

Resumo: O entendimento da variabilidade do solo e a amostragem sistemática do horizonte diagnóstico podem ser úteis na definição de estratégias de manejo. Neste contexto, uma abordagem multivariada dos atributos do horizonte diagnóstico do solo pode ser mais eficiente do que a simples caracterização da variabilidade espacial na superfície. O objetivo deste trabalho foi determinar áreas homogêneas do talhão com base na caracterização do horizonte diagnóstico, utilizando técnicas de análise multivariada, promovendo uma abordagem quantitativa do teor de água disponível. Em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo, foram coletadas 97 amostras da camada 0,80-1,00 m, dispostas em malha regular de 175 m. Com base na metodologia proposta, foi possível determinar três áreas homogêneas. Uma destas, caracterizada pelos maiores teores de argila, caulinita e carbono orgânico e menor densidade do solo, apresentou maior umidade gravimétrica em equilíbrio com todos os potenciais estudados; porém, essa maior umidade não resultou em maiores teores de água disponível, que foram menores que $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. As outras duas áreas, caracterizadas pelo maior teor de areia fina, apresentaram teores de água disponível maiores que $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, considerado como satisfatório para o adequado desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: atributos físico-hídricos, análise multivariada, textura, zonas homogêneas.

Homogeneous areas and available water content of a Yellow-Red Latosol

Abstract: The understanding of the soil variability and the systematic sampling of soil can be useful in the definition of soil management strategies. In this context, a multivariate approach in the analysis of the soil diagnostic horizons can be more efficient than a simple characterization of the soil spatial variability. The objective of this work was to determine homogeneous zones in the area, based on the characterization of the diagnostic horizon, using multivariate analysis and promoting the quantitative measurement of the available water content. In an area of Yellow-Red Latosol, 97 samples were collected at 0.80-1.00 m of depth and arranged on a regular 175-m grid. Based on the proposed methodology, it was possible to determine three homogeneous zones. One of these areas, with highest clay fraction, kaolinite, and organic carbon and lower soil bulk density, had higher gravimetric water content with all the evaluated potentials; however, the higher soil moisture content did not result in higher available water content, which was lower than $0.15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. The other two areas, characterized by a finer fine sand fraction, had available water content higher than $0.15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, considered satisfactory for a good plant development.

Keywords: hydro-physical attributes, multivariate analysis, texture, homogeneous zones.



1. Introdução

Para o entendimento da variabilidade espacial podem ser utilizadas duas abordagens de estudo, sendo uma pela variabilidade espacial de um atributo do solo e a outra por meio de um conjunto de atributos. Normalmente, aquele que utiliza diversos atributos tende a ser mais eficiente e permite melhor caracterização da variabilidade espacial do solo (FIDALSKI; TORMENA; SCAPIM, 2007).

Neste sentido, técnicas de análises estatísticas multivariadas em associação com a geoestatística, facilitam a interpretação da variabilidade do solo (SILVA et al., 2010) e têm sido utilizadas como ferramentas para determinar a presença de áreas homogêneas (VITHARANA et al., 2008).

A amostragem sistemática do horizonte diagnóstico pode ser útil na caracterização do solo, definição de estratégias de manejo e estudos de balanço hídrico. O objetivo desse trabalho foi determinar áreas homogêneas do talhão com base na caracterização do horizonte diagnóstico, utilizando técnicas de análise multivariada, promovendo uma abordagem quantitativa do teor de água disponível.

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na Fazenda Lambary, município de Planaltina – GO em uma área de 310 ha (15°, 32' S de Latitude e 47°, 67' W de Longitude) com altitude média de 1000 m, cujo solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico caulinitico de textura argilosa (SANTOS et al., 1999).

Foram coletadas, em malha regular de 175 m em 97 pontos, amostras indeformadas e deformadas da camada 0,80-1,00 m. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando cilindros de 94,22 cm³, de forma alternada, ou seja, no primeiro ponto foi coletado apenas 1 cilindro e 3 cilindros no ponto seguinte e assim sucessivamente, totalizando 193 cilindros. Os teores de água em equilíbrio com os potenciais -0,001, -0,003, -0,006, -0,100, -1,000 e 1,500 MPa, foram determinados pelo método da centrífuga (FREITAS JUNIOR; SILVA, 1984), com 30 min de rotação. A densidade do solo e de partículas, o teor de carbono orgânico e os

teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ foram determinados conforme Claessen (1997).

Os teores de caulinita (Ct), gibbsita (Gb), hematita (Hm) e goetita (Gt) foram obtidos conforme Resende, Bahia Filho e Braga (1987) e Resende e Santana (1988).

Para determinação da granulometria foi utilizado o método da pipeta com agitação lenta por 16 h e dispersão química com hidróxido de sódio (NaOH, 1 mol.L⁻¹).

A cor do solo foi obtida em amostras de solo seco com auxílio da carta de cores de Munsell. A partir da avaliação do matiz, croma e valor, foi calculado o índice de vermelho (IV) dos 97 pontos pela equação $I = M + (C/V)$, em que: M é o parâmetro referente à matiz (M igual a 10 para 10R, 7,5 para 2,5YR, 5 para 5YR, 2,5 para 7,5YR e zero para 10YR), C é o croma e V o valor da notação de Munsell.

Os dados de altitude foram coletados com auxílio de DGPS (*Differential Global Positioning System*) com densidade de avaliação de 225.000 pontos distribuídos em toda área. A declividade foi obtida com auxílio do comando Calculus do programa Surfer 9.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

O teor de água disponível (AD) foi obtido pela diferença entre os potenciais -0,006 e -1,500 MPa, cujo resultado foi multiplicado pela densidade do solo para transformação para base volumétrica. Os teores maiores que 0,20 m³.m⁻³ de água disponível (AD) foram considerados ideais, aqueles de 0,15 m³.m⁻³ ≤ AD < 0,20 m³.m⁻³ bom, 0,10 m³.m⁻³ ≤ AD < 0,15 m³.m⁻³ limitado e 0,10 m³.m⁻³ > AD pobre (REYNOLDS et al., 2008). As variáveis utilizadas na análise de agrupamentos foram aquelas que apresentaram, após cálculo do semivariograma (VIEIRA, 2000), grau de dependência espacial moderada ou forte, conforme classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Os atributos que atenderam esse pré-requisito foram o teor de argila, silte, areia fina e grossa, carbono orgânico, índice de vermelho, goetita, e caulinita, altitude, declividade e a umidade do solo em equilíbrio com os potenciais estudados. Para identificar possíveis áreas homogêneas em função do conjunto de atributos do solo utilizou-se o método de agrupamentos hierárquico (Ward).

O número ótimo de agrupamentos pode ser baseado na importância prática das diferenças entre os grupos e na complexidade espacial do mapa resultante (TAYLOR et al., 2003), assim cada área foi subdividida em dois, três e quatro agrupamentos para determinar o número ótimo de grupos e identificar as áreas homogêneas. Para confecção da distribuição espacial das classes formadas pela análise de agrupamento foi utilizado o método da krigagem do programa Surfer 9,0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

3. Resultados e discussão

A classificação dos 97 pontos em mais de três conjuntos resultaram em alguns com um número pequeno de membros (um único ponto), assim, foram caracterizados três grupos homogêneos de solo (Tabela 1).

Os grupos 1A, 1B e 1C se localizaram ao norte-nordeste, centro-sudeste e oeste, respectivamente (Figura 1). Tais grupos não foram distribuídos aleatoriamente e formaram áreas contíguas, em função do grau de dependência espacial

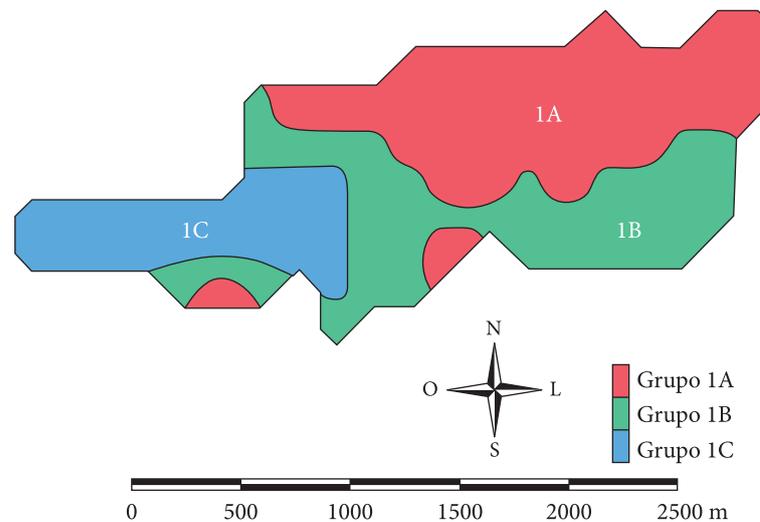


Figura 1. Representação gráfica dos grupos formados e delimitação espacial das áreas homogêneas do Latossolo Vermelho Amarelo.

Tabela 1. Características e grupos formados pela análise de agrupamentos para definição das áreas homogêneas do Latossolo Vermelho Amarelo.

Atributos	Grupos		
	1A	1B	1C
N	39	36	22
Argila (g kg ⁻¹)	331	492	754
Silte (g kg ⁻¹)	104	120	117
Areia fina (g kg ⁻¹)	478	328	96
Areia grossa (g kg ⁻¹)	87	61	34
Goetita (g kg ⁻¹)	35,89	42,77	83,55
Caulinita (g kg ⁻¹)	185,71	323,62	528,30
Carbono orgânico (dag kg ⁻¹)	0,57	0,68	0,72
Altitude (m)	1028,09	1001,18	969,27
Declividade (m)	5,54	4,47	6,11
$\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$ (g g ⁻¹)*	0,42	0,49	0,57
$\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,34	0,39	0,45
$\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,29	0,34	0,39
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,18	0,24	0,30
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,14	0,20	0,26
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,13	0,19	0,25

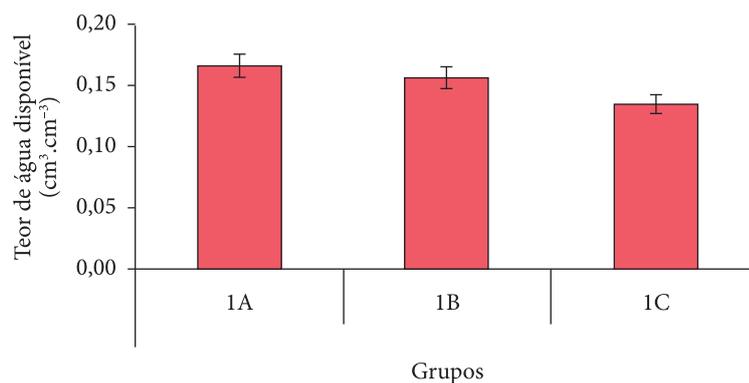


Figura 2. Teor de água disponível (base volumétrica) dos grupos 1A, 1B e 1C determinado na camada 0,8-1,0 m de profundidade do Latossolo Vermelho Amarelo.

apresentado pelos atributos do solo, corroborando com Taylor et al. (2003).

Observa-se que o grupo 1C apresentou o maior teor de argila (classificado como muito argiloso) (SANTOS, 1999), caulinita, carbono orgânico, índice de vermelho e o menor valor de densidade do solo e, conseqüentemente, a maior umidade gravimétrica em equilíbrio com os potenciais estudados.

Os grupos 1A e 1B apresentaram volume de água disponível entre 0,15 e 0,20 m³.m⁻³ e, o grupo 1C apresentou teor de água disponível inferior a 0,15 m³.m⁻³ (Figura 2), sendo este considerado como limitante para o desenvolvimento da planta (REYNOLDS et al., 2008).

Esse resultado demonstrou o pouco efeito dos teores de argila, caulinita e carbono orgânico e da densidade do solo sobre o teor de água disponível para as plantas. E, a maior disponibilidade de água dos grupos 1A, 1B, dentre outros fatores, foi influenciada pelo teor de areia fina, uma vez que a redução do diâmetro médio ponderado da fração areia em 0,243 mm pode aumentar em 40% a capacidade de armazenamento de água de um Latossolo de textura média (MAFREDINI; PADOVESE; OLIVEIRA, 1984), possivelmente equiparando-o aos de textura muito argilosa que podem apresentar capacidade de retenção e condutividade de água equivalente aos solos mais arenosos (MIGUEL; VILAR, 2009).

4. Conclusões

A associação da análise de componentes principais e agrupamentos por hierarquização (Ward)

mostraram-se eficazes na determinação de três áreas homogêneas com distintas capacidades de retenção de água.

O teor de argila, caulinita, matéria orgânica e densidade do solo pouco influenciaram o volume de água disponível, e o grupo com maior teor de areia fina apresentou o maior volume de água disponível.

Referências

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212 p. (Embrapa/CNPq, Documentos, n. 1).
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 9-19, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000100002>
- FREITAS JUNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 19, p. 1423-1248, 1984.
- GOLDEN SOFTWARE INC. **Surfer for Windows**: Release 9.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers User's Guide. New York: Golden Software Inc., 1999. 619 p.
- MAFREDINI, S.; PADOVESE, P. P.; OLIVEIRA, J. B. Efeito da composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico de Latossolos de textura média e areias quartzosas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, p. 13-16, 1984.

- MIGUEL, M. G.; VILAR, O. M. Study of the water retention properties of a tropical soil. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 46, p. 1084-1092, 2009. <http://dx.doi.org/10.1139/T09-039>
- RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das Relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SECS, 1988. p. 225-229.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Mineralogia da argila de latossolos a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 17-23, 1987.
- REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. E.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, p. 466-474, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.06.017>
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRELAS, J. F.; CUNHAS, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 15-22, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100002>
- TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; EARL, R.; GODWIN, R.J. Soil factor and their influence on within-field crop variability, Part II: Spatial analysis and determination of management zones. **Biosystems Engineering**, v. 84, p. 441-453, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00005-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00005-9)
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p.1-54.
- VITHARANA, U. W. A.; MEIRVENNE, M. V.; SIMPSON, D.; COCKX, L.; BAERDEMAEKER, J. D. Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. **Geoderma**, v. 143, p. 206-215, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.11.003>

Variabilidade e correlação espacial entre atributos e a umidade gravimétrica de um Latossolo Vermelho Amarelo**

José Francirlei de Oliveira^{1*}, Sandro Manuel Carmelino Hurtado^{2*},
Stanislas Mayi III¹, Robélio Leandro Marchão^{3*},
Edemar Joaquim Corazza^{4*}, Maria de Fátima Guimarães^{5*}

¹ Pós-graduando, Universidade Estadual de Londrina – UEL, Pr 445, Km 380, Londrina, PR, Brasil

² Bolsista CNPq, Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Informação Tecnológica, CP 040315, CEP 70770-901, Brasília, DF, Brasil

⁵ Professor Associado C, Universidade Estadual de Londrina – UEL, CP 6001, CEP 86051-990, Londrina, PR, Brasil

*e-mail: jfoliveira79@yahoo.com.br; sandroelbat@gmail.com; robelio.leandro@cpac.embrapa.br; edemar@sct.embrapa.br; mfatima@uel.br

**Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

Resumo: O conhecimento das relações entre os atributos da paisagem, físico-hídricos e carbono orgânico de Latossolos deve ser aprimorado. Os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos da paisagem, do carbono orgânico e da umidade; e, ii) verificar a ocorrência de correlação espacial entre estes atributos e a umidade gravimétrica. Em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo, foram coletadas 97 amostras da camada 0,80-1,00 m, dispostas em malha regular de 175 m. Foram determinados oito atributos do solo, dois da paisagem e a umidade gravimétrica $\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$. A variabilidade espacial foi analisada por meio de ajustes dos semivariogramas simples, e as correlações espaciais pelos semivariogramas cruzados. O teor de argila, areia fina e declividade apresentou correlação espacial e foi o atributo chave no arranjo espacial da umidade abaixo de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$. O carbono orgânico também apresentou correlação espacial e foi o atributo chave para umidades acima dessa umidade. A variabilidade espacial dos teores de argila, densidade do solo e carbono orgânico, associada à declividade do terreno, pode ser eficaz na determinação de áreas homogêneas e auxiliar no manejo da água em sistemas agrícolas.

Palavras-chave: argila, carbono orgânico, atributos físico-hídricos, semivariograma.

Variability and spatial correlation between attributes and gravimetric humidity of a Yellow-Red Latosol

Abstract: The knowledge of the relations between landscape attributes, hydro-physical attributes, and organic carbon of Latosols (Oxisols) must be improved. The objectives of this work were to: i) evaluate the spatial variability of landscape physical attributes, organic carbon and soil moisture content; ii) verify the occurrence of spatial correlation between these attributes and gravimetric water content. In an area of Yellow-Red Latosol, 97 samples were collected at 0.80-1.00 m of depth and arranged on a regular 175-m grid. Eight soil attributes, two landscape attributes, and the gravimetric water content were determined, being $\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ and $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$. The spatial variability was analyzed by adjustments of the simple semivariograms, and the spatial correlations by the crossed semivariograms. Clay fraction, fine sand fraction, and declivity showed spatial correlation and were the key attributes in the spatial variability of the soil moisture content below $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$. Organic carbon also showed spatial correlation and was the key attribute for soil moisture above this tension. The spatial variability of clay fraction, bulk density and organic carbon, associated with the declivity of the land, can be efficient in determining homogeneous zones and to assist in the efficient water use in agricultural systems.

Keywords: Clay, organic carbon, hydro-physical attributes, semivariogram.

1. Introdução

Considerando que o aumento dos eventos climáticos desfavoráveis terá impacto na escassez de água e produção de alimentos (DABROWSKI et al., 2009), a compreensão da variabilidade espacial da capacidade de retenção de água no solo será fundamental para otimização do seu uso.

Nos primeiros estudos sobre o funcionamento físico-hídrico dos Latossolos, Ranzini et al. (1963) relataram o papel do teor de argila na capacidade de retenção de água e Freire e Scardua (1978) a importância do carbono orgânico. Nesse sentido, a teoria das variáveis regionalizadas, por meio da geoestatística, se mostra como um complemento às metodologias tradicionais e pode apresentar respostas ao funcionamento hídrico que os métodos clássicos não responderiam (REICHARDT; VIEIRA; LIBARDI, 1986).

Assim, os objetivos desse trabalho foram: i) avaliar a variabilidade espacial dos atributos da paisagem, atributos físicos, carbono orgânico e da umidade; e, ii) verificar a ocorrência de correlação espacial entre estes atributos e a umidade gravimétrica.

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na Fazenda Lambary, município de Planaltina – GO, em uma área de 310 ha (15°, 32' S de Latitude e 47°, 67' W de Longitude) com altitude média de 1000 m. O clima local é caracterizado, segundo Koopen, como tropical úmido (Aw) e precipitação média anual de 1500 mm. O solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico caulínico de textura argilosa (SANTOS et al., 1999).

Foram coletadas, na camada 0,80-1,00 m, amostras indeformadas e deformadas em malha regular de 175 m em 97 pontos. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando cilindros de 94,22 cm³. As umidades gravimétricas $\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$ foram determinadas pelo método da centrífuga (FREITAS JUNIOR; SILVA, 1984), com 30 min de rotação.

Para determinação da granulometria foi utilizado o método da pipeta com agitação lenta por 16 h e dispersão química com hidróxido de sódio (NaOH,

1 mol.L⁻¹). As densidades de partículas e do solo e o teor de carbono foram determinados conforme Claessen (1997).

A cor do solo foi obtida em amostras de solo seco com auxílio da carta de cores de Munsell. A partir da avaliação do matiz, croma e valor, foi calculado o índice de vermelho (IV) dos 97 pontos pela equação $I = M + (C/V)$, em que: M é o parâmetro referente à matiz (M igual a 10 para 10 R, 7,5 para 2,5 YR, 5 para 5 YR, 2,5 para 7,5 YR e zero para 10 YR), C é o croma e V o valor da notação de Munsell.

Os dados de altitude foram coletados com auxílio de DGPS (*Differential Global Positioning System*) com densidade de avaliação de 225.000 pontos distribuídos em toda área. A declividade foi obtida com auxílio do comando Calculus do programa Surfer 9.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

Os dados não apresentaram valores discrepantes que prejudicassem a análise da variabilidade espacial dos atributos estudados, que foi analisada por meio do cálculo da semivariância $Y(h)$ (VIEIRA, 2000). A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e a contribuição $[C0/(C0 + C1)]$, onde C0 é o efeito pepita e C1 a contribuição, e é considerado forte quando a razão for menor ou igual 25%, moderado quando $25 < GDE \leq 75\%$ e fraco quando maior que 75% (CAMPARDELLA et al., 1994).

Para averiguar a correlação espacial entre os atributos do solo que apresentaram dependência espacial e a umidade gravimétrica em equilíbrio com potenciais estudados, foram construídos os semivariogramas cruzados (VIEIRA, 2000). Foram utilizados para discussão aqueles que apresentaram correlação espacial maior que 0,5.

3. Resultados e discussão

A partir dos parâmetros geoestatísticos observa-se que, com exceção da densidade do solo e de partículas e a umidade do solo saturado, os atributos do solo e paisagem apresentaram variabilidade espacial com razão de dependência espacial variando de moderada a forte (Tabela 1). Para a umidade do solo esse resultado corrobora

com Grego e Vieira (2005) que também observaram dependência espacial das umidades gravimétricas $\theta_{-0,03 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,05 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,10 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,30 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,50 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,80 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,50 \text{ MPa}}$ em um horizonte superficial de Latossolo Vermelho.

O efeito pepita diminui nos potenciais menores que -0,006 MPa, pelo menor efeito da estrutura e maior dependência da porosidade da matriz do solo. A análise dos semivariogramas cruzados foi aplicada entre o teor de argila, silte, areia fina e grossa, carbono orgânico, índice vermelho, altitude, declividade e as umidades gravimétricas do solo em equilíbrio com os potenciais -0,001 MPa, -0,003 MPa, -0,006 MPa, -0,100 MPa, -1,000 MPa e -1,500 MPa. Na Tabela 2 estão listados os semivariogramas cruzados que apresentaram correlação maior que 0,5 entre os atributos do solo e a umidade em equilíbrio com os respectivos potenciais de água.

O método de análise com base na teoria das variáveis regionalizadas permitiu observar que o efeito positivo da argila e negativo da areia fina no arranjo espacial da retenção de água ocorre principalmente nas umidades abaixo de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ (Tabela 2), corroborando com os

resultados observados por Freire e Scardua (1978), que observaram o aumento da participação da argila na retenção de água em umidades menores que $\theta_{-0,800 \text{ MPa}}$.

O arranjo espacial da umidade do solo acima de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ foi influenciado pelo carbono orgânico, corroborando com Freire e Scardua (1978). Dentre outros fatores, essa relação pode ser explicada pelo efeito do carbono na formação e estabilidade dos microagregados e, conseqüente, caracterização da estrutura do solo (VOLLAND-TUDURI et al., 2004).

Os locais de maior umidade do solo influenciados pela declividade ocorrem devido ao ângulo de inclinação e posição na paisagem, ou seja, aqueles com menor inclinação do terreno com faces para o sul ou oeste permitem maior infiltração de água e menor efeito da radiação solar e conseqüente evapotranspiração (QIU et al., 2001).

Com esses resultados observa-se que o conjunto de atributos do solo constituídos pela granulometria, carbono orgânico e declividade pode ser eficaz na determinação de zonas homogêneas e auxiliar o manejo da água em sistemas agrícolas por permitir uma análise espacial do equilíbrio entre o teor de

Tabela 1. Parâmetros dos semivariogramas dos atributos físico-hídricos, carbono orgânico (0,80-1,00 m) e atributos da paisagem.

Atributos do solo	Análise geoestatística						
	Modelo	C0*	C1**	a***	r ²	RMSE****	GDE(%)*****
Argila (g.kg ⁻¹)	Gaussiano	3385,61	3923,99	509,04	0,72	15,18	46
Silte (g.kg ⁻¹)	Exponencial	1476,03	2999,72	883,51	0,69	8,16	33
Areia fina (g.kg ⁻¹)	Exponencial	3,30	7679,06	783,89	0,91	8,13	0,04
Areia grossa (g.kg ⁻¹)	Exponencial	166,12	314,10	929,10	0,73	0,72	35
Densidade do solo (g.dm ⁻³)	Efeito pepita puro						
Densidade de partículas (g.dm ⁻³)	Efeito pepita puro						
Carbono orgânico (dag.dm ⁻³)	Esférico	0,00	0,05	417,57	0,81	0,0001	0,4
Índice vermelho	Gaussiano	1,65	1,90	620,65	0,67	0,01	46
Altitude (m)	Esférico	0,15	10,26	1129,24	0,98	0,01	1
Declividade (%)	Exponencial	0,21	0,35	650,07	0,71	0,0012	38
θ_s (g.g ⁻¹)**	Efeito pepita puro						
$\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,001494	0,004219	850,10	0,69	0,000014	26
$\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,001725	0,001843	840,06	0,51	0,000010	48
$\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000725	0,001521	800,00	0,65	0,000006	32
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000021	0,001822	800,72	0,79	0,000004	1
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000218	0,000320	500,00	0,59	0,000001	41
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000248	0,000238	600,00	0,57	0,000001	51

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a = alcance; ****RMSE = raiz quadrada do erro médio; *****GDE = grau de dependência espacial.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas cruzados entre a umidade ($\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$) e os atributos do solo (0,80-1,00 m) que apresentaram correlação espacial maior que 0,5.

Correlações espaciais	Parâmetros geostatísticos do semivariograma cruzado						
	Modelo	C0*	C1**	a***	r ²	RMSE****	GDE*****
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}} = f(\text{argila})$	Esférico	0,16	1,29	674,7	0,68	0,005	11,03
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{argila})$	Esférico	0,13	1,21	695,94	0,72	0,004	9,70
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{argila})$	Esférico	0,21	1,02	711,41	0,73	0,003	17,07
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}} = f(\text{areia fina})$	Gaussiano	-0,46	-1,57	1092,11	0,8	0,004	22,66
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{areia fina})$	Gaussiano	-0,41	-0,99	766,99	0,86	0,0001	29,29
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{areia fina})$	Gaussiano	-0,44	-1,41	1092,11	0,83	0,004	23,78
$\theta_{-0,001 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Esférico	0,001	0,009	897,81	0,71	0,00003	10,00
$\theta_{-0,003 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Esférico	0,00001	0,007	480,59	0,7	0,00002	0,14
$\theta_{-0,006 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Esférico	0,0005	0,006	600	0,68	0,00002	7,69
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Gaussiano	0,0002	0,004	445,59	0,77	0,00002	4,76
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Gaussiano	0,0005	0,002	350	0,66	0,000006	20,00
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Gaussiano	0,0014	0,003	600,36	0,76	0,00001	31,82
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{declividade})$	Gaussiano	0,0002	0,004	477,07	0,68	0,00002	4,76
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{declividade})$	Gaussiano	0,0005	0,004	500,01	0,66	0,00002	11,11

*C0 = efeito pepita; **C1 = componente estrutural; ***, alcance; ****RMSE, raiz quadrada do erro médio; e, *****GDE, grau de dependência espacial.

água e capacidade de aeração do solo, bem como do teor de água disponível para as plantas.

4. Conclusões

O teor de argila, areia fina e declividade foram os atributos chave no arranjo espacial da umidade do solo abaixo de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ na camada 0,80-1,00 m de profundidade, enquanto que o carbono orgânico foi o atributo chave para umidades acima desta. A variabilidade espacial dos teores de argila, densidade do solo e carbono orgânico, associados à declividade do terreno podem ser eficazes na determinação de áreas homogêneas e auxiliar no manejo da água em sistemas agrícolas.

Referências

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; URCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS, Documentos, n. 1).

DABROWSKI, J. M.; MURRAY, K.; ASHTON, P. J.; LEANER, J. J. Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecological Economics*, v. 68, p. 1074-1082, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.016>

FREIRE, J. C.; SCARDUA, R. Curvas características de retenção de água de um Latossolo Roxo distrófico do município de Lavras, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 2, p. 95-98, 1978.

FREITAS JUNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 19, p. 1423-1248, 1984.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows**: Release 9. 0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers User's Guide. New York: Golden Software Inc., 1999. 619 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 169-177, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>

QIU, Y.; FU, B. WANG, J.; CHEN, L. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, v. 240, p. 243-263, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00362-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00362-0)

RANZINI, G. Solos no Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1963, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EDUSP, 1963. p. 51-92.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 1-6, 1986.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRELAS, J. F.; CUNHAS, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VOLLAND-TUDURI, N.; BROSSARD, M.; BRUAND, A.; GARREAU, H. Direct analysis of microaggregates shrinkage for drying: Application to microaggregates from a Brazilian clayey Ferralsol. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 336, p. 1017-1024, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2004.03.003>

Variabilidade espacial da produtividade da soja e da condutividade elétrica de um Latossolo Bruno

Fabio Álvares de Oliveira^{1*}, Julio Franchini¹, Henrique Debiasi¹, Adilson de Oliveira Junior¹, Thiago Martins Machado^{2*}

¹ Pesquisador, Embrapa Soja, CP 231, CEP 86001-970, Londrina, PR, Brasil

² Pesquisador, FAPA, Rua Praça Nova Pátria, s/n, CEP 85139-400, Guarapuava, PR, Brasil

*e-mail.com: falvares@cnpso.embrapa.br; tmachado@agraria.com.br

Resumo: A condutividade elétrica (CE) do solo tem sido utilizada como uma variável que se correlaciona com características do solo. No entanto existem poucas informações sobre sua relação com a produtividade das culturas. O efeito da variabilidade espacial da CE de um Latossolo Bruno sob sistema plantio direto sobre a produtividade da soja foi avaliado em uma área de 18,9 ha localizada em Guarapuava/PR. A CE foi determinada por meio do equipamento Veris 3100[®], nas camadas de 0 a 0,3 m e 0 a 0,9 m de profundidade. A produtividade da soja foi determinada com uma colhedora autopropelida de grãos equipada com monitor de colheita. Os dados foram submetidos à análise geoestatística considerando 210 pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área. A CE e a produtividade da soja apresentaram dependência espacial e foram mapeadas. A produtividade da soja foi significativamente e inversamente correlacionada com a CE determinada a 0-0,3 m e 0-0,9 m. O melhor ajuste do semivariograma, assim como a melhor correlação com a produtividade da soja, foi observada para a CE medida na camada de 0-0,9 m. A CE é um parâmetro útil na definição de zonas de manejo diferenciadas dentro de uma lavoura, pois apresenta alta dependência espacial, é correlacionada à produtividade da soja e, ainda, é de rápida e fácil determinação a nível de campo.

Palavras-chave: agricultura de precisão, geoestatística, atributos do solo.

Spatial variability of soybean yields and soil electrical conductivity in a Haplohumox

Abstract: Soil electrical conductivity (EC) has been used as a variable correlated with soil characteristics. However, little information about the relationship between EC and crop yield is currently available. The effect of spatial variability of CE determined in a Haplohumox managed under long-term no-tillage on soybean yields was assessed in an agricultural area with 18.9 ha located at Guarapuava County, Paraná State, Southern Brazil. EC values were determined through the equipment Veris 3100[®] in the layers of 0-0.3 m and 0-0.9 m depth. Soybean yields were evaluated through a combine equipped with harvest monitor. The data were submitted to geostatistical analysis considering 210 sampling points evenly distributed on the area. EC and soybean yield presented spatial dependency and were mapped. Soybean yields were negatively and significantly correlated with EC values determined at 0-0.3 and 0-0.9 depth. The best semivariogram adjustments, as well as the best correlation with soybean yields, were obtained to EC measured at 0-0.9 m depth. EC is a useful parameter to define differentiated management zones inside a crop area, since it presents high spatial dependency, correlation with soybean yields and fast and easy determination at field level.

Keywords: precision farming, geostatistics, soil attributes.



1. Introdução

Recentemente, tem crescido o interesse dos produtores pela adoção da agricultura de precisão como ferramenta capaz de aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção. Swinton e Lowenber-Deboer (1998) definem o termo agricultura de precisão como sendo um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como base o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores que a determinam. Assim, percebe-se que a correta quantificação da variabilidade espacial é de fundamental importância para o sucesso da agricultura de precisão.

A variabilidade espacial da produtividade das culturas tem sido atribuída, entre outros fatores, a diferenças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. No entanto, os métodos disponíveis para a determinação desses atributos, em geral, são caros e demandam grande quantidade de tempo e mão-de-obra. Nesse contexto, tem crescido o interesse por métodos que permitam determinar a variabilidade espacial de atributos do solo de maneira rápida e barata, de forma a proporcionar a obtenção de um grande número de medidas por unidade de área, como a condutividade elétrica do solo (CE). A CE é definida como sendo a habilidade que o solo tem em transmitir corrente elétrica (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1996), sendo dependente de uma série de características e propriedades do solo, como o conteúdo de água, o teor de argila e matéria orgânica, e a concentração de íons na solução do solo (CASTRO; MOLIN, 2004).

O objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade espacial da CE em um Latossolo Bruno aluminico, e sua relação com a produtividade de grãos da soja.

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado em uma área de 18,9 ha (450 m x 420 m) pertencente à Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), localizada no município Guarapuava/PR (25° 32' S, 51° 30' O e altitude média = 1120 m). O solo da área é

classificado como Latossolo Bruno Aluminico típico, de textura muito argilosa (737 g.kg⁻¹ de argila, 174 g.kg⁻¹ de silte e 89 g.kg⁻¹ de areia). A área vem sendo manejada sob SPD há mais de 15 anos, e cultivada com trigo, aveia ou cevada no inverno e soja ou milho no verão, em esquema de rotação de culturas.

CE foi determinada em junho de 2010, nas profundidades de 0,0-0,3 m e 0,0-0,9 m, por meio do sensor de contato direto Veris 3100®, e seu respectivo sistema de aquisição de dados. O equipamento utiliza como sensores seis eletrodos conectados a discos de corte lisos que penetram no solo. Dois discos emitem corrente elétrica alternada no solo, enquanto que os outros quatro discos (um par para cada profundidade) medem a diferença de potencial resultante, que é proporcional a CE do solo. O sistema de coleta de dados do equipamento grava os valores de CE (expressos em mS m⁻¹) em intervalos de 1 s, simultaneamente para as duas camadas. A avaliação da CE foi realizada em faixas distanciadas 10 m entre si, com largura de 2,35 m, que corresponde à largura do equipamento.

A soja cultivar AFS 110 RR foi semeada em 15 de dezembro de 2010, por meio de uma semeadora-adubadora tratorizada. A adubação de base foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo. A implantação e o manejo da lavoura, assim como os tratamentos fitossanitários, foram realizados de acordo com as indicações da pesquisa para a região (TECNOLOGIAS, 2010). A produtividade da soja foi determinada utilizando uma colhedora autopropelida de grãos marca New Holland, modelo TC 57, equipada com monitor de colheita AgLeader PF ADVANTAGE associado a um receptor de GPS de navegação marca Garmin.

Para comparação dos resultados de CE e produtividade da soja, foi estabelecida uma grade regular de 30 por 30 m totalizando 210 pontos na área. Os dados de produtividade e CE em cada um dos pontos foram estimados pela média dos valores contidos em uma circunferência com raio de 10 m, tendo como centro o ponto considerado. As medidas determinadas ao redor dos pontos foram submetidas à análise geoestatística (VIEIRA, 2000). O modelo escolhido para ajuste do semivariograma

foi aquele que resultou no maior coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. Após a krigagem dos dados utilizando os modelos ajustados, foram elaborados os mapas de produtividade e condutividade. Os mapas de variabilidade espacial foram construídos por meio do programa Surfer 9.0[®]. Com base nos valores krigados, foi realizada a análise de correlação (correlação de Pearson) entre os dados, por meio do programa Microsoft Excel[®].

3. Resultados e discussão

Os semivariogramas para os valores de produtividade da soja e de CE nas camadas de 0,0-0,3 m e 0,0-0,9 m ajustaram-se aos modelos gaussiano e exponencial, respectivamente (Tabela 1), evidenciando a existência de dependência espacial significativa para essas variáveis. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) para os modelos ajustados foram elevados, indicando que a maior parte da variabilidade apresentada pela produtividade e CE foi explicada pela posição espacial dos pontos onde essas variáveis foram determinadas. A alta qualidade do ajuste dos modelos aos semivariogramas obtidos para a produtividade da soja e para a CE medida nas camadas de 0-0,3 m e 0-0,9 m de profundidade pode ser atribuída ao grande número de leituras realizadas, o que é uma das grandes vantagens relacionadas ao uso dessas variáveis para fins de agricultura de precisão.

A partir dos semivariogramas, foi possível gerar mapas de superfície representando a variabilidade espacial da produtividade da soja e da CE (Figura 1). Em primeiro lugar, observa-se que os valores

de CE foram maiores na camada de 0-0,3 m comparativamente a de 0-0,9 m, o que pode ser explicado pela maior concentração de nutrientes e matéria orgânica na camada mais superficial do solo. Resultados similares foram obtidos por Castro e Molin (2004) e Faulin (2005). Ainda conforme a figura, constata-se que as regiões em que a produtividade da soja foi mais baixa coincidiram com as áreas onde os valores de CE foram maiores, tanto na camada de 0-0,3 m, quanto na de 0-0,9 m. Esse fato é confirmado pelos dados apresentados na Figura 2, onde é possível observar a existência de correlação negativa e significativa entre a produtividade da soja e a CE medida em ambas as camadas de solo. Nota-se também que a relação inversa entre produtividade de grãos da soja e CE foi mais evidente quando este atributo de solo foi determinado na camada de 0-0,9 m (Figuras 1 e 2).

A existência de correlação entre a produtividade da soja e a CE indica que esse parâmetro pode ser útil na definição de zonas de manejo diferenciadas dentro da lavoura. Uma vantagem adicional da CE relaciona-se à facilidade e rapidez na sua determinação, o que torna possível a obtenção de uma grande quantidade de leituras por unidade de área. No entanto, a individualização das possíveis causas da menor produtividade da soja nas regiões caracterizadas pelos maiores valores de CE é difícil, tendo em vista que essa variável é determinada por diversos atributos de solo, como a concentração de nutrientes na solução do solo, o conteúdo de água, o teor de argila e de matéria orgânica (CASTRO; MOLIN, 2004).

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do semivariograma para condutividade elétrica aparente do solo (CE) e produtividade da soja.

Variável	C0*	C1**	a***	R ²	Modelo de ajuste
CE 0-0,3 m	0,0000	1,6085	121,6	0,90	Exponencial
CE 0-0,9 m	0,1952	0,3753	265,6	1,00	Exponencial
Produtividade	0,0206	0,0805	76,0	0,82	Gaussiano

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a = alcance.

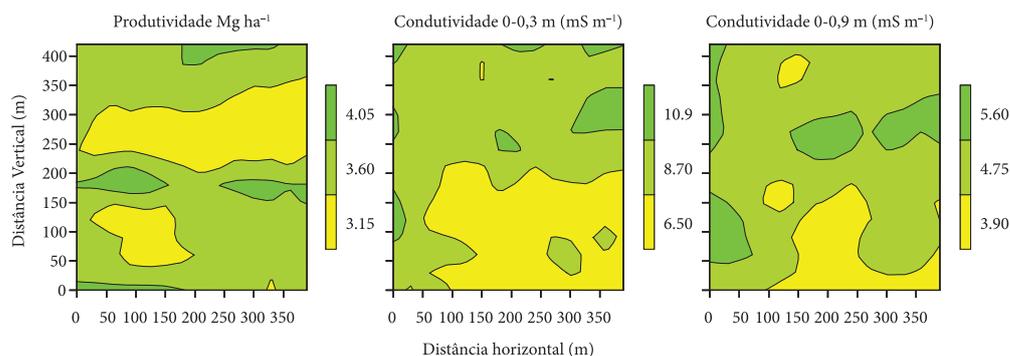


Figura 1. Mapas krigados da produtividade da soja e da condutividade elétrica do solo.

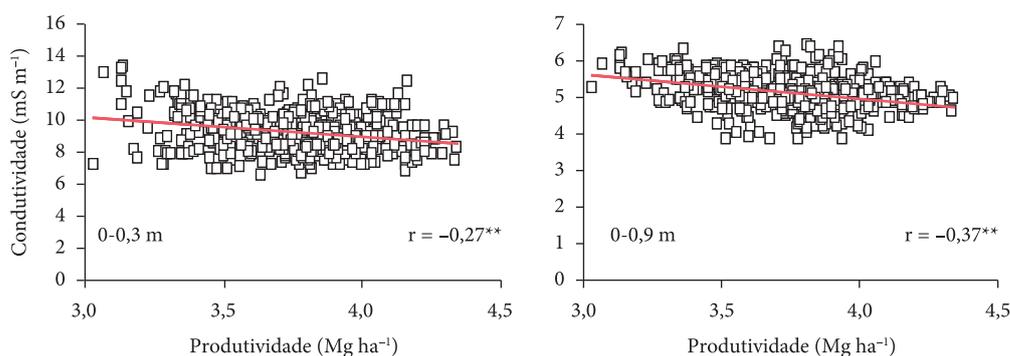


Figura 2. Correlação entre a produtividade da soja e a condutividade elétrica do solo.

4. Conclusões

A CE é um parâmetro útil na definição de zonas de manejo diferenciadas dentro de uma lavoura, pois apresenta alta dependência espacial, é correlacionada à produtividade da soja e, ainda, é de rápida e fácil determinação a nível de campo. Mais estudos são necessários para individualizar os fatores determinantes da CE que apresentam maior relação com a produtividade da soja.

Referências

CASTRO, C. N.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de gerenciamento do solo através da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas utilizando classificação Fuzzy. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: USP/ESALq, 2004.

FAULIN, G. C. *Variabilidade espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo*. 2005. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Mapping of sand deposition from 1993 midwest floods with electromagnetic induction measurements. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 51, p. 336-340, 1996.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. *Journal of Production Agriculture*, v. 11, p. 439-446, 1998.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2011. *Sistemas de Produção*, n. 14, 2010.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*, v. 1, p. 1-53, 2000.

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e da população de *Pratylenchus brachyurus***

Julio Cezar Franchini^{1*}, Henrique Debiasi¹, Waldir Pereira Dias¹

¹ Pesquisador da Embrapa Soja, CP 231, CEP 86001-970, Londrina, PR, Brasil

*e-mail: franchin@cnpso.embrapa.br

**Projeto parcialmente financiado com recursos do Fundo de Amparo a Cultura da Soja

Resumo: O nematoide das lesões radiculares representa um importante desafio para a produção de soja na região Central do Brasil, devido a sua ocorrência generalizada e à ausência de cultivares resistentes e estratégias adequadas para o seu manejo. Com o objetivo de estabelecer práticas adequadas de manejo cultural para o problema, foi estabelecida na safra 2010/2011 em Vera-MT uma metodologia de estudo a campo visando o mapeamento da variabilidade espacial de atributos químicos do solo e da ocorrência dos sintomas do nematóide em soja. Os atributos do solo, a resposta da soja e a população de nematóides no solo foram avaliados usando conceitos de geoestatística. Os resultados indicam maior relação entre a redução de altura das plantas de soja e os valores de pH, alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e os atributos derivados como a soma de bases (S) e a saturação por bases (V). A altura das plantas de soja apresentou melhor relação com esses atributos quando o valor limiar foi de 4,70; 0,08; 1,20; 0,49; 2,00 e 31,0 para pH, Al, Ca, Mg, S e V, respectivamente. A população de nematoides nas raízes da soja não foi relacionada com os atributos químicos ou com a altura das plantas. Os resultados sugerem que as reboleiras ocorrem nas áreas mais ácidas devido à maior suscetibilidade da cultura ao ataque dos nematoides das lesões radiculares.

Palavras-chave: geoestatística, química do solo, soja.

*Spatial variability of soil chemical properties and the population of *Pratylenchus brachyurus**

Abstract: The root lesion nematode represents a major challenge for soybean production in the Central region of Brazil due to its widespread occurrence and absence of resistant cultivars and strategies for its management. In order to establish cultural management practices to tackle the problem, it was established in the 2010/2011 in Vera-MT a field study aiming at the mapping of the spatial variability of soil chemical properties and the occurrence of nematode attacks symptoms in soybean. The soil attributes and the soybean response to the nematode population in the soil were evaluated using geostatistical concepts. The results indicate a greater relationship between the reduction in height of soybean plants and the values of pH, aluminum (Al), calcium (Ca) and magnesium (Mg) and attributes derived as the sum of bases (SB) and base saturation (V). The height of the soybean plants had a better relationship with these attributes when the threshold value was 4.70, 0.08, 1.20, 0.49, 2.00 and 31.0 for pH, Al, Ca, Mg, S and V, respectively. The nematode population in the soybean roots was not related to chemical attributes or plant height. The results suggest that symptoms are more important in acidic condition due to increased soybean crop susceptibility to nematode attack.

Keywords: geoestatistic, soil chemistry, soybean.



1. Introdução

O nematoide das lesões radiculares é um organismo de ocorrência natural nos solos da região dos cerrados. Os danos causados por esse nematoide nas principais culturas econômicas têm aumentando nos últimos anos, particularmente na cultura da soja. Até o momento, não existem relatos de variedades de soja que apresentem tolerância/resistência a esse nematoide, diferente do relatado para outras espécies de nematoides, como o de cisto (*Heterodera glycines*) ou de galha (*Meloidogyne* spp.).

As causas para que essa espécie tenha suas populações aumentadas a níveis capazes de causar danos às plantas e reduzir sua produtividade estão relacionadas à falta de rotação de culturas e à expansão das áreas de produção para solos de textura arenosa. Com o objetivo de entender melhor o comportamento da espécie em relação à variabilidade espacial de atributos químicos do solo, foi estabelecido, na safra 2010/2011, um estudo de campo na região Médio Norte do Mato Grosso.

2. Material e métodos

Este trabalho foi realizado na Fazenda Dacar, localizada no Município de Vera, no Estado do Mato Grosso (12° 08' 25,67" e 55° 11' 42,71"), em área originalmente sob vegetação natural típica da região (vegetação de transição entre cerrado e floresta). O solo no local foi caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura arenosa (130, 20 e 850 g.kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente). A área foi aberta em 2004, sendo cultivada com arroz nos dois primeiros anos e com a sucessão soja/milheto desde então. A soja tem recebido a aplicação média de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O. Em torno de 40% do fertilizante tem sido aplicado no sulco de semeadura e o restante a lanço, sendo o P em pré-semeadura e o K em pós-semeadura. A última calagem foi realizada em abril de 2010, utilizando calcário dolomítico (10% de MgO e 18% de CaO). O calcário foi aplicado em superfície utilizando taxa variável, com o valor médio aplicado equivalendo a 600 kg.ha⁻¹. A grade amostral para elaboração dos mapas para aplicação de calcário foi de uma amostra

a cada 5 ha. Em 12 de janeiro de 2011, quando a soja (cultivar M9144RR) se encontrava no estádio R3, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0-0,2 m para determinação de atributos químicos [carbono orgânico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, capacidade de troca de cátions (T), soma de bases (S) e saturação por bases (V) (EMBRAPA, 1997)], seguindo uma grade amostral de 20 × 20 m. Em cada ponto, foi coletada uma amostra de solo na camada de 0,0-0,2 m, composta por cinco subamostras tomadas ao redor do ponto. Nos mesmos pontos, a soja foi caracterizada quanto à severidade de danos causados pelo nematoide das lesões radiculares, utilizando como parâmetro a altura das plantas. O nível de separação entre as condições denominadas como reboleira (R) ou fora da reboleira (F) foi estabelecido quando a altura das plantas era reduzida em 25% em relação à altura máxima relativa (Figura 1a,b). A população de nematoides no solo foi avaliada por meio de bioensaio em casa-de-vegetação com a cultivar TMG 131 RR. Após 60 dias, a população foi estimada nas raízes por meio da extração e contagem dos nematoides segundo a metodologia descrita por Coolen e D'Herde (1972). A população de nematoides foi submetida à análise geoestatística (VIEIRA et al., 2002) e não apresentou dependência espacial, o que não permitiu seu mapeamento. Desta forma, foram estimados apenas os valores médios para as condições de reboleira e fora de reboleira (Figura 1c).

Os atributos químicos também foram submetidos à análise geoestatística (Tabela 1). Todos os atributos apresentaram semivariograma com dependência espacial permitindo seu mapeamento através do programa Surfer 9.0. Por meio de uma relação lógica, os atributos contínuos foram transformados em atributos categóricos (discretização) para obtenção do nível de cada atributo que mais bem se relacionasse com a ocorrência das reboleiras. Dessa forma, os dados de uma variável contínua foram transformados em uma variável discreta variando de 1 (reboleira) para os valores menores que o valor de referência, a 2 (fora da reboleira) para os valores maiores que a referência. Estes valores foram comparados ao valor atribuído à

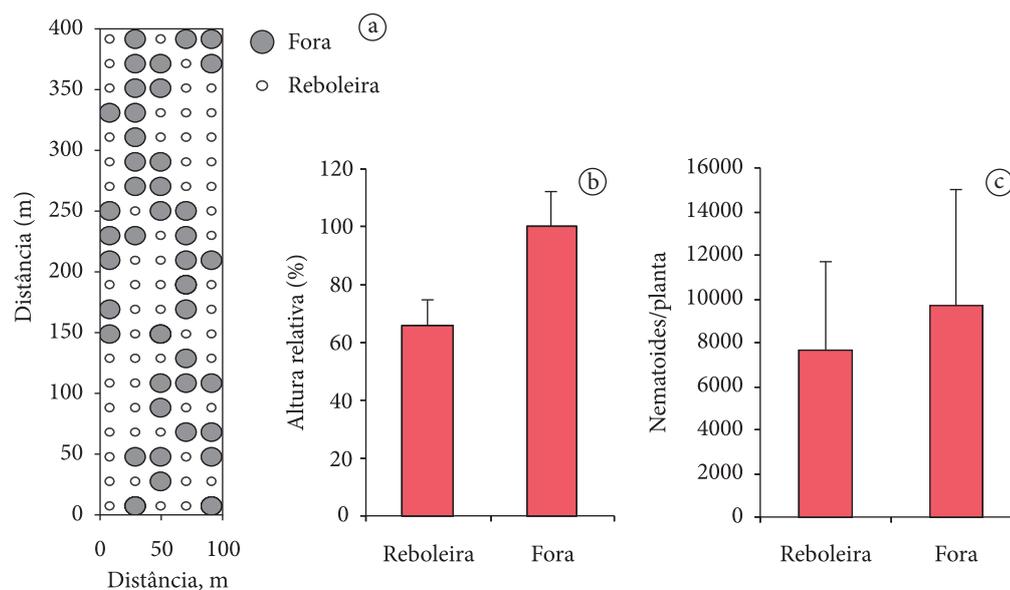


Figura 1. Mapa de ocorrência de reboleiras (a), valores médios da altura de plantas (b) e população de nematoides (c) na área experimental.

Tabela 1. Modelos ajustados ao semivariograma dos atributos químicos do solo.

	Modelo ¹	Parâmetros ²			R ²
		C ₀	C ₁	a	
P	EXP	9,39	15,00	119,4	0,92
C	ESF	0,00	2,80	37,7	0,76
pH	GAU	0,00	0,05	27,1	0,86
Al	EXP	0,00	0,02	32,5	0,65
Ca	ESF	0,05	0,11	51,0	0,96
Mg	GAU	0,00	0,04	29,6	0,89
K	ESF	0,0003	0,0007	38,6	0,86
S	GAU	0,11	0,23	38,3	0,98
T	GAU	0,13	0,32	29,5	0,84
V	GAU	28,2	28,70	43,0	0,96

¹EXP (exponencial); ESF (esférico); GAU (Gaussiano); ²C₀ = efeito pepita; C₁ = variância estrutural; a = alcance; ³número de vizinhos para krigagem.

altura das plantas da soja, que da mesma forma foi dividida em duas categorias (1-reboleira, para altura <75% da altura máxima e 2-fora, para altura >75% da altura máxima). Havendo coincidência entre as posições para o atributo químico e a altura de planta, a posição georeferenciada foi contabilizada como coerente. Este procedimento foi repetido para toda a amplitude de variação dos atributos, com o objetivo de determinar o valor onde a quantidade máxima de coincidências entre os valores discretizados dos atributos e a altura da soja fosse observada (Tabela 2). Estes valores foram denominados como limiares dos atributos. Com base nestes limiares, foram estabelecidos os

mapas dos atributos químicos e da ocorrência das reboleiras, permitindo a visualização das relações entre os atributos químicos e a severidade dos sintomas causados pelo nematoide (Figura 2).

3. Resultados e discussão

Entre os 100 pontos amostrados, em 58 pontos a altura das plantas de soja foi <75% da altura máxima, caracterizando condições de reboleira, enquanto nos demais a altura das plantas foi >75% da altura máxima, caracterizando condições de fora de reboleira (Figura 1a). A população de nematoides nas raízes da soja não apresentou dependência

Tabela 2. Número de coerências entre atributos químicos no valor limiar e a altura de plantas.

	Grade	P	C	pH	Al	Ca	Mg	K	S	T	V
		mg/kg	g/kg		cmolc/kg						
Coerências											
Total	100	65	54	73	74	67	73	60	71	65	73
R	58	52	24	47	49	35	49	51	56	39	49
F	42	13	30	26	25	32	24	9	15	26	24

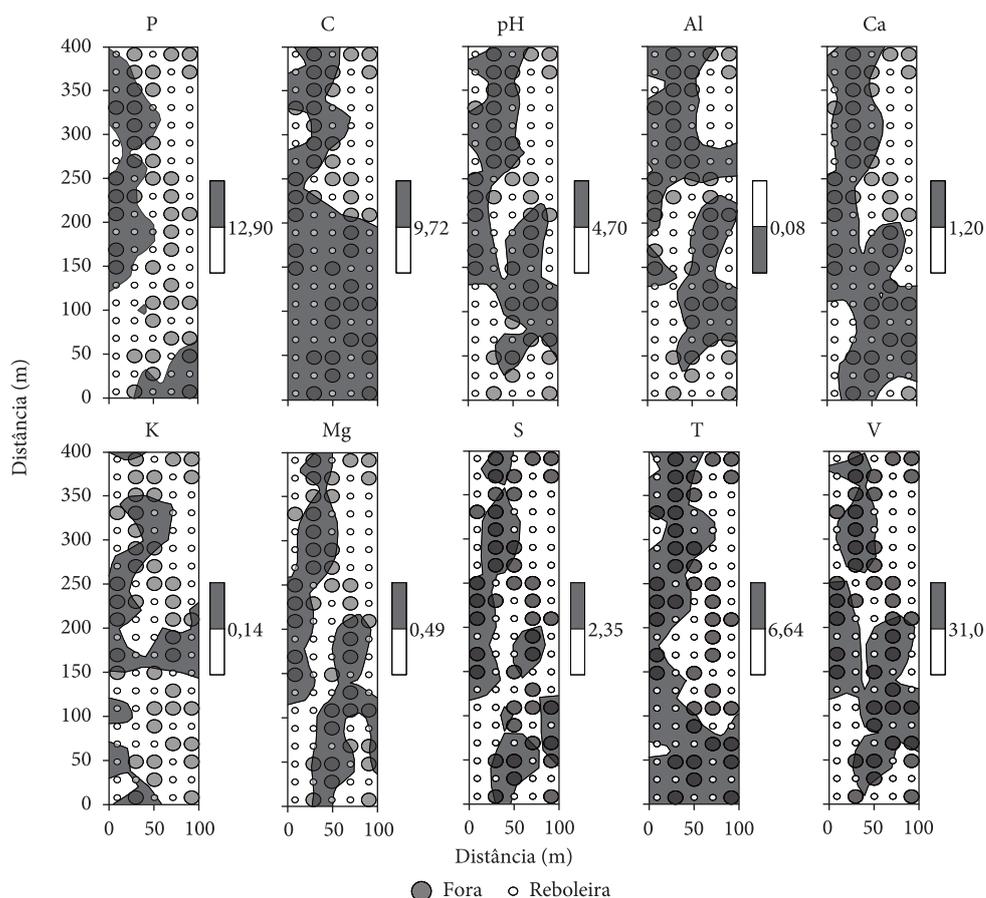


Figura 2. Distribuição espacial dos atributos químicos no valor limiar e de reboleiras na área de estudo. Unidades: Ca, Mg, K, Al, S e T (cmol_c.dm⁻³); P (mg.dm⁻³); C (g.dm⁻³); V (%).

espacial, razão pela qual são apresentados apenas os valores médios com seus respectivos desvios-padrão (Figura 1c). A população de nematoides nas raízes foi equivalente nas condições de reboleira e fora de reboleira, o que indica que a população exclusivamente não é a responsável pela alteração na altura das plantas de soja utilizada neste estudo como indicador de dano. A discretização dos atributos químicos permitiu a identificação dos limiares para máxima coerência entre os atributos e a altura de plantas (Tabela 2, Figura 2). Os atributos relacionados com a acidez do solo foram

os que apresentaram maior coerência com a altura das plantas. Além do pH, os teores de Al e Mg, a soma de bases e a saturação por bases também apresentaram valores de coerência acima de 70%. Os dados indicam que o nematoide das lesões radiculares intensifica os sintomas de ocorrência, no caso desse estudo evidenciado pela redução de altura, em condições de solo mais ácido. De acordo com dados apresentados na Figura 1c, a população de nematoides nas raízes da soja não variou entre as regiões com (reboleira) e sem sintomas, demonstrando que a maior expressão de

sintomas nas regiões mais ácidas está relacionada com o aumento da vulnerabilidade da planta ao ataque dos nematoides, seja pela redução no teor de bases trocáveis ou pelo aumento no teor de Al, que resultam em menor desenvolvimento radicular da soja.

Em relação às bases trocáveis divalentes, foi observado que 24 e 43% das amostras de solo apresentaram teores de Ca e Mg, respectivamente, dentro do nível baixo de interpretação para a cultura da soja, indicando que o Mg pode ter sido mais limitante do que o Ca na área experimental (TECNOLOGIAS..., 2010). Desta forma, a maior ocorrência de níveis baixos de Mg na área de estudo pode estar relacionada com o maior número de coerências entre os valores discretizados para esse nutriente em relação ao Ca, 74 e 67, respectivamente. A análise geoestatística demonstra que existe grande variabilidade espacial em curtas distâncias dentro da área de estudo. Essa variabilidade pode estar sendo causada por práticas de manejo da adubação e dos corretivos, como aplicação a lanço dos nutrientes e aplicação a taxa variável dos corretivos.

4. Conclusões

A variabilidade espacial dos atributos químicos está relacionada aos sintomas causados pelo nematoide das lesões radiculares em soja, os quais são mais intensos nas áreas mais ácidas.

Agradecimentos

Ao Fundo de Apoio a Cultura da Soja (FACS) pelo financiamento desta pesquisa. A Gedi Jorge Sfredo e Sidney Rosa Vieira pelas sugestões para a melhoria do trabalho. A Antonio Galvan, proprietário da Fazenda Dacar, pela cessão da área para o estudo.

Referências

- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue.** Ghent: State Agricultural Research Center, 1972. 77 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- TECNOLOGIAS de produção de soja - região central do Brasil. **Sistemas de Produção / Embrapa Agropecuaria Oeste**, n. 14, 2010.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 1-45, 2002.

Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás**

Ziany Neiva Brandão^{1*}, João Henrique Zonta^{2*}, José da Cunha Medeiros^{3*}, Ronei Sandri Sana⁴, Gilvan Barbosa Ferreira⁵

¹ Doutor em Recursos Naturais, Sistema Água-Solo-Planta-Atmosfera, Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143, CEP 58428-095, Campina Grande, PB, Brasil

² Doutor em Engenharia Agrícola, Recursos Hídricos, Embrapa Algodão

³ PhD. em Agronomia, Ciência do Solo, Embrapa Algodão

⁴ Engenheiro Agrônomo-Especialista em solos, Assessor Técnico de Planejamento Agrícola, SLC Agrícola, Rua Bernardo Pires, 128, 4º andar, CEP 90620-010, Porto Alegre, RS, Brail

⁵ Doutor em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Algodão

*e-mail: ziany@cnpa.embrapa.br; zonta@cnpa.embrapa.br; medeiros@cnpa.embrapa.br; ronei.sana@slcagricola.com.br; gilvan.ferreira@cnpa.embrapa.br

**Apoio financeiro da SLC Agrícola, numa parceria com a Embrapa Algodão dentro do projeto MP-1: Projeto de Agricultura de Precisão da Embrapa

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial e gerar mapas da CEa, medida por meio de sensor de contato, assim como correlacionar os valores da CEa com os valores de pH do solo e da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) no estado de Goiás. Antes da semeadura foram obtidas as leituras da CE e foi confeccionado o grid amostral georreferenciado composto por 90 pontos de 80×80 m. Em cada ponto foram coletadas oito sub-amostras de solo para análises químicas e teor de argila, com os quais foram gerados mapas que serviram para análise de correlações entre os fatores. Os resultados indicam que há boa similaridade entre os valores de CEa medidos e os valores de pH do solo. Valores de CEa próximos de 15 mS.m^{-1} são característicos de camada arável do solo com pH em água superior a 6,0 e teor de $H^+ + Al^{3+}$ menor que $1,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. A CEa pode ser utilizada para caracterizar a variabilidade e como bom estimador do pH e acidez potencial do solo no Cerrado.

Palavras-chave: agricultura de precisão, variabilidade espacial, potencial hidrogeniônico.

Electrical conductivity and pH correlation in savannah soils of Goiás State

Abstract: The objective of this work was to evaluate the spatial variability and generate maps of ECa, which was measured by a contact sensor, as well as to correlate pH soil data and potential acidity ($H^+ + Al^3$) with the ECa data in Goiás State. Before sowing, the ECa readings were obtained and it was arranged a grid composed by 90 georeferenced sampling plots of 80×80 m. In each plot were collected eight subsample of soil for chemical analysis and clay content. Maps were generated to evaluate correlations between the factors. The results indicate that there is a good similarity between the ECa measured data and values of soil pH. ECa values near 15 mS.m^{-1} are characteristic of the arable soil layer with pH greater than 6.0 and $H^+ + Al^{3+}$ content less than $1.5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. The ECa can be used to characterize the variability even as a good estimator of pH and potential acidity in savannah soil.

Keywords: precision agriculture, spatial variability, hydrogenic potential.

1. Introdução

A acidez dos solos diminui a disponibilidade de nutrientes como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e aumenta a solubilidade de cátions tóxicos (H^+ , Al^{3+}), afetando negativamente o desenvolvimento radicular e o crescimento do algodoeiro quando acompanhada de elevados teores de alumínio e/ou baixos teores de cálcio (ROSOLEM, 2001). A deficiência de Ca e a toxidez de Al são as principais limitações químicas para o crescimento radicular, cujas consequências se manifestam pelo estresse nutricional e hídrico nas plantas.

O monitoramento de íons no solo constitui-se em uma das principais ferramentas no manejo e é comumente realizado com base em amostragens de solo. Entretanto, a amostragem de solo, além de ter o inconveniente de destruir a estrutura do mesmo, é trabalhosa em sua execução e limitada no número de pontos de coleta na área usados para estimativa dos teores. Uma alternativa às análises convencionais pode ser conseguida através de medidas da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) obtidas por sensores em campo de forma automática, em muitos pontos do solo e com o mínimo distúrbio da estrutura do mesmo, tendo como vantagens a rápida obtenção de dados precisos e de baixo custo.

Algumas pesquisas relatam que as leituras da CEa estão relacionadas a características e propriedades do solo como salinidade, umidade, textura e CTC (MOLIN; RABELLO, 2011), sendo possível obter boas correlações entre elas a partir de leituras da CEa tomadas em campo com o sensor VERIS 3100 (VERIS TECHNOLOGIES, 2011; SUDDUTH et al., 2005).

O pH é um importante indicador das condições químicas do solo, por possuir capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, favorecendo ou não suas liberações, disponibilidade química para as plantas e a habilidade das membranas celulares das raízes das plantas em absorvê-los (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, o pH é sensível a força iônica do solo que é alterada por variações dos teores dos íons presentes na solução do solo (RAIJ et al., 2001; LINDSAY, 1979). Maiores forças iônicas, que são provocadas

por teores mais alto de nutrientes no solo, tendem a reduzir o pH, pois reduzem a espessura da dupla camada difusa das partículas do solo e permitem aos medidores sensíveis de membrana dosar maiores teores de H. Esse mesmo fenômeno, permite o aumento da condutividade elétrica, pois a maior presença de íons em solução facilita a transferência de elétrons, sendo esse método tradicionalmente usado no controle da salinidade do solo (RHOADES, 1981) ou monitoramento da hidroponia (NOVAIS et al., 2007).

Os Latossolos apresentam sua fração ativa predominantemente dominada por colóides com carga elétrica variável. O Al, por ser um cátion trivalente, possibilita maior redução na espessura da dupla camada difusa dos colóides do solo, concorrendo para a manutenção dessas partículas mais próximas umas das outras (RHOADES, 1981). No Brasil, a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) vem sendo estimada no pelo método do pH SMP, pois apresenta vantagens como simplicidade e rapidez, baixo custo e eficiência na estimativa dos valores originalmente dosados na análise de solo, embora esse método tenha sido desenvolvido inicialmente para a determinação da necessidade de calagem (RAIJ et al., 1979; PEREIRA et al., 2006).

O objetivo desse trabalho foi determinar a correlação entre a variabilidade da condutividade elétrica aparente do solo, obtida em campo por um sistema de mapeamento através do sensor de contato - Veris 3100 e os valores de pH e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}^{3+}$), determinados em amostras do solo em sítios específicos na fazenda Pamplona, Cristalina, GO.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Pamplona, localizada no município de Cristalina, GO, numa área experimental de 57,6 ha, cujas coordenadas centrais são $16^\circ 10' 16''$ S, $47^\circ 37' 47''$ O. Os solos da região são predominantemente Latossolos vermelho-amarelos e a altitude média na área experimental é de 1009 m. O clima da região é caracterizado como tropical, com estação seca e predominância do tipo Aw, da classificação climática de Köppen, com temperaturas médias

de 28,6 e 16,8° C, para a máxima e mínima respectivamente. O período chuvoso vai de outubro a março, com pluviometria média anual de 1.446,5 mm.

Antes da instalação do experimento foi preparada uma grade amostral com 90 pontos de 80 × 80 m. Os pontos centrais foram previamente marcados e georreferenciados com um GPS 76CSx da Garmin. As medidas da condutividade elétrica aparente (CEa) foram realizadas para cada ponto amostral antecedendo a coleta das amostras do solo. A malha com 90 pontos de 0,64 ha serviu à coleta de solos para análise química, onde foram coletadas 8 sub-amostras num raio de até 10 m de cada ponto central. Este conjunto de amostras foi levado ao Instituto Brasileiro de Análise (IBRA), para realização das análises dos atributos químicos e físicos do solo (areia, silte e argila). As metodologias de determinação dos teores desses atributos do solo foram as mesmas utilizadas por Embrapa (1997) e Tedesco et al. (1995). A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi determinada através do equipamento VERIS EC 3100 (VERIS TECHNOLOGIES, 2011), adaptado a um sistema subsolador com eletrodos de contato, conforme proposto por Inamassu et al. (2007), com as medidas coletadas e armazenadas sendo georreferenciadas por um GPS Trimble. Os dados obtidos foram de latitude, longitude e altitude (m), além dos valores de CEa do solo ($\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$), para as profundidades de 0-30 cm e 0-90 cm, coletados a intervalos de um segundo. A análise da correlação entre a condutividade elétrica em relação aos atributos do solo amostrados foi realizada com o coeficiente de correlação de Pearson, que é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis. Devido ao elevado número de dados, esses foram interpolados pelo método do inverso da distância, resultando em 16 leituras por cada ponto amostral, sendo gerado os mapas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e de pH do solo com o auxílio da ferramenta SSToolbox (SST DevelopmentGroup, 2011). Os resultados foram apresentados na forma de mapas bidimensionais, representativos da distribuição espacial dos valores de pH do solo em estudo e

da CEa obtida em campo, e através da matriz de correlação.

3. Resultados e discussão

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) medida pelo Veris 3100 variou de modo diferente nas camadas de solo analisadas (Figura 1). Na camada de 0-30 cm os valores variaram de 7,0 a 15,9 $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$, com crescimento de leste para oeste e do centro para o sul da área. Na camada mais profunda, foram medidos valores de 4,8 a 10,8 $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ com crescimento leve no sentido oeste para leste e mais intenso de centro para sul da área estudada. Entretanto, os mais altos valores da CEa, que foram observados no extremo sul e extremo norte da área experimental, apresentaram distribuição semelhante nas duas profundidades estudadas.

A diferença entre a variabilidade da CEa nas duas profundidades estudadas pode ser devido ao fato da camada de 0-30 cm ter sofrido modificações em suas propriedades físicas e químicas através do uso de corretivos e fertilizantes, além de mobilizações anuais com implementos de preparo de solo. Diferentemente, o solo em maior profundidade sofre menor influência antrópica e tem suas características naturais melhor conservadas, apresentando assim, menor variabilidade espacial com relação à CEa. Pode ser observado na Figura 1 que os valores da $CEa_{\text{—rasa}}$ são em média 36% mais elevados que a $CEa_{\text{—profunda}}$. Esse comportamento é similar ao observado por Serrano et al. (2010) estudando a variabilidade espacial e temporal da CEa de um solo cultivado com pastagem, que observaram que a CEa da camada de 0-80 cm foi 28% inferior a CEa da camada de 0-30 cm. A CEa está estreitamente correlacionada com propriedades físicas e químicas do solo, embora não seja um parâmetro diretamente relacionado ao potencial produtivo deste. De acordo com Mmolawa e Or (2000), a partir do conhecimento da CEa e do teor de água no solo (θ), pode-se determinar de forma indireta a condutividade elétrica da solução do solo (CEss) e a concentração de nutrientes nesta solução (Ci).

A correlação entre a CEa, as propriedades físico-químicas do solo e o rendimento das culturas não é constante em um solo específico, pois os valores de CEa podem diferir para um mesmo tipo de solo em profundidade, devido a variações do clima e durante o ciclo da cultura, além de variar entre culturas distintas (JOHNSON et al., 2005). A gestão diferenciada do solo e das culturas requer meios rápidos e de baixo custo para georreferenciar as propriedades que tenham impacto na produtividade das culturas e a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) corresponde a estas exigências. (SERRANO et al., 2010; BRONSON et al., 2005). Os mapas da Figura 2 representam a variabilidade espacial de pH determinados em água ($\text{pH}_{\text{água}}$), em CaCl_2 ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) e em solução tamponada SMP (pH_{SMP}). Nesses mapas é possível comparar os métodos de obtenção do pH. Quando comparados

ao pH_{SMP} , verificou-se que o $\text{pH}_{\text{água}}$ apresentou menor correlação, que foi de 62%, sendo atualmente mais usado no Cerrado brasileiro. Para o $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, a correlação com o pH_{SMP} foi de 90%, percebendo-se apenas um aumento em amplitude em torno de 17% nos valores obtidos.

Na Tabela 1 observa-se que a correlação entre os valores de CEa e os de pH foram significativas, variando de 42 a 61% na camada superficial ($\text{CEa}_{\text{—rasa}}$) e de 52 a 75% na camada mais profunda. Serrano et al. (2010) encontraram coeficientes de correlações de 57 e 44% entre a CEa e o pH do solo para as camadas de 0-30 e 0-80 cm, respectivamente. Aguiar Netto et al. (2007) também verificaram correlações significativas entre a CEa e o pH do solo. Ainda nessa tabela, é possível observar que na camada superficial, a $\text{CEa}_{\text{—rasa}}$ apresentou correlações similares tanto

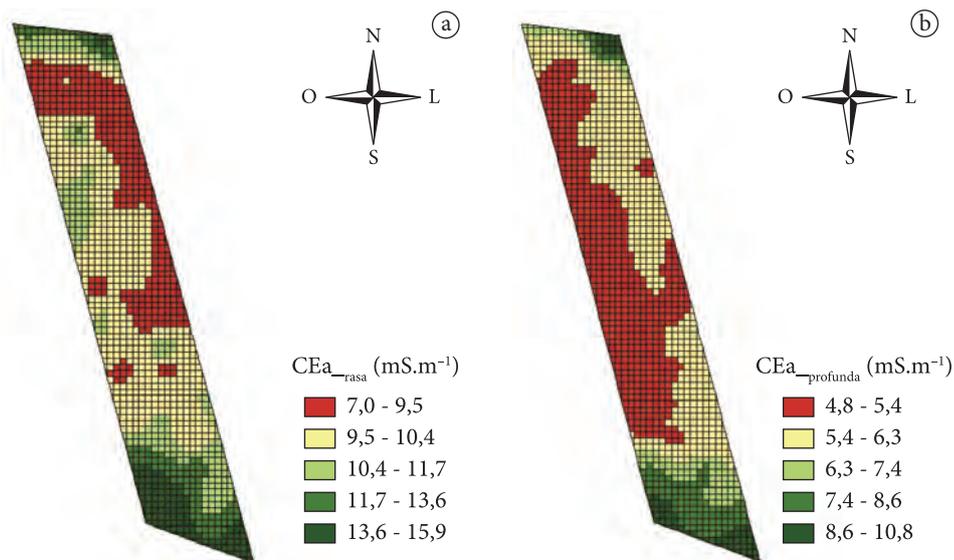


Figura 1. Mapas de superfície da condutividade elétrica aparente do solo(CEa) obtida através do Veris EC 3100 na área experimental de 57,6 ha na Fazenda Pamplona, GO. a) CEa rasa (0-30 cm); b) CEa profunda (0-90 cm).

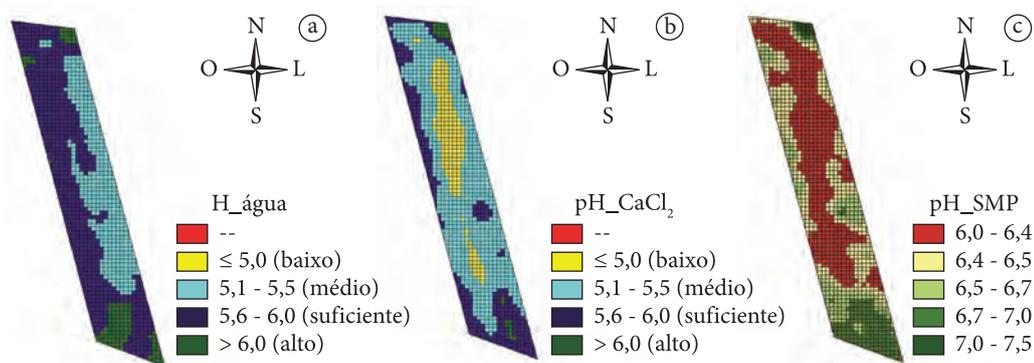


Figura 2. Mapa de superfície do pH obtidos através de análise do solo antes da instalação do experimento na área experimental da Fazenda Pamplona, GO. a) pH (água); b) pH (CaCl_2); c) pH SMP.

Tabela 1. Correlações entre a condutividade elétrica aparente do solo (CE) e o H+Al e pH dos solos em experimento na Fazenda Pamplona, GO.

Condutividade Elétrica (mS.m ⁻¹)	Correlações			
	pH (CaCl ₂)	pH (Água)	SMP (SMP)	H ⁺ + Al ³⁺ (cmolc/dm ³)
Rasa (30 cm)	0,42*	0,60*	0,61*	-0,58*
Profunda (90 cm)	0,59*	0,52*	0,75*	-0,67*

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste-t.

com o pH_{água}, quanto com o pH_{SMP} na superfície, enquanto o pH_{CaCl2} apresentou menor valor. Por outro lado, na camada mais profunda do solo a CEa apresentou a melhor correlação com o pH_{SMP}, que foi de 75% seguido do pH_{CaCl2} (59%) e por último o pH_{água} (52%). Em trabalho realizado para recomendação de calagem para os estados do Kansas, Illinois, Iowa, Nebraska e Wisconsin, USA, com base na correlação entre pH_{água} e pH_{SMP} com a CEa, Lund et al. (2005) relatam que o pH_{SMP} apresentou melhor correlação em três de quatro campos experimentais estudados. No solo agrícola, o pH do solo está relacionado com o teor de bases trocáveis no solo (RAIJ, 1991). Do mesmo modo, a condutividade elétrica está relacionada com a maior concentração de íons na solução de solo, que aumenta com o crescimento dos teores dos nutrientes trocáveis (RHOADES, 1981). Assim, ambas as variáveis aumentam com o incremento dos teores de nutrientes no solo. Já os teores de H⁺ + Al³⁺ variam em sentido inverso, pois à medida que as bases trocáveis aumentam e o pH cresce ocorre neutralização da acidez do solo. Desse modo, é possível estimar para cada solo um valor de CEa que permite obter o pH adequado e o valor de H⁺ + Al³⁺ que corresponda a acidez potencial aceitável.

Assim, comparando as Figuras 1a e 2a é possível observar uma boa relação entre a distribuição da CEa na superfície do solo e o pH em água medido neste local, embora os demais também tenham tido similaridades aceitáveis. Valores de CEa próximos de 15 mS.m⁻¹ correspondem a pH em água superior a 6 e teores de H⁺ + Al³⁺ abaixo de 1,5 cmolc.dm⁻³, que são considerados como acidez aceitável.

De acordo com os resultados da acidez potencial do solo (H⁺ + Al³⁺), observa-se que esta apresentou

correlação negativa com as CEa rasa e profunda, com valores de -0,58 e -0,67, respectivamente (Tabela 1). Alcântara (2010) encontrou coeficientes de correlações de -0,24 e -0,17 entre a CEa e a acidez potencial do solo nas profundidades de 20 e 40 cm, respectivamente, concluindo que a CEa pode ser utilizada como indicador da variabilidade de algumas propriedades do solo, dentre elas a acidez potencial. Estes resultados comprovam que a CEa pode ser um excelente parâmetro utilizado em agricultura de precisão para a estimativa indireta de propriedades químicas do solo que afetam a produtividade das culturas, auxiliando desta forma o manejo da fertilidade do solo, elevando o rendimento das culturas e diminuindo os custos de produção, visto que fertilizantes e corretivos podem ser aplicados em quantidades diferenciadas em função da variabilidade das propriedades químicas do solo.

4. Conclusões

Os resultados encontrados demonstram que a condutividade elétrica aparente do solo medida com o sensor de contato (Veris 3100) se correlaciona positivamente com o pH do solo e negativamente com a acidez trocável no perfil analisado.

Para as condições em que foi realizada a pesquisa, conclui-se que a condutividade elétrica aparente do solo determinada por sensores de contato direto com o solo (Veris), por ser um método rápido e eficiente, tem potencial de uso como ferramenta para estimativa do pH_{água} e pH_{SMP}, reduzindo consideravelmente tempo e gastos com amostragem de solo.

Considerando que o pH_{água} continua sendo o método mais usado no Cerrado e que o pH_{SMP} apresentou maior índice de correlação com a

condutividade elétrica aparente do solo, torna-se necessário a realização de trabalhos de calibração para a correlação entre a CEa e os dois métodos de determinação de pH nos principais tipos de solo da região.

Agradecimentos

A SLC Agrícola e à Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa.

Referências

AGUIAR NETTO, A. O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BLANCO, F. F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do perímetro irrigado Califórnia, SE, Brasil. *Ciência Rural*, v. 37, p. 1640-1645, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000600021>

ALCÂNTARA, G. R. **Variabilidade especial de características físico-químicas e condutividade elétrica aparente do solo sob plantio direto**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Goiás, Goiania, 2010.

BRONSON, K.; BOOKER, J.; OFFICER, S.; LASCANO, R.; MAAS, S.; SEARCY, S.; BOOKER, J. Apparent electrical conductivity, soil properties and spatial covariance in the U.S. Southern High Plains. *Precision Agriculture*, v. 6, p. 297-311, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-1388-6>

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

INAMASSU, R. Y.; SIMÕES, M. S.; LUCHIARIJÚNIOR, A.; RABELLO, L. M.; MOLIN, J. P. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador)**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária, Circular Técnica, n. 40).

JOHNSON, C. K.; EIGEMBERG, R. A.; DORAN, J. W.; WIENHOLD, B. J.; EGHBALL, B.; WOOLDBURY, B. L. Status of soil electrical conductivity studies by Central State Researchers. *American Society of Agricultural Engineers*, v. 48, p. 979-989, 2005.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

LUND, E. D.; ADAMCHUCK, V. I.; COLLINGS, K. L.; DRUMMOND, P. E.; CHRISTY, C. D. Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. In: STAFFORD, J. (Ed.). **Precision Agriculture'05**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005. p. 457-464.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil*, v. 222, n. 1-2, p. 163-90, 2000. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004756832038>

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.1, p. 90-10, 2011.

NOVAIS, R. F.; VICTOR, H. A. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L. C. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

PEREIRA, M. G.; BELING, A. G.; VALLADARES, G. S.; DOS ANJOS, L. H. C.; ESPÍNDULA JUNIOR, A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos com elevado teor de matéria orgânica. *Bragantia*, v. 65, p. 487-493, 2006.

RHOADES, J. D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, v. 49, 1981.

ROSOLEM, C. A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. *Informações Agronômicas*, n. 95, 2001. Encarte Técnico.

SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; SILVA, J. R.; SHAHIDIAN, S. Medição e mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo em pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 33, p. 5-14, 2010.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, p. 263-283, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.010>

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, n. 5).

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres - Potafos, 1991. 343 p.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; ZULLO, M. A. T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 38, p.57-69, 1979. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051979000100007>

VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 02 set. 2011.

Geotecnologias para suporte à Agricultura de Precisão nos Sistemas Produtivos de Terras Baixas

José Maria Filippini Alba^{1*}, Lúcia E. Coelho da Cruz^{2*}, Giovani Theisen^{1*},
José Maria B. Parfitt^{1*}, Jamir L. Silva da Silva^{1*}, Enrique Levien^{2*},
Daiane H. Zarnott^{3*}, Marília Alves Brito Pinto^{3*}

¹ Pesquisador, Embrapa Clima Temperado

² Profissional autônomo, Pelotas, RS, Brasil

³ Pós-graduando, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS, Brasil

*e-mail: jose.filippini@cpact.embrapa.br; giovani.theisen@cpact.embrapa.br;
jose.parfitt@cpact.embrapa.br; jamir.silva@cpact.embrapa.br; luciaecruz@yahoo.com.br;
henriquelevien@gmail.com; daiahzar@gmail.com; ma.agro@gmail.com

Resumo: Se discutem as atividades e resultados preliminares da Embrapa Clima Temperado no contexto de arroz irrigado no projeto componente 3 do projeto “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”. Se consideraram duas áreas piloto, uma sistematizada (e a outra convencional), como forma de comparação. A altitude foi modelada nas duas áreas, sendo levantadas amostras de solo e de matéria seca aérea (produtividade). Os resultados preliminares demonstram a necessidade de trabalhar em forma coordenada, mantendo uma malha regular fixa para executar as ações. A produtividade apresenta significativa variabilidade espacial.

Palavras-chave: geotecnologias, Agricultura de Precisão, SIG, Sistemas Produtivos, Terras baixas.

Geotechnologies as support for Precision Agriculture in Lowland Productive Systems

Abstract: The activities and preliminary results of the project “Precision Agriculture for the sustainability of Productive Systems of Brazilian agrobusiness” for irrigated rice are showed and discussed as part of component project number 3. Two pilot areas were considered, one of them leveled and the other with conventional management as way of comparison. The altitude was modeling in both areas and soil samples and aerial dry material (productivity) were collected. Preliminary results show the necessity of coordinated actions considering a fixed regular network in field. Productivity shows a significant spatial variability.

Keywords: geotechnologies, Precision Agriculture, GIS, Productive Systems, Lowlands.

1. Introdução

Na década de noventa a Agricultura de Precisão (AP) surgiu como uma alternativa ao cultivo, principalmente de culturas de grãos, envolvendo o uso de instrumentação em campo para aplicação de fertilizantes e pesticidas (WERNER et al., 2007), realizar amostragem e preparo do solo (MACHADO et al., 2004), aperfeiçoar o processo de colheita e avaliar a produtividade (FARACO et al., 2008). Nesse contexto são utilizados sistemas de navegação global orientados por satélites (SNGOS) para posicionamento a campo; sensores para avaliar as características do solo, das plantas ou a produtividade; equipamento específico para amostragem ou aplicação à taxa variável, piloto automático, dentre outros.

As geotecnologias podem ser definidas como softwares, instrumentos ou processos que envolvem o uso de aplicações de sensoriamento remoto, modelagem com sistemas de informação geográfica, geoestatística e os SNGOS, que derivam na análise da variabilidade espacial e temporal da informação, assim como na integração de vários níveis temáticos. Os SNGOS representam um ponto de encontro entre a AP e as Geotecnologias, cujo aperfeiçoamento derivou em um avanço significativo, entretanto, diferenciado de ambas as disciplinas. A AP envolve equipamentos agrícolas segundo duas tendências, uma de pequena escala, com instrumentos de uso manual, orientados para pesquisa e outra com sensores acoplados a máquinas de grande porte, direcionadas para agricultura empresarial. Essa última tendência induz um investimento inicial, o que pode dificultar o uso por produtores de pequeno porte. Assim, as geotecnologias representam procedimentos versáteis e de baixo custo, que viabilizam a aplicação da AP nessa condição.

A Embrapa lançou no fim de 2009, o projeto “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro (AP2)”, que substituiu o projeto anterior sobre o tema, direcionado para grãos. O projeto AP2 representa um grande desafio, integrando uma rede de mais de 100 pesquisadores, 20 centros da Embrapa, 15 unidades pilotos, universidades e empresas parceiras. As Unidades Piloto (UPs) são as

principais áreas direcionadas para experimentação, envolvendo grãos, frutas, pastagens e florestas. Neste resumo se apresentam as atividades realizadas e se discute a aplicação de geotecnologias relacionadas às atividades de pesquisa desenvolvidas nas UPs do projeto AP2, na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, envolvendo o uso de imagens orbitais de baixo custo, manuseio de GPS para efetivar modelos digitais de elevação e processamento dos dados segundo malha regular, sendo disponibilizados resultados preliminares relacionados ao primeiro ano de plantio.

2. Material e métodos

Para suporte ao projeto, no contexto da ETB, foram escolhidas duas áreas pilotos (Figura 1), uma não sistematizada (AR1) e a outra sistematizada (AR2), localizadas próximas às coordenadas 31° 48' 45,53" S – 52° 28' 35,20" O e 31° 49' 12,34" S – 52° 27' 57,78" O, respectivamente, de maneira que os resultados sejam comparados para ambas as condições.

- Unidade Piloto AR1: Trata-se da área piloto original do projeto (área total = 10,5 ha), inserida no sistema de plantio da ETB, isto é, três anos de arroz, dois anos de pousio. Em 2009, foi plantado arroz irrigado segundo o sistema convencional (dados não disponíveis). Em 2010 o solo foi nivelado e modificada a rede de drenagem, com introdução de gado no inverno, segundo carga animal baixa; em setembro foi realizado levantamento a campo com estação total que permitiu elaborar um modelo digital de elevação com precisão centimétrica, segundo uma grade de 30 × 30 m. Antes do plantio foram coletadas 3 amostras de solos na porção central da área, localizadas a 17,5 m de distância uma da outra. O plantio de arroz (novembro 2010) considerou um quadrado de 25 m de lado no centro da área com “plantio direto” e o restante no sistema convencional. A produtividade foi avaliada manualmente, em abril de 2011, segundo doze pontos irregularmente espalhados na área, localizados com receptor Garmin GPSmap

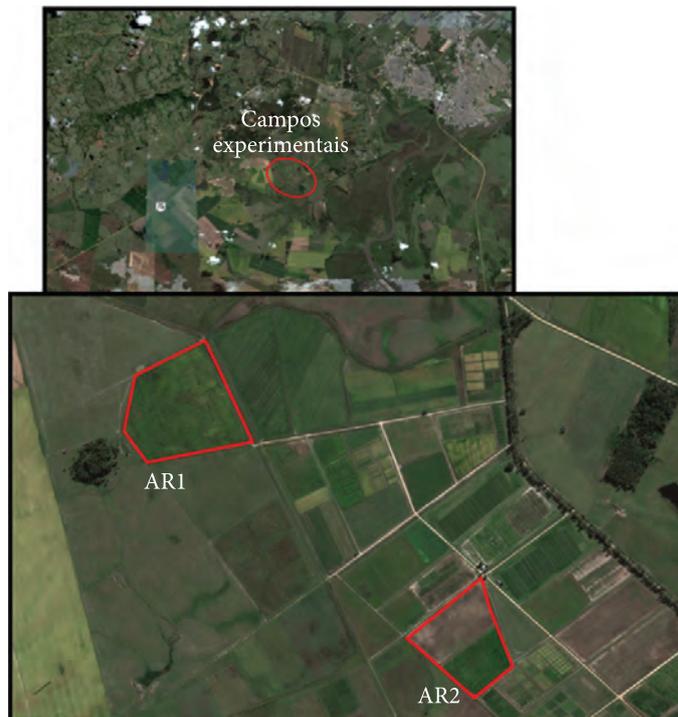


Figura 1. Localização das unidades piloto do arroz irrigado (AR1 e AR2). Fonte: Google Earth (2011).

76CSx. A parte aérea das plantas foi retirada considerando uma quadrícula de madeira de meio metro de lado, sendo guardada em sacos plásticos, processada e pesada, para determinar matéria seca aérea.

- Unidade Piloto AR2: Trata-se de uma área sistematizada; processo de nivelamento do terreno de maneira a transformar a superfície em um plano, prática que facilita o manejo da lavoura, principalmente quanto a uniformidade da irrigação no sistema de arroz irrigado. Parfitt (2009) desenvolveu trabalho acadêmico, quando foram analisados diversos parâmetros físicos e químicos do solo (Área total = 7,4 ha). Foi realizada uma amostragem de solos superficial em malha regular em uma área de 1 ha, que coincide com o estudo anterior, considerando amostras em malha regular com passo de 10 m, retiradas em duplicata, com pá e com anel metálico, isto é, sem conservar a estrutura e mantendo ela intacta, respectivamente. Paralelamente foram amostradas, aleatoriamente, 10 duplicatas afastadas 5 m do ponto de coleta determinado

pela malha, visando avaliar a variabilidade espacial em curta distância e possíveis erros metodológicos relativos a amostragem. As amostras foram processadas e guardadas em local apropriado para realizar as determinações físicas e químicas: granulometria, densidade, teor de fósforo, teor de nitrogênio, teor de potássio e matéria orgânica. O plantio de arroz cobriu parte da área em novembro de 2010, sendo avaliada matéria seca aérea de arroz de maneira análoga a mencionada, segundo a mesma malha regular. Alguns dados foram espacializados por meio dos aplicativos Surfer e ArcGis, considerando os dados de Parfitt (2009).

3. Resultados e discussão

Os resultados apresentados neste resumo são preliminares. A matéria seca aérea de arroz variou no intervalo 1904-8628 kg/ha em AR1, com média de 5305 kg/ha e desvio padrão de 1858 kg/ha, sugerindo pouca correlação espacial com a altitude do terreno. A mesma consideração poderia se levantada para a AR2 (Figura 2), porém, quando

os dados são trabalhados por faixas de altitude semelhante, a produtividade média variou de forma inversamente proporcional com a altitude no intervalo 17,76-17,97 m. Os mapas de distribuição

espacial do teor de K, N e P, para o local de execução da malha regular (Figura 3), sugerem uma queda de produtividade nas linhas superiores devido ao baixo teor desses nutrientes (Figura 2).

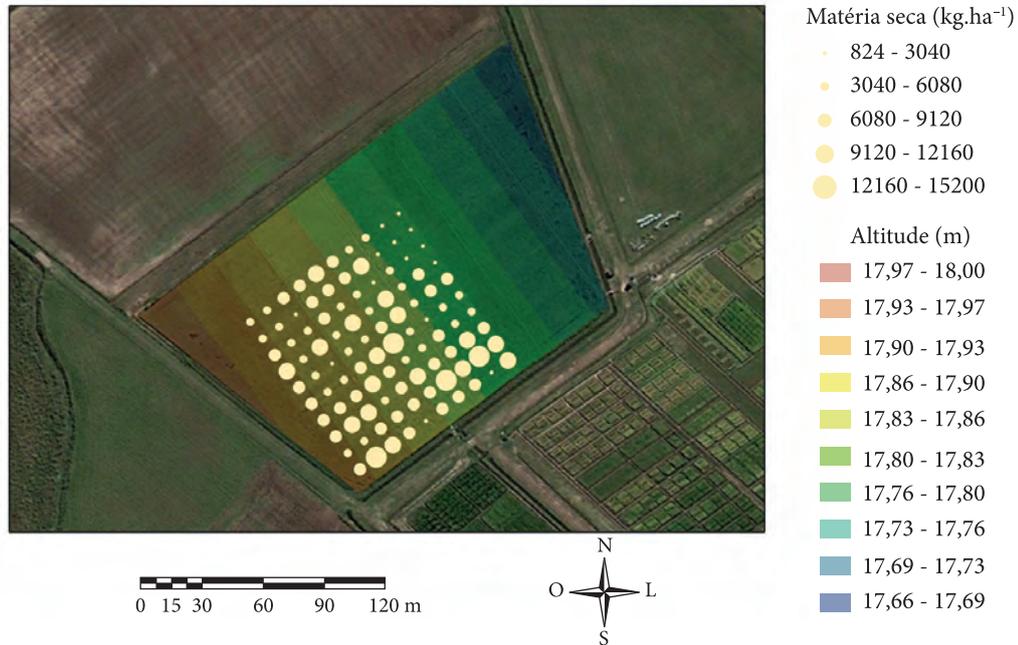


Figura 2. Modelo digital de elevação simulado considerando dados de campo e os canais de drenagem em AR2, com avaliação de matéria seca aérea de arroz (ETB, Embrapa Clima Temperado, 7 de abril de 2011) sobrepostos a imagem de alta resolução (GOOGLE EARTH, 2011).

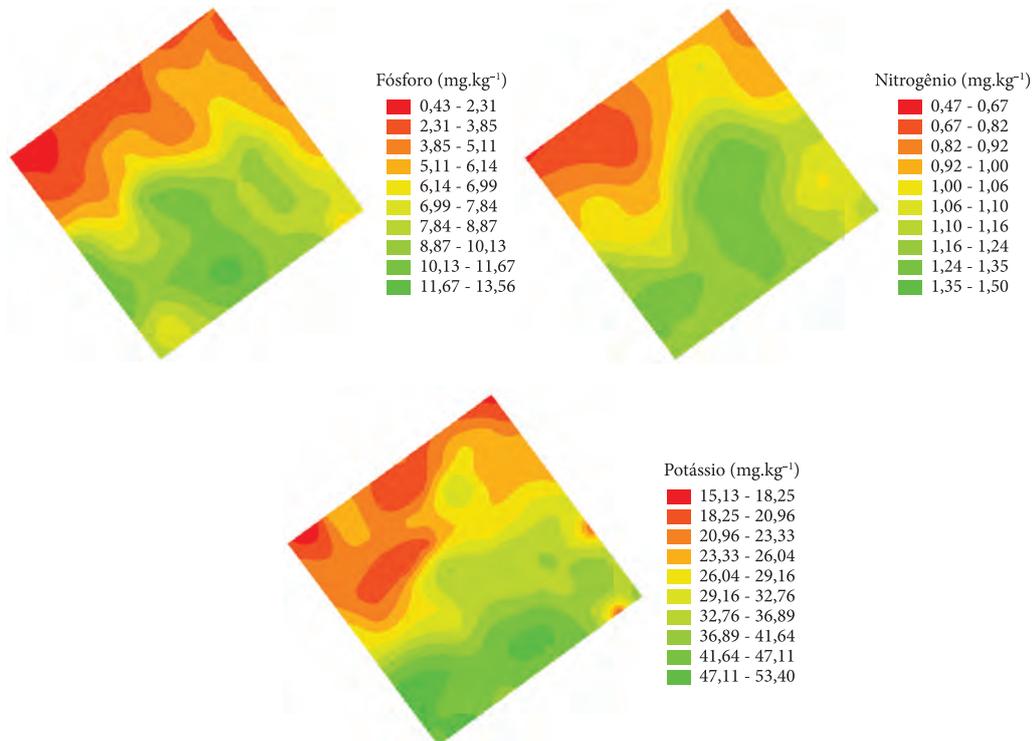


Figura 3. Mapas da distribuição espacial de teor de fósforo, nitrogênio e potássio na AR2 (PARFITT, 2009). Ajuste do modelo acima de 98%. Parâmetros do semivariograma (efeito pepita – patamar - alcance): K = 0-166-123,5 m; N = 0,01-0,053-123,5 m; P = 1,4-14,8-123,5 m.

4. Conclusão

Ambas lavouras AR1 e AR2 apresentam variabilidade espacial significativa, principalmente para produtividade. No entanto, no segundo caso houve indicações de associação com outras variáveis analisadas.

A combinação de levantamentos de campo com procedimentos de geoprocessamento parece essencial para o aperfeiçoamento das técnicas de AP, redução de custos e otimização dos procedimentos de intervenção, principalmente em trabalhos de pequena escala.

A AP envolve uma densificação de pontos a ser avaliados no interior da lavoura, derivando em incremento de mão de obra ou equipamentos, de determinações analíticas e finalmente, numa maior rigorosidade para o planejamento e gerenciamento das ações.

Agradecimentos

Aos bolsistas João Tomaz Barcellos Junior e Mauro Ricardo R. Nóbrega pelo apoio para o levantamento dos dados de produtividade.

Referências

GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro**. Google, 2011. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/download-earth.html>>. Acesso em: 11 maio 2011.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A.; JOHANN, J. A.; BOSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e de produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200001>

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.

PARFITT, J. M. B. **Impacto da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológicos em solos de várzea**. 2009. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

WERNER, V.; SCHOSSER, J. F.; ROZIN, D.; PINHEIRO, E.; DORNELLES, M. E. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 658-663, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000600016>

Variabilidade espacial e temporal de carbono e fósforo em sistemas de integração lavoura-pecuária em Mato Grosso**

Julio Cezar Franchini^{1*}, Flavio Jesus Wruck^{2*}, Henrique Debiasi¹, Fabio Álvares de Oliveira¹

¹ Pesquisador da Embrapa Soja, CP 231, CEP 86001-970, Londrina, PR, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, CP 179, CEP 75375-000, Santo Antonio de Goiás, GO, Brasil

*e-mail: franchin@cnpso.embrapa.br; fjwruck@cnpaf.embrapa.br

**Projeto financiado parcialmente com recursos da FINEP e CNPq

Resumo: A variabilidade espacial e temporal do C e do P no solo foi avaliada em sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP) no Mato Grosso, usando conceitos de geoestatística. As avaliações foram realizadas em uma área total de 110 ha por meio do uso de grades de amostragem de 2 e 1 ha, nos anos de 2009 e 2010, respectivamente. Semivariogramas foram ajustados e utilizados para a krigagem dos mapas de contorno da área. As áreas de pastagem permanente contribuíram para o aumento do C e redução do P no solo. A rotação entre as áreas de pastagem permanente e de lavoura permitiu elevar o C nas áreas anteriormente ocupadas por lavoura e o P nas áreas anteriormente ocupadas por pastagem permanente. Em sistemas de integração lavoura-pecuária o P pode ser mantido dentro de níveis adequados, enquanto o C pode ser aumentado com a evolução dos sistemas no tempo. A análise geoestatística dos dados foi eficiente em detectar os efeitos dos SILPs sobre a variabilidade espacial dos teores de C e P no solo.

Palavras-chave: geoestatística, fertilidade do solo, matéria orgânica do solo, agricultura de precisão.

Spatial and temporal variability of soil organic carbon and phosphorus in crop-livestock integration system in Mato Grosso

Abstract: The spatial and temporal variability of C and P in the soil was evaluated in crop-livestock integration systems in Mato Grosso state, Brazil, using concepts of geostatistics. The evaluations were conducted in a total area of 110 ha through using sampling grids of 2 and 1 ha in the years 2009 and 2010, respectively. Semivariograms were fitted and used for the kriging of contour maps of the area. The areas of permanent pasture contributed to increase C and decrease P contents in soil. The rotation between permanent pasture and crops allowed to raise the C in the areas previously occupied by crops and P in areas previously occupied by permanent pasture. In crop-livestock integration systems P can be maintained within appropriate levels, while C can be increased along systems development in time.

Keywords: geostatistic, soil fertility, soil organic matter, precision agriculture.



1. Introdução

A intensificação do uso da terra, por meio da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária (SILPs), tem se mostrado uma opção viável para aumentar a sustentabilidade da produção agropecuária em diversas regiões brasileiras, particularmente em Mato Grosso (FRANCHINI et al., 2010). Esses sistemas viabilizam a diversificação das atividades, permitindo assim a rotação de culturas com soja, arroz, milho, milheto, sorgo e forrageiras tropicais perenes. Com isso, há aumento do aporte de fitomassa da parte aérea e raízes, o que pode contribuir para o aumento do teor de carbono do solo. O conhecimento do potencial dos SILPs em promover o acúmulo de C orgânico no solo pode subsidiar políticas públicas de incentivo à adoção de práticas de manejo do solo e/ou sistemas de produção ambientalmente sustentáveis. Por outro lado, a fertilidade do solo, particularmente o P, também é alterada nos SILPs devido à alternância das fases de lavoura e pecuária, uma vez que a adubação dos sistemas é promovida pelas culturas anuais e a pastagem permanece durante dois no sistema sem receber adubação. Desta forma, é importante conhecer a dinâmica espacial e temporal do C e do P no solo para melhor entendimento do funcionamento de SILPs. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a contribuição de SILPs para a dinâmica espacial

e temporal do C e do P no solo por meio do uso de conceitos de geoestatística.

2. Material e métodos

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em uma unidade de referência tecnológica (URT) de 110 ha, conduzida na Fazenda Certeza, localizada em Querência (12° 35' 48" S e 52° 11' 48" O), região nordeste do Mato Grosso, sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo (300 g/kg de argila). Essa área, com declividade média de 1,5%, foi incorporada à agricultura em 1996, com a derrubada da vegetação nativa e cultivo, no primeiro ano, de arroz de sequeiro. De 1997 a 2006, a área foi manejada sob um sistema de preparo mínimo composto pela semeadura direta da soja sobre palhada de milheto, cuja implantação e manejo dos resíduos eram feitos com grade niveladora. No verão de 2007, a área foi dividida em cinco módulos de 22 ha, de modo a abranger todas as fases de um SILP de cinco anos (Tabela 1). Na estação chuvosa, 60% da área é ocupada por agricultura e 40% por pecuária. Durante a estação seca, são empregados consórcios de milho, milheto, sorgo forrageiro e de girassol com *Brachiaria* spp. nos três módulos ocupados no verão por lavouras. Após a colheita das culturas de grãos na segunda safra, 100% da área é ocupada por pecuária. Vem

Tabela 1. Sequência de culturas nos módulos da Unidade de Referência Tecnológica em Integração Lavoura-pecuária na Fazenda Certeza em Querência, Mato Grosso.

Safras	Módulos				
	A	B	C	D	E
2007/2008	Sj	Sj	Sj	Ar (plantio direto)	Mi + Bb m Mi + Bb p
2008	Gs + Br	ML + Br	Mi + Br	Sg + Bb m Sg + Bb p	Bb m Bb p
2008/2009	Ar (Preparo convencional)	Sj	Sj	Bb m Bb p	Bb m Bb p
2009	Mi + Bb p	ML + Br	Mi + Br	Bb m Bb p	Bb m Bb p
2009/2010	Bb p	Sj	Ar (Plantio direto)	Bb m Bb p	Sj
2010	Bb p	ML + Bb p	Mi + Br	Bb m Bb p	Mi + Br
2010/2011	Bb p	Bb p	Sj	Sj	Ar (Plantio direto)

Sj: soja; Ar: arroz; Mi: milheto; ML: milho; Gs: girassol; Bb m: *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; Bb p: *Brachiaria brizantha* cv. Piatã; Br: *Brachiaria ruziziensis*; Sg: sorgo forrageiro.

sendo utilizada uma lotação média de 2 e 6 UA/ha durante a estação seca e chuvosa, respectivamente. As determinações dos teores de C orgânico e de P disponível pelo extrator Melich-1 na camada de 0,0-0,2 m foram realizadas em amostras coletadas em agosto de 2009 e 2010. Em ambas as épocas, a amostragem foi realizada seguindo os conceitos de geoestatística, utilizando uma grade amostral de 2 ha em 2009 (100 m × 200 m) e de 1 ha em 2010 (100 m × 100 m), com 6 subamostras coletadas aleatoriamente dentro de cada quadricula da grade. As culturas de soja, milho e arroz, desde o início do estudo, tem recebido uma adubação equivalente a 60 kg de P_2O_5 e K_2O /ha; a 40 kg de N, 40 kg de P_2O_5 e K_2O /ha; 40 kg de N e 40 kg de P_2O_5 e K_2O /ha, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise geoestatística (VIEIRA et al., 2002), sendo os mapas de variabilidade espacial elaborados por meio do programa Surfer. Para

seleção do modelo melhor ajustado, foi utilizado o procedimento de validação cruzada. Para análise temporal, foi utilizado o teste *t* de Student para dados não pareados ($P < 0,05$).

3. Resultados e discussão

Os teores de C e P no solo apresentaram coeficiente de variação de 12 e 52%, em 2009 e de 10 e 42% em 2010, respectivamente. Os semivariogramas ajustados para os teores de C e P no solo nas coletas realizadas em 2009 e 2010, são apresentados na Figura 1. O aumento na intensidade de amostragem de 50 pontos em 2009 para 100 pontos em 2010 alterou os parâmetros das equações ajustadas. Para ambos os atributos, o aumento da intensidade de amostragem reduziu o parâmetro C_0 (efeito pepita), o que indica redução da variabilidade não explicada pelo modelo ajustado. Por outro

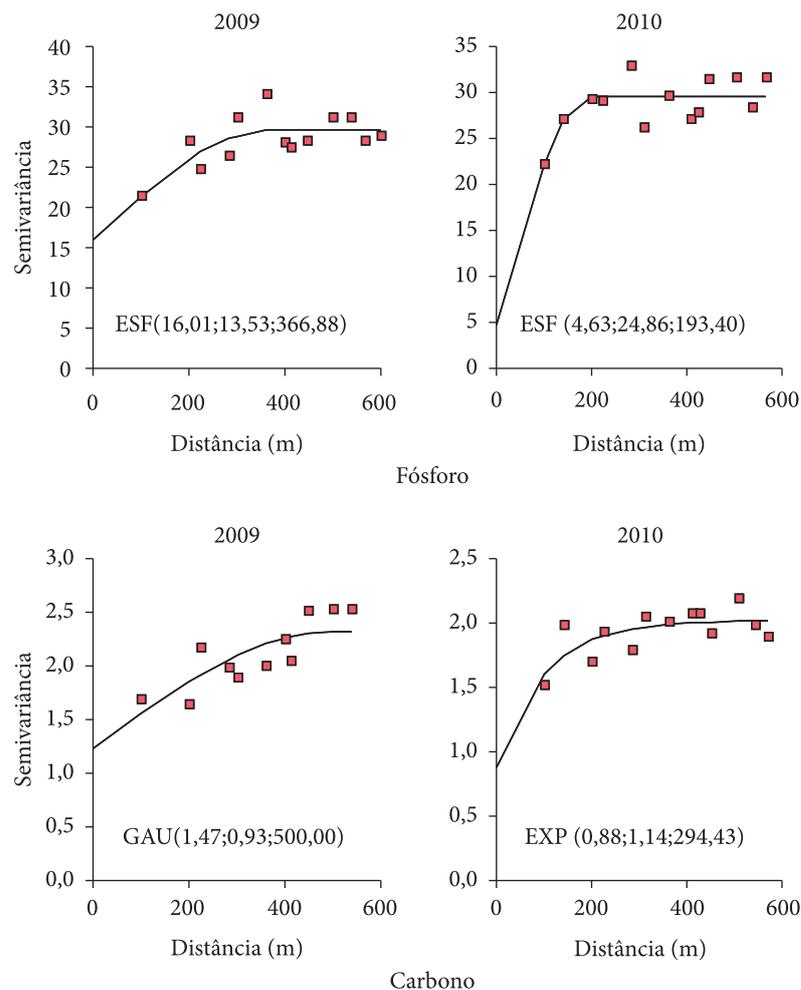


Figura 1. Semivariogramas ajustados para os teores de P e C nas coletas de 2009 e 2010. ESF: esférico; GAU: gaussiano e EXP: exponencial. Valores entre parênteses representam os parâmetros C_0 (efeito pepita), C_1 (variância estrutural) e a (alcance), respectivamente.

lado, o aumento da intensidade de amostragem reduziu o alcance do semivariogramas. Para 50 pontos o alcance para os teores de C e P foi de 500 e 367 m, respectivamente, enquanto com 100 pontos esses valores foram reduzidos para 294 e 193 m, respectivamente. Apesar da variação com o número de pontos, os alcances indicam que a intensidade de amostragem foi suficiente para representar a variabilidade espacial de C e P na área. Na Figura 2, são apresentados os mapas de variabilidade espacial para o P nas amostragens de 2009 e 2010. Observa-se, na amostragem de 2009, que após um (módulo D) ou dois (módulo E) anos de pastagem permanente nas áreas de pecuária, houve diminuição no teor no solo em relação às áreas de lavoura (módulos A, B e C). Este comportamento está relacionado com a ausência de adubação na pastagem e a extração de P nos produtos da fase de pecuária. Por outro lado, na amostragem de 2010, observa-se que houve aumento do P no solo no módulo E, onde a fase de pecuária foi substituída pela fase de lavoura com o cultivo da soja. Isso demonstra que a adubação aplicada na cultura da soja foi suficiente para atender as necessidades da cultura e ainda repor

o nutriente utilizado pela pastagem durante o período de dois anos em que a mesma permaneceu na área. O módulo C também apresentou aumento no teor de P no solo em relação à amostragem de 2009, indicando aumento progressivo do elemento no solo com o cultivo de soja e milho por dois anos e arroz e milho por um ano.

Na Figura 3 são apresentados os mapas de variabilidade espacial para o C nas amostragens de 2009 e 2010. Observa-se na amostragem de 2009 que após um (módulo D) ou dois (módulo E) anos de pastagem permanente nas áreas de pecuária, houve aumento no teor no solo em relação às áreas de lavoura. Este comportamento está relacionado com o aumento na produção de fitomassa da parte aérea e de raízes pela pastagem. Na amostragem de 2010, observa-se que houve aumento do C no solo no módulo A, onde a fase de lavoura foi substituída pela fase de pecuária com o cultivo de *Brachiaria brizantha*. O módulo B também apresentou aumento no teor de C no solo em relação à amostragem de 2009, indicando aumento progressivo do elemento no solo com o cultivo do consórcio milho+*Brachiaria ruziziensis*, por três anos consecutivos.

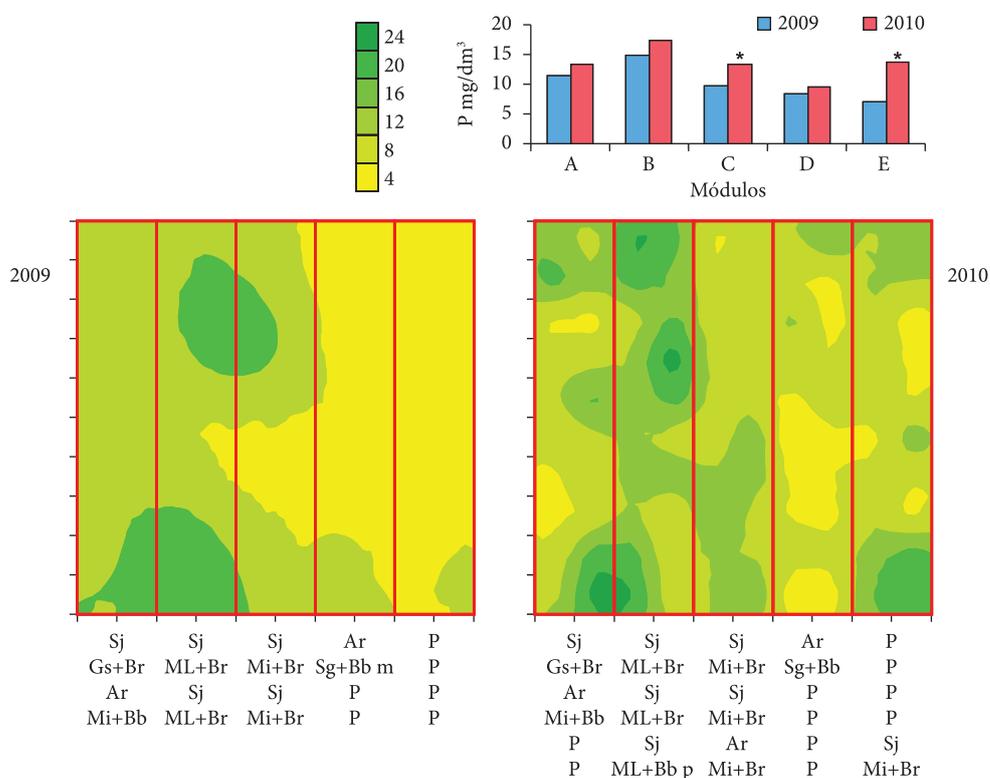


Figura 2. Mapas krigados do teor de P no solo nas coletas de 2009 e 2010. O * indica diferença significativa entre anos no teor de P pelo teste-t de Student.

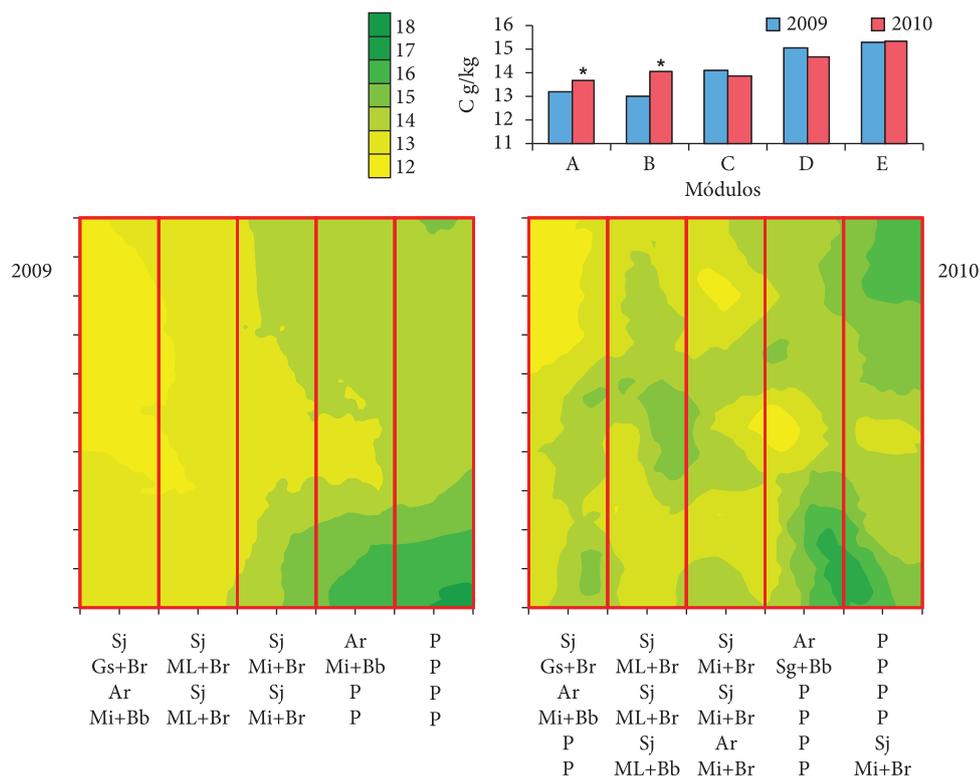


Figura 3. Mapas krigados do teor de C no solo nas coletas de 2009 e 2010. O * indica diferença significativa entre anos no teor de C pelo teste t de Student.

4. Conclusões

A rotação entre as áreas de pastagem permanente e de lavoura permitiu elevar os teores de C nas áreas anteriormente ocupadas por lavoura e os teores de P nas áreas anteriormente ocupadas por pastagem permanente. A análise geoestatística dos dados foi eficiente em detectar os efeitos dos SILPs sobre a variabilidade espacial dos teores de C e P no solo.

Agradecimentos

À Neuri Norberto Wink, proprietário da Fazenda Certeza e Plantagro Assessoria Agronômica pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Referências

- FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WRUCK, F. J.; SKORUPA, L. A.; WINK, N. N.; GUISSOLPHI, I. J.; CAUMO, A. L.; HATORI, T. **Integração lavoura-pecuária**: alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu. Embrapa Soja: Londrina, 2010. 20 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, n. 77).
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geo-statistical analysis of variability in soil and climate data. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 1-45, 2002.

Avaliação da produção e propriedades químicas espacializadas e da calagem e adubação a taxas variadas em lavoura de milho para silagem em São Carlos, SP

Alberto C. de Campos Bernardi^{1,3*}, Giovana Maranhão Bettiol¹,
Ricardo Y. Inamasu^{2,3}, Ladislau Rabello²

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, CP 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil

³ Bolsista do CNPq

*e-mail: alberto@cnpq.br

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional dos insumos, como na aplicação a taxa variável de calcário e fertilizante. O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada, em área cultivada com milho para silagem. O estudo foi conduzido em área de 18 ha de produção de silagem de milho em São Carlos (SP). A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se uma grade de amostragem com 6 subamostras antes do plantio do milho. Os valores de P, K, CTC, saturação por bases foram determinados por métodos tradicionais de análise de solo nas amostras georreferenciadas coletadas a 0-0,2 m de profundidade. A produtividade do talhão foi avaliada na época da colheita do milho. A variabilidade espacial da produção de material seca, das propriedades químicas do solo e da necessidade de calagem e adubação foram modeladas utilizando semivariogramas e os mapas foram obtidos por krigagem com o software Vesper. Os resultados indicaram que a calagem a taxas variáveis tem potencial de ser adotada na área em estudo.

Palavras-chave: geoestatística, fertilidade do solo, Vesper, taxa variável.

Evaluation of spatialized yield and chemical soil properties and varied rates of liming and fertilizer of corn silage crop in São Carlos, SP

Abstract: The knowledge of spatial variability soil properties is useful in the rational use of inputs, as in the variable rate application of lime and fertilizers. The objective of this work was to map and evaluate the spatial variability of the silage corn yield, soil chemical properties and map the site specific liming and fertilizer need in a silage corn area. The study was conducted in a silage corn production area of 18 ha in Sao Carlos, SP, Brazil. A sampling grid with 6 sub-samples was adopted before sowing. The values of soil P, K, CEC and basis saturation were analyzed by traditional soil testing in georeferenced samples collected at 0-0.2 m depth. The site was evaluated for dry matter production at the harvest time. Spatial variability of crop yield, soil properties and site specific liming and fertilizer need were modeled using semivariograms and maps were obtained by kriging with Vesper software. Results showed that variable rate of liming has the potential to be adopted in the study area.

Keywords: geostatistics, soil fertility, Vesper, variable rate.

1. Introdução

A agricultura de precisão auxilia os produtores na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (KOCH; KHOSLA, 2003). O uso desse conjunto de tecnologias permite quantificar a variabilidade espacial dos fatores produtivos e, portanto, da produtividade das culturas. A partir dessas informações torna-se possível interferir ou manejar as diferenças quantificadas, por meio da aplicação localizada dos insumos agrícolas, de acordo com a necessidade específica local (SEARCY, 1995). O uso dessa tecnologia tem possibilitado aos produtores manejar ou variar as taxas de aplicação de fertilizantes, de acordo com as diferenças de produtividade das culturas ou dos parâmetros de fertilidade dentro de um campo de produção. Essa prática conhecida como “taxa variável de aplicação de fertilizantes” (LARSON; ROBERT, 1991) é a principal vantagem do uso da AP, ou seja, a possibilidade de aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, nas quantidades necessárias à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam. Diferentemente da aplicação uniforme de fertilizantes e corretivos, que podem resultar em áreas com aplicações abaixo ou acima da dose necessária, a aplicação com taxas variáveis pode aumentar a produtividade e a eficiência do uso de nutrientes, ao mesmo tempo em que reduz o potencial para poluição ambiental (MULLA et al., 1992; ROBERT, 1993; WOLLENHAUPT; WOLKOWSKI; CLAYTON, 1994; MULLA; SCHEPERS, 1997; BERNARDI et al., 2004; BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004). O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada, em área cultivada com milho para silagem em São Carlos (SP).

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21° 57' 15 S e 47° 50' 53,5 O; 856 m acima do nível do mar), em

área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (CALDERANO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com 1502 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3° C (julho) e de 23° C (fevereiro), respectivamente (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA, 2010). O milho (*Zea mays* L.), da variedade AG 1051, foi semeado em novembro de 2009, em sistema de plantio direto, sobre palhada da vegetação espontânea germinada durante a entressafra. Utilizou-se a população de cinco plantas por metro linear e o espaçamento entre linhas de 0,8 m. A irrigação por aspersão foi realizada através de sistema autopropulsor de movimentação circular do tipo pivô central e o manejo da água (frequência e lâmina de irrigação) foi estabelecida com base no balanço entre a demanda climática (evapotranspiração) e as condições edáficas (capacidade de armazenamento de água disponível) do local, de acordo com Rassini (2002).

Em parceria com a empresa APAgrri foram realizadas as amostragens de solo em outubro de 2009, as quais precederam a semeadura do milho. A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se uma grade irregular de amostragem com 6 subamostras para formar uma amostra composta os pontos de amostragem estão na Figura 1a. A coleta de amostras de solo foi realizada com um quadriciclo equipado com GPS e trado de rosca de aço inoxidável, com regulagem de profundidade e de acionamento elétricos, que possibilitou a delimitação dos pontos com suas respectivas coordenadas geográficas. As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas para determinação do pH em água, da matéria orgânica, do P disponível pelo método da resina, dos teores trocáveis de K, Ca e Mg, da acidez trocável e potencial, e dos teores de argila e areia. Indiretamente foram calculados, através do uso dos parâmetros anteriores, a soma de bases, a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0 (PRIMAVESI et al., 2005).

A produtividade de milho para silagem foi avaliada em abril de 2010, quando a cultura

atingiu o ponto de colheita correspondente à fase de grão farináceo (matéria seca entre 28 e 35%). A estimativa da produção de biomassa fresca foi realizada manualmente em grade regular de 40 pontos georreferenciados (Figura 1b), nestes pontos foram amostradas 3 subamostras de 4 m de comprimento em duas linhas para compor uma amostra composta. Amostras do material colhido foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 70° C, até peso constante, para determinação da matéria seca. Adotou-se, para cálculo da necessidade de calagem e adubação com P e K a recomendação de Van Raij et al. (1996). O cálculo da calagem considerou o nível de acidez atual e a capacidade tampão do solo, expressa pela

CTC ao pH 7,0, e a saturação por bases ideal para a cultura, que no caso, foi de 70%, por se tratar de área de cultivo de milho. O cálculo da dose de fósforo e potássio baseou-se na análise de solo. Os modelos de semivariograma foram ajustados e os mapas estimados pelo método da krigagem utilizando o programa Vesper (MINASNY; McBRATNEY; WHELAN, 2005).

3. Resultados e discussão

Valores teóricos de assimetria e curtose entre 0 e 3, indicam a distribuição normal dos dados (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002). Apenas os valores de CTC e argila apresentam

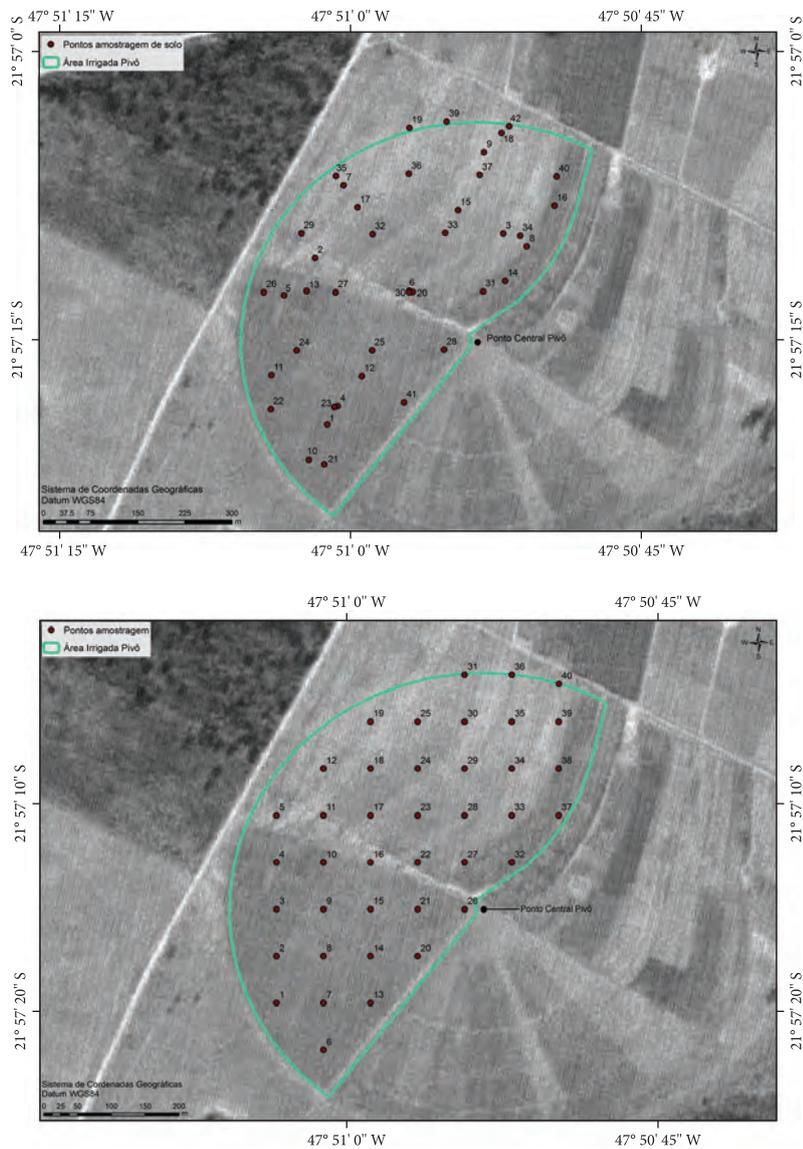


Figura 1. Localização da área de produção milho para silagem da Embrapa Pecuária Sudeste e pontos de amostragem para avaliação da fertilidade do solo (a) e produtividade (b).

valores de assimetria e curtose não compatíveis com a normalidade (Tabela 1). Os demais parâmetros apresentaram distribuição normal. Essa determinação é importante uma vez que a krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002). Somente o pH apresentou o coeficiente de variação baixo (<10%), de acordo com a classificação sugerida por Pimentel-Gomes (1984). As demais variáveis apresentaram coeficientes de variação altos (>20%), com exceção da M.O. e argila que apresentaram coeficiente de variação médio (entre 10 e 20%). As tendências de variação dos valores dos atributos de solo obtidos nesse estudo estão de acordo aos

observados por Mulla e McBratney (2000) para diversos parâmetros de solo.

Os semivariogramas experimentais para as variáveis foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados (Tabela 2). O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais dos atributos do solo, à exceção do P cujo modelo foi o gaussiano. Este modelo foi que melhor ajustou-se à produção de M.S., doses calculadas de calcário, P e K. Os atributos do solo pH e K apresentaram efeito pepita puro, indicando ausência de dependência espacial. Os atributos do solo que apresentaram dependência espacial (Tabela 2), de acordo com os critérios de Cambardella et al. (1994), consideradas

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das variáveis pH, M.O., P, K, CTC, V%, argila e produção de MS de uma área cultivada com milho para silagem em São Carlos, SP.

Parâmetros estatísticos	pH	MO	P	K	CTC	V	Ar-gila	Produção MS
	CaCl ₂	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	mmol _c .dm ⁻³		%	g.kg ⁻¹	kg.ha ⁻¹
Média	5,3	23,3	40,0	2,1	68,5	60,6	252,2	14137
Desvio padrão	0,5	2,4	17,3	0,6	14,3	13,3	44,3	2401
Mínimo	4,6	17,0	17,0	0,9	28,0	41,0	174,0	9810
Máximo	6,6	31,0	88,0	3,5	87,0	96,0	340,0	20104
CV	9,5	10,2	43,3	28,0	20,9	22,0	17,6	17,0
Curtose	2,0	2,4	0,3	0,5	2,2	1,7	-0,7	0,010
Assimetria	1,5	0,4	0,9	0,7	-1,5	1,3	0,1	0,340
n	42	42	42	42	42	42	42	42

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariograma ajustados para as variáveis pH (CaCl₂), M.O., P, K, CTC, V%, argila e produção de MS de uma área cultivada com milho para silagem em São Carlos, SP.

Variável	C ₀ *	C ₁ **	a***	Modelo de ajuste	Dependência 100[C ₀ (C ₀ + C ₁) ⁻¹]
pH (CaCl ₂)	-	-	-	Efeito pepita puro	-
MO	0,774	5,164	42,4	Exponencial	13,0
P	44,63	259,5	40,6	Gaussiano	14,6
K	-	-	-	Efeito pepita puro	-
CTC	50,43	204,7	145,4	Exponencial	19,8
V	22,27	223,0	163,3	Exponencial	9,1
Argila	70,18	1856,0	62,4	Exponencial	3,6
Produção MS	5806492	577853	206,2	Gaussiano	90,9
NC	291810	47801	122,7	Gaussiano	85,9
K ₂ O	299,4	138,2	541,9	Gaussiano	68,4
P ₂ O ₅	48,27	262,6	34,9	Gaussiano	15,5

*C₀ = efeito pepita; **C₁ = variância estrutural; ***a = alcance.

como forte (efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar) foram M.O., P, CTC, V% argila, e doses de P_2O_5 , como dependência moderada (efeito pepita entre 26-75% do patamar), doses de K_2O . E a produção de M.S. e doses de calcário apresentaram dependência fraca. Na Figura 2 é apresentada a espacialização da produção de MS pelo milho para silagem e dos parâmetros argila, M.O., P, CTC e V% da camada de 0-0,2 m de profundidade obtidos pelo método da krigagem. A partir da malha de pontos amostrados, estabeleceram-se as informações para serem utilizadas no manejo da cultura no campo. Dessa forma, o mapa com as doses de fósforo, potássio e calcário para

aplicação em taxas variáveis são apresentados na Figura 3. A espacialização da necessidade de calagem observam-se 3 faixas de doses que poderiam ser utilizadas na aplicação a taxas variáveis: 600, 900 e 1100 $kg.ha^{-1}$. A recomendação de P apresentou-se bem mais localizada, como várias manchas ao longo da área. Já a adubação com potássio não seria recomendada para ser realizada com taxas variáveis devido às pequenas diferenças nas doses recomendadas. Observa-se que o mapa de produção de MS seguiu a tendência inversa da necessidade de calcário, apresentando distribuições semelhantes pela área.

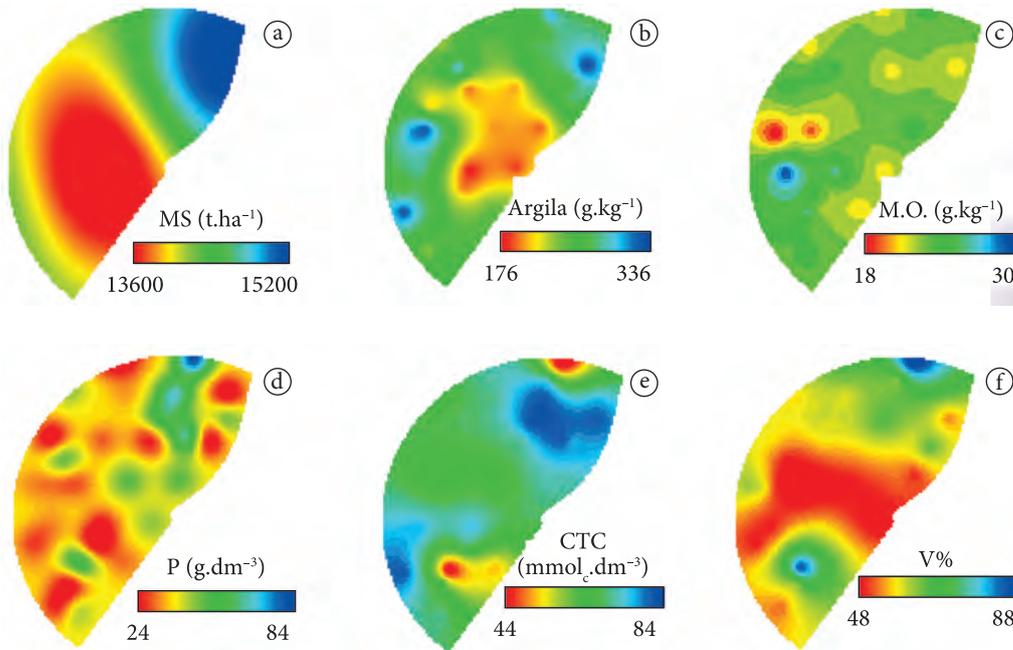


Figura 2. Mapas espacializados da produção de MS ($t.ha^{-1}$) e argila (B) M.O. (C), P (D), CTC (E), V% (F).

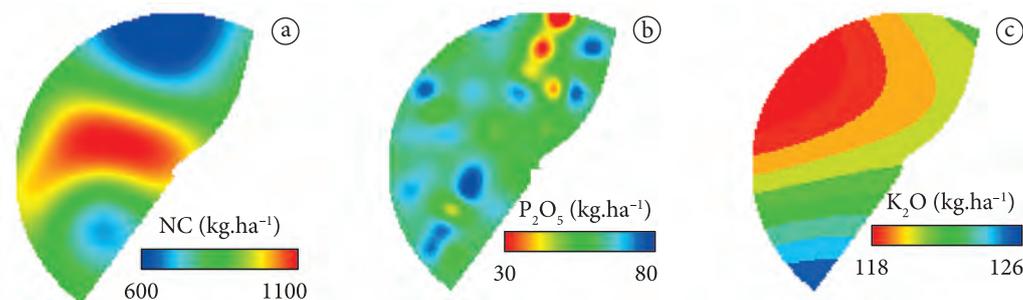


Figura 3. Recomendação espacializada da estimativa da necessidade de calagem (A) e doses de P_2O_5 (B) e K_2O (C) para o plantio de milho para silagem em São Carlos, SP.

4. Conclusões

Os resultados indicaram que a calagem a taxas variáveis tem potencial de ser adotada na área em estudo.

Agradecimentos

À APAgri e *International Potash Institute* – IPI pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

Referências

- BERNARDI, A. C. C.; GIMENEZ, L. M.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 153-164.
- BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 359-387, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1998. 95 p. (EMBRAPA/CNPQ, Boletim de Pesquisa, n. 7).
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M. & VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1151-1159, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - a classificação climática de koepen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, v. 8, p. 361-381, 2003. http://dx.doi.org/10.1300/J144v09n01_02
- LARSON, W. E.; ROBERT, P. C. Farming by soil. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil Water Conservation Society, 1991. p. 103-112.
- MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos**. EMBRAPA, 1999. Disponível em: <<http://www.cnpq.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>>. Acesso em: 3 maio 2009.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. **VESPER version 1.62**. Australian Centre for Precision Agriculture, 2005. Disponível em: <<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>>. Acesso em: 22 jul. 2010.
- MULLA, D. J.; BHATTI, A. U.; HAMMOND, M. W.; BENSON, J. A. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 38, n. 3, p. 301-311, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90152-2](http://dx.doi.org/10.1016/0167-8809(92)90152-2)
- MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. A321-352.
- MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key processes and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.). **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1997. p. 1-18.
- PIMENTEL-GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1984. 160 p.
- PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. Métodos de análise de solo. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130.
- RASSINI, J. B. **Irrigação de pastagens: Frequência e quantidade de aplicação de água em Latossolos de textura média**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 7 p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Circular Técnica, n. 31).
- ROBERT, P. C. Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management. **Geoderma**, v. 60, n. 1, p. 57-72, 1993. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90018-G](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(93)90018-G)
- SEARCY, S. W. Engineering systems for site specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1994, Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1995. p. 603-647.
- VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1996. 285 p. (Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, n. 100).
- WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v. 7, p. 441-448, 1994.

Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis**

Luciano S. Shiratsuchi^{1*}, Marina F. Vilela¹, Richard B. Ferguson^{2*}, John F. Shanahan^{3*}, Viacheslav I. Adamchuk^{4*}, Álvaro Vilela Resende^{5*}, Sandro C. Hurtado^{6*}, Edemar J. Corazza^{7*}

¹ Researcher, Embrapa Cerrados

² Professor, Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska

³ Researcher, Pioneer HiBred Inc

⁴ Professor, Bioresource Engineering Department, McGill University

⁵ Researcher, Embrapa Milho e Sorgo

⁶ Post-Doc, Embrapa Cerrados

⁷ Researcher, Embrapa Informacao Tecnologica

*e-mail: shozo@cpac.embrapa.br; rferguson@unl.edu; john.shanahan@pioneer.com; viacheslav.adamchuk@mcgill.ca; alvaro@cnpms.embrapa.br; sandroelbat@gmail.com; edemar@sct.embrapa.br

**Activity of the Project Component 3 – Spatial temporal variability characterization and monitoring in annual grain crops

Resumo: O uso de sensores ativos de dossel (ACS) para o ajuste da aplicação localizada em tempo real de fertilizantes nitrogenados é promissor na região do Cerrado, onde grande quantidade de fertilizantes à base de nitrogênio (N) são aplicados em doses uniformes. A vantagem desta técnica comparada com a aplicação tradicional em dose uniforme é principalmente na sincronia da aplicação do N com a época ideal de absorção do nutriente pela planta no decurso da cultura considerando a variabilidade espacial. O objetivo deste estudo foi a geração de um primeiro algoritmo para cálculo da dose de N em milho baseado em leituras destes ACS na região do Cerrado. O experimento foi conduzido em fazenda em 7 locais (durante as safras 2010 e 2011), utilizando faixas longas experimentais com diferentes doses de N (0, 72, 144, 216, 288 and 360 kg N ha⁻¹) com três repetições. Cada uma consistiu de uma faixa de 500m de comprimento em sistema de plantio direto em sequeiro. As medições com os sensores foram realizadas entre os estádios fenológicos de V11 e V13 utilizando um sensor ativo de três bandas (infravermelho próximo, vermelho e vermelho próximo) e um clorofilômetro portátil. A produtividade de grãos foi medida com colhedoras equipadas com monitores de produtividade e DGPS. Foi possível a geração de um primeiro algoritmo para utilização no segundo estágio do projeto, onde serão realizadas as validações comparando com outros procedimentos e abordagens para manejo localizado de N.

Palavras-chave: sensores ópticos ativos de dossel, agricultura de precisão, aplicação em taxas variáveis, aplicação em tempo real.

Developing an algorithm for on-the-go nitrogen management in the Brazilian Cerrado

Abstract: The use of active optical crop canopy sensors (ACS) to adjust the on-the-go nitrogen (N) application is promising in the Brazilian Savannas where great amount of N fertilizers are being applied in uniform rates. The advantage of this technique compared to the conventional, is to match the timing of the plant N demand mid season considering the spatial variability. The objective of this study was to generate a first algorithm for ACS to be implemented in the Cerrado region. The experiment was conducted on-farm in 7 site-years (during 2010 and 2011), using field long strips

with different N rates (0, 72, 144, 216, 288 and 360 kg N ha⁻¹) with three replicates. Each one consisted of a strip with about 500 m length at rain fed no-tillage systems. The corn fields were sensed at V11 to V13 growth stage using an active light three band sensor (NIR, Red Edge and Red) and a chlorophyll meter. Grain yield was measured using a combine equipped with yield monitoring using DGPS. It was possible to generate a first algorithm to be used in the second stage of the project for validation and comparisons between algorithms and approaches for N management.

Keywords: active optical crop canopy sensors, precision agriculture, variable rate technology, real time fertilizer application.

1. Introdução

A utilização de sensores ópticos ativos para o diagnóstico da condição nutricional do milho quanto à necessidade de adubação nitrogenada no decurso da cultura já vem sendo utilizada comercialmente em outros países, tais como, Europa e Estados Unidos. A vantagem da utilização destes sensores deve-se à possibilidade de aplicação de N em taxas variáveis de acordo com a necessidade da cultura considerando a variabilidade espacial e temporal do requerimento de N, evitando perdas e consequentemente, aumentando a lucratividade. Algumas tentativas de validação e uso de sensores similares foram realizadas no Brasil (MOLIN, 2010) em trigo, triticale, cevada, milho e cana-de-açúcar. Nestas primeiras iniciativas foram utilizados sensores ativos de duas bandas para cálculo do índice de vegetação normalizado (NDVI) utilizando vários equipamentos disponíveis no mercado, tais como: Greenseeker (Trimble, EUA); N-sensor (Yara, UK) e Crop Circle (Holland Scientific, EUA). Porém, foi demonstrado que o NDVI tem a limitação de saturação das leituras quando o índice de área foliar (LAI) ultrapassa certo limite (ao redor de 2) (GITELSON; KAUFMAN; MERZLYAK, 1996). Foi observado que a banda do vermelho não é responsiva em altos valores de LAI em contraste com uma alta resposta do infravermelho próximo (NIR), ocasionando insensibilidade do NDVI para mudanças de teores de clorofila ou doses de N. Esta situação é muito comum na cultura do milho onde valores de LAI ultrapassam facilmente estes valores em estágios V7 até VT. Antes do V7 mesmo sensores que utilizam índices de vegetação (IV) mais robustos como o índice de clorofila utilizando o vermelho próximo (Chlorophyll Index Red Edge) (GITELSON et al., 2002) não conseguem separar a condição nutricional de

nitrogênio no milho (SHIRATSUCHI et al., 2009). O uso do NDVI vem sendo estudado a muito tempo por pesquisadores da Universidade do estado de Oklahoma nos EUA com sucesso na cultura do trigo, porém o algoritmo utilizado inclui no cálculo da recomendação de N, a divisão do NDVI por número de dias da semeadura até a data da leitura com o sensor (RAUN et al., 2002), chamado INSEY (*in-season estimate of yield*). Este procedimento parte do pressuposto que pode se prever a potencial produtivo baseado em leituras NDVI. Porém, em condições de sequeiro em plantio direto no Cerrado é muito difícil se prever a produtividade final devido a grande variação climática e provavelmente a utilização de um índice que utiliza dias após a semeadura incorporado no algoritmo para recomendação de N parece não ser a opção mais adequada para condições de Cerrado. Dentro deste contexto, existe uma grande necessidade de algoritmos mais robustos que consideram variações locais dentro do sistema de produção e que se baseiam em estádios fenológicos para recomendação de uso destes sensores. Os objetivos desta fase do projeto foi desenvolver um primeiro algoritmo generico baseado em sensores de três bandas para quantificação da adubação nitrogenada em tempo real na cultura do milho em condições do Cerrado.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em fazenda em condição de sequeiro durante as safras de 2010 e 2011. Todas áreas vem sendo conduzidas em sistema de plantio direto a mais de 10 anos e seguem um esquema de rotação comumente utilizado, soja-milho. Foram realizadas parcelas longas de aproximadamente 500 m de comprimento por 25 m de largura (largura de passada do aplicador

em taxas variáveis de N). Cada dose de N (0, 72, 144, 216, 288 e 360 kg N ha⁻¹) foi replicada 3 vezes e casualizada em cada área escolhida dentro da fazenda. Um total de 7 locais foram estudados nestes dois anos iniciais, identificados como AD1, AD2, AD3, PM1, PM2, PM3 e SD1. As leituras foram realizadas entre os estádios fenológicos V10 e V13, utilizando um sensor de três bandas (infravermelho próximo (NIR): 760 nm; vermelho próximo (Red Edge): 720 nm e vermelho (Red): 670 nm), marca Holland Scientific, modelo Crop Circle 430, adquirindo leituras contínuas na taxa de 1Hz. Foram realizadas leituras com clorofilômetro manual para aferições no teor de clorofila, marca Minolta, modelo SPAD 502, num total de 1500 leituras por cada dose de N por área. A produtividade foi mapeada utilizando colhedora equipada com sensores e monitores de produtividade associados a um GPS com correção diferencial. O algoritmo proposto neste trabalho utiliza um conceito simples e largamente utilizado e validado pela pesquisa nos EUA chamado índice de suficiência de nitrogênio (NSI) (SCHEPERS et al., 1992). Este conceito integra na leitura do sensor os efeitos do clima e solo para condições locais de uso, pois utiliza uma parcela referência dentro do talhão que é considerada não limitante em termos de N. O desenvolvimento deste primeiro protótipo algoritmo parte do pressuposto que a parcela referência representa bem a condição local do talhão. Deve se ressaltar que é difícil a localização desta parcela em local adequado devido a variabilidade espacial inerente de solos do Cerrado, porém já existem novos procedimentos propostos que consideram estas variações locais, mas que não será abordado neste trabalho. O NSI utilizado neste estudo é basicamente a divisão da leitura do sensor

(convertido para um índice de vegetação) por uma leitura em um local no talhão onde o nitrogênio não é considerado limitante (parcela referência). $NSI = IV$ na leitura em tempo real dividido pelo IV da parcela referência. Neste caso foi utilizado o índice de vegetação MTCI (*Meris Terrestrial Chlorophyll Index*), Dash e Curran (2004): $MTCI = (NIR-RedEdge)/(RedEdge-Red)$. As etapas gerais para a geração do algoritmo foram: i) determinação da dose de N onde a produtividade de milho foi maximizada (N_{max}) utilizando produtividade relativa (PR) (produtividade em cada dose de N dividida pela produtividade na maior dose onde foi considerada suficiente em termos de N (360 kg N ha⁻¹), ii) determinação da sensibilidade do sensor utilizando a relação entre o NSI e doses de N, podendo desta forma determinar a condição nutricional de N na planta, iii) por diferença da N_{max} determinada e a quantidade estimada de N na planta pelos sensores, foi determinada uma equação que calcula o dose de N necessária a ser aplicada em cobertura para maximizar a produtividade. O desenvolvimento deste algoritmo é baseado em adaptações do trabalho desenvolvido por Solari (2006).

3. Resultados e discussão

Em geral as produtividades de milho foram boas mesmo com doses moderadas de N, mostrando que o suprimento de N via matéria orgânica em solos com plantio direto e o residual da soja pode contribuir consideravelmente para o alcance de produtividades satisfatórias (Tabela 1). Em geral o teor de matéria orgânica destes solos estavam acima de 2% e demais nutrientes adequados (P e K em teores altos).

Tabela 1. Produtividade de milho obtidas em diversas áreas com experimentação em fazenda, utilizando diferentes doses de N em faixas.

Dose de N kg N ha ⁻¹	PM1_10	PM2_10	PM3_10	AD1_10	AD2_10	AD3_10	SD1_11
0	9691	9558	7905	10331	10400	9482	10952
72	10571	10558	8648	10580	10505	10269	10909
144	10125	10611	9582	10852	10200	10720	11907
216	10411	11870	10323	11181	10333	10713	13100
288	9611	10680	9988	11061	10000	10634	11134
360	11491	10729	9722	11119	11320	10415	12747

Normalizando a produtividade pela produtividade na maior dose de N (PR), foi possível calcular uma resposta média em 7 áreas. Ajustando uma equação polinomial de segundo grau, foi determinada a dose de N que maximiza a produtividade que nesse caso foi uma dose de 350 kg N ha⁻¹ (Figura 1). A correlação dos teores de clorofila medidas com o chlorofilômetro foram altas, assegurando que o sensor ativo de dossel utilizando o índice de vegetação MTCI foi adequado para detectar diferenças no teor de N nas folhas (Figura 1).

Baseado na resposta dos sensores à doses de N (Figura 2), foi possível determinar o teor relativo de N na planta dado o NSI calculado na área onde se pretende fazer a adubação de cobertura. Fazendo a diferença da dose de N que maximiza a produtividade de milho determinada (N_{max} = 350 kg N ha⁻¹) com o teor estimado de N na planta determinado (Figura 2), tem-se os algoritmos para determinação da dose de N em cobertura para o sensor ativo e também para o clorofilômetro (Figura 3).

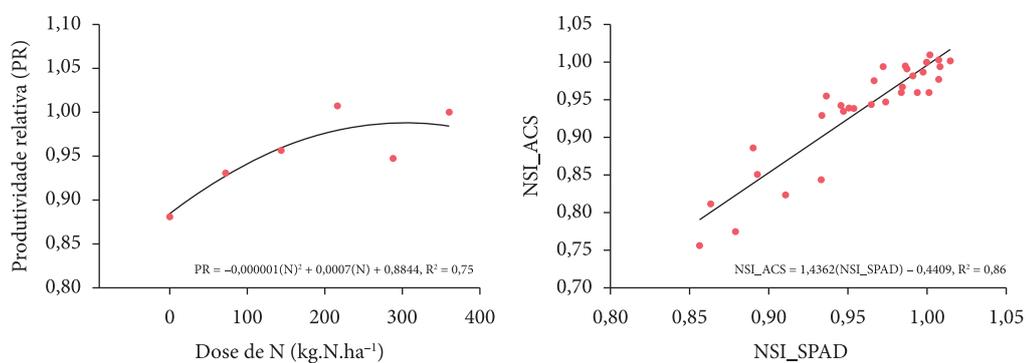


Figura 1. Produtividade relativa de grãos de milho (PR) em resposta a doses de N e correlação entre leituras do índice de suficiência do clorofilômetro (NSI_SPAD) e do sensor ativo (NSI_ACS).

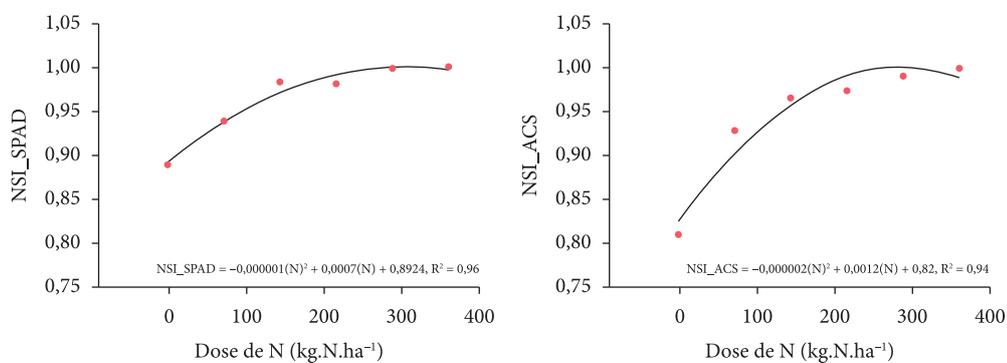


Figura 2. Relação de NSI_SPAD e NSI_ACS com doses de N.

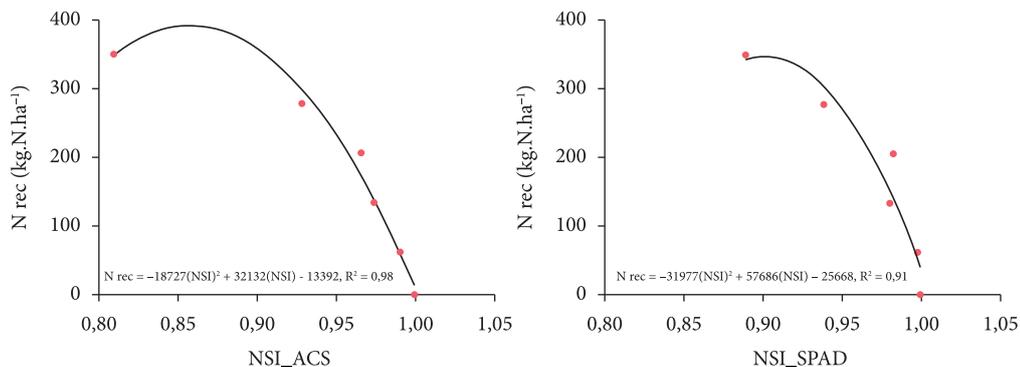


Figura 3. Dose de N recomendada em cobertura (N rec) dado o índice de suficiência de N para o clorofilômetro (NSI_SPAD) e para o sensor óptico ativo (NSI_ACS).

Novamente é importante lembrar que apesar da obtenção do índice de suficiência (NSI) ser semelhante para os dois sensores, onde se divide a leitura de cada sensor pela parcela referência (alta dose de N), cada sensor tem modos completamente diferentes (SPAD exige contato físico e ACS é um sensor ativo sem necessidade de contato com o alvo), portanto especial atenção deve ser dada na utilização destas equações. Certamente ajustes futuros serão necessários para cada condição, principalmente quando se tem uma dose muito alta de N requerida para maximização da produtividade (N_{max}) como foi encontrado neste estudo de 350 kg N ha⁻¹. Outro ponto importante é que uma dose mínima no plantio de 75 kg N ha⁻¹ deve ser realizada para que após a adubação de cobertura baseada em sensores a planta tenha condições de recuperação. Por outro lado, doses muito maiores que esta na base pode comprometer a habilidade dos sensores em detectar diferenças no dossel na época da aplicação (V10-VT).

4. Conclusões

Foram gerados nesta primeira etapa do projeto dois algoritmos que serão utilizados em fases posteriores de validação e comparação de diversas abordagens realizadas em adubação nitrogenada em tempo real no Cerrado. Além disso, foi apresentado um procedimento para geração de algoritmos com a utilização de sensores ativos, que pode ser adaptado e retrabalhado em cada condição específica.

Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo financiamento da pesquisa e ao Serviço de Pesquisa Agrícola Americano (ARS – USDA) pelo fornecimento de equipamentos

e pessoal. Sinceros agradecimentos ao engenheiro agrônomo Francisco Luçardo por acreditar que a Agricultura de Precisão aumenta a eficiência do sistema agrícola no Cerrado.

Referências

- DASH, J.; CURRAN, P. J. The MERIS terrestrial chlorophyll index. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, p. 5403-5413, 2004. <http://dx.doi.org/10.1080/0143116042000274015>
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y.; MERZLYAK, M. N. Use of green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p. 289-298, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; ROBERT, S.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, p. 76-87, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- MOLIN, J. P. Use of active optical sensors for crops in Brazil. *Better Crops*, v. 94, p. 18-20, 2010.
- RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V.; STONE, M. L.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; THOMASON, W. E.; LUKINA, E. V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*, v. 94, p. 815-820, 2002. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2002.0815>
- SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 23, p. 2173-2187, 1992. <http://dx.doi.org/10.1080/00103629209368733>
- SHIRATSUCHI, L. S.; FERGUSON, R. B.; ADAMCHUCK, V. I.; SHANAHAN, J. F.; SLATER, G. P. Integration of ultrasonic and active canopy sensors to estimate the in-season nitrogen content for corn. In: NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 2009, Des Moines. *Proceedings...* Brookings: PPI, 2009.
- SOLARI, F. *Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields*. 2006. 157 f. Tese (Doutorado)-University of Nebraska, Lincoln, 2006.

Mapeamento preliminar de zonas de manejo em sistema de produção milho-soja no Cerrado

Marina de Fátima Vilela^{1*}, Sandro Manuel Carmelino Hurtado^{2*},
Álvaro Vilela de Resende^{3*}, Edemar Joaquim Corazza^{4*},
Robélio Leandro Marchão^{1*}, Charles Martins de Oliveira^{1*},
Alexandre Moura Cintra Goulart^{1*}

¹ Pesquisador Embrapa Cerrados

² Bolsista CNPq, Embrapa Cerrados

³ Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo

⁴ Pesquisador Embrapa Informação Tecnológica

*e-mail: marina@cpac.embrapa.br; sandroelbat@gmail.com; alvaro@cpnms.embrapa.br;
edemar@sct.embrapa.br; robelio.leandro@cpac.embrapa.br; charles@cpac.embrapa.br;
goulart@cpac.embrapa.br

Resumo: A variabilidade espacial constitui a principal justificativa para o emprego da agricultura de precisão, conhecer e gerenciar corretamente essa variabilidade pode representar vantagem competitiva e ambiental. Baseado na existência de variabilidade espacial, este trabalho objetivou a definição e o mapeamento preliminar das zonas de manejo em sistema comercial de produção milho-soja no Cerrado, empregando uma abordagem integrada dos fatores que afetam a produtividade. O trabalho foi realizado em área de produção comercial de grãos localizada em Planaltina-GO. Foram coletados os dados de produtividade do milho (safra 2010/11) e de condutividade elétrica do solo em duas profundidades além de fotografias aéreas não convencionais tomadas no início da floração da cultura. A análise dos dados mostrou baixa correlação entre a produtividade de milho e a condutividade elétrica do solo. A coloração da cultura não apresentou relação direta com a produtividade e a condutividade elétrica do solo, o que pode indicar um erro no procedimento metodológico de aquisição das fotografias aéreas, sobretudo com relação à faixa do espectro eletromagnético empregada e a data de coleta das fotografias. Os dados coletados até o momento não permitiram a definição e o mapeamento de zonas de manejo na área, devendo-se ressaltar que os dados referem-se à primeira safra estudada em um sistema de sucessão milho-soja, sendo necessário, portanto, o acompanhamento e coleta de dados das culturas sucessoras.

Palavras-chave: condutividade elétrica do solo, fotografia aérea, produtividade, variabilidade espacial.

Preliminary mapping of management zones in the system of corn-soybean production in Brazilian Savannah

Abstract: The spatial variability is the main justification for the use of precision agriculture, the knowledge and properly manage this variability may represent a competitive advantage and environmental. This study aimed to define and preliminary mapping of the management zones in commercial corn-soybean production system, located in Brazilian Savannah. The study was conducted in Planaltina, State of Goiás, Brazil. Data on productivity of maize (crop 2010/11) and electrical conductivity of soil at two depths were collected as well as non-conventional aerial photographs taken at the beginning of flowering of culture. Data analysis showed low correlation between corn yield and soil electrical conductivity. The coloration of the culture showed no direct relationship with productivity and soil electrical conductivity, which may indicate a methodological error in the procedure for acquisition of aerial photographs, particularly with respect to the portion



of the electromagnetic spectrum used and the date of collection of photographs. The data collected in the first crop system studied did not allow the definition and mapping of management zones in the area, so the monitoring and data collection succeeding crops are necessary.

Keywords: *aerial photography, electrical conductivity of the soil, productivity, spatial variability.*

1. Introdução

O principal pressuposto que justifica o emprego da agricultura de precisão (AP) é a existência de variabilidade espacial nas áreas de produção, variabilidade esta definida em termos de produtividade e, ou, de fatores que a condicionam (MULLA; SCHEPERS, 1997; COELHO, 2003). Conhecer e gerenciar corretamente essa variabilidade pode representar vantagem competitiva e ambiental, como aumento da produtividade e racionalização no uso de insumos. Na pesquisa em AP, esforços têm sido direcionados para caracterizar a variabilidade espacial dos fatores de produção (COELHO, 2003; MACHADO; SILVA; BERNARDI, 2004; OLIVEIRA et al., 2005a; MACHADO et al., 2005; RESENDE et al., 2006) visando estabelecer procedimentos amostrais que garantam a representatividade das amostras georreferenciadas. Alguns desses trabalhos têm indicado a necessidade de grades amostrais densas, comumente mais de uma amostra composta por hectare, para que se possa identificar a variabilidade das áreas e caracterizar sua estrutura espacial. Isso significa coleta e avaliação de grande número de amostras, implicando em elevados custos, sobretudo para o Cerrado, onde normalmente o tamanho dos talhões de produção supera aos padrões observados em outras regiões do país e mesmo do exterior.

O manejo por talhões da propriedade (COELHO, 2003) e a identificação de zonas de manejo dentro das áreas de cultivo (MOLIN, 2002; ARAÚJO, 2004; LUCHIARI JUNIOR et al., 2004) vêm sendo propostos como estratégias potencialmente viáveis para a implementação da AP em escala comercial no Brasil. Critérios baseados em características topográficas da área, atributos do solo, mapas de produtividade, mapas de condutividade elétrica, histórico da área, além de critérios conjugados, podem ser utilizados para orientar a delimitação

de zonas de manejo e os locais para as amostragens de interesse.

Com o objetivo de auxiliar a delimitação de zonas de manejo diversos fatores que condicionam e, ou afetam a produtividade foram mapeados, como exemplo citam-se as zonas de infestações por doenças (LAMB; BROWN, 2001), por pragas (OLIVEIRA et al., 2005a,b), por plantas daninhas (VILELA et al., 2005; CHANG et al., 2004; KOGER et al., 2004) e o teor de nitrogênio nas folhas (LUCHIARI JUNIOR et al., 2004).

Baseado nas informações apresentadas, este trabalho tem por objetivo a definição e o mapeamento preliminar das zonas de manejo em sistema comercial de produção milho-soja no Cerrado, empregando uma abordagem integrada dos fatores que afetam a produtividade.

2. Material e métodos

O estudo foi realizado na safra 2010/11 em área de lavoura pertencente à Fazenda Lambary, localizada no município de Planaltina-GO. O trabalho foi conduzido em uma área de 45 ha, a qual compõe parte de um talhão de 310 ha cultivado com a sucessão milho-soja em sistema plantio direto. A área apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho e clima tipo Aw com presença de invernos secos e verões chuvosos, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1.500 mm com chuvas concentradas de outubro a março. O milho, híbrido simples Pioneer P3862H, foi semeado em 13 de novembro, recebendo uma adubação de semeadura igual a 350 kg.ha⁻¹ do formulado NPK 07-20-15+micros e uma adubação de cobertura de 115 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio (120 kg.ha⁻¹) e uréia (200 kg.ha⁻¹) aplicados na época da terceira e na sexta folha, respectivamente.

Foram coletados os dados de produtividade de grãos de milho e de condutividade elétrica do solo (CE),

e obtidas fotografias aéreas não convencionais da área em estudo. A produtividade de grãos foi obtida de forma espacializada, por meio de uma colhedora equipada com o monitor PF Advantage com sensor de umidade e fluxo de grãos e GPS (Teejet® e-dif), com precisão igual a 2 m e correção de sinal por algoritmo interno. Os dados de produtividade tiveram a sua umidade corrigida para 13%, sendo posteriormente filtrados (MENEGATTI; MOLIN, 2004). Os dados de CE foram obtidos na primeira semana de novembro por meio do sensor VERIS (VERIS TECHNOLOGIES, 2008), equipamento provido de discos para emissão e medida de leituras de CE nas profundidades de 0-0,3 m e 0-0,9 m. Os mapas de condutividade elétrica e de produtividade foram gerados com auxílio do software ArcView. As fotografias não convencionais foram obtidas no início da floração, empregando câmera digital embarcada em ultraleve a uma altura média de voo de 500 m. As fotografias compuseram um mosaico, que foi geometricamente corrigido empregando 68 pontos de controle terrestres e uma equação polinomial de terceiro grau, resultando um RMSE de 9,78 m. O mosaico devidamente corrigido foi classificado automaticamente em 2 classes conforme a coloração apresentada pela cultura na região visível do espectro eletromagnético. As correlações entre produtividade e condutividade elétrica foram efetuadas por meio da correlação de Pearson, com uso do programa STAT. Para cálculo das correlações considerou-se uma malha de 30 pontos uniformemente distribuídos na área.

Para cada ponto da malha calculou-se a média dos dados de produtividade e condutividade elétrica, considerando-se um raio de 15 m ao redor dos pontos.

Para verificar a relação da coloração da cultura do milho com a produtividade e a condutividade elétrica, efetuou-se o cruzamento dos dados destes planos informacionais considerando-se a malha de 30 pontos uniformemente distribuída na área.

3. Resultados e discussão

Os mapas de condutividade elétrica e de produtividade estão representados na Figura 1. A coloração da cultura está representada na Figura 2. A Tabela 1 resume os dados referentes à coloração da cultura, a produtividade e a condutividade elétrica em cada ponto da malha amostral e a relação entre estes.

Não se observou correlação significativa de Pearson entre produtividade e condutividade elétrica medidas na profundidade de 0-0,3 m ($r = 0,44^{ns}$) e de 0-0,9 m ($r = 0,52^{ns}$). A não existência de correlação significativa pode estar relacionada a fatores como: a) o teor de umidade presente no solo no momento das leituras de condutividade elétrica; b) a profundidade das leituras e a sua relação com a profundidade da camada arável em condições brasileiras; c) o tipo de solo. Estes fatores devem, portanto, ser considerados em análises posteriores.

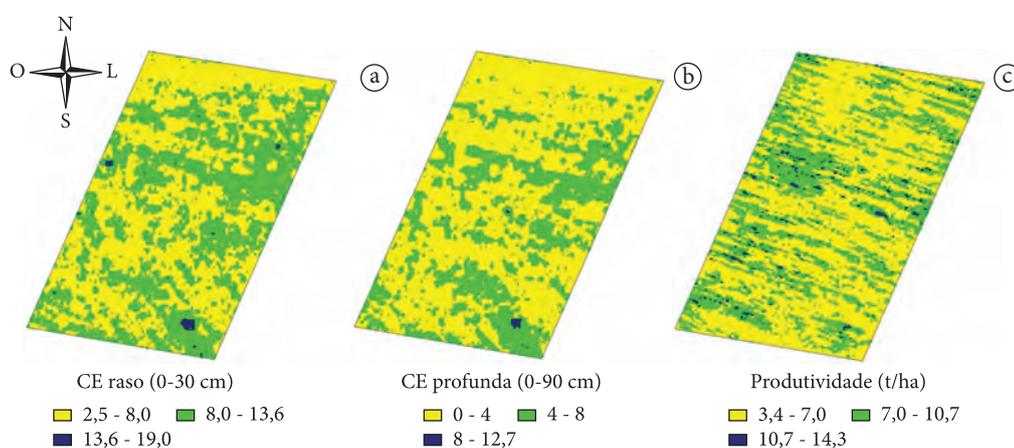


Figura 1. Mapas de condutividade elétrica aparente do solo nas faixas de 0-0,3 m (a) e de 0-0,9 m (b) e de produtividade de grãos de milho (c) gerados por meio do interpolador IDW.

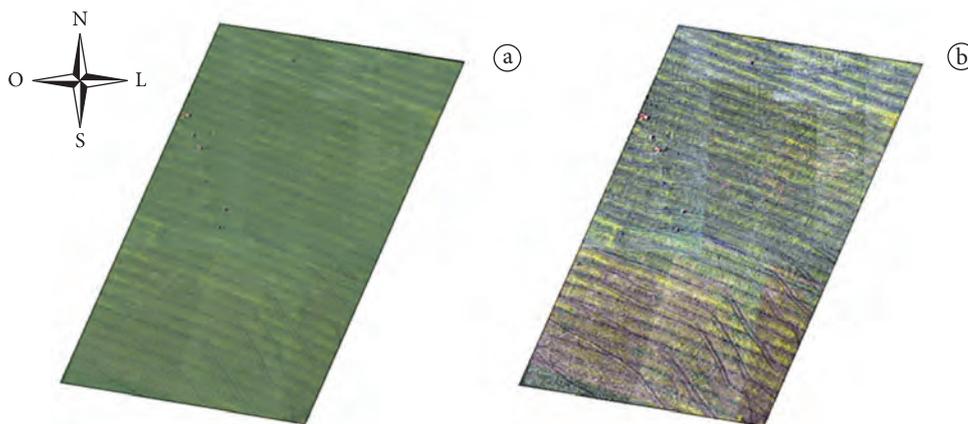


Figura 2. Mosaico aerofotogramétrico da área de estudo obtido na região visível do espectro eletromagnético (a) e Mosaico aerofotogramétrico da área de estudo submetido a contraste para evidenciar tons amarelados da cultura.

Tabela 1. Relação entre coloração da cultura no início da floração, produtividade de milho, safra 2010/11, e a condutividade elétrica do solo em Planaltina de Goiás - GO.

Classe de coloração	Produtividade (t/ha)			Condutividade elétrica (0-0,3 m)			Condutividade elétrica (0-0,9 m)		
	3,4-7,0	7,01-10,7	10,71-14,3	2,5-8,0	8,01-13,5	13,51-19,0	0-4,0	4,01-8,0	8,01-12,7
Verde	25%	20%	0	32,5%	12,5%	0	35%	7,5%	0
Amarela	37,5%	17,5%	0	32,5%	22,5%	0	35%	22,5%	0

Esperava-se que a coloração verde da cultura apresentasse uma relação direta com a produtividade, fato não corroborado pelos dados da Tabela 1, apesar da coloração amarelada ter apresentado uma ligeira relação com as baixas produtividades.

Os dados em respeito à coloração da cultura e sua relação com a produtividade e a condutividade elétrica podem indicar um erro metodológico na aquisição das fotografias aéreas, sobretudo com relação à faixa do espectro eletromagnético empregada. Outro fator que pode ter afetado os resultados refere-se à data de aquisição das fotografias aéreas, quando a cultura iniciava seu florescimento.

Os dados apresentados até o momento não permitem o mapeamento, mesmo que preliminar, de zonas de manejo. Deve-se, no entanto, ressaltar que os dados referem-se à primeira safra estudada em um sistema de sucessão milho-soja, sendo necessário o acompanhamento das culturas sucessoras.

Cabe ainda observar que foram coletadas amostras de solo e raiz para análise e identificação de nematóides e cujas amostras estão em processo

de análise. Os dados referentes à fertilidade dos solos serão somados aos dados já existentes e àqueles que serão coletados nas próximas safras.

4. Conclusões

Os dados coletados e analisados para a primeira safra do sistema de sucessão milho- soja não permitiram a definição e o mapeamento de zonas de manejo na área estudada.

A metodologia empregada para tomada de fotografias aéreas deve ser revista e posteriormente validada.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fazenda Lambary por possibilitar a realização do trabalho.

Referências

ARAÚJO, J. C. Determinação de zonas de manejo e estimativa da produtividade de culturas de grãos por meio de videografia aérea digital multispectral. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. 101 p.

- CHANG, J.; CLAY, S. A.; CLAY, D. E.; DALSTED, K. Detecting weed-free and weed-infested areas of a soybean field using near-infrared spectral data. **Weed Science**, v. 52, p. 642-648, 2004. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-03-074R1>
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópico sem Ciência do Solo**, v. 3, p. 249-290, 2003.
- KOGER, C. H.; SHAW, D. R.; REDDY, K. N.; BRUCE, L. M. Detection of pitted morning-glory (*Ipomea lacunosa*) with hyperspectral remote sensing. II. Effects of vegetation ground cover and reflectance properties. **Weed Science**, v. 52, p. 230-235, 2004. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-03-083R1>
- LAMB, D. W.; BROWN, R. B. Remote sensing and mapping of weeds in crops. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 78, n. 2, p. 117-125, 2001. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0630>
- LUCHIARI JUNIOR, A.; SILVA, A. D.; BUSCHINELLI, C. C. A.; HERMES, L. C. CARVALHO, J. R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. (Eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: CNPS, 2004. p.19-35.
- MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. In: MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. (Eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: CNPS, 2004. p. 515-129.
- MACHADO, T. M.; SHIRATSUCHI, L. S.; SÁ, M. A. C.; CORAZZA, E. J. Correlação entre índice de cone e produtividade de milho utilizando ferramentas da agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. CD-ROM.
- MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 126-134, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100019>
- MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.
- MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1997. p. 1-18.
- OLIVEIRA, C. M.; SHIRATSUCHI, L. S.; VIEIRA, A. L. N.; ABDALLA, R. P. Análise da distribuição espacial de corós na cultura da soja em plantio direto no Cerrado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005a. CD-ROM.
- OLIVEIRA, C. M.; VILELA, M. F. SHIRATSUCHI, L. S.; ABDALLA, R. P.; VIEIRA, A. L. N. Amostragem em grid e imagens aéreas: métodos para estudos da distribuição espacial de corós em soja sob plantio direto no Cerrado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005b. CD-ROM.
- RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORRÊA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2. 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Esalq/USP, 2006. CD-ROM.
- VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <http://www.veristech.com>. Acesso em: 17 set. 2011.
- VILELA, M. F.; FONTES, J. R. A.; SHIRATSUCHI, L. S. Mapeamento da distribuição espacial de plantas daninhas na cultura de soja por meio de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. CD-ROM.

Variabilidade do solo como indicador da oportunidade da agricultura de precisão em sistema de plantio direto**

Ronaldo P. de Oliveira^{1*}, Vinicius de M. Benites^{2*}

¹ Engenheiro Eletrônico, Dr. Agricultura de Precisão, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

*e-mail: ronaldo@cnpes.embrapa.br; vincius@cnpes.embrapa.br

**Fazenda Cruzeiro, Castelândia, GO, Unidade Piloto da Rede Brasileira de Agricultura de Precisão

Resumo: A caracterização da variabilidade espacial do solo é ferramenta de suporte aos processos decisórios em agricultura de precisão, principalmente nas fases iniciais de adoção. Entretanto questões pendentes envolvem acurácia na interpolação e complexidade na interpretação dos atributos mapeados, a eficiência e o custo da amostragem intensiva e a indisponibilidade de ferramentas de apoio aos processos de implementação do manejo de culturas por sítio-específico. Este trabalho utiliza dados de etapas preliminares de adoção em um talhão sob sistema de plantio direto. O objetivo é caracterizar a variabilidade espacial do solo por técnicas quantitativas, avaliando o potencial das informações no apoio as decisões de um sistema produtivo privado. Os resultados geoestatísticos demonstram forte estrutura espacial da variabilidade dos atributos de solo, favorecendo a adoção do manejo diferenciado na escala do talhão. A tecnologia de monitoramento da condutividade elétrica do solo mostrou ser útil na interpretação da variação espacial do talhão e no suporte a esquemas otimizados de amostragem do solo. Métodos de avaliação da oportunidade de adoção apresentaram índices de variabilidade espacial sugerindo a oportuna adoção do manejo por sítio-específico. Entretanto, dificuldades de sistematização e interpretação das informações geradas ratificam a carência de métodos e ferramentas de apoio ao manejo eficiente das culturas.

Palavras-chave: manejo de culturas por sítio-específico, geoestatística, variabilidade espacial, índice de oportunidade, condutividade elétrica aparente do solo.

Soil variability to assessing the opportunity for precision agriculture in no-till systems

Abstract: Characterization of soil spatial variability is a supporting tool to precision agriculture decision making, in particular at initial adoption phases. However, questions are still involving data accuracy and interpolation complexity of mapped attributes, intensive sampling efficiency and cost, and lack of supporting tools to implementation of site-specific crop management. This work uses data from preliminary adoption stages in a paddock under no-till production system. The objective is to quantify soil related spatial variability assessing the potential of available information to support private production system decision making. Geostatistical analyses have shown strong structure for soil spatial variations, justifying the site-specific adoption. Intensive monitoring of apparent soil electrical conductivity has proved to be useful in understanding within-field variation and supporting soil sampling designs. Methods to evaluate the adoption opportunity have shown variability indices that suggest the opportunity of site-specific crop management. However, difficulties in systematizing and interpreting available information reinforce the lack of useful methods and tools to support an efficient crop management.

Keywords: site-specific crop management, geostatistics, spatial variability, opportunity index, apparent soil electrical conductivity.

1. Introdução

Considerando a caracterização quantitativa da variabilidade do solo como ferramenta de suporte ao processo de adoção da Agricultura de Precisão (AP), este trabalho apresenta resultados das etapas preliminares no uso das tecnologias de AP em um talhão de 35 ha em sistema de rotação de culturas sob plantio direto na região do Cerrado. O objetivo é caracterizar a variabilidade espacial do solo usando técnicas quantitativas para avaliar o potencial de uso das informações geradas como ferramentas de apoio a decisão.

Os resultados geoestatísticos demonstram uma forte estrutura na variabilidade espacial dos atributos de solo, favorecendo a adoção do Manejo de Culturas por Sítio-Específico (MCSE). Os parâmetros obtidos se correlacionaram a valores típicos da literatura e atenderam a dois dos três métodos utilizados na avaliação da oportunidade do manejo diferenciado na escala do talhão. A tecnologia de monitoramento intensivo da Condutividade Elétrica aparente do Solo (CE_a) mostrou ser útil nas interpretações e de uso potencial na elaboração ou refinamento do esquema de amostragem do solo. Para três modelos de adoção do MCSE utilizados, dois indicaram uma estrutura de variação dos atributos de solo que é oportuna para a adoção da AP. O índice de variabilidade espacial da CE_a sugere a oportunidade de adoção. Entretanto, dificuldades na sistematização e interpretação das informações ratificam a falta de métodos e ferramentas efetivas no apoio ao manejo eficiente, sendo eficaz e diferenciado no espaço.

2. Material e métodos

O talhão em estudo (35 ha) está localizado no município de Castelândia, sudoeste goiano, numa área comercial de produção de grãos em sistema de plantio direto com a rotação das culturas de soja, milho e sorgo em região de Cerrado. O solo predominante é um Latossolo Vermelho distroférrico desenvolvido sobre material basáltico da formação Serra Geral, com altitude média de

455 m. As etapas de adoção da AP na Fazenda Cruzeiro envolvem duas tecnologias voltadas ao apoio dos processos gerenciais do MCSE. Estas tecnologias geram dados em diferentes densidades amostrais, sendo: a) a amostragem de solos por grade regular em malha de uma amostra por hectare, com 35 observações (Figura 1a); e b) o monitoramento intensivo das medidas de CE_a , com 7.480 observações (Figura 1b). Amostras por grade foram coletas durante o inverno de 2009 e 2010, após a colheita da safrinha, na profundidade de 0 a 20 cm, com uso de um amostrador de rosca motorizado de uma polegada; sendo cada amostra formada por 10 subamostras tomadas em um raio de 20 m a partir dos pontos da malha georeferenciada. As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios de solo da Universidade de Rio Verde. O monitoramento georreferenciado das medidas de CE_a foi realizado em 2010 utilizando a tecnologia Veris 3100 em rastreamento contínuo. Transformações de coordenadas e das funções de distribuição estatística foram realizadas para garantir o posicionamento e a normalidade da distribuição dos dados antes da variografia. O pacote geoestatístico Vesper (WHELAN et al., 2001) foi utilizado nos variogramas e krigagem dos mapas de atributos relevantes a análise da oportunidade. A krigagem por blocos de 10 m e raio de busca proporcional ao maior intervalo entre os pares de observações (lag) gerou uma grade regular do valor estimado e do erro associado em intervalos de 5 m.

Para determinação da oportunidade de adoção, os resultados foram confrontados com condições de contorno sugeridas nos fluxos decisórios do MCSE. Uma vez ajustadas, as informações geradas foram utilizadas em três modelos de análise da oportunidade de adoção; a citar: Cambardella et al. (1994); McBratney e Pringle (1999) e Oliveira et al. (2007).

3. Resultados e discussão

Os resultados das análises geoestatísticas de atributos de solos, diretamente relacionados

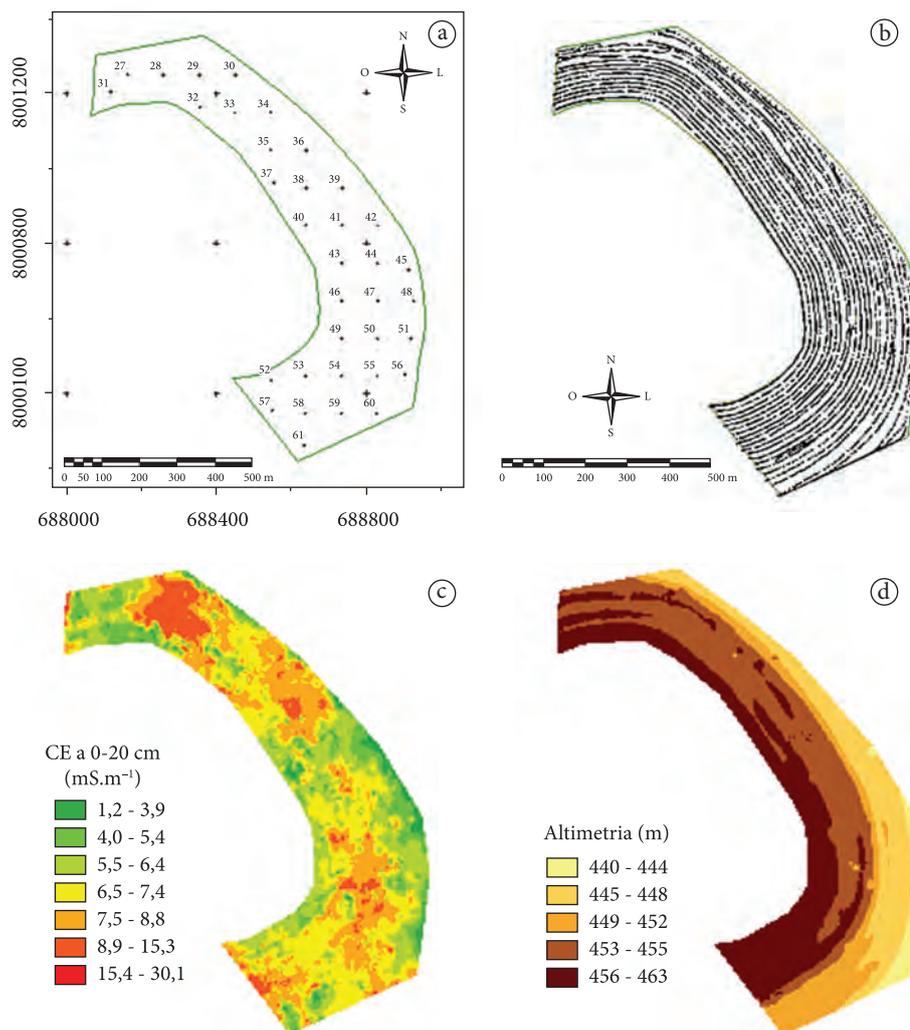


Figura 1. Figura ilustrando as densidades amostrais das a diferentes tecnologias de MCSE: a) grade regular e b) monitoramento da CE_a ; e os mapas c) da CE_a e d) de altimetria.

com os modelos utilizados ou indiretamente relacionados com medidas de CE_a (Tabela 1), mostram parâmetros dentro de seus intervalos típicos, apesar de uma variografia sugerindo a não-estacionariedade na variação dos teores de argila, potássio, fósforo e matéria orgânica. Neste sentido, a inexistência do efeito pepita e o difícil ajuste visual destes atributos foram observados. Outro aspecto pouco comum foi o melhor ajuste do modelo esférico na maioria dos atributos, em contraste ao usual ajuste exponencial citado na literatura (CAMBARDELLA et al., 1994; McBRATNEY; PRINGLE, 1999). A interpolação por krigagem foi facilitada pela interface semi-automática do aplicativo Vesper, capaz de exportar

arquivos ArcInfo ASCII Raster para fins de análise espacial em ambiente SIG. Mapas de CE_a e altimetria, interpolados a partir do monitoramento intensivo com a tecnologia Veris, estão ilustrados, respectivamente, nas Figuras 1c e 1d. Mapas de atributos interpolados a partir da grade regular são apresentados nas Figuras 2 e 3, ilustrando, respectivamente, a boa estrutura espacial da variabilidade dos atributos correlacionados com medidas de CE_a e a variabilidade espaço-temporal de atributos da fertilidade do solo considerados potenciais indicadores da oportunidade para o MCSE.

Parâmetros da variografia responderam as condições de análise dos métodos de quantificação

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do semivariograma para atributos de solo coletados em grade amostral de um ponto por hectare e condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) obtida por monitoramento intensivo por contato em sistema de plantio direto.

Atributo do solo	Ano	Modelo de ajuste	C0*	C1**	a1***	Distância de correlação (m)
Argila	2009	Esférico	0,0	24,38	119,8	118
Areia	2009	Duplo exponencial	0,0001	15,25	51,0	150
pH	2010	Esférico	0,021	0,01	536,4	530
Potássio	2009	Esférico	0,0	5625,6	286,7	280
	2010	Duplo esférico	0,0	8174,9	352,8	350
Fósforo	2009	Esférico	0,274	7,095	183,5	180
	2010	Esférico	11,46	63,67	180,8	180
Ca	2009	Esférico	0,301	0,419	294,0	235
	2010	Esférico	0,173	0,554	339,0	335
Mg	2009	Esférico	0,007	0,012	297,0	295
	2010	Esférico	0,0006	0,076	212,3	200
M.O.	2009	Esférico	4,522	34,2	199,4	195
CE_a	2010	Exponencial	4,948	1,832	62,5	187

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a1 = alcance.

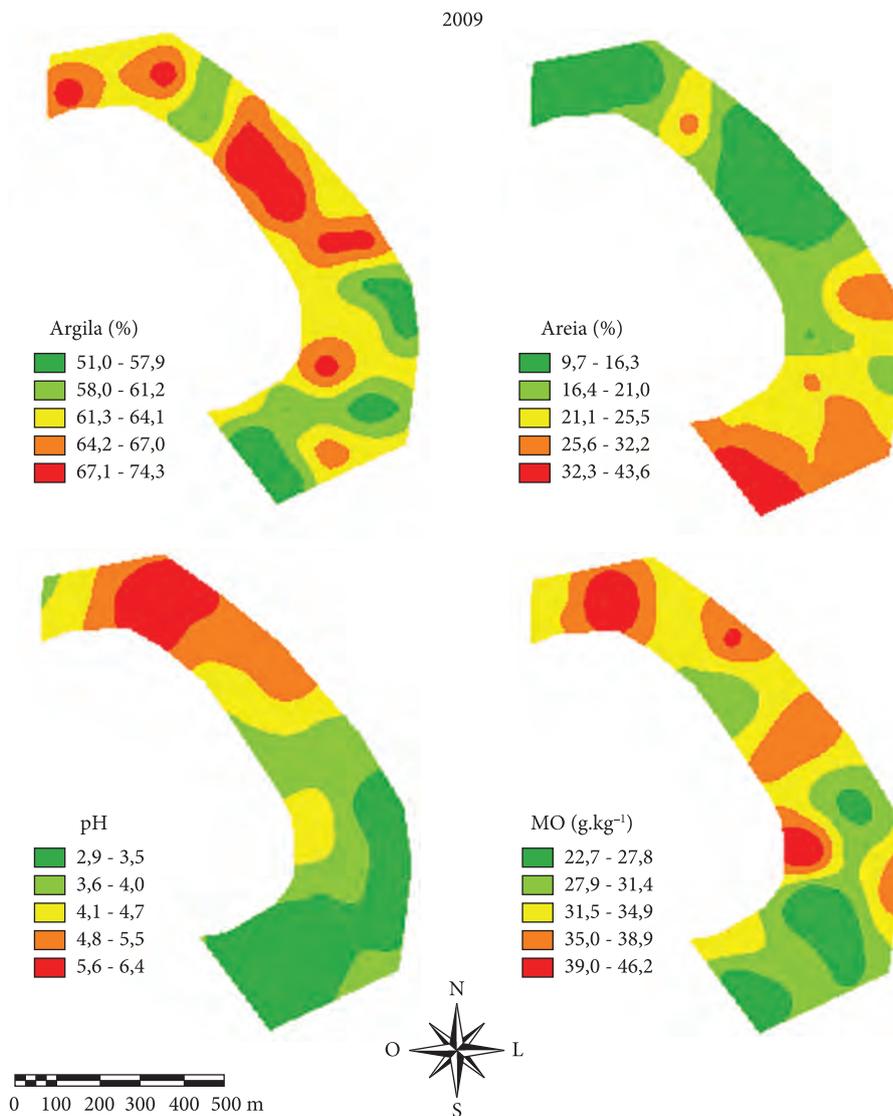


Figura 2. Mapas interpolados por krigagem, a partir da grade regular, indicando boa estrutura da variabilidade espacial de atributos correlacionados com a CE_a .

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros da variografia para atributos de solo utilizados no desenvolvimento de métodos de quantificação da variabilidade espacial utilizados como métricas da oportunidade de adoção do manejo por sítio-específico.

Atributo do solo	Ano	Parâmetros médios e proporcionais ¹			Índice de Cambardella ²		S_i ³	
		Maior C1**	Menor C0* ou Maior a1***	Oportuno MCSE?	C0/C0 + C1 (%)	Dependência espacial	$S_i = \sqrt{M_v \cdot S_v}$	Oportuno MCSE?
Argila	2009	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
Areia	2009	Não	Sim	Não	0	Forte	-	-
pH	2010	Não	Sim	Não	66	Média	-	-
Potássio	2009	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
	2010	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
Fósforo	2009	Sim	Sim	Sim	4	Forte	-	-
	2010	Sim	Sim	Sim	15	Forte	-	-
Ca	2009	-	-	-	42	Média	-	-
	2010	-	-	-	24	Forte	-	-
Mg	2009	-	-	-	38	Média	-	-
	2010	-	-	-	1	Forte	-	-
M.O.	2009	-	-	-	12	Forte	-	-
CE _a	2010	-	-	-	71	Média	5,8	Sim

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a1 = alcance. ¹(McBRATNEY; PRINGLE, 1999); ²(CAMPARDELLA et al., 1994); ³(OLIVEIRA et al., 2007). (-) Indica que a análise não se aplica ao atributo; seja pela inexistência de variogramas médios ou proporcionais de referência, ou pelo limitado número de amostras que impossibilita o uso do S_i .

da variabilidade e dos modelos decisórios considerados (Tabela 2), sugerindo uma estrutura espacial favorável ao manejo diferenciado devido ao tamanho e a distribuição de áreas homogêneas no talhão; potenciais zonas de manejo. Índices positivos foram obtidos para os modelos propostos em Cambardella et al. (1994) e Oliveira et al. (2007), sugerindo a oportunidade de adoção. Entretanto, modelo em McBratney e Pringle (1999) mostrou-se menos conclusivo, pois os parâmetros de areia, pH e potássio ficaram próximos aos limiares sugeridos, não ficando clara a rigidez para limiares obtidos fora do contexto do plantio direto no Cerrado. Somente os parâmetros de argila e fósforo ficaram bem definidos para as duas condições de contorno consideradas. Dados de CE_a mostraram-se complementares na quantificação da variabilidade por considerar métricas da magnitude e da estrutura espacial da

variação, além da potencial aplicação no desenho amostral para a coleta de solo.

4. Conclusões

As dificuldades na variografia dos atributos coletados por grade regular pode ser relacionada ao limitado número de amostras, com distribuição regular que pouco corresponde as variações do solo e influencia diretamente os valores interpolados. Neste sentido, as informações de CE_a foram decisivas nas interpretações, indicando a relevância do cálculo de S_i nos processos decisórios de adoção da AP.

A complexidade da análise da oportunidade de adoção ratifica a necessidade do desenvolvimento de métodos eficientes no apoio a decisão nos processos de MCSE.

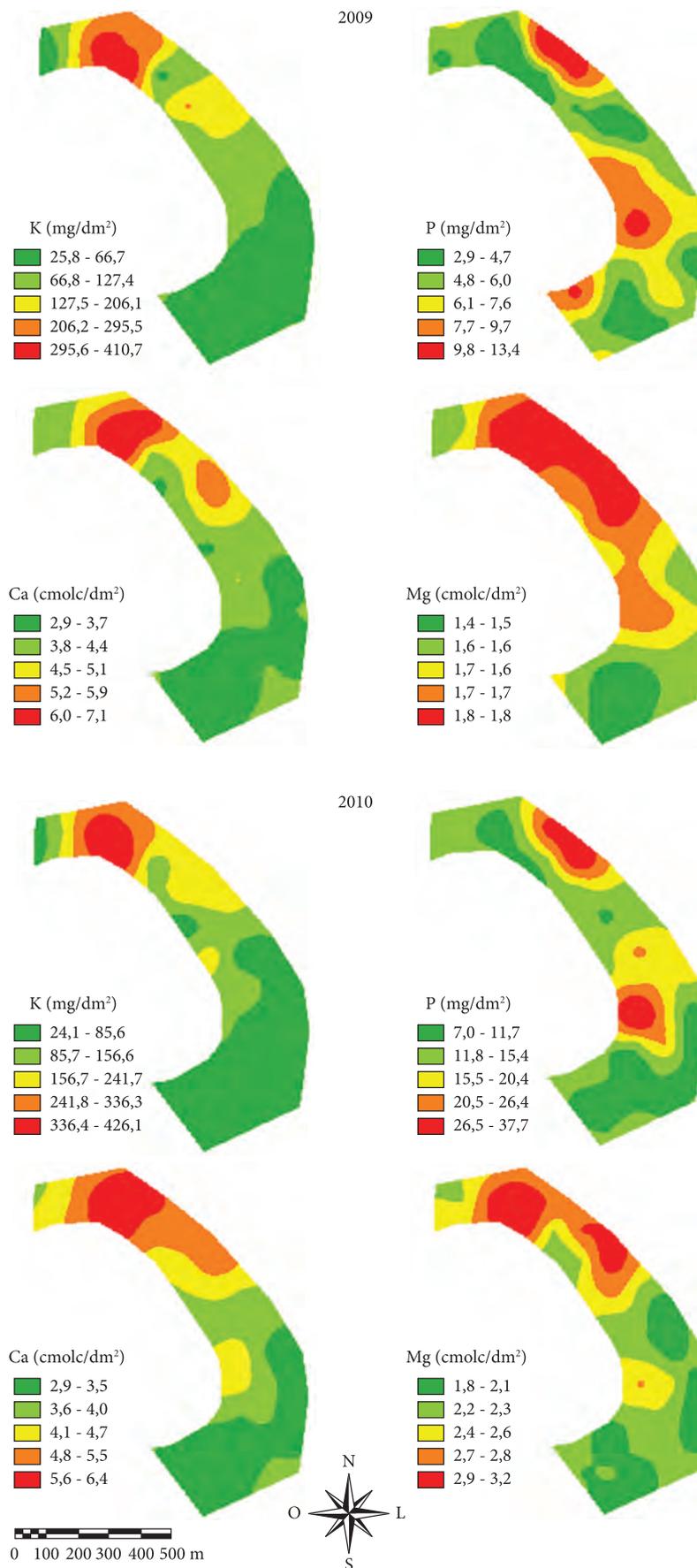


Figura 3. Mapas interpolados por krigagem, a partir da grade regular, ilustrando a variabilidade espaço-temporal de atributos indicadores da oportunidade para o MCSE.

Referências

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

OLIVEIRA, R. P.; WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A.; TAYLOR, J. Yield variability as an index supporting management decisions: YIELDex. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 6., 2007, Skiathos. **Proceedings...** Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2007. p. 281-288.

MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009995404447>

WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B. Vesper - Spatial Prediction Software for Precision Agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 3., 2001, Montpellier, France. **Proceedings...** Montpellier, 2001. p. 139-144.

AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA CULTURAS PERENES E SEMI-PERENES



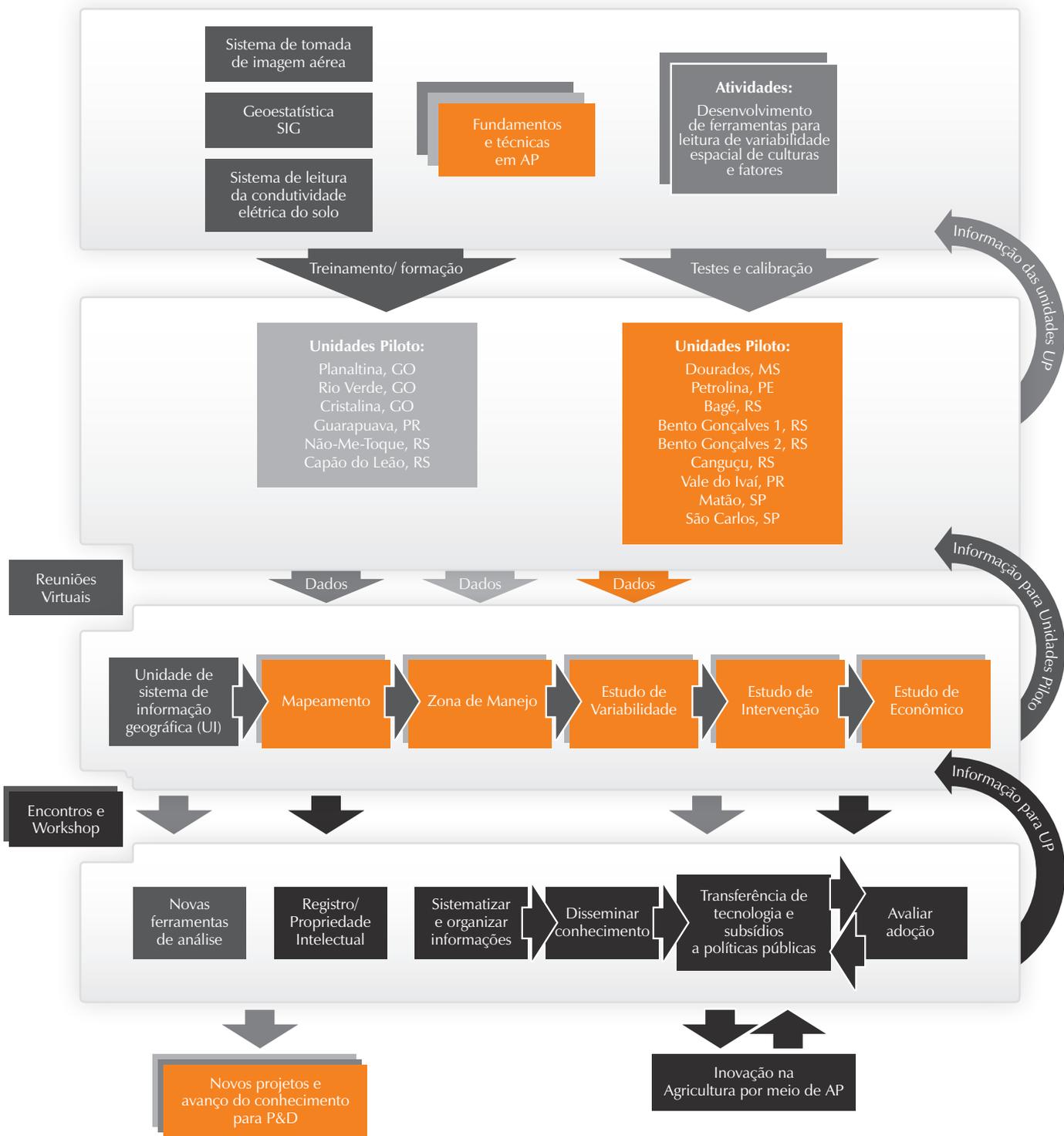
A avaliação do uso da AP em culturas perenes e semi-perenes envolve a participação interativa de várias instituições de pesquisa (unidades da Embrapa - Semiárido, Clima Temperado, Agropecuária Oeste, Pecuária Sudeste, Pecuária Sul, Instrumentação, Uva e Vinho - e IAC), universidades (UFPEL/FAEM, UFRGS, FCA/UNESP) e parceiros do setor produtivo agrícola, por meio da instalação de unidades pilotos de pesquisa para a análise do uso de procedimentos e ferramentas inerentes à AP em cultivos de videira, macieira, pessegueiro, citrus, espécies florestais, cana de açúcar e pastagem.

A análise da variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e da planta deverá ser utilizada na definição de zonas homogêneas, para um manejo mais eficiente dos sistemas de produção, quanto ao uso de espécies vegetais, água, solo, fertilizantes e defensivos agrícolas.

Os resultados já alcançados apresentam-se promissores meios para a realização do manejo específico quanto à variação no espaço e no tempo das características do meio, da planta, e do produto agrícola obtido, nos diversos sistemas de produção avaliados.

Nas unidades pilotos presentes em área de cultivo comercial, o setor agrícola (produtor rural) já interage com o sistema de manejo proposto com base em conceitos de agricultura de precisão, por meio do fornecimento, disseminação e transferência destas ferramentas e procedimentos utilizados em AP para gerenciamento de informações do campo.





Legenda:

- Organização da Rede
- Ferramentas para Agricultura de Precisão
- Agricultura de Precisão para Culturas Anuais
- Agricultura de Precisão para Culturas Perenes
- Inovação em Agricultura de Precisão

Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas perenes e semi-perenes

Luís Henrique Bassoi¹, Naylor Bastiani Perez²

¹ Pesquisador, Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE, Brasil

² Pesquisador, Embrapa Pecuária Sul, BR 153, Km 603, CP 242, CEP 96401-970, Bagé, RS, Brasil

*e-mail: lhbassoi@cpatsa.embrapa.br; naylor@cppsul.embrapa.br

Resumo: O Projeto Componente 4 da Rede de Agricultura de Precisão, intitulado “Caracterização, manejo e monitoramento de atributos do solo e da planta em sistemas de produção de plantas perenes e semi-perenes” constitui-se de 7 planos de ação que contam com a participação interativa de várias unidades da Embrapa, instituições de pesquisa, universidades e parceiros da setor produtivo agrícola. A estratégia de trabalho baseia-se na implantação de unidades pilotos (UPs) de pesquisa em agricultura de precisão em diferentes regiões do Brasil, onde deverão ser analisadas diversas possibilidades de uso de procedimentos e ferramentas inerentes à agricultura de precisão (AP) em cultivos de videira, macieira, pessegueiro, citrus, espécies florestais, cana de açúcar e pastagem. A análise da variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e da planta deverá ser utilizada na definição de zonas homogêneas, para um manejo mais eficiente dos sistemas de produção, quanto ao uso de espécies vegetais, água, solo, fertilizantes e defensivos agrícolas. Pretende-se também auxiliar o produtor quanto ao gerenciamento das informações do campo por meio de ferramentas e procedimentos utilizados em AP. Ainda, haverá a incorporação de profissionais à prática de AP, bem como a realização de pesquisas em sistemas de produção não abordados anteriormente quanto à AP no Brasil. Os impactos potenciais são o fornecimento, disseminação e transferência de procedimentos e ferramentas analíticas para adoção da agricultura de precisão em sistemas de produção de espécies perenes e semi-perenes, sendo que muitos deles poderão ser diretamente aplicados ou adaptados para outros sistemas de produção de culturas não contemplados nesse projeto componente.

Palavras-chave: agricultura de precisão, variabilidade espacial, variabilidade temporal, geostatística, zona homogênea, manejo específico.

General evaluation, results, and perspectives of the precision agriculture use in perennial and semi-perennial crops

Abstract: The Component Project 4 “Characterization, monitoring and management of soil and plant attributes in perennial and semi-perennial cropping systems”, of the Embrapa’s Precision Agriculture Network, consists of seven action plans which rely on the interactive participation of several units of Embrapa, research institutions, universities and Brazilian agricultural production sector. The work strategy is based on the implementation of pilot units of precision agriculture (PA) research in different regions of Brazil, where the possibilities about the use of procedures and tools related to the precision agriculture concept will be analyzed in vine, peach, apple, sugar cane, citrus, forest specie plantations and pasture. The analysis of spatial and temporal stability of soil and plant attributes will be used on the homogeneous zone delimitation, towards a more efficient management on cropping systems, related to the use of vegetable species, water, soil, fertilizers and chemicals. Also, it has been planned to help grower regarding field data handling and interpretation by using PA tools and procedures. Moreover, new professionals will be introduced to PA, as well as the performing of PA research on cropping systems where PA was not be addressed before in Brazil. The potential impacts are the supply, dissemination and transfer of analytical procedures and tools to PA adoption in perennial and semi-perennial crops, with later direct use or adaptation in other cropping systems not covered by this project.

Keywords: precision agriculture, spatial variability, temporal stability, geostatistics, homogeneous zone, site-specific management.



1. Introdução

Para o presente projeto, a AP é definida como postura gerencial que leva em conta a variabilidade da cultura vegetal na busca de maximizar o retorno econômico e minimizar o efeito ao meio ambiente. Metodologias e ferramentas de AP são instrumentos que apóiam o processo gerencial a tomar decisões e a executar as prescrições com menor erro possível. A definição abrange todas as atividades da agricultura, desde que busque por meio de gestão o retorno econômico e ambiental tendo como base conceitual o manejo que tome proveito das características e potencialidades do grupo, subgrupo ou indivíduo dentro da cultura. Dessa forma, o Projeto Componente 4 da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa tem como objetivo geral fornecer, disseminar e transferir informações sobre procedimentos e ferramentas analíticas para adoção da agricultura de precisão, para aumento da sustentabilidade de diversos sistemas de produção agrícolas de espécies perenes e semi-perenes; aumentar a capacidade de profissionais da Embrapa, de instituições parceiras e do produtor agrícola quanto ao uso da agricultura de precisão; e concretizar a formação de uma rede de pesquisa, desenvolvimento e inovação em agricultura de precisão no Brasil.

2. Material e métodos

O Projeto Componente 4 será estruturado em rede, com ações articuladas e envolvimento de unidades da Embrapa, instituições de pesquisa, universidades e parceiros do setor produtivo agrícola. Até o momento foram definidas 10 unidades pilotos (UPs) de agricultura de precisão para as culturas da videira, macieira, pessegueiro, Pinus, citrus, cana de açúcar e pastagem em diversas regiões do País. Maiores detalhes podem ser vistos na homepage da rede em <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>. Em cada UP estão sendo realizadas ações para monitoramento, amostragens, diagnóstico e intervenção na forma de manejo sítio-específico de fatores de produção.

O mapeamento da produtividade das culturas, do teor foliar de nutrientes, da condutividade elétrica do solo, do teor de nutrientes no solo, estão sendo realizados por meio de amostragens georeferenciadas

e com auxílio de fotografias aéreas e sensores. Tais sensores estão sendo avaliados, calibrados e validados. As informações georreferenciadas são tratadas por meio de sistemas de informações geográficas (SIG) e geoestatística para a geração de mapas de diagnósticos, com base em zonas homogêneas de determinado atributo, e que serão utilizados para a intervenção sítio-específica.

3. Resultados e discussão

O Projeto Componente 4 já apresenta resultados iniciais, sobre uso de mapas de zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N e clorofila, número de cachos por planta, condutividade elétrica do solo, e nutrientes presentes no solo em unidades pilotos de videira; variabilidade espacial do microclima e do solo em pomar de pêssego; utilização de SIG para o planejamento de uso sustentável em sistema de produção de maçã; definição de valores de referências de sistema integrado de diagnose e recomendação em pinus; variabilidade espacial de atributos do solo e da planta em áreas com pastagens e cana de açúcar, uso de rede sensores sem fio, e medidas de índice de vegetação por diferença normalizada por imagens aéreas e sensores portáteis. Tais resultados já apresentam-se promissores meios para a realização do manejo específico quanto à variação no espaço das características do meio, da planta, e do produto agrícola obtido, em diversos sistemas de produção de culturas perenes e semi-perenes. Nas unidades pilotos presentes em área de cultivo comercial, o setor agrícola (produtor rural) já interage com o sistema de manejo proposto com base em conceitos de agricultura de precisão.

4. Conclusões

Os primeiros resultados dos trabalhos em andamento do Projeto Componente 4 foram obtidos, havendo um considerável aumento de massa crítica de pesquisadores e produtores rurais quanto à adoção da agricultura de precisão como um meio para o gerenciamento do sistema de produção, levando-se em conta a variabilidade de diversos de seus aspectos. Há expectativa de que até a finalização do projeto em 2013 o envolvimento do setor agrícola, por meio da adoção da agricultura de precisão, seja maior, devido aos bons resultados iniciais obtidos.

Análise espacial da temperatura e umidade relativa do ar em um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS**

Viviane Santos Silva Terra^{1*}, Carlos Reisser Júnior^{2*}, Luís Carlos Timm^{3*}, Flávio Luiz Carpena Carvalho², José Francisco Martins Pereira^{2*}

¹ Pós-Graduada em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário, s/n, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil

² Pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, BR-392, Pelotas, RS, Brasil

³ Bolsista de Produtividade do CNPq, Professor do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário, s/n, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil

*e-mail: vssterra@yahoo.com.br; reisser@cpact.embrapa.br; lcartimm@ufpel.edu.br; flavio.carvalho@cpact.embrapa.br; jose.pereira@cpact.embrapa.br

**Parte da tese de doutorado do primeiro autor

Resumo: Os elementos do tempo e clima afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas sobre diferentes formas e nas diversas fases do seu ciclo, podendo ocasionar prejuízo na produção de uma determinada cultura. Dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar têm grande importância no clima de uma região, interferindo significativamente no rendimento das culturas. O estudo dessas variáveis torna-se relevante no planejamento das atividades agrícolas, principalmente as relacionadas ao consumo de água das plantas já que temperatura e umidade relativa do ar são importantes componentes da evapotranspiração potencial. O trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial da temperatura do ar e umidade relativa do ar dentro de um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS, utilizando a técnica de geoestatística. Os dados foram obtidos através de duas estações meteorológicas, automáticas, uma fixa localizada próxima ao pomar e outra acoplada a um trator. As observações foram realizadas no dia 10 de agosto de 2010, e em dois horários às 7 e às 13 h. As variáveis climáticas apresentaram dependência espacial maior que 75%. O conhecimento da distribuição espacial da temperatura e da umidade relativa do ar dentro de um pomar é importante para a realização do planejamento e dimensionamento de um sistema de irrigação, visando à maximização da produção.

Palavras-chave: geoestatística, variável climática, krigagem, variabilidade temporal.

Spatial analysis of temperature and relative humidity of air in a peach orchard in the city of Morro Redondo-RS

Abstract: The elements of weather and climate directly affect the growth and development of plants on different forms at different stages of your cycle and can cause damage to the production of a particular culture. Data on air temperature and relative humidity are of great importance in the climate of a region, significant effects on crop yields. The study of these variables becomes relevant in the planning of agricultural activities, especially those related to water consumption of plants as temperature and relative humidity are important components of potential evapotranspiration. The work aimed to study the temporal variability of air temperature and relative humidity in a peach orchard in the town of Morro Redondo-RS, using the technique of geostatistics. Data were obtained from two weather stations, automatic, a flat located next to the orchard and the other attached to a



tractor. The observations were made on 10 August 2010, and two times at 7:00 AM and 1:00 PM. The time dependence of climate variables showed greater than 75%. Knowledge of the temporal distribution of temperature and relative humidity within an orchard is important for the achievement of planning and design of an irrigation system, aimed at maximizing production.

Keywords: geostatistics, climatic, kriging, temporal variability.

1. Introdução

Ao passar de cada ano, em diferentes regiões do mundo, as características do clima não se apresentam da mesma forma. Invernos mais quentes, ainda com fortes incidências de eventos extremos de frio, assim como, períodos de estiagem mais prolongados são alguns exemplos de alterações climáticas que tem causado grandes impactos à sociedade (CAMARGO et al., 2006). Tais eventos vêm sendo, motivo de grandes preocupações para pesquisadores, na última década, principalmente no que diz respeito à agricultura e suas consequências para a humanidade. Os elementos do tempo e clima afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas sobre diferentes formas e nas diversas fases do ciclo da planta, podendo ocasionar prejuízo na produção de uma determinada cultura.

Dados de temperatura e umidade relativa do ar têm grande importância no clima de uma região, interferindo no rendimento das culturas. Estas variáveis do clima estão muito relacionadas ao consumo de água pelas plantas, visto que são parte influente no cálculo da evapotranspiração potencial de determinada região. Além da relação com o consumo de água a temperatura também influi no crescimento e desenvolvimento e a umidade relativa do ar tem relação direta com a incidência de doenças e por consequência na produtividade.

No Rio Grande do Sul, a temperatura do ar foi objeto de estudos de identificação de regiões homogêneas (DINIZ et al., 2003). Normalmente a identificação de regiões homogêneas são realizadas em grandes áreas e não dentro de propriedades agrícolas, onde seriam muito importantes para se analisar as variabilidade espacial da produtividade das culturas e dos fatores a ela relacionados. Por isso, a utilização de modelos matemáticos

e estatísticos tem explicado o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza, em particular na agricultura. Dentre as técnicas estatísticas utilizadas para análise e interpretação de dados climáticos, encontra-se a geoestatística, que tem como principal característica a análise da distribuição temporal e/ou espacial entre as observações, determinado, por meio do variograma, à distância ou período de tempo de dependência entre elas.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espacial da temperatura e umidade relativa do ar, em um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS, utilizando a geoestatística.

2. Material e métodos

O estudo foi realizado em uma propriedade rural, localizada no município de Morro Redondo-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é “Cfa”, ou seja, temperado úmido com verões quentes. A região possui temperatura e precipitação média anual de 18 °C e 1509,2 mm, respectivamente, apresentando uma umidade relativa média do ar de 78,8%. O trabalho foi realizado em um pomar de pessegueiro cultivar Esmeralda, com 4 anos de idade, com um total de 1450 plantas, divididas em 18 linhas, espaçamento entre plantas de aproximadamente 1,7 m e entre linhas de 5,5 m. As observações foram realizadas no dia 10 de agosto de 2010 e em dois horários, às 7 e às 13 h. Foram utilizadas 2 Estações Automáticas, modelo Squitter, sendo uma fixa próximo ao pomar (a) e a outra móvel acoplada em um trator (b e c), como mostra a Figura 1.

As duas estações que foram sintonizadas no mesmo horário foram programadas para registrarem a medida da temperatura e umidade relativa do ar a cada minuto. O levantamento dos dados com a estação móvel foi realizado entre as linhas de pessegueiro, sendo estipulado um tempo zero (inicial) na primeira planta. Logo após, o trator se deslocava lentamente e a cada um minuto, era anotado o horário e a planta em que este se localizava. Visando uniformização das leituras realizou-se a espacialização da diferença de leitura entre as estações fixa e móvel, das variáveis em estudo, para as diversas posições dentro do pomar onde a estação se localizava a cada momento. A estrutura de dependência espacial para a diferença entre variáveis nas estações foi avaliada por meio da geostatística calculando o semivariograma experimental (VIEIRA et al., 1983).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que: $\gamma(h)$ é a semivariância experimental estimada, $N(h)$ é o número de pares de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h .

Ao semivariograma experimental foi ajustado um modelo teórico, onde são obtidos os seus parâmetros de ajuste (C_0 = efeito pepita; $C_0 + C$ = patamar; A = alcance). O ajuste dos modelos e a elaboração dos mapas de zonas homogêneas, por meio da krigagem, foram realizados por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Para analisar o grau de dependência espacial (GD) das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Zimback (2001), onde são calculados pela equação $[GD = (C/C + C_0) * 100]$, em que $GD < 25\%$ é baixo, $25\% < GD < 75\%$ é médio e $GD > 75\%$ é alto.

3. Resultados e discussão

Na Figura 2, observa-se a variação da temperatura e umidade relativa do ar ao longo do dia, em função dos diferentes horários de registro. Analisando a figura verifica-se que no período da manhã a variação dos dados para ambas as variáveis foram maiores do que no período da tarde. O uso de diferença de medidas das variáveis, entre as estações tende a eliminar esta variação, deixando somente a variação espacial. Os horários de medida é que



Figura 1. Estações automáticas, modelo Squitter, uma fixa próxima ao pomar (a) e outra móvel, acoplada a um trator (b e c).

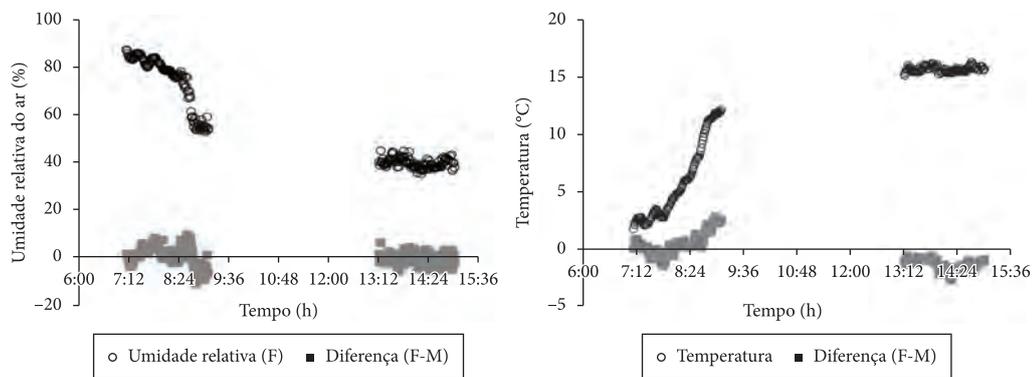


Figura 2. Variação da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e diferença entre estações (F = fixa e M = Móvel) ao longo do dia.

determinaram estes tipos de variação, pela manhã, o aparecimento da radiação solar, aquecendo as superfícies e o ar, causando uma maior variação, o que é normal. Já pela tarde, como a medida foi realizada num período estável de radiação e com estabilidade de temperatura a variação foi mínima. Pode-se observar na Figura 2, que a variação das diferenças segue um padrão, totalmente diferente da variação da temperatura e da umidade relativa do ar. Nota-se também na Figura 2, que às 7 h,

início das leituras, a temperatura encontrava-se a aproximadamente 2 °C e com uma umidade relativa de 85%. Já as 9 h foram encontrados valores de 12 °C e 50%, para temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente. Comprovando que a umidade relativa tem tendência de evolução inversa à da temperatura do ar, desde que este não esteja saturado de vapor d'água.

Observou-se na Tabela 1, que os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados

Tabela 1. Modelos e parâmetros dos variogramas da temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%).

Período	Variáveis	Modelo	C ₀	C ₀ +C	A	R ²	GD (%)
Manhã	U.R.	Esférico	1,050	15,180	27,0	0,912	93
	Temp.	Esférico	0,014	1,302	96,3	0,953	98,9
Tarde	U.R.	Exponencial	0,480	6,308	13,5	0,825	92
	Temp.	Esférico	0,021	0,275	48,2	0,954	92

C₀ = efeito pepita; C₀ + C = patamar; A = alcance (m); R² = coeficiente de determinação; GD = grau de dependência (%).

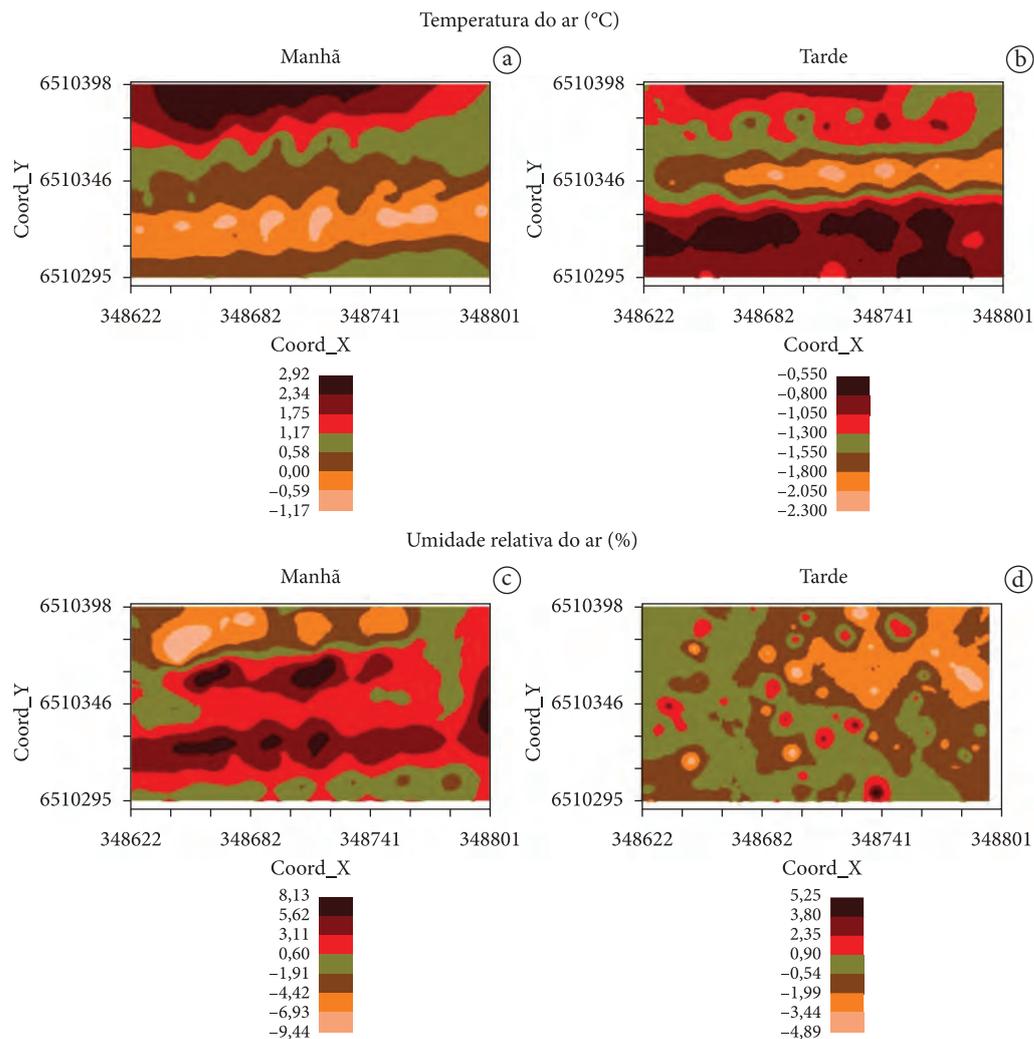


Figura 3. Mapas de distribuição espacial das variáveis climáticas temperatura do ar no período manhã (a) e tarde (b), e umidade relativa do ar no período manhã (c) e tarde (d).

das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, gerados através da diferença entre a estação fixa e a estação móvel (trator) foram o esférico e exponencial.

Para a temperatura no período da manhã e tarde, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, conforme mostra a Tabela 1, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,953 e 0,954% na manhã e tarde, respectivamente. Nota-se que para a umidade relativa do ar os modelos que melhor se ajustaram foram o esférico e o exponencial, no período da manhã e da tarde, respectivamente. Sendo os seus coeficientes de determinação (R^2) de 0,912% para manhã e de 0,825% para período da tarde.

A dependência espacial apresentou-se alta, maior que 75%, para as duas variáveis e para ambos os períodos analisados, considerando os limites propostos por Zimback (2001). Após a determinação dos modelos teóricos e seus parâmetros de ajuste (Tabela 1), foram gerados os mapas de contorno através de Krigagem (Figura 3). Na Figura 3a,c apresentam-se os dados referentes à Temp. e a U.R. no período da manhã. Observa-se que em regiões onde a Temp. se encontrava baixa a U.R. apresentou valores altos. Isto ocorre devido a altas concentrações de vapor d'água, podendo afetar na proliferação de doenças e por consequência na produtividade. No período da tarde (Figura 3b,d) houve um comportamento inverso, onde a temperatura apresentou valores altos e a umidade relativa do ar valores baixos. Tal fato pode ter ocorrido devido à incidência da

radiação solar, elevando com isso a temperatura do ar.

4. Conclusões

Verificou-se que existe uma alta dependência espacial da temperatura do ar e também umidade relativa do ar, obtidas através da diferença dos dados da estação fixa e da estação móvel.

Agradecimentos

À EMBRAPA Clima Temperado, ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar-UFPEL pelo auxílio financeiro, a CAPES pela concessão de bolsa e ao produtor Marcus Fiss pela concessão da área experimental.

Referências

- CAMARGO, C. G. C.; BRAGA, H.; ALVES, R. Mudanças climáticas atuais e seus impactos no Estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, v. 19, n. 3, p. 31-35, 2006.
- DINIZ, G. B.; BERLATO, M. A.; CLARKE, R. T.; FONTANNA, D. C. Identificação de regiões, homogêneas de temperaturas máximas e mínima do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n. 2, p. 303-312, 2003.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v. 51, p. 1-75, 1983.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Variabilidade espacial dos atributos físicos numa área cultivada com pêsego**

Viviane Santos Silva Terra^{1*}, Carlos Reisser Júnior^{2*}, Luís Carlos Timm^{3*},
Flávio Luiz Carpena Carvalho^{2*}, José Francisco Martins Pereira^{2*}

¹ Pós-graduanda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário, s/n, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil

² Pesquisadores, Embrapa Clima Temperado, BR 392, Pelotas, RS, Brasil

³ Professor, Bolsista de Produtividade do CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário, s/n, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil

*e-mail: vssterra@yahoo.com.br; reisser@cpact.embrapa.br; lcartimm@ufpel.edu.br;
flavio.carvalho@cpact.embrapa.br; jose.pereira@cpact.embrapa.br

**Parte da tese de doutorado do primeiro autor

Resumo: A variabilidade do solo tornou-se uma preocupação dos pesquisadores por proporcionar diferenças no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Segundo Vieira (2004), a variabilidade espacial de solo, sempre existiu e deve ser considerada toda vez que for realizada a amostragem de campo, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo. Por isso, que o conhecimento mais detalhado da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, poderá servir de subsídio para a determinação de estratégias específicas de manejo que otimizem a produtividade agrícola. Esse trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, numa área cultivada com pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS, usando as técnicas da estatística clássica e da geoestatística. O trabalho foi realizado no ano de 2010, em uma área com pomar de pêsego, cultivar Esmeralda, com 4 anos de idade. Foram abertas trincheiras, ao lado de cada planta selecionada, onde foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, seguindo metodologia descrita pela Embrapa (1997). Os atributos físicos do solo estudados foram a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e umidade do solo (EMBRAPA, 1997). Os atributos estudados apresentaram dependência espacial alta, exceto a macroporosidade na profundidade de 0,0-0,10 m, que apresentou dependência espacial moderada.

Palavras-chave: geoestatística, pessegueiro, krigagem, variabilidade espacial.

Spatial variability of physical attributes of an area cultivated with peach

Abstract: The variability of the soil would become a concern of researchers by providing differences in the development and crop productivity. According to Vieira (2004), the spatial variability of soil, has always existed and should be considered whenever sampling is performed in the field, because it may indicate sites that require different treatment and the management. Therefore, the more detailed knowledge of the spatial variability of soil physical characteristics, can serve as a basis for the determination of specific management strategies that optimize agricultural productivity. This work aims to study the spatial variability of soil physical attributes in an area planted with peach trees in the city of Morro Redondo-RS, using the techniques of classical statistics and geostatistics. The study was conducted in 2010 in an area with peach orchard, cultivar Esmeralda, with 4 years of age. Trenches were dug next to each selected plant, where soil samples were collected at depths of 0.0-0.10 m and 0.10-0.20 m, following the methodology described by Embrapa (1997). The physical attributes of the soil were studied macroporosity, microporosity, total porosity, bulk density and soil moisture (EMBRAPA, 1997). The attributes studied showed high spatial dependence, except for macroporosity at a depth of 0.0-0.10 m, which showed moderate spatial dependence.

Keywords: geostatistics, peach, kriging, spatial variability.

1. Introdução

No início da década de 20, a variabilidade do solo tornou-se uma preocupação dos pesquisadores por proporcionar diferenças no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Segundo Vieira (2004), a variabilidade espacial do solo, sempre existiu e deve ser considerada toda vez que for realizada a amostragem de campo, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo. O conhecimento mais detalhado da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, poderá servir de subsídio para a determinação de estratégias específicas de manejo que otimizem a produtividade agrícola. Sendo assim, é esperado que o tamanho da área experimental seja suficiente para expor a sua heterogeneidade, permitindo estudar e conhecer a sua variabilidade espacial, para que se possa manejá-lo corretamente.

Atualmente, algumas pesquisas sobre os atributos do solo tem-se apoiado intensamente na utilização da geoestatística, que juntamente com a estatística clássica formaram uma dupla de extraordinária importância agrônoma. Para Trangmar et al. (1985), a análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas, como também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas a determinadas práticas de manejo (OVALLES; REY, 1994). Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, numa área cultivada com pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS, usando as técnicas da estatística clássica e da geoestatística.

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado no ano de 2010, num pomar de pessegueiro, cultivar Esmeralda, com 4 anos de idade, localizado no município de Morro Redondo-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é "Cfa", ou seja, temperado úmido com verões quentes. Foram selecionadas, aleatoriamente, 101 plantas para a formação da malha experimental, sendo as amostragens de solo realizadas em julho de 2010. Foram abertas

trincheiras, ao lado de cada planta selecionada, onde foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, seguindo metodologia descrita pela Embrapa (1997). Os atributos físicos do solo estudados foram: macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT), densidade do solo (DS) e umidade do solo (θ), todos foram determinados utilizando o método da Embrapa (1997), sendo obtidos no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperados. Os dados foram analisados primeiramente por meio da estatística descritiva calculando média, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Foi verificada a normalidade da distribuição dos dados pelo Teste Shapiro e Wilk (1965) a 5% de probabilidade. A estrutura de dependência espacial foi avaliada por meio da geoestatística calculando o semivariograma experimental (VIEIRA et al., 1983) (Equação 1)

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que: $\gamma(h)$ é a semivariância experimental estimada e $N(h)$ é o número de pares de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . A $\hat{\gamma}(h)$ semivariograma experimental foi ajustado um modelo teórico, onde são obtidos os seus parâmetros de ajuste (C_0 = efeito pepita; $C_0 + C$ = patamar; a = alcance). O ajuste dos modelos e a elaboração dos mapas de zonas homogêneas, por meio da krigagem, foram realizados por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). O índice de dependência espacial (DE), que informa a proporção, em porcentagem, do efeito pepita em relação ao patamar, foi calculado segundo Zimback (2001), onde são calculados pela equação $[GD = (C/C + C_0) * 100]$, assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para valores de $GD < 25\%$, dependência espacial média para valores de $25\% < GD < 75\%$ e dependência espacial alta para valores de $GD > 75\%$.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os dados estatísticos, referentes aos atributos físicos do solo. Os valores de média e mediana são próximos para as variáveis DS, θ , MA, PT e DS, MI, PT, nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente. Confirmando distribuição simétrica para os dados

e a normalidade pelo teste Shapiro e Wilk ($p \leq 5\%$). Analisando a tabela verifica-se que os coeficientes de assimetria e curtose para maioria dos atributos, são compatíveis com a distribuição normal (valores próximos a zero). No entanto, os atributos como a microporosidade em ambas as profundidades e a umidade do solo na profundidade de 0,0-0,10 m, não apresentaram distribuição normal, apesar dos valores baixos dos coeficientes de assimetria e curtose. Isso pode estar relacionado com o seu processo de determinação no laboratório.

Ainda na Tabela 1, pode-se constatar a variabilidade dos atributos do solo expressa pelo C.V. (%), segundo classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), onde a porosidade do solo apresentou o menor coeficiente de variação que foi de 6% na profundidade de 0,0-0,10 m, sendo considerado baixo ($<12\%$) e o maior, 26% para a macroporosidade na profundidade de 0,10-0,20 m, sendo um $C > V$ moderado ($12\% < CV \leq 60\%$). Os demais atributos como a densidade do solo apresentou C.V. também baixo, em ambas as profundidades. Já a umidade do solo e a microporosidade apresentaram um C.V. moderado, nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. Apesar de os coeficientes de variação permitirem comparar a variabilidade entre os atributos com unidades diferentes, o seu emprego não deve ser generalizado, devendo-se apreciar esses resultados segundo as finalidades a que se destina o trabalho (OLIVEIRA; MENK, 1974).

A análise geoestatística realizada nos dados, efetuada por meio do semivariograma, mostrou na Tabela 2 que os atributos físicos do solo estudado apresentaram dependência espacial, uma vez que nenhum deles apresentou efeito pepita puro, o que determinaria uma distribuição aleatória dos seus dados. Na Tabela 2, pode-se observar que os semivariogramas ajustaram-se muito bem ao modelo exponencial e esférico para os atributos físicos analisados neste estudo. Apesar do modelo esférico ser considerado por muitos autores como sendo o que melhor se ajusta aos atributos do solo (BERTOLANI; VIEIRA, 2001; SOUZA et al., 2004). Analisando a Tabela 2 e a Figura 1 observa-se, que a faixa de dependência espacial (alcance A_0) encontrada na profundidade de 0,0-0,10 m, teve os seguintes valores para os atributos físicos do solo: porosidade total, 17,1 m; densidade do solo, 19,5 m; umidade do solo, 24,6 m; microporosidade, 35,7 m e macroporosidade, 47,7 m. Para a profundidade de 0,10-0,20 m, no entanto, o alcance apresentou os seguintes valores: densidade do solo, 17,5 m; macroporosidade, 24,6 m; umidade do solo, 27,1 m; porosidade total, 29,7 e microporosidade, 29,9 m. Tais resultados são importantes no planejamento da área experimental, devendo ser levados em consideração nas propostas de manejo e pesquisa, assim como o número de pontos que devem ser amostrados para atingir uma melhor representatividade.

Da Tabela 2 ainda pode ser constatado que o grau de dependência espacial (GD) na maioria dos atributos foi considerado alto, em ambas as profundidades.

Tabela 1. Estatística descritiva aplicada aos conjuntos de dados de densidade do solo (g/cm^3); umidade do solo (%); macro e micro (%) e porosidade total (%) de uma área com pomar de pessegueiro localizada no município de Morro Redondo-RS.

Profundidade 0,0-0,10 m								
Variáveis	Média	Mediana	Variância	s	C.V.	C_s	C_k	DN
Densidade	1,21	1,21	0,004	0,05	7	-0,25	0,83	n.s.
Umidade	21,33	20,92	9,078	3,01	14	0,38	-0,49	n.s.
Macro	19,34	19,67	17,888	4,23	21	-0,28	-0,07	n.s.
Micro	26,07	25,5	12,188	3,49	13	0,60	-0,03	*
Porosidade	45,40	45,2	7,688	2,77	6	0,17	-0,08	n.s.
Profundidade 0,10-0,20 m								
Densidade	1,24	1,23	0,007	0,08	7	0,27	-0,17	n.s.
Umidade	21,38	20,95	9,575	3,09	14	0,58	-0,32	*
Macro	17,04	16,74	19,671	4,43	26	-0,09	-0,42	n.s.
Micro	26,65	26,05	13,029	3,60	14	0,57	-0,20	*
Porosidade	43,60	43,45	12,894	3,59	8	0,28	0,11	n.s.

s = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; C_s = coeficiente de assimetria e C_k = coeficiente de curtose; DN = Distribuição Normal (pelo Teste Shapiro e Wilk) não significativo a 5%.

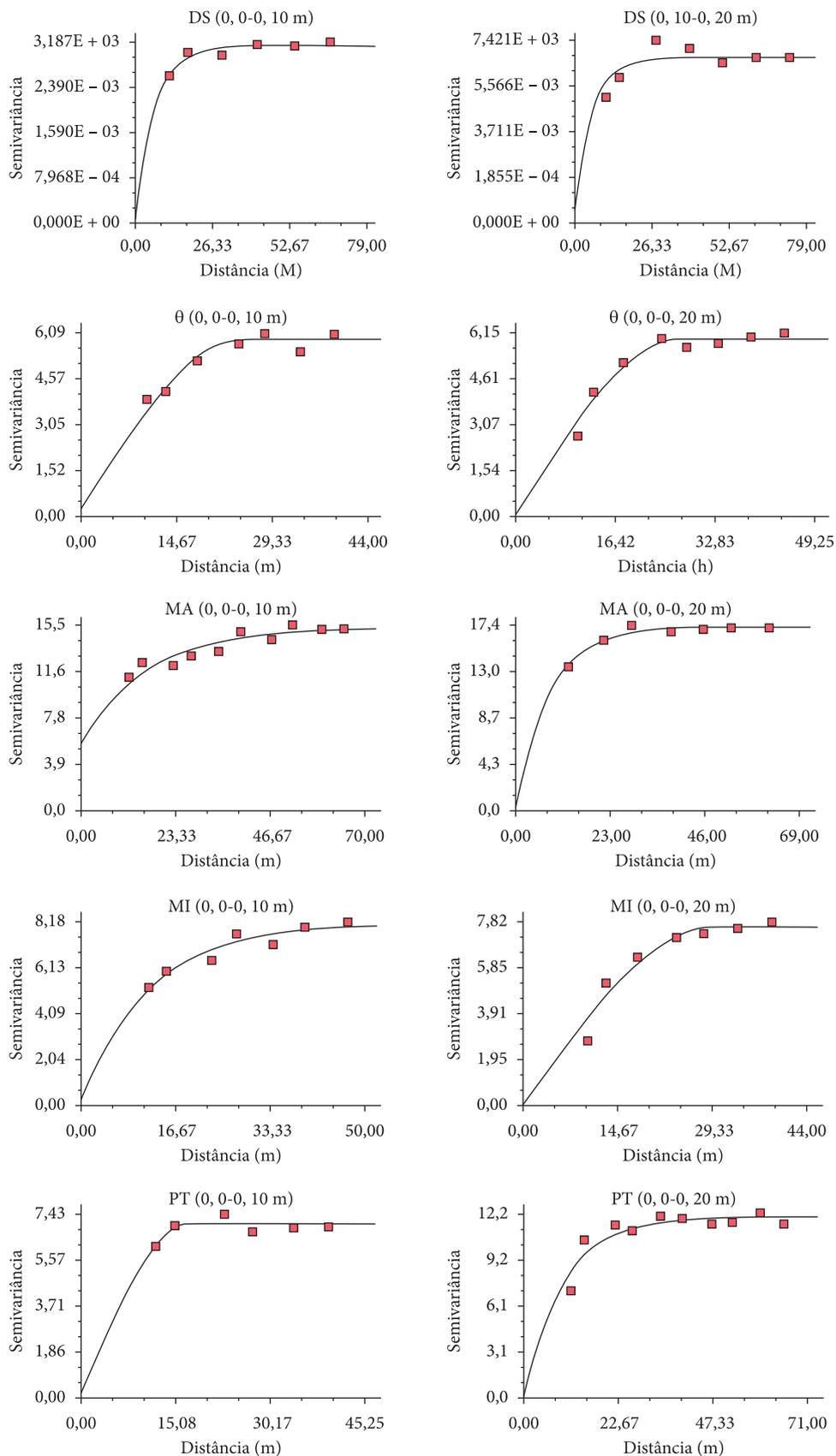


Figura 1. Semivariogramas dos atributos físicos do solo: densidade do solo (g/cm^3), umidade do solo (%), macroporosidade (%), microporosidade (%) e porosidade total (%) nas profundidades de 0,0-0,10 m (a) e 0,10-0,20 m (b), de uma área com pomar de pessegueiro localizada no município de Morro Redondo-RS.

Tabela 2. Modelos e parâmetros do semivariograma ajustados aos dados densidade do solo (DS, g/cm³), umidade do solo (θ , %), macroporosidade (MA, %), microporosidade (MI, %) e porosidade total (PT, %) de uma área com pomar de pessegueiro localizada no município de Morro Redondo-RS.

Profundidade 0,0-0,10 m						
Atributos	Modelo	C ₀	C ₀ +C	A ₀	R ²	GD
Umidade	Esférico	0.261937	5.863123	24.62	0.93	0.955
Porosidade	Esférico	0.140000	6.976000	17.11	0.66	0.980
Macro	Exponencial	5.440000	15.230000	47.7	0.84	0.643
Micro	Exponencial	0.070000	8.098000	35.7	0.90	0.978
Densidade	Exponencial	0.000001	0.003122	19.5	0.88	0.999
Profundidade 0,10-0,20 m						
Umidade	Esférico	0.010000	5.945000	27.06	0.96	0.998
Porosidade	Exponencial	0.010000	12.010000	29.70	0.81	0.999
Macro	Exponencial	0.010000	17.180000	24.60	0.94	0.999
Micro	Esférico	0.010000	7.587000	29.92	0.92	0.999
Densidade	Exponencial	0.000320	0.006735	17.4669	0.80	0.952

C₀ = efeito pepita; C₀ + C = patamar; A₀ = alcance (m); R² = coeficiente de determinação (%); GD = grau de dependência (%).

No entanto, a macroporosidade apresentou uma dependência espacial de 64%, sendo considerado um valor médio. Segundo Cambardella et al. (1994) as variáveis que apresentam forte grau de dependência são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo.

4. Conclusões

Os atributos estudados apresentaram dependência espacial alta, exceto a macroporosidade na profundidade de 0,0-0,10 m, que apresentou dependência espacial moderada.

Agradecimentos

À EMBRAPA Clima Temperado, ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar-UFPel pelo auxílio financeiro, a CAPES pela concessão de bolsa e ao produtor Marcus Fiss pela concessão da área experimental.

Referências

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 987-995, 2001.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B. NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F. Variabilidade das características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de Oxissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., 1974, Santa Maria. *Anais...* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p. 359-376.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad em suelos de La depresión del Lago de Valencia. *Agronomía Tropical*, v. 44, n. 1, p. 41-65, 1994.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Irriga*, v. 9, p. 1-11, 2004.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, v. 52, p. 591-611, 1965.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, p. 45-94, 1985. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60673-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60673-2)

VIEIRA, S. R. **Análise da variabilidade espacial e temporal de umidade do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico em Campinas, São Paulo**. Campinas, 2004. 57 p. Relatório FAPESP 02/02863-3.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v. 51, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. chap.2, p. 319-344.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livro-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Correlação da variabilidade espacial entre a produtividade de um pomar de pêsego e a densidade do solo para o município de Morro Redondo-RS**

Viviane Santos Silva Terra^{1*}, Carlos Reisser Júnior^{2*}, Luís Carlos Timm^{3*}, Flávio Luiz Carpena Carvalho^{2*}, José Francisco Martins Pereira^{2*}

¹ Pós-graduanda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário, s/n, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil

² Pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, BR-392, Pelotas, RS, Brasil

³ Bolsista de Produtividade do CNPq, Professor do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário, s/n, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil

*e-mail: vssterra@yahoo.com.br; reisser@cpact.embrapa.br; flavio.carvalho@cpact.embrapa.br; jose.pereira@cpact.embrapa.br; lcartimm@ufpel.edu.br

**Parte da tese de doutorado do primeiro autor

Resumo: A densidade do solo é de extrema importância à produtividade do pessegueiro, uma vez que, em condições adversas, pode dificultar o desenvolvimento do sistema radicular, limitando o adequado aproveitamento dos nutrientes e da água disponível. O conhecimento da variabilidade espacial de atributos do solo, em especial a densidade, poderá servir de subsídio para a determinação de estratégias específicas de manejo que otimizem a produtividade agrícola. Neste trabalho, foi avaliada a variabilidade espacial da densidade de solo em duas camadas (0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m) e a produtividade do pessegueiro, em uma malha experimental de 101 pontos, no município de Morro Redondo-RS. Para a determinação da densidade do solo, foram coletadas amostras de solo de estrutura preservada utilizando anéis volumétricos, nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. A produtividade foi analisada colhendo-se os frutos produzidos em cada uma das 101 plantas selecionadas, num total de quatro colheitas. A variabilidade espacial foi avaliada por ferramentas da estatística clássica e da geoestatística. A partir dos mapas representados, tornou-se possível identificar a ocorrência de zonas homogêneas de densidade de solo nas duas camadas estudadas, e as áreas com maior produtividade, o que permitirá na fase de elaboração de projetos agrônômicos ou em projetos já instalados, um planejamento adequado do manejo do solo e das culturas. A não existência de relação linear significativa entre a densidade do solo e a produtividade do pessegueiro pode mostrar que a densidade do solo na profundidade estudada não é o fator de grande influência na produtividade do pessegueiro.

Palavras-chave: geoestatística, pessegueiro, krigagem, variabilidade espacial.

Correlation of spatial variability between a peach orchard's productivity and soil density for the city of Morro Redondo-RS

Abstract: The soil density is extremely important to the productivity of peach, because in adverse conditions may hamper the development of the root system, limiting the proper use of nutrients and water available. The knowledge of spatial variability of soil properties, especially density, can serve as a basis for the determination of specific management strategies that optimize agricultural productivity. In this study we evaluated the spatial variability of soil density in two layers (0.0-0.10 m and 0.10-0.20 m) and productivity of peach trees in an experimental mesh of 101 points in the city



of Morro Redondo-RS. To determine the soil density, samples of preserved soil structure were collected using volumetric rings in layers of 0.0-0.10 m and 0.10-0.20 m. The productivity was assessed by harvesting the fruits produced in each of the 101 selected plants in a total of four harvests. The spatial variability was assessed by classical statistics and geostatistics. Based on the maps it is possible to identify the occurrence of homogeneous density areas in both soil layers studied, and the areas with higher productivity, which will allow the preparation of agronomic projects or projects already in place, proper planning management of soil and crops. The linear relationship between soil density and productivity of peach trees was not significant, showing that the depth soil density studied is not the major factor influencing the productivity of the peach trees.

Keywords: geostatistics, peach, kriging, spatial variability.

1. Introdução

A fruticultura no Rio Grande do Sul é uma das atividades agrícolas que vem se destacando nos últimos anos, devido a sua alta rentabilidade em pequenas áreas, permitindo a viabilidade das propriedades familiares. A região de Pelotas é responsável pela grande produção de frutíferas de Clima Temperado, em especial a cultura do pessegueiro, que tem sido uma boa opção para diversificação das culturas.

Segundo Madaíl (2002), 90% do pêssego produzido na Região de Pelotas destina-se à indústria de conservas. Esta produção provém de dois estratos de produtores: um de base empresarial e outro de base familiar. O pessegueiro por apresentar um sistema radicular com alto potencial de desenvolvimento pode ser afetado pelos atributos do solo, influenciando na sua produtividade.

A densidade do solo é um dos atributos que mais se destacam na influência sobre a produtividade das culturas, dificultando a penetração das raízes e, conseqüentemente, limitando a adequada absorção dos nutrientes e da água disponível. Reflete o seu grau de adensamento, quando resulta de causas naturais, ou compactação, quando é causada por ação antrópica, em função do uso e manejo. Por isso, a caracterização da variabilidade espacial da produtividade e da densidade do solo é essencial para o gerenciamento de uma cultura. A geoestatística é uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento econômico rural, através de coletas de amostras se obtém mapas, buscando correlações existentes, entre os atributos do solo e a produtividade da cultura.

Neste trabalho, objetivou-se analisar a correlação da variabilidade espacial entre a produtividade de

um pomar de pessegueiro e a densidade do solo, no município de Morro Redondo-RS.

2. Material e métodos

O estudo foi realizado em uma propriedade rural, localizada no município de Morro Redondo-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é "Cfa", ou seja, temperado úmido com verões quentes. A região possui temperatura e precipitação média anual de 18 °C e 1509,2 mm, respectivamente, apresentando uma umidade relativa média do ar de 78,8.

O trabalho foi realizado em um pomar de pessegueiro cultivar Esmeralda, com quatro anos de idade, com um total de 1450 plantas, divididas em 18 linhas, espaçamento entre plantas de aproximadamente 1,7 m e entre linhas de 5,5 m. Foram selecionadas, aleatoriamente, 101 plantas para a formação da malha experimental, sendo as amostragens de solo realizadas em julho de 2010. Foram abertas trincheiras, ao lado de cada planta selecionada, onde foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada para determinação da sua densidade na camada de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, seguindo metodologia descrita em Embrapa (1997).

A produtividade foi analisada colhendo-se em cada uma das 101 plantas selecionadas, num total de quatro colheitas. Os dados foram analisados primeiramente por meio da estatística descritiva calculando média, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Foi verificada a normalidade da distribuição dos dados pelo Teste Shapiro e Wilk

(1965) a 5% de probabilidade. Buscando uma inter-relação entre as variáveis, foram efetuadas as análises de regressão linear simples. A estrutura de dependência espacial foi avaliada por meio da geoestatística calculando o semivariograma experimental (VIEIRA et al., 1983) (Equação 1):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde: N(h) é o número de pares de observações Z(xi) e Z(xi + h) separados por uma distância h. Ao semivariograma experimental foi ajustado um modelo teórico, onde são obtidos os seus parâmetros de ajuste (C₀ = efeito pepita; C₀ + C = patamar; A = alcance). O ajuste dos modelos e a elaboração dos mapas de zonas homogêneas, por meio da krigagem, foram realizados por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Para analisar o grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Zimback (2001), onde são calculados pela Equação 2:

$$[GD = (C/C + C_0) * 100] \quad (2)$$

em que GD < 25% é baixo, 25% < GD < 75% é médio e GD > 75% é alto.

3. Resultados e discussão

Os dados estatísticos referentes a densidade do solo e a produção de pêssego no ano de 2010 encontram-se na Tabela 1. Analisando as distribuições dos dados de densidade do solo, pode-se observar que, em ambas as camadas, os valores da média e mediana são praticamente iguais, confirmando uma distribuição simétrica para os dados e a normalidade pelo teste Shapiro e Wilk (p ≤ 0,05).

Os coeficientes de assimetria e de curtose apresentam-se relativamente baixos. Porém, a variável produtividade não apresentou distribuição normal, apesar dos valores baixos dos coeficientes de assimetria e curtose.

A dispersão dos dados em torno da média, expressa pelo coeficiente de variação (CV), foi igual a 7% para densidade do solo em ambas as camadas e 55,67% para a produtividade, que de acordo com Warrick e Nielsen (1980), classificam as distribuições de variáveis do solo de valores (CV < 12%; 12% < CV < 60% e CV > 60%) como baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. Pode-se dizer que os dados de densidade do solo e produtividade apresentaram baixa e média variabilidade, respectivamente.

Segundo Cressie (1991), a normalidade dos dados não é considerada uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises. Desta forma, foi realizado um estudo geoestatístico, em que os modelos matemáticos que melhor se ajustaram foram o exponencial e esférico, para a densidade do solo e produtividade, respectivamente.

Em ambas as camadas da densidade do solo o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, conforme mostra a Tabela 2, com coeficientes de determinação (R²) de 0,879 e 0,801 nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente.

Analisando a Tabela 2, pode-se observar também que a faixa de dependência espacial (A) determinada na camada de 0,0-0,10 m foi de 19,5 m e de 17,5 m para camada de 0,10-0,20 m. Para a produtividade o modelo esférico foi o que melhor se ajustou, com

Tabela 1. Estatística descritiva para a variável densidade do solo (g/cm³), nas faixas de profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m e produtividade (kg/planta) em uma área com pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS.

Variáveis	n	Média	Mediana	Variância	s	CV (%)	Cs	Ck	DN
Produtividade 2010	101	6.406	5,86	12.717	3.566	55,67	0,53	-0,33	*
Densidade do solo (0,0-0,10 m)	101	1,21	1,21	0,003	0,059	7	-0,25	0,83	ns
Densidade do solo (0,10-0,20 m)	101	1,24	1,23	0,007	0,084	7	0,27	-0,18	ns

n = número de observações; s = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria e Ck = coeficiente de curtose; DN = Distribuição Normal (pelo Teste Shapiro e Wilk) não significativo a 5%.

coeficiente de determinação (R^2) de 0,961 e com uma faixa de dependência espacial (A) de 33,40 m. A análise do grau de dependência espacial (IDE) mostrou que todas as variáveis apresentaram grau de dependência maior que 75%, sendo considerado alto (ZIMBACK, 2001).

A partir dos modelos teóricos de semivariogramas e seus respectivos parâmetros de ajuste (Tabela 2), foram elaborados os mapas de contorno pela técnica de krigagem (Figura 1a,b,c). Analisando os mapas elaborados de densidade em ambas as camadas, é possível identificar que a distribuição dos seus valores na camada de 0-0,10 m é mais homogênea (Figura 1a) quando comparada com a sua distribuição na camada de 0,10-0,20 m (Figura 1b). Este fato, por exemplo, poderá diminuir o número de sensores a serem instalados para monitorar o conteúdo de água no solo nesta camada bem como orientar o produtor quanto

à aplicação localizada de fertilizantes e adubos, dentre outras práticas agrícolas.

Uma das vantagens da utilização dos mapas de krigagem é a exata localização de áreas com baixas produtividades, Figura 1c. Assim é possível aplicar manejos diferenciados para maximizar a produtividade de áreas com baixos índices.

Nota-se na Figura 1, que mais de 80% da área apresentou valores de densidade superiores a $1,20 \text{ g/cm}^3$ o que poderia afetar negativamente o desenvolvimento do sistema radicular do pessegueiro. No entanto, a parcela apresentou uma boa produção, indicando que os valores de densidade do solo nesta profundidade não interferiram na produtividade.

A correlação entre a densidade do solo e a produtividade por regressão linear simples, feita diretamente com os dados obtidos, mostrou-se não significativa, o que leva a inferência de que este fator não apresenta grande influência na

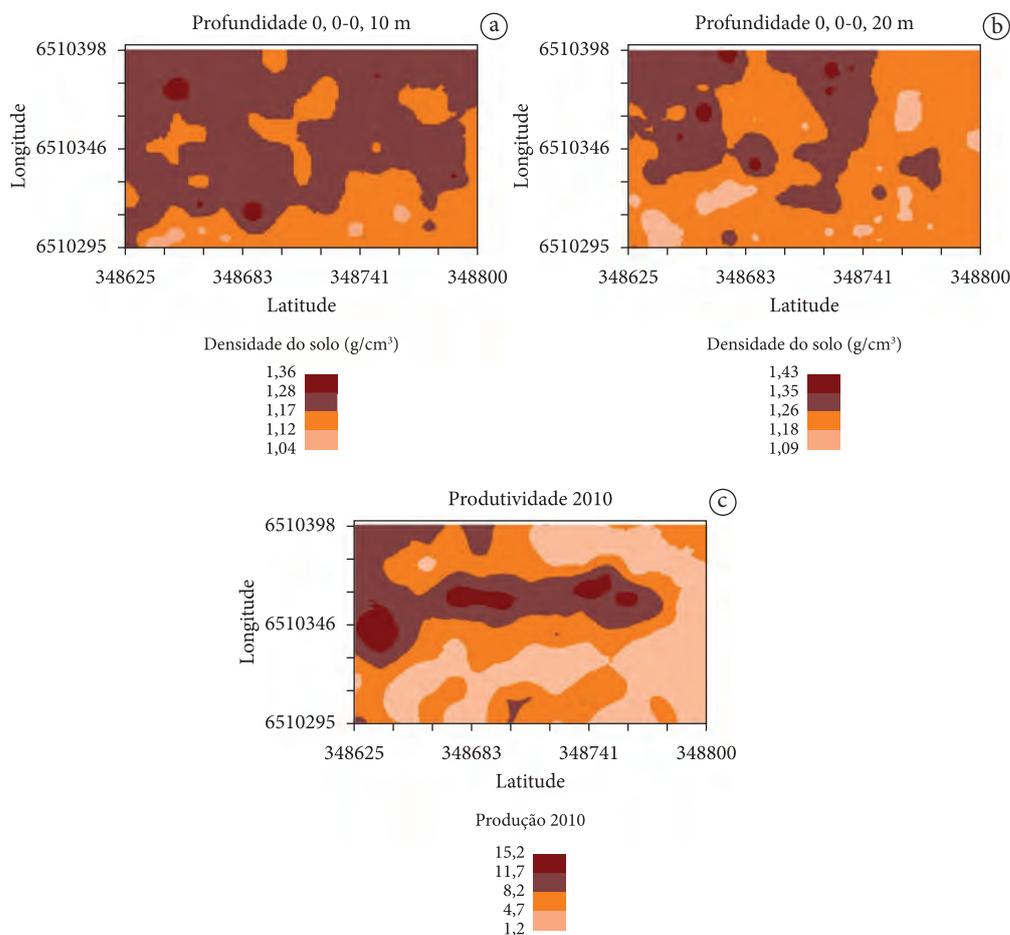


Figura 1. Mapas de zonas homogêneas para a variável densidade do solo (g/cm^3), nas faixas de profundidade de 0,0-0,10 m (a) e 0,10-0,20 m (b) e produtividade 2010 (kg/planta) (c), em uma área cultivada com pêsego no município de Morro Redondo-RS, no ano de 2010.

Tabela 2. Modelos e parâmetros do semivariograma ajustados aos dados de densidade do solo (Ds) e produtividade do pessegueiro.

Parâmetros Estudados	Modelo	C0	C0+C	A	R ²	GD
Densidade do solo (0,0-0,10 m)	Exponencial	0,000001	0,003122	19,5	0,879	99,9
Densidade do solo (0,10-0,20 m)	Exponencial	0,00032	0,006735	17,47	0,801	95,2
Produtividade 2010	Esférico	0,91	13,2	33,4	0,961	93,1

C₀ = efeito pepita; C₀ + C = patamar; A = alcance (m); R² = coeficiente de determinação; GD = grau de dependência (%).

produtividade do pessegueiro, como em outras culturas. Isto também pode estar relacionado à condição do sistema radicular do pessegueiro que por ser uma planta perene, apresenta um sistema radicular bem desenvolvido ao longo de sua vida.

4. Conclusões

A regressão linear simples por meio da estatística clássica entre a densidade do solo e a produtividade do pessegueiro não foi significativa, demonstrando que a densidade do solo nas profundidades estudadas não influencia na produtividade do pessegueiro. Mais de 80% da área apresentou valores de densidade do solo superiores a 1,20 g/cm³ o que pode afetar negativamente o desenvolvimento do sistema radicular, devido ao alto índice de compactação.

Agradecimentos

À EMBRAPA Clima Temperado, ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar-UFPel pelo auxílio financeiro, a CAPES pela concessão de bolsa e ao produtor Marcus Fiss pela concessão da área experimental.

Referências

- CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley & Sons., 1991. 920 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise do solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- MADAIL, J. C. M.; REICHERT, L. J.; DOSS, D. *Análise da Rentabilidade dos Sistemas Empresarial e Familiar de Produção de Pêssegos no Sul do Rio Grande do Sul*. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2002.
- ROBERTSON, G. P. *GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, v. 52, p. 591-611, 1965.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v. 51, p. 1-75, 1983.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. chap. 2, p. 319-344.
- ZIMBACK, C. R. L. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo*. 114 f. 2001. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Utilização de ferramentas de SIG para Agricultura de Precisão no planejamento ambiental de uma pequena propriedade rural produtora de maçãs**

Bruna Moreira Schrammel^{1*}, Luciano Gebler^{2*}

¹ Estudante de agronomia, Universidade de Caxias do Sul – UCS, Rua Presidente Kennedy, 2020, CEP 95200-000, Vacaria, RS, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Professor do curso de Agronomia, Universidade de Caxias do Sul - UCS, BR 285, Km 115, CP 1513, CEP 95200-000, Vacaria, RS, Brasil

*e-mail: lugebler@cnpuv.embrapa.br; brunaschrammel@hotmail.com

**Parte do trabalho de conclusão de curso do primeiro autor

Resumo: O uso de ferramentas de SIG e a agricultura de precisão sempre estiveram vinculados à ideia de grandes empreendimentos agropecuários. Inicialmente o custo das ferramentas e insumos necessários tornava proibitivo seu uso em pequenas propriedades. Com o avanço do conhecimento das técnicas de coleta e organização de dados, e o barateamento das ferramentas de organização (computadores, planilhas eletrônicas, imagens de satélite), além da existência de softwares de geoprocessamento e SIG livres e com interface amigável, a barreira para o uso desta técnica também para a pequena propriedade passou a ser possível. O objetivo deste trabalho é verificar se é possível ao pequeno produtor aplicar os princípios da agricultura de precisão através da aplicação de ferramentas de SIG, através da obtenção, organização e manuseio de informações livres ou de baixo custo.

Palavras-chave: geoprocessamento, gerenciamento ambiental, informática na agropecuária.

Use of GIS tools for precision agriculture applied in environmental planning a small farm of apples growers

Abstract: GIS tools and precision farming have always been linked to the idea of big agricultural enterprises. Initially, the cost of tools and supplies was prohibitive to use on small farms. With the advance of knowledge of techniques for collecting and organization a data, and the cheapening of organization tools (computers, spreadsheets, satellite images), plus the existence of free GIS software with friendly interface, the barrier to also use this technique for small properties has become fall. The objective of this study is to verify if is possible, for small farmers, to apply the principles of precision agriculture through the application of GIS tools for the acquisition, organization and handling of information by free form or by low cost.

Keywords: environmental management, geoprocessing, information technology in agriculture.

1. Introdução

No mundo a preocupação com o planejamento da sociedade vem tomando espaço desde a pré-história. O marco das preocupações do homem moderno com o meio ambiente, incorporando questões sociais, políticas, ecológicas e econômicas com uso racional dos recursos deu-se em 1968. (SANTOS, 2004).

O planejamento ambiental busca o conhecimento sobre o ecossistema buscando efetuar um melhor ajuste entre o homem e a natureza. Incluindo uma grande diversidade temática em torno de três eixos: planos dirigidos à prevenção e/ou correção de problemas ambientais de caráter setorial, planos orientados a gestão de recursos ambientais que se confundem na prática como planejamento de recursos naturais e prevenção e/ou conservação ambiental em seu conjunto (DORNEY, 1989). Isto vem ao encontro das necessidades de atender as demandas ambientais atuais e futuras.

Portanto, o planejamento ambiental é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizadas das informações através de procedimentos e métodos, para se chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis em função de suas potencialidades, e com a finalidade de se atingir metas específicas no futuro, levando à melhoria de determinada situação e a qualidade de vida das sociedades (SILVA, 2003).

A macieira, *Malus domestica*, é uma planta da família das rosáceas, perene de porte arbóreo, com uma vida média de 20 anos, quando em pomar comercial, e que possui algumas peculiaridades quanto à exigência de frio para quebra de dormência, solos com boas profundidades e fertilidade e com boa capacidade de drenagem (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA, 2006).

A maior parte da produção brasileira provém de três cultivares: Gala, Fuji e Golden Delicious. E cerca de 80% do total de maçã produzida é destinada ao consumo in natura (EMBRAPA, 2004).

Uma vez que a cultura da maçã é considerada de longo prazo, é conveniente avaliar que, ao contrário das culturas não perenes, denominadas “anuais”,

o prazo de análise das relações que influenciam o pomar e o ambiente seja muito mais extenso que as culturas tradicionais como milho, trigo e soja. Sendo assim, para uma análise ou planejamento do ambiente produtivo de um pomar, o planejador deve considerar desde o preparo do solo para o plantio da muda até a erradicação de um pomar comercial, ao final da vida útil das plantas.

Sendo assim, o volume de informações a serem analisadas durante todo o ciclo de vida do pomar é muito grande, inviabilizando uma análise segundo os padrões tradicionais, comumente aplicados às culturas anuais. Assim, deve-se recorrer à Agricultura de Precisão (COELHO, 2000; INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA, 2006).

O SIG nos proporciona esta organização dos dados, e a comparação dos dados ano a ano, resultando em um histórico de dados que à medida que forem acumulados e analisados ao longo do tempo servirá como uma base de tomada de decisões ao administrador do sistema de produção, gerando o aumento da lucratividade e precisão nas tomadas de decisões.

Logo, o planejamento ambiental da propriedade passa a ter de grande importância, principalmente em pomares que apresentam vida útil longa, para os quais não deve ser considerado apenas o ano agrícola tradicional (de julho a junho do ano seguinte), e os dados, portanto, devem sofrer um processo contínuo de análise.

O objetivo deste trabalho é verificar se é possível ao pequeno produtor aplicar os princípios da agricultura de precisão através da aplicação de ferramentas de SIG a um custo reduzido, através da obtenção, organização e manuseio de informações livres ou de baixo custo.

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado em uma área experimental na propriedade do Sr. Flavio Schrammel, situada na região dos Campos de Cima da Serra, no município de Muitos Capões, nas coordenadas geográficas na projeção UTM de -28,377468 S e -51,088915 E, onde foram obtidos diretamente

os parâmetros de produtividade, e uma etapa em escritório, através do manuseio de softwares de geoprocessamento.

Na etapa de campo, foram obtidos os dados de produtividade separados por talhão, através da retirada aleatória de amostras de frutos de 10 árvores escolhidas em linhas alternadas a partir da segunda linha de um dos cantos do talhão e contadas 40 árvores dentro de cada fila, colhidas manualmente e pesadas em balança digital com variação de 0,05 g. O peso total de cada amostra foi dividido pelo número de amostras, obtendo-se a produtividade média. Estas informações foram compiladas e organizadas no software gvSIG 1.10 (GVSIG, 2011), escolhido para o trabalho por ser disponibilizado gratuitamente na internet, e apresentar uma interface amigável ao usuário. Na etapa de escritório, utilizou-se um mapa planimétrico georreferenciado em formato digital, gerado para a propriedade para fins de regularização fundiária junto ao INCRA, que serviu de base geral ao planejamento. Foi obtido uma imagem de satélite através do software Google Earth, disponibilizada em formato “.tif” pelo laboratório de sensoriamento remoto da Embrapa Uva e Vinho. Para manuseio das imagens e do mapa, também foi utilizado o software gvSIG 1.10.

3. Resultados e discussão

As áreas foram divididas em cinco talhões, agrupadas conforme informações coletadas a

campo e reunidas conforme as características das plantas e a respectiva produtividade do talhão.

Para a realização deste trabalho, teve-se como obstáculo à obtenção de informações para a realização das análises. Esses dados dificilmente são armazenados pelos pequenos produtores e a razão disso foi baseada em alguns fatores apontados pelo proprietário, como a grande variabilidade na área impedindo a homogeneização de talhões e em consequência a falta de registro dos dados de produtividade por talhão, tendo sido obtido somente a produtividade da propriedade.

Para este trabalho foi possível apresentar os dados coletados e compilados do primeiro ano, fase responsável pela determinação, organização e criação das bases do sistema, isso impossibilitou um trabalho de análise da evolução de determinado parâmetro de maneira temporal, objetivando a realização das análises na forma de cenários hipotéticos, porém não sendo possível a geração de cenários baseados em produtividade.

Na área estudada, os dados estruturados foram o tipo do porta enxerto, a espécie comercial, o espaçamento entre plantas e entre fileiras, o ano de plantio, a quantidade média produzida por talhão e a área total de cada talhão (Figura 1).

As demais áreas são denominadas como “Outros Talhões” e são aquelas que possuem áreas em pré-plantio, primeiro ou segundo ano de plantio, não resultando em dados consolidados para seu armazenamento e análise na forma preconizada

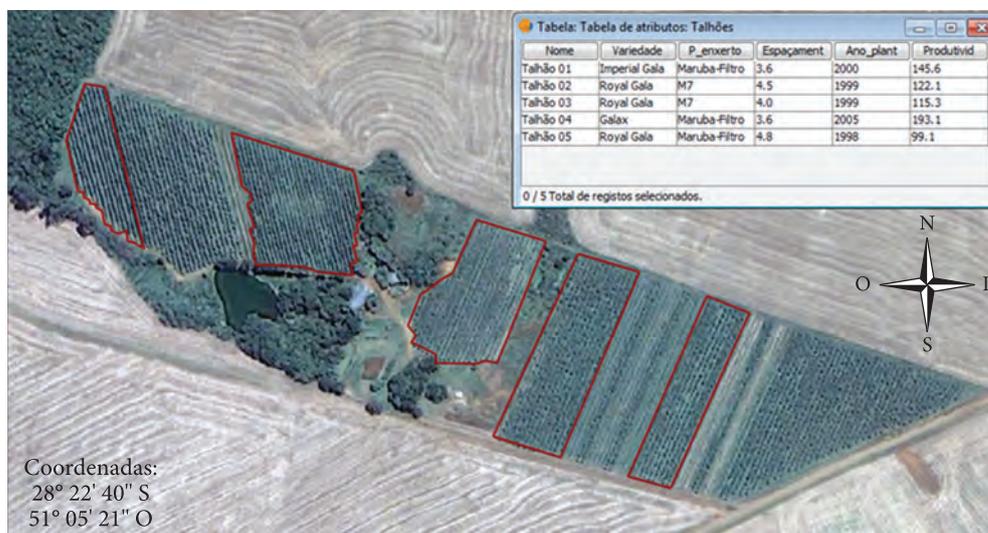


Figura 1. Tabela de atributos dos talhões.

pelo estudo, ou que ainda não possuem o indicativo de produtividade.

Uma vez que o atual Código Florestal (LF 4.771/65) (BRASIL, 1965) exige a destinação de 20% da área total da propriedade para a destinação da reserva legal (RL), e a área da propriedade totaliza de 17,73 ha, então, para o atendimento legal, deve ser destinada uma área de 3,55 ha na forma de RL.

O mapa proposto na Figura 2, a área encontrada na propriedade para a RL foi de apenas 1,7 ha. Neste caso, a recomendação do planejador é que o produtor organize-se em sua propriedade para a destinação de mais 1,85 ha para a reserva legal. Também se pode observar uma área de 0,69 ha que estaria contida dentro da Área de Preservação Permanente. Esta área, segundo a legislação vigente no RS, não pode ser configurada dentro da RL.

Foram identificados dois corpos d'água principais na área de estudo: um açude e um córrego com largura inferior a 10,0 m. Uma vez que havia determinações legais para cada um destes corpos d'água, foi necessário aplicar a ferramenta "buffer" do gvSIG para cada um deles, utilizando-se um raio diferente para cada ponto. Desta forma, obteve-se uma área de 2,82 ha de APP. Além da

área, que avança sobre uma possível área de RL, conforme descrito anteriormente, a APP fica situada em um local confrontante com a área vizinha, dividindo a responsabilidade legal e os possíveis conflitos com este confrontante. Desta forma, a APP de responsabilidade do proprietário da área em análise, fica reduzida a uma área de 1,77 ha como demonstra a Figura 3.

As áreas de conflitos são todas as áreas que estão em utilização, usadas tanto para a produção, como em pré-plantio, sendo essas consideradas conforme o código florestal como APP. Como demonstrado na Figura 3, as áreas de conflito com a APP estão destacadas em vermelho. Estas áreas equivalem a 1,75 ha da propriedade, onde obrigatoriamente o produtor deverá fazer o planejamento para que faça a recomposição da APP.

Por fim, os contatos mantidos com o produtor através de entrevistas diretas, demonstraram que sua percepção pessoal sobre a aplicabilidade do processo foi alterada. Inicialmente ele não achava possível executar um trabalho de tal nível sem custo financeiro, e após a execução do trabalho houve concordância que o principal custo seria organizacional, para a coleta dos dados a serem organizados no SIG.



Figura 2. Áreas destinadas a Reserva Legal (RL), onde 1 é a RL e 2 é a área que poderia ser destinada a RL, porém está dentro da Área de Preservação Permanente (APP).

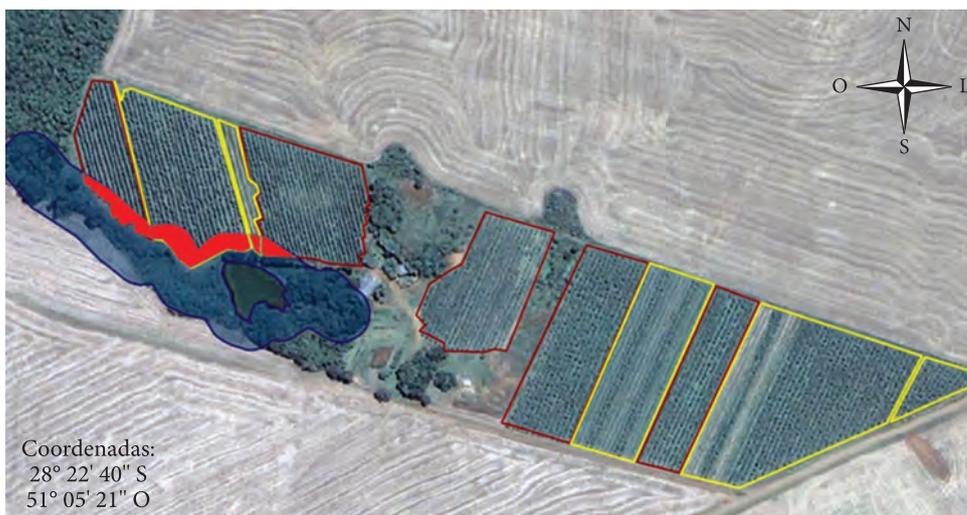


Figura 3. Em vermelho estão as áreas de conflito de uso de solo com a Área de Preservação Permanente (APP).

4. Conclusões

O custo deixou de ser o fator limitante para a implantação de um sistema de planejamento ambiental em pequenas propriedades rurais através de SIG e Agricultura de Precisão.

A necessidade de um histórico de produtividade da área é a grande dificuldade para a realização da “Fruticultura de precisão” para os pequenos produtores.

Os produtores não possuem o costume de armazenar dados, principalmente quando se tem uma área heterogênea e há a necessidade de separar os talhões presentes na propriedade conforme suas características.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Embrapa através do projeto MP1 Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro.

Referências

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 16 set. 1965.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, H. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. 3. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 249-290.

DORNEY, R. S. *The professional practice of environmental management*. New York, 1989. 228 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-3598-9>

EMBRAPA. *Maçã*: Produção. Brasília: EMBRAPA, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. *A cultura da macieira*. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 743 p.

GVSIG. Disponível em: <www.gvsig.org>. Acesso em: 01 jun. 2011.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA - IICA. *Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo: Instituto Interamericano de Cooperación para La Agricultura, 2006. 242 p.

SANTOS, R. F. *Planejamento Ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVA, J. S. V. *Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental*. Campinas, 2003. 307 p.

Geoestatística integrada com estatística multivariada e geoprocessamento na definição de unidades de manejo para o *Pinus taeda***

Itamar Antonio Bognola^{1*}, Christel Lingnau^{2*}, Osmir José Lavoranti^{1*}, Lorena Stolle^{3*}, Antonio Rioyei Higa^{2*}, Edilson Batista de Oliveira^{1*}

¹ Pesquisador A, Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil

² Professor Universidade Federal do Paraná – UFPR, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

³ Mestre em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil

*e-mail: iabog@cnpf.embrapa.br; osmir@cnpf.embrapa.br; edilson@cnpf.embrapa.br; lingnau@ufpr.br; higa@ufpr.br; lorenastolle@yahoo.com.br

**Parte da tese de doutorado do primeiro autor

Resumo: O objetivo deste estudo foi o de avaliar a variabilidade espacial de *Pinus taeda* Linnaeus em função de propriedades do solo obtidas a partir de um mapeamento detalhado, na escala 1:10.000, em uma área da empresa Battistella Florestal, localizada no município de Rio Negrinho, Estado de Santa Catarina. Os princípios do manejo em silvicultura de precisão devem ser adaptados à variabilidade de campo. Isso requer técnicas eficientes para estimar e mapear a variabilidade espacial e/ou temporária de atributos do solo para a definição de “unidades de manejo”. No entanto, as determinações de algumas variáveis que caracterizam as propriedades de um determinado solo são muitas vezes onerosas. Nestas situações é interessante estimar tais variáveis em função de outras que apresentam boa correlação espacial e mais fácil determinação. Isto é possível por um semivariograma cruzado. O interpolador que utiliza o semivariograma cruzado em modelagem é chamado co-krigagem. O objetivo deste estudo foi testar o método de co-krigagem para estimar as “unidades de manejo” relacionadas com as propriedades do solo por meio de técnicas de estatística multivariada e geoestatística. Os resultados mostraram que estas “unidades de manejo” podem ser estimadas com alta precisão através da co-krigagem. Ele também evidencia a importância de se aliar técnicas de estatísticas multivariadas com geoestatística e geoprocessamento na definição de “Unidades de Manejo” para o pinus.

Palavras-chave: geoestatística, geoprocessamento, variabilidade espacial, silvicultura de precisão.

Geostatistics integrated with multivariate statistical and GIS in the definition of management units for Pinus taeda

Abstract: The objective of this study was to assess spatial variability of Loblolly Pine Linnaeus in properties function of the soil obtained from a detailed mapping, in the scale 1:10.000, in an area of the Forest Company – Battistella, located in the Rio Negrinho municipal district, state of Santa Catarina. In precision silviculture management principles must be adapted to the field variability. This requires efficient techniques to estimate and map the spatial and/or temporary variability of attributes of the soil for “management unit’s” definition. However, the determination of some variables that characterize the properties of a particular soil is often onerous. In these situations it is interesting to estimate such variables as a function of others that present good space correlation with the former and are of simple determination. This is possible by a cross-semivariogram. The interpolator that uses the cross-semivariogram in modeling is called co-kriging. The aim of this study was to test the co-kriging method for estimating “management unit’s” related to soil properties by means of statistical techniques multivariate and by geostatistical. Results showed these “management unit’s” can be estimated with high precision by co-kriging. It also got evident the importance of if ally technical multivariate with geostatistical and geoprocessing in the definition of the “Management Unit’s” for loblolly pine.

Keywords: geoprocessing, geostatistical, precision silviculture, space variability.



1. Introdução

A complexidade inerente aos fatores ecológicos, o elevado número de dados e seus inter-relacionamentos, a complexidade de sítios e de fatores ambientais, dentre outras características inerentes às espécies florestais, têm impedido o sucesso de aplicação dos procedimentos de sumarização e classificação de dados (JOHNSON; WICHERN, 1998). Justifica-se assim, o uso de técnicas estatísticas multivariadas, quando os objetivos da investigação científica se ajustam a: redução ou simplificação estrutural dos dados; agrupamento e classificação de objetos; investigação da dependência entre variáveis; predição; e, construção de testes de hipóteses. A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos utilizados em situações nas quais inúmeras variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral. Em geral, as variáveis são correlacionadas entre si e quanto maior o número de variáveis mais complexo torna-se a análise por métodos comuns de estatística univariada.

Estas técnicas multivariadas permitem ainda que se faça uma redução na dimensão de análises com múltiplas respostas com o objetivo de simplificar o seu entendimento, a sua visualização e interpretação, e ainda obter suficientes detalhes para uma adequada representação destes resultados. Ela engloba métodos estatísticos para descrever e analisar dados que incluem medidas simultâneas de muitas variáveis correlacionadas, que se supõe, explicam a complexidade de um sistema biológico (MINGOTI, 2005).

Por outro lado, a modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa da variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados. Acessar essa variabilidade faz da geoestatística uma eficiente ferramenta de suporte a decisão no manejo de solo das espécies florestais. Os métodos geoestatísticos de interpolação, em especial o da co-krigagem, apresentam propriedades ótimas de estimativas em dados esparsos. Para a aplicação das técnicas de geoestatística, necessita-se, primeiramente, detalhar a área onde será implantado o estudo. Esse processo é viabilizado pela implantação de um

sistema de coordenadas locais ou geográficas, onde cada atributo ou característica do solo terá suas informações quantitativas e/ou qualitativas (relevo, granulometria, textura, teor de argila, acidez, matéria orgânica etc.) associados a um ponto no espaço. Essas informações podem ser obtidas por meio de coleta in loco, mapas temáticos, imagens de satélite ou fotografias aéreas. Para referenciar essas informações utiliza-se o GPS (Sistema de Posicionamento Global), ou de forma mais simplificada através da topografia convencional, obtendo coordenadas locais.

Em etapa posterior, utilizam-se os SIG's (Sistemas de Informações Geográficas) para processar e fornecer as informações da variabilidade espacial dos atributos do solo e do meio físico (variáveis independentes – X) e suas inter-relações com os aspectos de produtividade (variáveis dependentes – Y) da espécie florestal de interesse. Os SIG's realizam funções de análises espaciais baseados nos atributos das entidades gráficas armazenadas na base de dados e a partir de módulos específicos, geram um conjunto de dados estimados (semivariograma), utilizando-se dos pontos ($X_i, Y_i, Z_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$) amostrados nos pontos de coleta da informação, em que as variáveis X e Y representaram a posição desses pontos (coordenadas geográficas ou locais) e a variável Z, os atributos do solo, estimando o valor dos parâmetros nos locais não amostrados (VIEIRA et al., 2002).

Dentro deste contexto, conforme Bognola (2007), o objetivo desse estudo foi o de avaliar a variabilidade espacial do rendimento produtivo de *Pinus taeda* L. em função de propriedades do solo por meio de geoprocessamento integrado com estatística multivariada e com geoestatística, através da técnica de co-krigagem.

2. Material e métodos

Foram coletados dados em parcelas de inventário florestal contínuo (PIFC's), com área de 500 m² e espaçamento entre árvores de 2,80 × 2,80 m. As medidas de crescimento de *P. taeda* constam de cinco idades diferentes (11 a 15 anos), obtidas junto ao Setor de Inventário da Battistella

Florestal, em função de variáveis do tipo de solo e de sua caracterização física, físico-hídrica e química, através de coletas deformadas e não deformadas de amostras nas profundidades de 0-20 e 30-50 cm para todas as parcelas de inventário estudadas; além da caracterização do espaço físico quanto aos aspectos de relevo, geologia e fisiografia. As variáveis foram estabelecidas a partir do levantamento de solos detalhados de uma área-piloto, além das avaliações químicas, físicas, físico-hídricas e morfológicas de perfis de solos, utilizando-se duas profundidades de coletas comuns (0-20 e 30-50 cm). A variável utilizada para caracterizar a qualidade do sítio de cada povoamento foi o Índice de Sítio (IS) dado pela altura dominante (HDOM) aos 15 anos de idade. Como as idades de medições dos povoamentos variaram de 11 a 15 anos, todas as alturas dominantes foram projetadas para 15 anos de idade através da Equação 1, disponível no software “Sispinus” (OLIVEIRA, 1995), dada por:

$$IS = HDOM \times e^{4,6433 \{[(1/I)^{0,56}] - 0,2195\}} \quad (1)$$

As análises estatísticas foram realizadas através do software do sistema estatístico SAS® Statistical Analysis System, licenciado para a Embrapa Florestas.

3. Resultados e discussão

As unidades de manejo para *P. taeda* (UM's) foram delimitadas através da integração de técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG/ ArcGis) e de geoestatísticas aplicadas no estudo da relação entre potencial produtivo (baseado no Índice de Sítio para idade de 15 anos – IS₁₅) e atributos do meio físico (solo, relevo, geologia etc.) na área-piloto de estudo, com suas respectivas parcelas de inventário florestal contínuo.

Assim, procurou-se fazer uma análise de componentes principais para o grupo de variáveis

explicativas, a fim de se obter três grupos de componentes principais (CP₁, CP₂ e CP₃) para a estimativa da variável principal IS₁₅. Somente os cinco primeiros componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, ajudaram a explicar 90% da variância total. No entanto, pela limitação do uso de apenas três variáveis ou grupo de componentes principais do software ArcGis 9.1, para o método da Co-krigagem multivariada, tem-se 72% de percentual da variância total acumulada associada até o terceiro componente principal (CP₁ a CP₃), o que mostra uma tendência de estimativa promissora, via Co-krigagem multivariada, do IS₁₅ nos locais não amostrados.

Desta forma, procurou-se avaliar, via análise variográfica, se todos os três componentes principais escolhidos pela técnica ACP, apresentavam-se estruturados espacialmente, ou seja, se existia uma função estrutural, com semivariância de comportamento modelável. Assim, foi aplicado o método da Co-krigagem Ordinária Multivariada, pelo software ArcGis 9.1 – módulo geoestatística, tendo como variável principal o IS₁₅ e como variáveis secundárias, os três componentes principais (CP₁ à CP₃). Para o método aplicado, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental. Os ajustes dos parâmetros estão apresentados na Tabela 1.

Na Tabela 1, verificou-se que o Índice de Sítio (IS₁₅) em função dos componentes principais “CP1”, “CP2” e “CP3”, apresentou uma forte dependência espacial (DE%), com percentual da ordem de 80%. Na classificação de Cambardella et al. (1994), que trabalharam com atributos do solo, quando a relação for maior ou igual a 75%, diz-se que há uma forte dependência espacial. Isto mostra que houve uma ótima estimativa, nos locais não amostrados, do IS₁₅ com o modelo exponencial. Para verificar o grau

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do semivariograma para o modelo exponencial ajustado à estrutura de correlação espacial da variável “IS₁₅” em função de três componentes principais.

Variável	C0*	C1**	C0+C1***	a****	DE%	Modelo de ajuste
IS ₁₅ = f (CP ₁ +CP ₂ + CP ₃)	0,5519	2,168	2,72	7.112	79,7	Exponencial

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***patamar (C0 + C1); ****a = alcance, DE% = C1/(C0 + C1).

de dependência espacial, entre as características, utilizou-se da relação entre a variação estruturada e o patamar (DE%).

O fato do IS₁₅ ter apresentado forte correlação espacial é um ótimo indicativo do potencial da técnica de Co-krigagem Ordinária Multivariada na definição das unidades de manejo para *P. taeda* (UM's). O raio de alcance por volta de 3.600 m, apresentado nesta Tabela 1 (a qual mostra o diâmetro em torno de 7.112 m) é chamado de alcance teórico, uma vez que este parâmetro no modelo exponencial é considerado infinito (JOURNAL; HUIJBREGTS, 1978). Este valor de "alcance" corresponde ao diâmetro das áreas consideradas homogêneas para cada característica (definida pelas componentes principais). Desta forma, com os resultados alcançados do modelo exponencial, foi possível obter uma malha de pontos interpolados que permitiu visualizar o comportamento do IS₁₅, estimado via

componentes principais, por meio de isolinhas ou contorno e ou superfícies contínuas, recursos importantes para se definir a espacialização de quatro Unidades de Manejo Operacionais (UMO's) diferenciadas para o *P. taeda* (Figura 1), permitindo verificar o grau da relação entre os dados dos IS₁₅ - determinada via equação do SISPINUS (OLIVEIRA, 1995) -, com o mapa das UMO's para o *P. taeda* obtido através do modelo exponencial geoestatístico. Ainda, as análises dos resíduos revelaram distribuição normal homocedástica pelo teste de *Shapiro-Wilk* ($w = 0,953$; $p_valor = 0,480$), indicando um excelente.

Ajuste do modelo, com erro quadrático médio de 0,40. Seguramente, este conjunto de componentes principais que ajudam a explicar 72,2% da variância total na área do presente estudo, proporciona ótima estimativa do Índice de Sítio nos locais não amostrados da presente área de estudo.

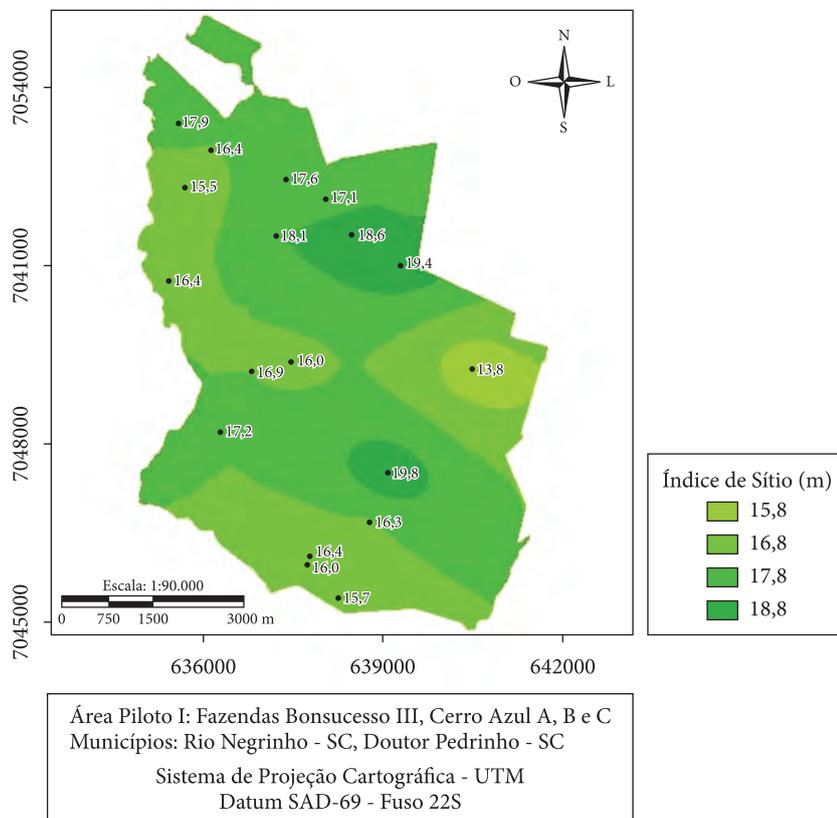


Figura 1. Mapa com distribuição espacial do "Índice de Sítio Médio - IS₁₅" obtido pela equação do programa "SISPINUS" com o "IS₁₅" predito por co-krigagem multivariada ordinária, utilizando-se de variáveis do meio físico selecionadas por análise de componentes principais e de fatores, na área-piloto, em Rio Negrinho, SC.

4. Conclusões

A integração de geoprocessamento com técnicas geoestatísticas, através da Co-krigagem Ordinária Multivariada, permite definir com boa precisão Unidades de Manejo Operacionais para o *P. taeda*. A espacialização de valores preditos dos índices de sítio para o *P. taeda*, através da relação deste índice com os três primeiros componentes principais, pelo método da Co-krigagem Multivariada - via modelo exponencial -, resulta em estimativas médias adequadas com explicação de 72,2% da variância total.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Battistella Florestal pelo grande apoio financeiro e logístico para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

Referências

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para Pinus taeda L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico**. 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 816 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297 p.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado para prognose do crescimento e produção do P. taeda L., como critérios quantitativos para avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. 1995. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ V. H. **Tópicos em Ciência do Solo II**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

Obtenção de valores de referência do DRIS para *Pinus taeda*

Shizuo Maeda^{1*}, Itamar Antonio Bognola^{1*}, Carlos H. Kurihara^{2*},
Luziane Franciscan^{3*}, Edilson Batista de Oliveira¹

¹ Pesquisador, Embrapa Florestas

² Pesquisador, Embrapa Agropecuária Oeste

³ Analista da Embrapa Florestas

*e-mail: maeda@cnpf.embrapa.br; iabog@cnpf.embrapa.br; kurihara@cpao.embrapa.br;
luziane@cnpf.embrapa.br; edilson@cnpf.embrapa.br

Resumo: O talhão é a unidade de manejo em muitos plantios florestais, sendo esse estabelecido principalmente com base na topografia da propriedade. Assim, os talhões nem sempre são uniformes quanto às características dos solos e outras variáveis que possam provocar diferenças no crescimento das árvores. Após o mapeamento detalhado dos solos de uma área-piloto, foram demarcadas parcelas, coletadas amostras foliares e feita a avaliação biométrica das árvores para o desenvolvimento do DRIS. A produtividade das árvores das parcelas aos 7, 14 e 21 anos foi feita com base no SISPINUS sendo essa informação utilizada para o estabelecimento do ponto de corte das populações de alta e baixa produtividade para a obtenção e validação dos valores de referência do DRIS. Depois dessa etapa, serão diagnosticadas as possíveis causas do baixo crescimento das árvores nas parcelas de baixa produtividade e caso se identifique problemas nutricionais com base no DRIS serão aplicadas as medidas de manejo indicadas pelo método mencionado.

Palavras-chave: manejo florestal sítio específico, silvicultura de precisão, nutrição florestal.

*Obtaining of reference values of DRIS for *Pinus taeda**

Abstract: The plot is the unit of management in some plantations, this being established primarily based on the topography of the property. Thus, the plots are not always uniform as to soil characteristics and other variables that may cause differences in tree growth. After the detailed mapping of soils in a pilot area, plots were established, and collected leaf samples for evaluation of biometric trees for the development of DRIS. The fruit of the portions 7, 14 and 21 years was based on this information SISPINUS being used to establish the cutoff point for people in high and low productivity for the collection and validation of reference values of the DRIS. After this step, will be diagnosed possible causes of the low growth of trees in plots of low productivity and if you identify nutritional problems based on DRIS will apply management measures indicated by that method.

Keywords: site-specific forest management, precision forestry, forest nutrition.

1. Introdução

Normalmente, as empresas florestais adotam os talhões como unidades de manejo operacionais. Em geral, o critério para o estabelecimento dos talhões é baseado na topografia da propriedade tendo em vista a facilidade de locação e manutenção das estradas as quais são utilizadas para as atividades de manejo florestal como plantio, colheita, desbaste e outras. Na região de Rio Negrinho, SC, importante pólo moveleiro do estado, a topografia é acidentada, com restritas condições de aproveitamento agrícola intensivo em mecanização, o que estimulou a exploração das terras com plantio de *Pinus taeda*, pela adaptação da espécie ao clima da região e pelo interesse comercial. É grande a variabilidade de classes de solos nos plantios florestais dessa região o que resulta em variações no desenvolvimento das árvores nos talhões como resultado das variações na fertilidade do solo, da disponibilidade de água (falta ou excesso), compactação do solo, profundidade efetiva, impedimentos físico ou químico, do nível de sobrevivência da mudas, entre outros fatores. O Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação – DRIS, desenvolvido por Beaufils (1973), propõe, entre outras abordagens, avaliar a produtividade da planta como resposta ao seu estado nutricional, por meio do conhecimento dos teores de nutrientes, sendo comumente analisado as folhas. Para isso valores de referência devem ser obtidos a partir de teores de nutrientes em amostras foliares de populações de plantas com diferentes níveis de produtividade. O objetivo desse trabalho é relatar as atividades executadas até o momento no sentido de obter os valores de referência do DRIS para *Pinus taeda* em plantios com idade aproximada de 27 meses.

2. Material e métodos

A área-piloto é formada por um talhão comercial de plantio de *Pinus taeda* com cerca de 27 meses de idade e aproximadamente 31 ha localizada em Rio Negrinho, SC, sendo essa de propriedade da

Battistella Florestal. Os solos dessa área-piloto foram mapeados numa escala detalhada de 1:5000. Quarenta parcelas de “inventário” com cinco linhas de cinco plantas, para avaliação do crescimento – altura das árvores e do diâmetro à altura do peito (1,30 m) e coleta de amostras foliares, foram demarcadas considerando a altura uniforme das árvores na parcela com base numa avaliação visual e considerando-se ainda, as diferenças no crescimento entre as árvores das parcelas.

Para fins de diagnosticar as causas das diferenças de crescimento das árvores nas parcelas amostrais, outros fatores foram avaliados como a classe de solo do local da parcela, a profundidade, a ocorrência de camadas compactadas, a umidade e características químicas e físico-hídricas do solo, em diferentes camadas entre outras propriedades. Com base em variáveis biométricas das árvores será feita uma prognose da produtividade da parcela nas idades de 7, 14 e 21 anos, utilizando-se o programa SISPINUS (OLIVEIRA et al., 1991), para fins de identificar o ponto de corte para separação da população de amostras para a obtenção dos valores de referência do DRIS.

As amostras foliares serão analisadas quanto aos teores de nutrientes utilizando-se protocolos específicos (SILVA et al., 1999). Após a conclusão das análises das amostras foliares os procedimentos para obtenção e validação dos valores de referência do DRIS (BEAUFILS, 1973) serão executados, bem como para a etapa de diagnóstico e correção de problemas nutricionais das plantas nas parcelas de inventário com menor produtividade caso a deficiência no crescimento seja atribuída a problemas nutricionais das plantas.

3. Resultados e discussão

Aguarda-se a conclusão das análises das amostras foliares e de solo coletadas para a continuidade do processo de obtenção e validação dos valores de referência do DRIS.

4. Conclusões

Ainda, sem conclusões.

Agradecimentos

À Battistella Florestal pela colaboração na realização do trabalho disponibilizando área florestal e apoio logístico.

Referências

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**: a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, n. 1).

OLIVEIRA, E. B.; OLIVEIRA, Y. M.; HAFLEY, W. L. Um software para predição do crescimento e da produção de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* sob manejo no sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 149-151, 1991.

SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

Unidades de Manejo Operacionais para o *Eucalyptus*

Itamar Antonio Bognola^{1*}, Lorena Stolle^{2*}

¹ Pesquisador A, Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil

² Mestre em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Av. Seis, 1161, sala B, Chapadão do Sul, MS, Brasil

*e-mail: iabog@cnpf.embrapa.br; lorenastolle@yahoo.com.br

Resumo: Foi feito um levantamento pedológico detalhado, na escala 1:10.000, de uma propriedade rural com 4.660,70 ha, com o objetivo principal de se definir Unidades de Manejo Operacionais (UMO's) para o *Eucalyptus* sp., através do método da "Lógica Fuzzy". Os resultados obtidos por esta metodologia foram comparados com os previstos, de forma prática, por especialistas em estudo dos solos, visando garantir a eficiência do uso desta técnica. Para tanto, foram definidos valores de domínios da função de pertinência "fuzzy" para as variáveis da rede "fator limitante" com seus respectivos pesos. A análise para definição das UMO's propriamente dita, foi realizada através da extensão "EMDS" para o ArcGis 9.1, tendo-se, primeiramente, adicionado todos os planos de informação (mapas vetoriais) da área de estudo e, em seguida, efetuado a leitura da base de conhecimento elaborada no software NetWeaver para finalmente executar esta análise. Os resultados obtidos mostram que o método proposto tem grande potencial como ferramenta para auxiliar, de forma prática, o agrupamento das unidades de mapeamento de solos em classes de UMO's, uma vez que os resultados alcançados por esta técnica foram bastante semelhantes aos resultados esperados para as condições do meio físico para a região de estudo. Foram obtidas as seguintes UMO's para o cultivo de eucaliptos na propriedade de estudo: II (0,6%), III (25,0%), IV (70,3%), V (1,4%) e VI (2,7%).

Palavras-chave: lógica fuzzy, manejo florestal, mapeamento de solos.

Operational Management Units for the *Eucalyptus*

Abstract: A survey was detailed pedological, scale 1:10,000, a rural property with 4660.00 ha, with the main objective of defining Operational Management Units (UMO's) for eucalyptus trees by the method of "fuzzy logic". The results obtained by this method were compared with expectations in a practical way, by experts in the study of soils in order to guarantee the efficiency of using this technique. For this, values were defined fields of membership function "fuzzy" to the variables of the network "limiting factor" with their respective weights. The analysis for definition of UMO's itself was accomplished through the extension "EMDS" for ArcGIS 9.1, and it was, first, added all the information plans (vector maps) of the study area and then made to read knowledge base developed in the NetWeaver software to finally perform this analysis. The results show that the proposed method has great potential as a tool to assist in a practical, all units of mapping soils in classes of UMO's, since the results achieved by this technique were very similar to the results expected for the conditions of the physical environment for the study region. We obtained the following UMO's for growing eucalyptus trees on the property of study: II (0.6%), III (25.0%), IV (70.2%), V (1.4%) and VI (2.7%).

Keywords: fuzzy logic, forest management, soil survey.



1. Introdução

As regiões de cultivo de eucalipto apresentam uma infinidade de variações ambientais em nível microrregional, como pode ser facilmente constatado quando se observam as diferenças marcantes entre as produtividades florestais de cada área. Para se avaliar um ambiente, no entanto, há necessidade de se identificar segmentos específicos dentro de uma paisagem geral, no nível de propriedade agrícola, e, dentro desse estudo de paisagem, buscar a compreensão das interações que aí se processam. Desse modo, a disponibilidade de nutrientes, de água, de oxigênio, a suscetibilidade à erosão, os problemas de mecanização, as questões da radiação solar, temperatura etc., avaliadas em cada região, mais o uso da espécie mais adaptada ao meio aliado às práticas de manejo adequadas, irão determinar a capacidade produtiva potencial de cada local, bem como os fatores limitantes ao seu uso.

Segundo Ker e Novais (2003), há muitas formas de se ver e, ou de se avaliar os solos. As colocações e respostas àquilo que vemos e avaliamos depende da nossa área de atuação, capacidade perceptiva, interesse etc., e podem ser tão diversas quanto nossas personalidades, preferências e experiências. O entendimento do solo na natureza, sua classificação e sua distribuição espacial, são decisivos na transferência dos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de pesquisa, do uso e da ocupação das terras. No mínimo privilegia a relação acerto/erro.

A pedologia, aqui contemplando levantamento e classificação de solos, tem se preocupado com este fato. Entretanto, em razão dos conceitos pedológicos empregados na distinção e subdivisão de classes de solos fundamentarem-se na quantificação de atributos permanentes dos solos, muito dos quais são avaliados nos horizontes subsuperficiais, não são raros os questionamentos a respeito do significado e aplicação de vários destes atributos, tanto em termos agrônômicos como ecológicos. Desta forma, muitas vezes um levantamento detalhado de solos permite identificar, numa determinada propriedade, inúmeras unidades de mapeamento pedológicas que dificultam seu manejo operacional em vista da grande quantidade

de tarefas que teriam de serem diferenciadas para cada unidade de mapeamento de solos. Assim, para que se possa tornar operacional e de fácil aplicação as atividades silviculturais é necessário reduzir de trinta a quarenta unidades de mapeamento de solos em cinco a seis unidades de manejo florestais operacionais numa propriedade rural.

Daí a importância que teriam os técnicos responsáveis pelo planejamento e pela implantação dos povoamentos florestais, numa determinada região, ao executarem a identificação e a separação dos diferentes ambientes, considerarem a interação dos fatores edafo-climáticos com os fatores biofísicos, pois isso subsidiaria melhor não só a predição de produtividades como também a definição de técnicas e de espécies e procedências adequadas a cada ecossistema.

Objetivou-se, portanto, com a elaboração deste trabalho, determinar as unidades de manejo florestal operacionais para o cultivo do eucalipto a partir de levantamentos pedológicos detalhados em uma área-piloto, de uma empresa do ramo florestal, no Estado de São Paulo.

2. Material e métodos

A área-piloto em estudo localiza-se no estado de São Paulo, no município de Araraquara, na Fazenda Fortaleza, da Empresa Suzano Papel e Celulose (antiga RIPASA S/A), com coordenadas aproximadas UTM 802.000 e 815.000 E, e 7.575.000 e 7.592.000 S (Datum SAD 69 Fuso 23 Sul), e área útil de 4.660,70 ha.

De acordo com a carta geológica desta região, há predomínio de material sedimentar recente do Grupo Bauru, ou seja, as principais litologias encontradas na fazenda Fortaleza, correspondem às Formações Pirambóia ou Botucatu (CAVAGUTI; SILVA 1992).

Quanto ao clima, segundo a classificação climática de Köppen, está numa faixa de transição entre o grupo climático *Aw* para o grupo *Cwa*, ou seja, apresenta características entre o clima tropical chuvoso (chuvas concentradas na estação de verão e com temperatura média do mês mais frio acima de 18 °C), e o clima tropical de altitude, ou seja, verões quentes e estações secas de inverno,

observando-se, ainda, que a temperatura média do mês mais quente é, para o município, superior a 10 °C e que, a temperatura média do ar dos três meses mais frios estão compreendidas entre -3 e 18 °C.

Com relação ao mapeamento de solos, foram feitos estudos preliminares no mapa planialtimétrico da fazenda Fortaleza onde se determinaram os locais a serem visitados no campo. Efetuaram-se prospecções por meio de tradagens (trado tipo holandês) até 120 cm (200 cm quando fosse o caso) ou através de estudos em barrancos de estradas expostos, a intervalos regulares de 30 a 50 hectares, possibilitando o ajuste de uma legenda geral de unidades de mapeamento, de caráter preliminar. Nessas prospecções teve-se o cuidado de registrar todas as variações referentes às classes de solos, incluindo, entre outras, a cor, textura, gradiente textural, tipo e espessura dos horizontes A e B, profundidade do solum, posição do solo na paisagem, forma e comprimento das vertentes, altura do lençol freático; profundidade efetiva dos solos (ocorrência de material rochoso) etc.

Para georreferenciamento do mapa de solos, foi utilizado o software ArcGis 9.1 da ESRI . Utilizando-se rotinas do aplicativo ArcGis, foram digitalizadas as classes de solos definidas com base nos trabalhos de campo. O mapa de declividade do terreno foi gerado a partir de curvas de nível, com equidistância de 5 m. Inicialmente, criou-se um modelo digital de elevação do terreno (MDE) com base nos conceitos de malha triangular (TIN). Para tal, utilizaram-se como feição as cotas das curvas de nível, usando como forma de triangulação pontos em massa. A partir do MDE, definiram-se as classes de relevo: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%) e forte ondulado (20-45%). Posteriormente, foi realizada sobreposição dos mapas das classes de solos definidas em campo e das fases de relevo, obtendo-se o mapa de unidade de mapeamento (UM) de solos. A partir das informações contidas na legenda do levantamento detalhado de solos procurou-se determinar as Unidades de Manejo Florestais Operacionais – UMO's para a área em estudo.

3. Resultados e discussão

O levantamento pedológico detalhado foi produzido na escala 1:10.000. As classes de solos mapeadas, com seus respectivos percentuais de área de ocorrência relativa ao total da área da fazenda Fortaleza, são apresentadas na Tabela 1. Verifica-se, por esta legenda, uma grande variabilidade de solos existentes, resultantes, principalmente, da diversidade geológica e das formas de relevo na área-piloto em estudo. A área útil total de solos mapeada representa 4.660,70 ha, o restante é ocupado com vegetação nativa, estradas, cursos d'água e outros usos.

Observa-se o predomínio da classe dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS. Esta classe apresenta mais de 80% da área útil mapeada, contribuindo, portanto, com grande percentual da fração areia na área de estudo. Inclusive, para as classes dos Latossolos, quer sejam Amarelos ou Vermelho-Amarelos, elas apresentam muitas vezes o caráter espessarênico, ou seja, apresentam classe textural areia ou areia franca, invariavelmente até pelo menos 100 cm de espessura desde a superfície do terreno. Desta forma, esta área-piloto tem o predomínio de solos arenosos, o que pode prever classes de Unidades de Manejo Operacionais com baixa capacidade de retenção d'água e, por conseguinte, baixa capacidade produtiva para o eucalipto, uma vez que é potencializada pelas condições climáticas, ou seja, pela estação seca definida, que é bastante longa para esta região. Desta feita, os resultados obtidos para a determinação das Unidades de Manejo Operacionais pela técnica da “lógica fuzzy” deverão apresentar resultados semelhantes ao esperado, considerando-se as condições do meio físico para esta área de estudo.

A definição destas “Unidades de Manejo Operacionais – UMO's” pode, em muitos casos, contribuir de forma adequada para tal propósito. No entanto, outras razões interessam às empresas do ramo florestal, tais como: a) diminuir os custos com a manutenção e processamento da rede de parcelas permanentes, denominadas de “Parcelas de Inventário Florestal Contínuo” que são significativos, tanto para as avaliações efetuadas durante o ciclo da floresta, quanto nos

inventários de pré-corte; b) após o trabalho de definição das Unidades de Manejo Operacionais, que visa identificar áreas com mesma capacidade produtiva, interessa às empresas como avaliar suas características, no sentido de fornecer subsídios para a definição de técnicas de manejos operacionais mais apropriadas a cada situação, considerando os aspectos de sustentabilidade da produção e maximização da rentabilidade da atividade florestal, em vista de algumas UMO's apresentarem produtividades bem abaixo do esperado para uma silvicultura de precisão.

Com base na metodologia aplicada, foram feitos os agrupamentos das classes de solos e das características do meio físico em Unidades de Manejo Operacionais Previstas (UMOP's) e as Unidades de Manejo Operacionais Geradas (UMOG's), por esta técnica de "lógica fuzzy" para a área-piloto em estudo (Tabela 1).

Ocorreram na Fazenda Fortaleza as seguintes UMOG's (Tabela 1): "UMO II (28 ha = 0,6%), UMO III (1.165,20 ha = 25%), UMO IV (3.276,50 ha = 70,3%), UMO V (65,20 ha = 1,4%) e UMO VI (125,85 ha = 2,7%)", foram às únicas definidas para as classes de solos encontradas

Tabela 1. Legenda Geral de Identificação das Classes de Solos da Fazenda Fortaleza, Município de Araraquara, SP, Propriedade da Suzano Papel e Celulose.

Solo	% Rel. Área	Unidades de mapeamento de solos	UMOP ¹	UMOG ²
PVAd ₃	1,2	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura arenosa/média leve, fase relevo ondulado.	IV	III
LVAd ₁	5,5	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico espessarênico, A moderado, textura média leve, fase relevo plano ou suave ondulado.	III	III
LVAd ₂	0,2	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média leve, fase relevo suave ondulado.	III	III
LVd ₁	2,5	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico espessarênico, A moderado, textura média leve, fase relevo plano.	III	III
LVd ₂	1,3	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico espessarênico, A moderado, textura média leve, fase relevo suave ondulado.	III	III
LVd ₃	3,7	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média leve, fase relevo plano.	III	III
LVd ₄	1,6	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média leve, fase relevo suave ondulado.	III	III
LVd ₇	0,6	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média pesada, fase relevo plano ou suave ondulado.	II	II
RQgf	1,4	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico plíntico, A proeminente, textura arenosa (<4% argila), fase relevo plano ou suave ondulado.	VI	V
RQo ₁	64,4	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, textura arenosa (4-8% argila), fase relevo plano ou suave ondulado.	IV	IV
RQo ₂	9,0	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, textura arenosa (8-15% argila), fase relevo plano ou suave ondulado.	IV	III
RQo ₃	4,9	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, textura arenosa (4-8% argila), fase relevo suave ondulado ou ondulado.	IV	IV
RQo ₆	1,0	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A proeminente, textura arenosa (4-8% argila), fase relevo ondulado ou forte ondulado.	IV	IV
RQo ₇	2,2	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico léptico, A moderado, fase relevo suave ondulado ou ondulado.	V	VI
RLd ₃	0,3	Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico + Afloramentos de Rochas.	VI	VI
AR	0,2	AFLORAMENTOS DE ROCHAS.	VI	VI

¹UMOP = Unidade de Manejo Operacional Prevista pelos Técnicos Especialistas; ²UMOG = Unidade de Manejo Operacional Gerada pela técnica da "Lógica Fuzzy".

neste local. Elas estão descritas neste quadro, onde se pode comprovar a estimativa e a tendência de diferenças em termos de produtividades das espécies do gênero objeto deste estudo, pelos possíveis fatores limitantes associados às diferentes capacidades produtivas.

4. Conclusões

O levantamento pedológico detalhado da área-piloto de estudo permite identificar as propriedades que mais contribuem para suas potencialidades e ou limitações para a definição das Unidades de Manejo Operacionais para a cultura do eucalipto. Verifica-se que a metodologia empregada neste trabalho é um importante instrumento para determinação das UMO's.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Suzano Papel e Celulose pelo grande apoio financeiro e logístico para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

Referências

CAVAGUTI, N.; SILVA, F. P. Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos na cidade de Bauru - SP, Face as Características Hidrogeológicas Especiais da Região. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7., 1992, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1992. p. 74-79.

KER, J. C.; NOVAIS, R. F. Fundamentos da pedologia e relação com a fertilidade dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Anais...* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 3-8.

Estoque de carbono no solo e produtividade da cana-de-açúcar analisados quanto a variabilidade espacial

Célia Regina Grego^{1*}, Alex de Oliveira^{2*}, Sandra Furlan Nogueira^{1*},
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues^{1*}, Sandro Roberto Brancalhão³,
André Luiz dos Santos Furtado^{1*}

¹ Pesquisadores da Embrapa Monitoramento por satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas, SP, Brasil

² Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Pontifícia Universidade, Católica de Campinas, Rod. Dom Pedro I, Km 136, Parque das Universidades, CEP 13086-900, Campinas, SP, Brasil

³ Pesquisador do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana do IAC, Caixa postal 206, CEP 14001-970, Ribeirão Preto, SP, Brasil

*e-mail: crgrego@cnpem.embrapa.br; alexpu@gmail.com; sandra@cnpem.embrapa.br; crisagr@cnpem.embrapa.br; brancaliao@iac.sp.gov.br; andre@cnpem.embrapa.br

Resumo: O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo vem facilitar o estudo de suas relações com a produtividade das culturas. O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade espacial do estoque de carbono de 0-10 e de 10-20 cm e verificar sua correlação com a produtividade da cana-de-açúcar no município de Mogi Mirim, SP. As amostras de solo, para a determinação do estoque de carbono, e dos colmos, para obtenção da produtividade, foram obtidas numa grade de pontos georreferenciados em área de cana-de-açúcar de quinto corte cultivada em sistema de plantio direto. Os resultados indicaram que houve dependência espacial tanto para o estoque de carbono quanto para a produtividade da cana-de-açúcar. Os dados de estoques de carbono se correlacionaram positivamente em profundidade e espacialmente, em locais onde houve maior estoque de 0-10 cm também houve maior estoque de carbono de 0-20 cm. Com relação ao estoque de carbono e a produtividade da cana-de-açúcar, a correlação foi menor, porém positiva, o que não foi suficiente para se identificar espacialmente esta correlação.

Palavras-chave: dependência espacial, geoestatística, matéria orgânica.

Carbon stock in soil and productivity of sugar cane reviewed as to spatial variability

Abstract: The knowledge of the spatial distribution of soil attributes make it easier to study their relationships with crop productivity. The objective of this study was to analyze the spatial variability of carbon stocks of 0-10 and 10-20 cm and check its correlation with the productivity of sugar cane in the city of Mogi Mirim, SP. Soil samples for determination of carbon stocks, and the stalks to obtain productivity, were obtained from a georeferenced grid points in the area of cane sugar grown in the fifth cut-till system. The results indicated that there was spatial dependence for both carbon storage and for the productivity of cane sugar. Data on carbon stocks were positively correlated spatially and in depth, in places where there was a greater stock of 0-10 cm was also greater carbon storage of 0-20 cm. With respect to carbon storage and productivity of sugar cane, the correlation was lower, but positive, which was not enough to identify this spatial correlation.

Keywords: spatial dependence, geoestatistical, matter organic.

1. Introdução

A reserva de carbono na matéria orgânica do solo é uma importante estratégia para atenuar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. O armazenamento de carbono preferencialmente na fração estável da matéria orgânica representa um benefício ambiental cuja manutenção depende fundamentalmente do manejo do solo (BAYER et al., 2004).

Um importante sistema de cultivo, como o da cana-de-açúcar, pode apresentar diferenças significativas em seu estoque de carbono do solo, sendo que essas diferenças são atribuídas a variação de manejo empregado e ao tempo em que a mudança do uso da terra ocorreu. O manejo adequado do solo pode melhorar sua estrutura física e fertilidade, reduzindo as emissões de CO₂ pelo maior acúmulo de material vegetal sob o solo acarretando em alta produtividade das plantas (BELZÁRIO, 2008).

As alterações no solo devem ser analisadas considerando a sua variabilidade espacial, visto que seus atributos variam no espaço geográfico com certo grau de dependência espacial devido a diferentes fatores como relevo, clima e vegetação. A análise geoestatística é uma ferramenta adequada para identificar esta dependência espacial. Vieira (2000) recomenda a adoção da geoestatística como rotina em análise dos dados agrícolas principalmente quando se está trabalhando numa área pela primeira vez e pouco se sabe sobre sua estrutura espacial. Esta técnica incorpora a possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base nos mapas de dados interpolados garantindo mínima variância e sem tendência.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade espacial do estoque de Carbono e verificar sua relação com a produtividade da cana-de-açúcar no município de Mogi Mirim, SP.

2. Material e métodos

A área de estudo localiza-se na Fazenda Aparecida, no município de Mogi Mirim, Estado de São Paulo, com coordenadas de referência UTM zona 23 S, 7505136 N, 299621 E. O clima da região é Cwa na classificação de Koppen, o relevo local e regional é suave ondulado e o solo é o Latossolo vermelho escuro. A área amostrada ocupa aproximadamente 3 ha e apresenta o seguinte manejo: cultivo com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) em sistema de plantio direto por 12 anos.

O solo foi amostrado nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm sendo coletadas amostras em pontos georreferenciados na grade de amostragem de 50 pontos.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório para a obtenção do teor de matéria orgânica através da metodologia de Raij et al. (2001) nos pontos da área amostrada. A densidade do solo foi obtida por meio do método do anel volumétrico segundo Camargo et al. (1986) e foi utilizada para cálculo do estoque de carbono no solo em cada uma das duas profundidades, segundo metodologia utilizada por Rangel e Silva (2007).

Os dados da produção da cana-de-açúcar do ano de 2010 foram obtidos pela colheita da variedade SP 3280 de quinto corte realizada através da pesagem de 10 colmos em 111 pontos de amostragem e os colmos e perfilhos foram contados numa linha de 2 m em cada um dos pontos. Os dados foram tabulados e calculou-se a produtividade de cana em t.ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para verificar possíveis dados discrepantes e a normalidade nos dados. A correlação entre os dados de estoque de carbono e produtividade também foi obtida através da matriz de correlação. A análise geoestatística foi realizada através da construção e ajuste de semivariogramas, interpolação por krigagem ordinária e construção de mapas de isolinhas. Para as análises de semivariograma e krigagem foram utilizados os programas desenvolvidos por Vieira (2002) e os mapas de isolinhas no programa Surfer 9.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva para o estoque de carbono e a produtividade da cana-de-açúcar. Quanto à distribuição de frequência dos dados, os coeficientes de simetria e curtose são próximos de zero, o que leva ao indicativo de normalidade de distribuição e, que a variação nos dados foi mediana, com coeficientes de variação de 14,71 para estoque de carbono na camada de 0-10 cm a 23,35% para a produtividade da cana. Em média o estoque de carbono no solo foi maior na camada superficial (0-10 cm) comparado com o de 10-20 cm. Isto pode ser decorrente do sistema de cultivo da cana-de-açúcar ser em plantio direto. Segundo Canellas et al. (2003), nos sistemas conservacionistas ocorre incremento de matéria orgânica na superfície do solo o que conseqüentemente leva ao maior estoque de carbono nesta camada.

Os dados foram correlacionados e a matriz de correlação (Tabela 2) não indicou forte correlação entre estoque de carbono e produtividade. Para

o estoque de carbono nas profundidades de 0-20 e 10-20 cm a correlação foi maior.

A análise de dependência espacial, por meio da construção e ajuste de semivariogramas, permitiu identificar a dependência espacial nos dados. Os semivariogramas estão na Figura 1.

Com ajustes esféricos aos semivariogramas, os alcances variaram de 100 a 200 m (Figura 1), indicando as distâncias máximas para atingir o patamar (C1) da dependência espacial. Para valores de distância maiores do que o alcance, os dados são considerados aleatórios.

Identificada a dependência espacial, foi possível construir mapas de isolinhas (Figura 2) devido à interpolação por krigagem ordinária, que segundo Vieira (2000), possui a vantagem de interpolar sem tendência e com variância mínima.

Verifica-se que os mapas possuem uma área semelhante quanto ao estoque de carbono em profundidade. Na parte esquerda dos mapas (Figuras 2a e b) ocorre maiores estoque de carbono. Já para a produtividade da cana-de-açúcar comparada com o estoque de carbono, esta

Tabela 1. Estatística descritiva do estoque de carbono no solo de (t.ha⁻¹) de 0-10 cm e de 10-20 cm de profundidade, e da produtividade da cana-de-açúcar (t.ha⁻¹).

Variáveis	Média	Variância	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Estoque de carbono t.ha ⁻¹ 0-10 cm	25,69	14,29	3,78	14,71	18,02	33,16	-0,158	-0,480
Estoque de carbono t.ha ⁻¹ 10-20 cm	24,23	15,80	3,97	16,40	18,98	34,00	0,759	-0,81
Produtividade da cana t.ha ⁻¹	117,80	757,00	27,51	23,35	57,10	187,10	0,092	-0,017

Tabela 2. Matriz de correlação com coeficientes de correlação do estoque de carbono e da produtividade da cana-de-açúcar.

	Estoque de carbono 0-10 cm	Estoque de carbono 10-20 cm	Produtividade da cana-de-açúcar
Estoque de carbono 0-10 cm	1	0,44	0,17
Estoque de carbono 10-20 cm	0,44	1	0,10
Produtividade da cana-de-açúcar	0,17	0,10	1

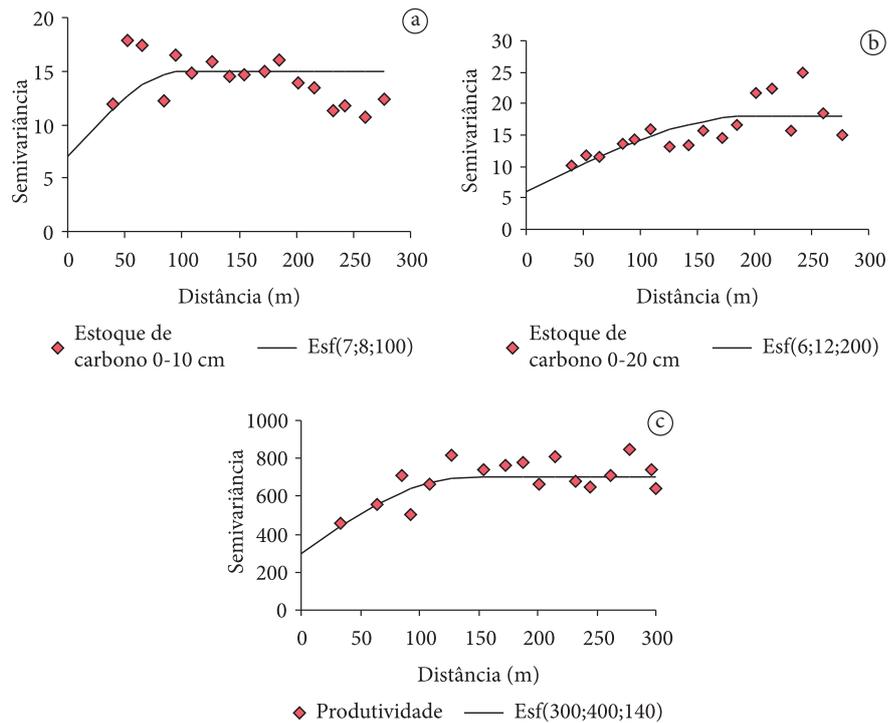


Figura 1. Ajuste dos semivariogramas: a) Estoque de carbono no solo ($t.ha^{-1}$) de 0-10 cm; b) Estoque de carbono no solo ($t.ha^{-1}$) de 10-20 cm; c) Produtividade da cana-de-açúcar ($t.ha^{-1}$).

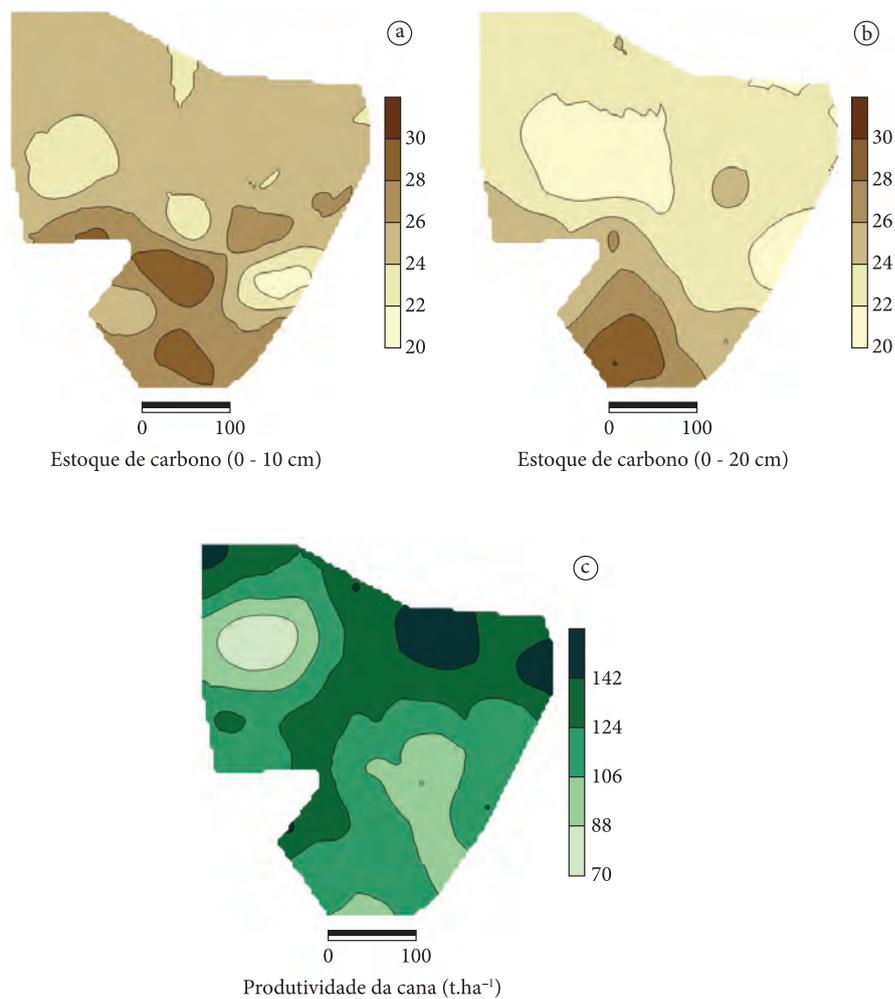


Figura 2. Mapas de isolinhas: a) Estoque de carbono no solo ($t.ha^{-1}$) de 0-10 cm; b) Estoque de carbono no solo ($t.ha^{-1}$) de 10-20 cm; c) Produtividade da cana-de-açúcar ($t.ha^{-1}$).

correlação espacial não ocorre, pois a correlação, apesar de positiva é muito baixa (Tabela 2).

4. Conclusões

- Houve dependência espacial para o estoque de carbono e para a produtividade da cana-de-açúcar com ajuste esférico e alcances variando de 100 a 200 m.
- Foram identificadas semelhanças nos mapas quanto às manchas de estoques de carbono quando comparados em profundidade. Para a produtividade da cana-de-açúcar e estoques de carbono esta correlação espacial não foi encontrada.

Referências

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>
- BELZÁRIO, M. H. **Mudança no estoque de carbono devido ao uso da terra no sudoeste da Amazônia**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição De Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, L. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 93 p. (Boletim técnico, n. 106).
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 935-944, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>
- RAIJ, E. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Editora IAC, 2001.
- RANGELI, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1609-1623, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. E.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. H.;SCHAEFER, G. R.; BARROS, N. E.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar

Célia Regina Grego^{1*}, Ladislau Marcelino Rabello^{2*}, Sandro Roberto Brancalhão^{3*}, Sidney Rosa Vieira^{4*}, Alex de Oliveira^{5*}

¹ Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas, SP, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisador do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana do IAC, Caixa postal 206, CEP 14001-970, Ribeirão Preto, SP, Brasil

⁴ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agrônomo de Campinas, Av. Theodoro de Almeida Camargo, 1500, CEP 13075 630, Campinas, SP

⁵ Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Rod. Dom Pedro I Km 136, Parque das Universidades, CEP 13086-900 Campinas, SP, Brasil

*e-mail: crgrego@cnpm.embrapa.br; rabello@cnpdia.embrapa.br; brancaliao@iac.sp.gov.br; sidney@iac.sp.gov.br; alexoliveira@cnpm.embrapa.br

Resumo: A utilização de sensores para coleta de dados possibilita a redução de custos e melhor interpretação de mapas relacionados a produção das culturas, como no caso da cana-de-açúcar, de maneira mais eficiente e com maior acurácia. O objetivo do trabalho foi verificar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e da declividade do solo cultivado com cana-de-açúcar sob sistema de plantio direto. A área localiza-se na Fazenda Aparecida em Mogi mirim, SP e possui 17 ha. Foram obtidas a condutividade elétrica ($mS.m^{-1}$) com o sensor por contato direto Veris, ambos de 0-30 e 0-90 cm de profundidade e a cota topográfica (m) com nível topográfico. Foram obtidos os parâmetros estatísticos descritivos e realizada a análise geoestatística através do semivariograma, interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas de isolinhas. Os semivariogramas mostraram dependência espacial para todas as variáveis. A condutividade elétrica apresentou correlação espacial para o mesmo local da área, correlacionando também com a cota topográfica. Conclui-se que a variabilidade espacial encontrada nos resultados de condutividade elétrica correspondem as diferenças de altitude e são úteis para diagnosticar características do solo e da planta que variam conforme a topografia do terreno.

Palavras-chave: cotas topográficas, variabilidade espacial, Veris.

Geostatistics applied to electrical conductivity of soil and altitude of the soil cultivated with sugar cane

Abstract: The use of sensors to collect data you can reduce costs and better interpretation of maps related to crop production, as in the case of cane sugar, more efficiently and with greater accuracy. The objective of this study was to determine the spatial variability of electrical conductivity of soil and slope soil tients with cane sugar under no-tillage system. The area is located in Aparecida farm in Mogi Mirim, SP and has 17 ha. We obtained the electrical conductivity ($mS.m^{-1}$) with the sensor by direct contact Veris, both 0-30 and 0-90 cm depth and topographic elevation (m) with level topography. Parameters were obtained and descriptive statistical analysis was performed using the geostatistical semivariogram, kriging interpolation of the data and construction of maps. The semivariograms showed spatial dependence for all variables. The electrical conductivity was correlated to the same spatial location of the area, also correlated with topographic elevation. We conclude that the spatial variability found in the results of electrical conductivity correspond to differences in altitude and are useful for diagnosing soil characteristics and plant which vary according to topography of the land.

Keywords: topographic elevation, spatial variability, Veris.



1. Introdução

Na agricultura atual, busca-se cada vez mais a utilização de equipamentos que permitam obter dados mais precisos e com maior eficiência para que possam ser correlacionados com outras propriedades de difícil obtenção, visando à redução de gastos e aumento de produtividade. Recursos mais avançados da eletrônica e computação, como os sistemas de posicionamento global (GPS), os sistemas de informação geográfica (SIG), os sistemas de controle, a aquisição e a análise de dados que considera a variabilidade espacial, como a Geoestatística, estão cada vez mais presentes no campo através da agricultura de precisão (MOLIN, 1997; VIEIRA, 2000).

A análise de distribuição espacial das propriedades dos solos, dos parâmetros de plantas e da produtividade, pode ser feita pela geoestatística, que se apresenta como importante ferramenta para análise da estrutura da dependência espacial das variáveis. Segundo Vieira (2000) a variabilidade de propriedades físicas do solo deve ser considerada, pois partir do princípio de que são homogêneas pode mascarar os resultados dos tratamentos aplicados.

O conhecimento dos níveis de condutividade elétrica do solo, determinada sem limitação de densidade amostral, permite correlação com outros fatores do solo onde sua variação espacial e temporal pode ser atribuída às variações nos teores de água, de argila, de sais dissolvidos no solo (AUERSWALD; SIMON; STANJEK, 2001), servindo para classificar o solo quanto a sua capacidade de produção (ANDERSON COOK et al., 2002). A condutividade elétrica do solo tem chamado a atenção, principalmente por ser obtida através de métodos eficientes e rápidos como pelos sensores de contato direto encontrados no mercado. Com todas estas informações, os mapas das culturas poderão ser melhor interpretados, como para a cultura da cana-de-açúcar.

O trabalho teve o objetivo de verificar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e das cotas topográficas numa área cultivada com cana-de-açúcar sob sistema de plantio direto em Mogi Mirim, SP.

2. Material e métodos

A área de estudo localiza-se na Fazenda Aparecida, no município de Mogi Mirim, Estado de São Paulo, com coordenadas de referência UTM zona 23 S, 7505136 N, 299621 E. O clima da região é Cwa na classificação de Koppen, o relevo local e regional é suave ondulado e o solo é o Latossolo vermelho escuro. A área amostrada ocupa aproximadamente 17 ha e apresenta o seguinte manejo: cultivo com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) em sistema de plantio direto por 12 anos.

O equipamento utilizado para medir a condutividade elétrica foi o sensor por contato direto Veris, composto de seis discos de corte, ou seja, quatro sensores que penetram no solo e dois eletrodos que injetam a corrente elétrica, acoplado no trator equipado com GPS e receptor de dados. Os sensores transmitiram valores de 0-30 e de 0-90 cm de profundidade. Discos percorreram superficialmente o solo obtendo-se uma medição de condutividade elétrica por segundo (mS.m^{-1}). As cotas (m) foram obtidas com nível topográfico em 202 pontos de amostragem.

Inicialmente os dados foram analisados pela estatística descritiva obtendo-se a média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose. Para verificar a variabilidade espacial das variáveis, os dados foram analisados pela geoestatística, através da construção e ajuste de semivariogramas, krigagem para interpolação de dados e construção de mapas de isolinhas, descritos em Vieira (2000). Os programas utilizados para as análises foram desenvolvidos segundo Vieira et al. (2002), e os mapas foram gerados no programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

3. Resultados e discussão

De acordo com a Tabela 1 verifica-se que a variável que apresentou maior coeficiente de variação foi a condutividade elétrica de 0-90 cm, seguida da condutividade elétrica de 0-30 cm, sendo considerados altos segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980), o que pode ser melhor examinado pelos valores máximos e mínimos em relação aos da cota topográfica. Assimetria e curtose

indicam a proximidade da distribuição de frequência de dados normal, pois seus valores se aproximam de 0, com exceção da condutividade elétrica de 0-30 cm, por existir valores discrepantes. Percebe-se também pelos valores máximos e mínimos que a condutividade elétrica foi maior na superfície (0-30 cm) do que em profundidade (0-90 cm).

Os semivariogramas (Figura 1) mostraram dependência espacial para todas as variáveis analisadas. Os ajustes foram todos gaussianos, sendo que para a cota topográfica (Figuras 1c), trabalhou-se com o resíduo da retirada de tendência linear. Os alcances variaram de 175 a 240 m (Figura 1), indicando as distâncias máximas para atingir o patamar (C1) da dependência espacial. Para valores de distância maiores do que o alcance, os dados são considerados aleatórios.

Os mapas de isolinhas para as variáveis as quais foi verificada a variabilidade espacial estão apresentados na Figura 2. Foi possível construir mapas de isolinhas (Figura 2) devido à interpolação por krigagem ordinária, que segundo Vieira (2000), possui a vantagem de interpolar sem tendência e com variância mínima.

A condutividade elétrica do solo (Figuras 2a e b) apresentou espacialmente as disposições das manchas semelhante para as duas profundidades (0-30 cm e 0-90 cm) e também para a cota topográfica (Figura 2c). Segundo Auerswald, Simon e Stanjek (2001) a variação espacial da condutividade elétrica do solo pode ser atribuída às variações topográficas do terreno o que confirma o resultado deste trabalho. As disposições das manchas semelhantes indicam que as causas da variabilidade espacial encontrada nos resultados de

Tabela 1. Estatística descritiva para condutividade elétrica e altimetria da Fazenda Aparecida, Mogi Mirim, São Paulo.

Variáveis	Média	Variância	Desvio padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Condutividade elétrica								
0-0,30 m (a)	2,27	0,60	0,77	33,99	0,40	11,30	1,72	12,46
0-0,90 m (b)	2,13	0,88	0,94	44,03	0,25	8,25	0,71	1,17
Altimetria								
Cota (metros)	666,90	114,20	10,68	1,60	651,00	688,40	0,20	-1,27

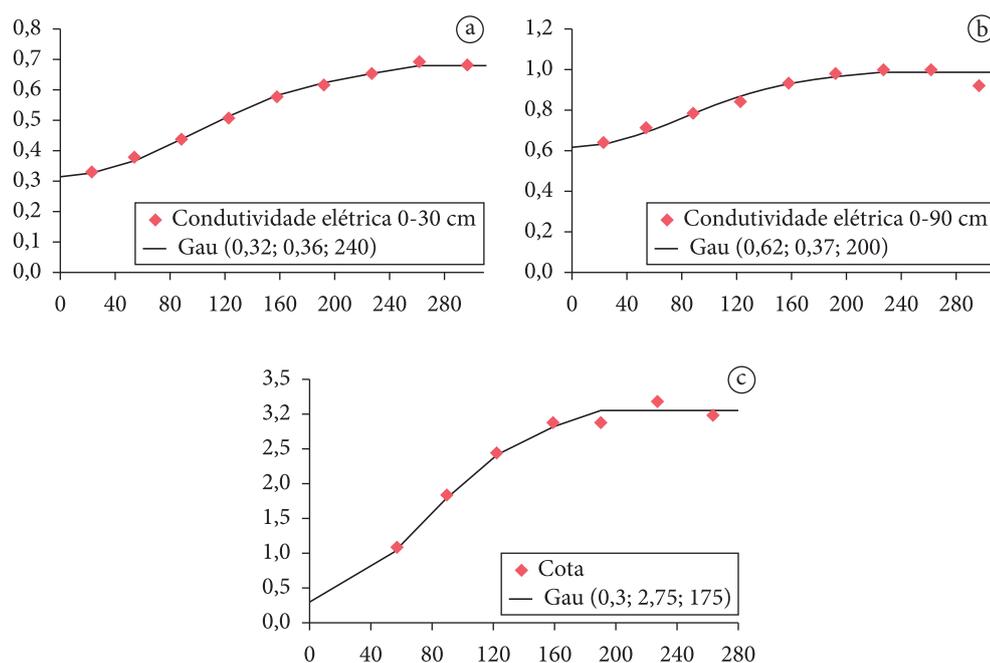


Figura 1. Semivariogramas ajustados para a) condutividade elétrica 0-30 cm; b) condutividade elétrica 0-90 cm; c) cota altimétrica da área em metros.

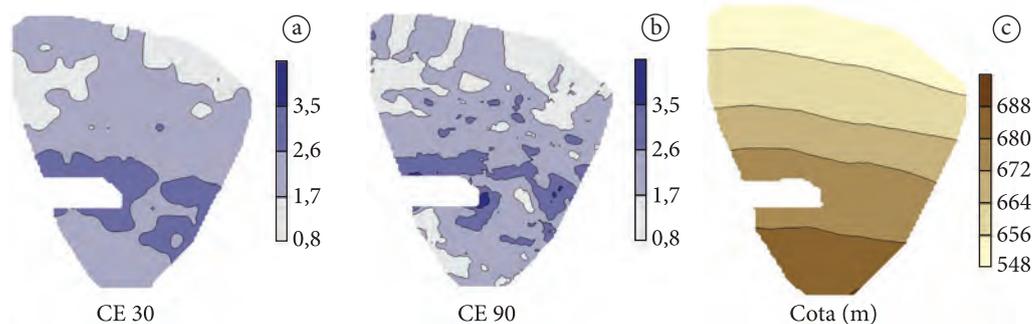


Figura 2. Mapas de isolinhas: a) condutividade elétrica 0-30 cm; b) condutividade elétrica 0-90 cm; c) cota altimétrica (m).

condutividade elétrica do solo podem ser atribuídas aos mesmos fatores afetados pela topografia do terreno concordando com os resultados de Anderson Cook et al. (2002), que classificaram solos com precisão de 90% quando combinados dados de condutividade elétrica.

4. Conclusões

- A dependência espacial foi identificada para a condutividade elétrica e para cota topográfica com alcance variando de 175 a 240 m.
- Houve alta correlação espacial entre a condutividade elétrica nas duas profundidades estudadas e também com a cota topográfica.

Referências

ANDERSON COOK, C. M.; ALLEY, M. M.; ROYGARD, J. K. F.; KHOSLA, R.; NOBLE, R. B.; DOOLITTLE, J. A. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield map. *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 1562-1570, 2002. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.1562>

AUERSWALD, K.; SIMON, S.; STANJEK, H. Influence of soil properties on electrical conductivity under humid water regimes. *Soil Science*, v. 166, n. 6, p. 382-390, 2001. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-200106000-00003>

GOLDEN SOFTWARE. *Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientists engineers*: User's Guide. New York: Golden software Inc., 1999. 619 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. E.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G.R. (Eds.). *Tópicos em Ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds.). *Tópicos em Ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980.

Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão

Naylor Bastiani Perez^{1*}, Marcos Corrêa Neves^{2*}, Leandro Bochi da Silva Volk^{1*}, Leonardo Alves Martins³, Rodison Natividade Sisti^{4*}

¹ Pesquisadores A. Embrapa Pecuária Sul

² Pesquisador A. Embrapa Meio Ambiente

³ Estudante de graduação em agronomia, Urcamp

⁴ Analista. Embrapa Pecuária Sul

*e-mail: naylor@cppsul.embrapa.br; marcos@cnpma.embrapa.br; leandro.volk@cppsul.embrapa.br; rodson@cppsul.embrapa.br

Resumo: Um sistema de Integração Lavoura-Pecuária típico da Região Sul do Brasil, envolvendo a sucessão de cultivos de soja e pastagem de inverno foi caracterizado quanto a diferentes atributos de solo, incluindo a condutividade elétrica. A análise geoestatística permitiu caracterizar a dependência espacial para diferentes variáveis estudadas utilizando 46 pontos amostrais em 21 ha. Foram realizados estudos com a movimentação de cochos de suplementação mineral que permitiram modelar a dispersão de fezes de bovinos de acordo com a distância do ponto de instalação do cocho. A prática da movimentação dos cochos, após validação, poderá ser incorporada em sistemas produtivos de modo a impactar positivamente alguns atributos do solo e a produtividade dos cultivos. Dois anos de utilização do sistema integrado não permitiu o esgotamento do banco de sementes do solo do capim-annoni, ocasionando um padrão de reinfestação associado às áreas de maior condutividade elétrica do solo.

Palavras-chave: mapeamento da condutividade elétrica, zonas de manejo, zootecnia de precisão, controle de capim-annoni, ILPF.

Spatial and temporal variability in crop-livestock systems in southern Brazil: prospects for intervention with precision agriculture

Abstract: A typical crop-livestock system of southern Brazil, using soybean and temperate pasture succession was characterized with different attributes of soil, including the electrical conductivity. The geostatistical analysis allowed to characterize the spatial dependence for different variables using 46 sampling points on 21 ha. Studies were performed with the movement of mineral supplementation troughs that allowed modeling the spread of bovine feces according to the distance from the installation point of the trough. After validation, the practice of moving the troughs can be incorporated into production systems in order to positively impact some soil attributes and crop productivity. Two years of use of the integrated system did not allow a depletion of soil seed bank of tough-lovegrass, causing a pattern of reinfestation associated to higher soil electrical conductivity areas.

Keywords: electrical conductivity, management zones, animal husbandry precision, tough lovegrass control, crop-livestock.



1. Introdução

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária da Região Sul do Brasil permitem estabelecer sucessões entre a fase pecuária e a fase agrícola dentro de um mesmo ano, em uma mesma área. No extremo sul dessa região, na Campanha Meridional do Rio Grande do Sul, a elevada evapotranspiração e a forte influência do fenômeno “La Niña” durante o verão, acarretam frustrações de safra importantes, limitando e expansão de cultivos agrícolas em sistemas não irrigados. Nessa condições, os sistemas integrados predominam por assegurar a geração de renda em anos de baixa produtividade agrícola, pela comercialização da produção animal. Devido ao uso atual de variedades transgênicas de soja, tolerantes ao herbicida glifosato, os sistemas integrados são também utilizados como forma de controle da principal invasora de pastagens da região, o capim-annoni. Nesse caso, o tempo de permanência do sistema para o esgotamento das sementes armazenadas no solo e seu impacto no potencial de recuperação das pastagens naturais pelas espécies nativas é desconhecido. Além disso, dentro de uma perspectiva de manejo baseada na caracterização da variabilidade e na intervenção sitio-específica, o impacto dos animais nos sistemas integrados é pouco conhecido, razão pela qual, o grupo de pesquisa de Integração Lavoura-Pecuária da Embrapa Pecuária Sul, juntamente com a Embrapa Meio Ambiente, iniciaram a condução de ensaios de caracterização da variabilidade espacial nos sistemas integrados de produção de soja e pastagens de inverno, de forma a identificar as características chave no desempenho do sistema, e permitir o desenvolvimento de práticas e processos de intervenção sitio-específica, tanto na fase agrícola como na fase pecuária. Uma vez implementados, esses procedimentos poderão ser validados quanto à sua efetividade e economicidade, de modo a melhorar o desempenho dos sistema. Neste primeira etapa do desenvolvimento do projeto foram coletadas e analisadas informações básicas e iniciado a condução de ensaios que visam a caracterização da variabilidade espacial de fatores relevantes ao desempenho do sistema, o desenvolvimento de práticas e processos de intervenção e a avaliação desses na economicidade dos sistemas de integração lavoura-pecuária.

2. Material e métodos

A Unidade Piloto associada ao projeto é dividida em duas áreas contíguas, A1 e A2, cuja cobertura vegetal era composta por pastagem nativa invadida por capim-annoni (mais de 60% do solo coberto pela invasora), em um Luvisolo Háptico órtico típico, totalizando 109 ha, com coordenadas centrais 53,9895 °O e 31,3192 °S, pertencentes à Fazenda Experimental da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS. Inicialmente, foi realizado um levantamento da condutividade elétrica do solo (CE) em ambas as áreas, entre 30 de junho e 07 de julho de 2010, utilizando o sistema Veris 3100. As medidas de posição foram efetuadas com o GPS Trimble AG114, com correção diferencial via satélite. Na área A1, ocupada desde 2008 com um sistema de integração lavoura-pecuária baseado na sucessão de soja e pastagem de azevém, coletou-se informações referentes aos atributos de solo, produtividade, ocorrência de plantas invasoras, a fim de explorar a variabilidade espacial e contrastá-la com as informações obtidas no mapeamento da CE, de forma a determinar zonas de manejo homogêneas. Para tanto, foram distribuídos sobre 21 ha da área A1, 46 pontos amostrais, georreferenciados, coletando-se: i) atributos químicos do solo; ii) atributos físicos (umidade, temperatura e resistência à penetração); iii) produtividade local da soja. As amostras de solo foram coletadas ao final do ciclo de cultivo da soja, nos primeiros 20 cm de profundidade, sendo cada ponto amostral constituído por cinco sub-amostras, coletadas em “X”, com as quatro sub-amostras das extremidades do “X” coletadas nas entrelinhas da soja, e a sub-amostra central, coletada sobre a linha de semeadura da soja. No mesmo local, a produtividade da soja foi amostrada em três linhas adjacentes, um metro linear por linha de semeadura, sendo a linha central a mesma amostrada pela sub-amostra de solo. Essas medidas compostas, de solo e de produtividade, foram relacionadas com a CE de forma a prospectar correlações entre as três variáveis. A superfície de CE foi gerada por interpolação dos valores de CE rasa (de 0 a 30 cm), método krigagem, grade de 5 m de espaçamento. As interpolações foram realizadas no aplicativo *Surfer 9*. Para a geração da matriz de correlação e dos gráficos de

espalhamento foi utilizado o software *Estatística 5.5*. As operações de geoprocessamento utilizaram funções dos sistemas *SPRING 5.1.6* e *GVSIG 1.11*. No *SPRING* foi criado um plano de informação do tipo cadastral, onde a representação geográfica dos pontos amostrais foi associada ao conjunto de dados disponíveis, permitindo a utilização de ferramentas da análise espacial de dados e cruzamento das informações. Ainda na área A1, foram realizados estudos exploratórios para verificar o impacto das práticas de manejo com os animais na variabilidade do sistema. Dessa forma, manipularam-se os cochos utilizados para a suplementação mineral de duas maneiras, fixo, durante todo o período ocupado com pastagem, e móvel, movimentando-se a cada duas semanas, visando uma menor concentração das fezes e adensamento do solo ao longo da estação de crescimento. Semanalmente, foi acompanhada a distribuição das placas de fezes no solo, em seções circulares de dois metros de largura, adjacentes, a partir do centro do cocho, de forma a amostrar toda a superfície influenciada pela presença do cocho. Após o término da ocupação da área com os animais, antes do plantio, os cochos foram retirados e a sua localização georreferenciada, a fim de acompanhar os efeitos do manejo fixo e móvel na resistência à penetração do solo, medida através de penetrometro, e na produtividade dos cultivos subsequentes. Com o objetivo de verificar a ocorrência de reinfestação da área

pelo capim-annoni ao longo do tempo, parte da área A1 foi mantida em pousio, após dois ciclos de produção de soja e de azevém, verificando-se a germinação das sementes armazenadas no solo.

3. Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os resultados das interpolações, realizadas a partir dos valores amostrados pelo sistema Veris, para os dois potreiros. Para efeito de visualização, os valores resultantes da interpolação foram agrupados em cinco classes. Embora os levantamentos tenham ocorrido em dias distintos e o procedimento de interpolação realizado separadamente, os dois resultados apresentados lado a lado são coerentes. Na Tabela 1 são apresentados os índices de correlação (índice de Person) envolvendo o conjunto de atributos de solo analisados, incluindo o valor da CE obtido para os mesmos pontos. Os valores em vermelho correspondem aos índices que apresentaram uma significância estatística acima do nível $p = 0,05$ (assumindo-se normalidade na distribuição dos desvios da reta de regressão). A CE se correlacionou, de forma significativa, com 5 dos 15 parâmetros, sendo que a maior correlação ocorreu com o teor de Mg (0,72). Os valores de CE usados nesta análise foram obtidos pelo cruzamento dos planos de informação correspondente à superfície interpolada de CE e os pontos amostrais.

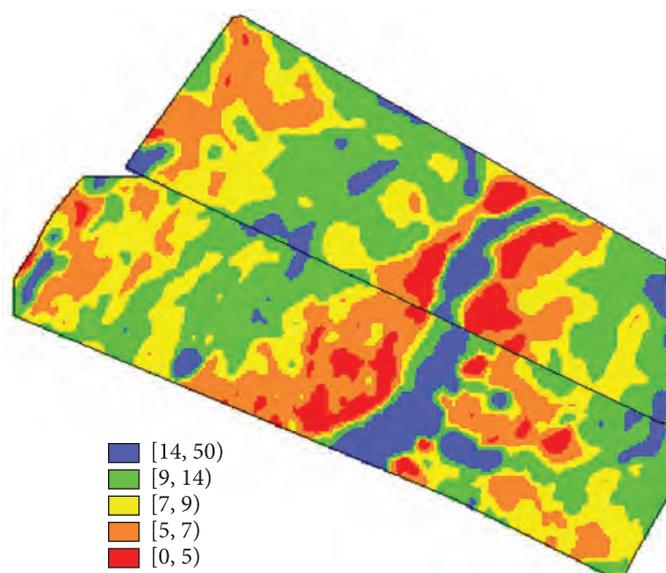


Figura 1. Resultado da interpolação da condutividade elétrica, em cinco classes.

Correlations (subvar1sembrancos.sta)

Marked correlations are significant at $p < .05000$
 N=33 (Casewise deletion of missing data)

Variable	CE	PRODUT	UMID	TEMP	ARG	PH	P	K	MO	AL	CA	MG	AL_H	CTC	SAT_BASE	SAT_AL
CE	1.00	.34	.47	-.34	.34	.31	-.24	-.13	.35	.02	.59	.72	-.03	.23	.29	-.41
PRODUT	.34	1.00	.12	.08	.02	.44	-.09	-.25	.40	-.27	.35	.34	-.04	.10	.21	-.41
UMID	.47	.12	1.00	-.52	-.41	.21	-.34	.10	.44	.01	.50	.42	.30	.47	-.09	-.31
TEMP	-.34	.08	-.52	1.00	-.42	-.14	.36	-.25	-.43	-.25	-.38	-.35	-.43	-.56	.27	.09
ARG	.34	.02	.41	-.42	1.00	.30	-.38	.09	.48	.27	.37	.40	.42	.55	-.26	-.02
PH	.31	.44	.21	-.14	.30	1.00	.03	-.06	.35	-.19	.29	.34	.37	.48	-.19	-.29
P	-.24	-.09	-.34	.36	-.38	.03	1.00	.23	-.29	-.11	-.23	-.09	-.33	-.37	.28	-.03
K	-.13	-.25	.10	-.25	.09	-.06	.23	1.00	.28	.21	.13	.23	.13	.21	-.01	-.04
MO	.35	.40	.44	-.43	.48	.35	-.29	.28	1.00	.01	.59	.45	.29	.50	-.04	-.33
AL	.02	-.27	.01	-.25	.27	-.19	-.11	.21	.01	1.00	-.20	.09	.49	.43	-.48	.75
CA	.59	.35	.50	-.38	.37	.29	-.23	.13	.59	-.20	1.00	.77	-.11	.27	.47	-.74
MG	.72	.34	.42	-.35	.40	.34	-.09	.23	.45	.09	.77	1.00	.04	.39	.32	-.50
AL_H	-.03	-.04	.30	-.43	.42	.37	-.33	.13	.29	.49	-.11	.04	1.00	.92	-.91	.46
CTC	.23	.10	.47	-.56	.55	.48	-.37	.21	.50	.43	.27	.39	.92	1.00	-.69	.17
SAT_BASE	.29	.21	-.09	.27	-.26	-.19	.28	-.01	-.04	-.48	.47	.32	-.91	-.69	1.00	-.68
SAT_AL	-.41	-.41	-.31	.09	-.02	-.29	-.03	-.04	-.33	.75	-.74	-.50	.46	.17	-.68	1.00

CE: condutividade elétrica

PRODUT: produtividade da soja

UMID: Umidade

TEMP: Temperatura

ARG: argila em %

PH: Potencial Hidrogeniônico

P: Fósforo; K: Potássio

MO: Matéria orgânica

AL: Alumínio

CA: Cálcio

MG: Magnésio

AL_H: Al + H

CTC: Capacidade de troca catiônica

SAT_BASE: Saturação de bases

SAT_AL: Saturação CTC(Al)

Tabela 1. Matriz de correlação entre diversos atributos de solo.

Na Figura 2, a área A1 aparece repartido em três zonas de manejo, estabelecidas em função do mapeamento da CE. Para que fosse possível visualizar espacialmente a correlação existente entre a CE e o teor de Magnésio (0,72), foram alocados círculos vermelhos, com centro nas posições correspondentes às amostras de solo e raio proporcional ao teor de Mg. O procedimento foi executado também para a matéria orgânica (0,35), com um resultado inferior.

Foram realizadas também interpolações pelo método da krigagem para a matéria orgânica e argila, usando o conjunto de 46 amostras. O objetivo desta atividade foi avaliar se com a densidade de amostras disponível (2,2 amostras/ha) era possível identificar a dependência espacial. A Figura 3 mostra o variograma obtido para a matéria orgânica e o resultado da interpolação. A avaliação dos efeitos dos diferentes métodos de manejo dos cochos mostrou influência positiva da maior deposição das fezes na produtividade dos cultivos subsequentes. Embora a densidade de fezes tenha sido quase dez vezes maior nos primeiros dois metros de distância do cocho, não houve correspondência de maior produção nesta área, isto porque, houve também uma maior resistência à penetração do solo (RP), devido ao maior pisoteio dos animais. Esse efeito mostrou-se mais contundente no entorno do cocho fixo, onde se verificou valores acima de 2,5 MPa no raio de 2 m de distância. As avaliações da vegetação espontânea após dois ciclos de produção, mostrou

diferentes graus de reinfestação pelo capim-annoni, localizada em áreas bem delimitadas, consistentemente associadas à maior condutividade elétrica do solo.

4. Conclusões

As análises geoestatísticas, usando um conjunto de 46 pontos amostrais em uma área de 21 ha, mostraram que a densidade de pontos utilizada foi suficiente para capturar estruturas de dependência espacial para as variáveis avaliadas.

A condutividade elétrica do solo permitiu definir de zonas de manejo coerentes com as expectativas e com os níveis de correlação com as demais variáveis estudadas que, embora em sua maioria baixos, são compatíveis com os achados em trabalhos similares, onde em geral, ocorre um conjunto de correlações com atributos de solo em diferente níveis.

Os estudos exploratórios envolvendo a comparação entre cochos fixos e móveis possibilitou o desenvolvimento de uma prática de manejo que poderá, após a validação, ser empregada em sistemas de produção.

O uso do sistema de Integração Lavoura-Pecuária envolvendo a sucessão de cultivos de soja transgênica e pastagem de inverno por dois anos consecutivos não foi suficiente para conter a reinfestação pelo capim-annoni, a qual se apresentou associada às áreas com maior condutividade elétrica do solo.

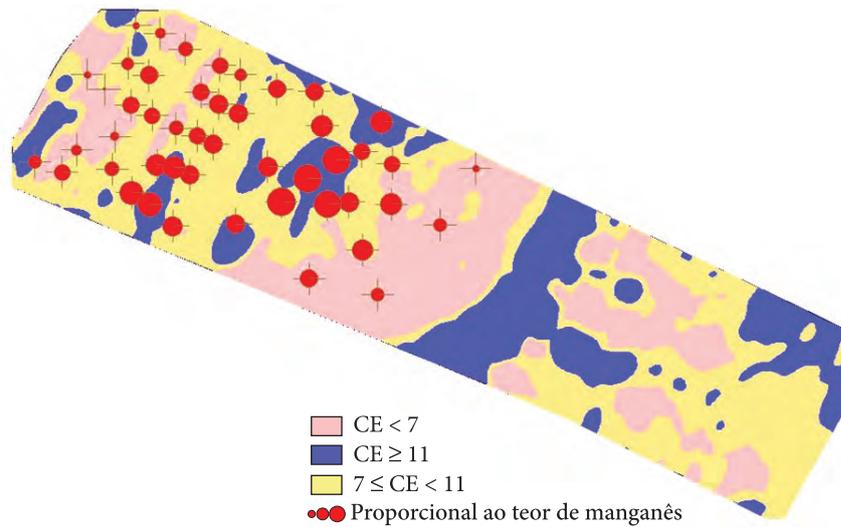


Figura 2. Teor de magnésio sobre as zonas de manejo.

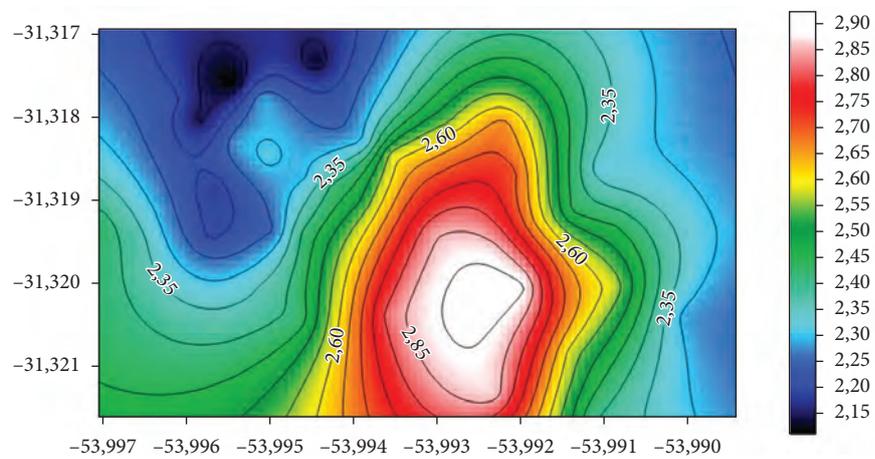
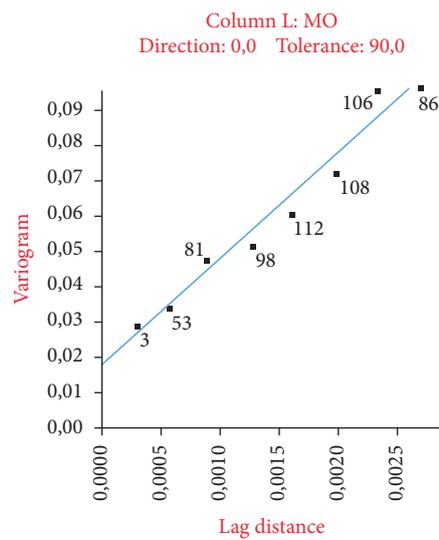


Figura 3. Krigagem para as 46 amostras de teor de matéria orgânica.

Condutividade elétrica e atributos físicos e químicos de um Latossolo após 15 anos sob sistemas de manejo em Mato Grosso do Sul

Júlio Cesar Salton^{1*}, Michely Tomazi¹, Éder Comunello¹,
Josiléia Acordi Zanatta^{2*}, Ladislau Rabello^{3*}

¹ Pesquisador, Embrapa Agropecuária Oeste, Rod BR 163, Km 253, Dourados, MS, Brasil

² Pesquisador, Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, Colombo, PR, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: salton@cpao.embrapa.br; josizanatta@cnpf.embrapa.br; rabello@cnpdia.embrapa.br

Resumo: Em um experimento de longa duração, localizado em Dourados (MS) foi realizada a leitura da condutividade elétrica (CE) de um Latossolo por meio de equipamento Veris e os valores obtidos foram relacionados à valores de atributos físicos e químicos de duas camadas do solo. Os valores foram compatibilizados espacialmente com uso de softwares e com os pares de valores calculou-se a correlação de Pearson. Verificou-se que a CE pode auxiliar na delimitação de zonas de manejo. Quanto aos atributos de solo, foram encontradas boas correlações apenas para a CTC em alguns sistemas de manejo, como o de Integração lavoura-pecuária. A CE pode ser utilizada para delimitar áreas homogêneas apenas quando submetidas ao mesmo sistema de manejo.

Palavras-chave: cerrado, CTC, integração lavoura-pecuária, plantio direto, qualidade do solo.

Electrical conductivity and physical and chemical attributes of an Oxisol after 15 years in management systems in Mato Grosso do Sul state, Brazil

Abstract: On a long-term experiment, located in Dourados (Brazil) was done reading the electrical conductivity (EC) of a oxisol with the movel equipment (Veris) and the values obtained were related to the values of physical and chemical attributes of two soil layers. The spatialization of the values and compatibilization were made with the use of softwares and the values pairs used to calculate the Pearson correlation. It was found that the EC can assist in the delineation of management zones. As to the attributes of soil, good correlations were found only for the CEC in some management systems, such as crop-livestock integration.

Keywords: CEC, crop-livestock integration, no-till, savannah, soil quality.

1. Introdução

Para que a agricultura atinja seus objetivos de produção de alimentos, fibras e energia de forma sustentável é necessário que todas as tecnologias disponíveis sejam utilizadas. Como as interações entre as culturas e o ambiente são muito complexas e variáveis, constantemente inovações são disponibilizadas para uso no campo. Neste sentido a “Agricultura de Precisão” (AP) é proposta como um conjunto de ferramentas e de conceitos para gerenciar a variabilidade espacial de atributos do solo, da planta e do ambiente visando à obtenção de elevadas produtividades e maior eficiência de uso de práticas e insumos. Neste conceito, busca-se um balanço entre a máxima produtividade das culturas e a manutenção da estabilidade econômica, da utilização dos recursos naturais renováveis e dos impactos ambientais (CORWIN; LESCH, 2003). Uma das estratégias recomendadas para convivência com a variabilidade do solo consiste no uso de ferramentas de AP para identificação e delimitação de regiões homogêneas dentro de áreas maiores. Estas zonas homogêneas ou zonas de manejo receberiam tratamento diferenciado visando compensar as diferenças existentes em relação às demais glebas.

Como a CE do solo pode ser afetada por vários atributos do solo, como o teor de argila, umidade, presença de sais, teor de matéria orgânica, entre outros, este atributo poderia ser empregado para discriminar zonas homogêneas e indicar aspectos qualitativos do solo com vistas a produtividade das culturas. A estimativa da condutividade elétrica aparente (CE) do solo tem sido utilizada como indicador da variabilidade de propriedades edafológicas e a produtividade das culturas (SIRI-PRIETO et al., 2006). Como vantagens comparativas a outros métodos disponíveis para descrever a variabilidade do solo, a CE determinada com uso de equipamento móvel com emissores e receptores de corrente elétrica, associados ao sistema de posicionamento global (GPS) possibilitam a amostragem de forma rápida e com um grande número de leituras (MACHADO et al., 2006).

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido em um experimento de longa duração, implantando em 1996, no campo experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados-MS (22° 16' 55" S e 54° 48' 20" O), cultivado sob diferentes sistemas de manejo do solo, a saber: a) Sistema Convencional (PC) - monocultivo de soja no verão e aveia no inverno e preparo do solo utilizando grades de discos (pesada+niveladora); b) Sistema Plantio Direto (PD) - rotação de culturas tendo no verão soja e milho, e no outono-inverno e primavera, trigo e aveia para produção de grãos e nabo e aveia para produção de palha, com a sequência: .../nabo/milho/aveia/soja/trigo/soja/...; c) Sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP) - alternância de lavoura (soja/aveia) com pastagem (*Brachiaria decumbens*) conduzida em PD, com ciclos de dois anos e Pastagem permanente (PP) - pastagem de *B. decumbens* manejada em pastoreio intermitente com a lotação ajustada em torno de 7 % de oferta de forragem. O solo do local é Latossolo Vermelho distroférrico caulinitico, com teor médio de argila de 640 g kg⁻¹. Este local encontra-se em uma faixa de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica e clima Cwa - clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos. Informações detalhadas do experimento podem ser encontradas em Salton (2005).

Visando avaliar a fertilidade do sistema, no ano de 2008 procedeu-se a amostragem do solo considerando uma equidistância de 30 m entre as amostras, formando uma grade regularmente espaçada. Em cada ponto da malha, foram tomadas amostras para caracterização dos atributos químicos (pH, Ca, Mg, Al, P, Mn, Zn, Cu, Fe), nas camadas de 0-5, 5-15 cm, e estabilidade de agregados, em 0-10 cm. Em outubro de 2010 foi realizado o mapeamento da condutividade elétrica aparente (CE) do solo utilizando o equipamento VERIS 3100 (Veris Technologies, EUA). Este equipamento realiza simultaneamente medições nas profundidades de 0-30 e 0-90 cm, armazenando os dados em mS m⁻¹.

Buscando examinar possíveis correlações entre os dados de fertilidade e de condutividade elétrica, os dados foram compatibilizados espacialmente.

Para tanto se utilizou o software Surfer 8.0 em ambiente Windows (Golden Software Co, EUA) para a interpolação dos dados e produção de grades coincidentes. O algoritmo empregado foi a Função de Base Radial, gerando como produto final uma grade para cada variável estudada, espaçada em 4 × 4 m. A partir das grades coincidentes, os valores foram pareados de acordo com sua posição geográfica, sendo possível examinar a existência de correlação entre os dados. Para este fim calcularam-se os coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis físicas e químicas e a CE do solo. Os atributos de solo, de cada profundidade amostrada, foram correlacionados com as duas profundidades avaliadas pelo sensor Veris (0-30 e 0-90 cm).

3. Resultados e discussão

A correlação entre os valores de CE e de atributos do solo foram avaliadas mediante a significância ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$) e o valor do coeficiente de determinação (r^2), sendo considerada uma relação importante quando este valor for superior a 0,5. A Tabela 1 apresenta os valores de r^2 para as relações entre a CE do solo nas camadas 0 a 30 e 0 a 90 cm e diversos atributos físicos e químicos de duas camadas do solo.

Considerando a área total do experimento em conjunto, valores de r^2 superiores a 0,5 foram

observados apenas para cálcio, soma de bases (SB) e CTC da camada 5 a 15 cm. No entanto, ao considerar-se de forma individual as áreas sob os sistemas de manejo foram encontrados valores superiores a 0,5 para diversos atributos nas duas profundidades estudadas. De modo geral foram encontradas maiores correlações quando a análise considerou os atributos químicos do solo da camada 5 a 15 cm, possivelmente em razão de que esta camada é mais representativa do solo do que apenas a camada superficial, considerando-se as espessuras das camadas do solo avaliadas quanto a CE.

As medidas de CE parecem não apresentar boa correlação com os atributos físicos, pois apenas o índice de estabilidade (IEA), no sistema ILP2, apresentou valor de r^2 superior a 0,5 contrariando as expectativas iniciais, uma vez que a agregação do solo integra vários atributos que de forma isolada, estão relacionadas à CE do solo.

Os sistemas de manejo apresentaram diferentes valores da CE, permitindo observar claramente os limites no campo (Figura 1). Entre os sistemas de manejo, considerando os atributos químicos em ambas as camadas avaliadas, os que apresentaram maiores valores de r^2 foram, em ordem decrescente, sistemas ILP 1, ILP 2, PD 2 e PP. Por outro lado, os sistemas PC e PD 1 não apresentaram nenhum valor de r^2 superior a 0,5. O sistema PD2 estava com a cultura de nabo ainda vegetando, enquanto

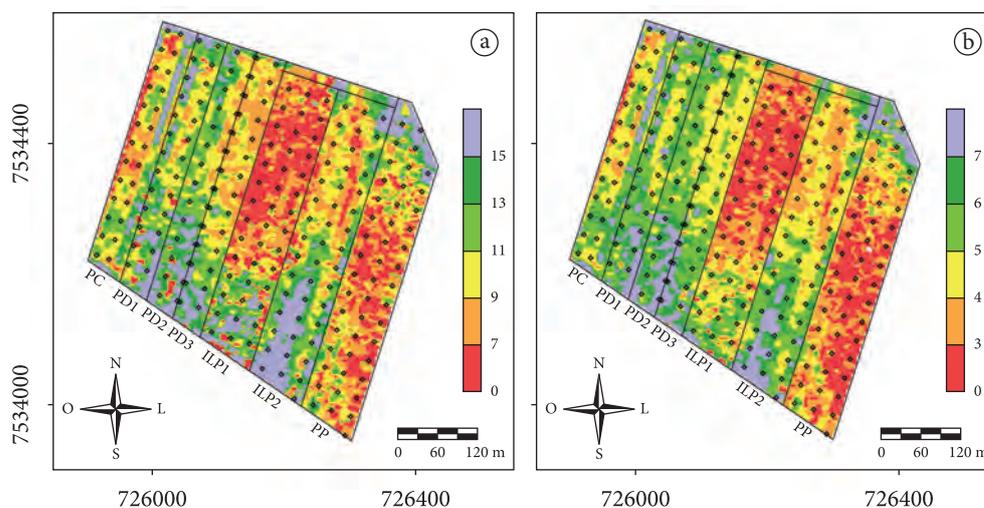


Figura 1. Distribuição espacial da condutividade elétrica aparente ($mS m^{-1}$) nas camadas 0 a 30 cm (a) e 0 a 90 cm (b) de um Latossolo submetido a sistemas de manejo do solo. Os pontos no mapa indicam a grade de pontos de coletas das amostras de solo para determinações físicas e químicas. PC: Sistema Convencional; PD: Sistema Plantio Direto; ILP: Sistema de integração lavoura-pecuária; PP: pastagem permanente.

Tabela 1. Correlações obtidas entre valores de CE para duas camadas do solo e atributos físicos e químicos do solo submetido a diferentes sistemas de manejo durante 15 anos, em Dourados (MS).

Atributos	Profundidade da amostra (cm)		PC		PD 1		PD2		PD3		ILP1		ILP2		PP		Área total	
	0 - 30	0 - 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90	CE 30	CE 90
CE 30	0 - 30	0,917**	1,000	0,917**	1,000	0,548**	1,000	0,560**	1,000	0,722**	1,000	0,579**	1,000	0,864**	1,000	0,695**	1,000	0,757**
CE 90	0 - 90	0,917**	1,000	0,548**	1,000	0,560**	1,000	0,722**	1,000	0,722**	1,000	0,579**	1,000	0,864**	1,000	0,695**	1,000	0,757**
DMPs	0 - 10	0,323**	0,283**	0,150**	-0,012	0,098**	0,060*	0,244**	0,400**	0,258**	0,458**	0,161**	0,204**	0,283**	0,234**	0,001	0,129**	
DMPu	0 - 10	0,111**	0,140**	0,098**	0,029	0,214**	0,148**	0,045	0,339**	0,435**	0,157**	0,125**	0,157**	0,144**	0,082**	-0,127**	-0,276**	
IEA	0 - 10	-0,242**	-0,179**	-0,076**	-0,046	-0,161**	-0,221**	-0,294**	-0,498**	-0,561**	-0,407**	-0,416**	-0,407**	0,087**	0,109**	-0,321**	-0,393**	
pH _{H2O}	0 - 5	0,417**	0,416**	0,212**	0,128**	0,134**	0,198**	0,219**	0,519**	0,113**	0,591**	0,104**	0,034	0,332**	0,352**	0,320**	0,291**	
Ca	0 - 5	0,425**	0,436**	0,288**	0,291**	0,217**	0,302**	0,538**	0,585**	0,399**	0,666**	0,566**	0,535**	0,539**	0,578**	0,481**	0,457**	
Mg	0 - 5	0,309**	0,295**	0,208**	0,197**	0,241**	0,315**	0,617**	0,582**	0,472**	0,669**	0,651**	0,659**	0,285**	0,246**	0,411**	0,322**	
K	0 - 5	0,339**	0,333**	0,109**	0,025	0,349**	0,385**	0,007	0,268**	-0,064*	0,307**	0,128**	0,134**	0,066**	0,081**	0,126**	0,121**	
SB	0 - 5	0,428**	0,432**	0,293**	0,281**	0,306**	0,396**	0,572**	0,419**	0,683**	0,683**	0,681**	0,662**	0,570**	0,602**	0,493**	0,446**	
Al	0 - 5	-0,152**	-0,139**	0,125**	0,005	-0,120**	-0,166**	-0,200**	-0,268**	-0,325**	-0,031	-0,052**	0,018	0,001	0,001	-0,008	-0,006	
H+Al	0 - 5	-0,343**	-0,334**	-0,156**	-0,063*	-0,098**	-0,127**	-0,418**	-0,340**	-0,385**	-0,084**	-0,16	-0,307**	-0,273**	-0,304**	-0,276**		
CTC	0 - 5	0,319**	0,341**	0,295**	0,346**	0,364**	0,470**	0,595**	0,594**	0,482**	0,680**	0,556**	0,593**	0,509**	0,574**	0,431**	0,388**	
CTC ef	0 - 5	0,447**	0,453**	0,303**	0,283**	0,287**	0,368**	0,579**	0,599**	0,428**	0,685**	0,667**	0,647**	0,548**	0,576**	0,495**	0,447**	
V%	0 - 5	0,397**	0,393**	0,196**	0,119**	0,163**	0,200**	0,483**	0,506**	0,319**	0,576**	0,280**	0,214**	0,430**	0,420**	0,384**	0,345**	
P	0 - 5	0,151**	0,169**	-0,102**	-0,127**	-0,004	-0,111**	-0,125**	0,105**	0,159**	0,088**	0,102**	0,088**	0,250**	0,297**	0,150**	0,276**	
MO	0 - 5	0,086**	0,101**	0,252**	0,232**	0,288**	0,272**	0,128**	0,198**	0,242**	0,608**	0,608**	0,575**	0,420**	0,443**	0,106**	-0,009	
Fe	0 - 5	0,134**	0,100**	0,018	0,036	-0,277**	-0,218**	-0,132**	-0,244**	-0,296**	0,048*	0,047*	0,116**	0,053**	-0,160**	-0,262**		
Mn	0 - 5	0,330**	0,338**	0,339**	0,319**	0,176**	0,336**	0,081**	0,303**	0,368**	0,294**	0,277**	-0,227**	-0,227**	0,153**	0,149**		
Zn	0 - 5	0,121**	0,153**	-0,026	0,022	0,050	0,106**	0,158**	0,179**	0,226**	0,182**	0,194**	0,145**	0,137**	-0,019*	-0,052**		
Cu	0 - 5	0,098**	0,081**	0,204**	0,273**	0,248**	0,364**	0,641**	0,403**	0,465**	0,110**	0,113**	0,068**	0,056**	0,137**	0,175**		

PC: preparo convencional; PD: Sistema Plantio Direto; ILP: Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem permanentes; CE30: condutividade elétrica aparente da camada 0 a 30 cm; CE90: condutividade elétrica aparente da camada 0 a 90 cm; DMPs: diâmetro médio ponderado via seca; DMPu: diâmetro médio ponderado via úmida; IEA: índice de estabilidade de agregados; MO: matéria orgânica do solo; * e **, P = 0,05 e P = 0,01, respectivamente.

Tabela 1. Continuação...

Atributos	Profundidade da amostra (cm)	PC		PD 1		PD2		PD3		ILP1		ILP2		PP		Área total	
		CE 30	CE 90	CE 30	CE 90												
pH _{H2O}	5 - 15	0,355**	0,342**	0,281**	0,316**	0,615**	0,467**	0,267**	0,320**	0,528**	0,612**	0,411**	0,405**	0,435**	0,457**	0,379**	0,346**
Ca	5 - 15	0,377**	0,373**	0,340**	0,397**	0,678**	0,543**	0,360**	0,419**	0,608**	0,675**	0,634**	0,646**	0,481**	0,552**	0,521**	0,519**
Mg	5 - 15	0,316**	0,296**	0,309**	0,333**	0,677**	0,527**	0,281**	0,364**	0,594**	0,671**	0,627**	0,636**	0,251**	0,251**	0,453**	0,391**
K	5 - 15	0,291**	0,251**	0,105**	0,092**	0,154**	0,084**	0,284**	0,195**	0,217**	0,244**	0,059**	0,063**	0,375**	0,390**	0,210**	0,228**
SB	5 - 15	0,392**	0,380**	0,338**	0,383**	0,691**	0,545**	0,358**	0,416**	0,609**	0,680**	0,644**	0,655**	0,465**	0,517**	0,522**	0,500**
Al	5 - 15	-0,031	-0,007	-0,180**	-0,245**	-0,576**	-0,443**	-0,371**	-0,336**	-0,534**	-0,589**	-0,270**	-0,258**	-0,135**	-0,145**	-0,314**	-0,266**
H+Al	5 - 15	-0,251**	-0,225**	-0,255**	-0,261**	-0,571**	-0,420**	-0,226**	-0,222**	-0,447**	-0,474**	-0,327**	-0,312**	-0,221**	-0,232**	-0,328**	-0,288**
CTC	5 - 15	0,270**	0,299**	0,082**	0,147**	0,049	0,109**	0,036	0,101**	0,346**	0,421**	0,176**	0,202**	0,404**	0,463**	0,174**	0,203**
CTC ef	5 - 15	0,459**	0,452**	0,365**	0,400**	0,704**	0,560**	0,305**	0,400**	0,608**	0,682**	0,669**	0,684**	0,482**	0,537**	0,541**	0,530**
V%	5 - 15	0,340**	0,319**	0,293**	0,324**	0,654**	0,499**	0,268**	0,295**	0,589**	0,649**	0,546**	0,540**	0,391**	0,425**	0,464**	0,432**
P	5 - 15	0,122**	0,090**	-0,010	0,013	-0,007	-0,042	0,070	-0,083**	0,267**	0,393**	-0,147**	-0,158**	0,050**	0,048	0,168**	0,283**
MO	5 - 15	0,018	0,026	0,217**	0,302**	0,553**	0,471**	0,361**	0,355**	0,115**	0,160**	0,482**	0,425**	0,472**	0,552**	0,251**	0,247**
Fe	5 - 15	-0,116**	-0,127**	-0,207**	-0,240**	-0,516**	-0,416**	-0,275**	-0,344**	-0,559**	-0,615**	-0,650**	-0,663**	-0,479**	-0,540**	-0,444**	-0,410**
Mn	5 - 15	0,177**	0,170**	0,251**	0,355**	0,279**	0,203**	0,238**	0,388**	0,537**	0,639**	0,351**	0,319**	-0,318**	-0,372**	0,045**	-0,012
Zn	5 - 15	0,146**	0,104**	0,098**	0,176**	0,310**	0,230**	-0,033	0,065*	0,039	0,077**	0,107**	0,121**	0,015	0,005	0,031**	0,075**
Cu	5 - 15	0,055*	0,078**	0,290**	0,361**	0,643**	0,532**	0,350**	0,385**	0,479**	0,566**	0,351**	0,300**	0,162**	0,150**	0,244**	0,260**

PC: preparo convencional; PD: Sistema Plantio Direto; ILP: Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem permanente; CE30: condutividade elétrica aparente da camada 0 a 30 cm; CE90: condutividade elétrica aparente da camada 0 a 90 cm; DMPs: diâmetro médio ponderado via seca; DMPu: diâmetro médio ponderado via úmida; IEA: índice de estabilidade de agregados; * e **: P = 0,05 e P = 0,01, respectivamente.

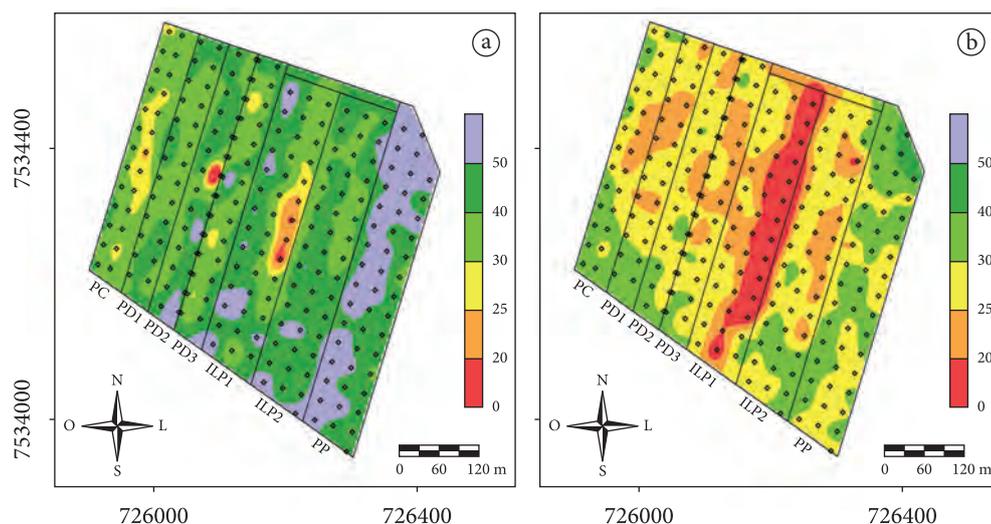


Figura 2. Distribuição espacial da matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) nas camadas 0 a 5 cm (a) e 5 a 15 cm (b) de um Latossolo submetido a sistemas de manejo do solo. Os pontos no mapa indicam a grade de pontos de coletas das amostras de solo para determinações físicas e químicas. PC: Sistema Convencional; PD: Sistema Plantio Direto; ILP: Sistema de integração lavoura-pecuária; PP: pastagem permanente.

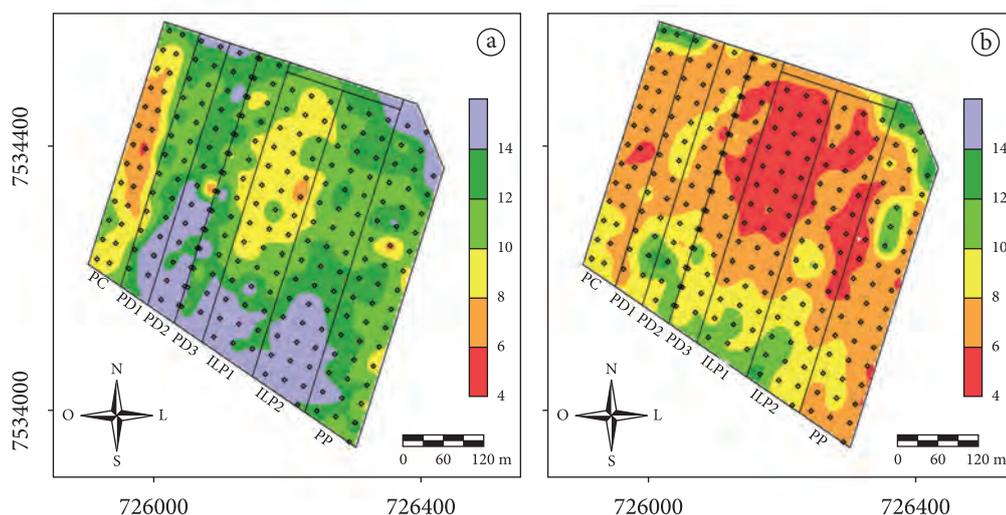


Figura 3. Distribuição espacial da CTC ef – capacidade de troca de cátions (cmolc.dm^{-3}) nas camadas 0 a 5 cm (a) e 5 a 15 cm (b) de um Latossolo submetido a sistemas de manejo do solo. Os pontos no mapa indicam a grade de pontos de coletas das amostras de solo para determinações físicas e químicas. PC: Sistema Convencional; PD: Sistema Plantio Direto; ILP: Sistema de integração lavoura-pecuária; PP: pastagem permanente.

as demais apresentavam apenas a resteva de aveia e trigo, pode justificar a diferença observada nos valores de CE e na correlação com os atributos químicos. De modo geral, foram encontradas maiores correlações para Ca, Mg, SB, CTC e matéria orgânica (MO) (Figuras 2 e 3).

4. Conclusões

A utilização das leituras de CE obtidas por meio do equipamento móvel (Veris) poderá possibilitar

a identificação e delimitação de áreas homogêneas do solo (zonas de manejo). Contudo, esta prática não deve ser realizada quando não houver conhecimento do histórico de manejo da área, pois nos diferentes sistemas de manejo avaliados, apenas em alguns se verificou correlação com atributos isolados do solo. Entre as diversas correlações avaliadas somente foi verificada bons ajustes para a capacidade de troca de cátions, no sistema de integração lavoura-pecuária.

Referências

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.0455>

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1023-1031, 2006.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SIRI-PRieto, G.; REEVES, D. W.; SHAW, J.; MITCHELL, C. The world's oldest cotton experiment: relationships between soil chemical and physical properties and apparent electrical conductivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 1-20, 2006.

Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos, SP

Alberto C. de Campos Bernardi^{1,3*}, Giovana Maranhão Bettiol¹, Ricardo Y. Inamasu^{2,3}, Ladislau Rabello²

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, CP 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos

³ Bolsista do CNPq

*e-mail: alberto@cnpqse.embrapa.br

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional dos insumos, como na aplicação a taxa variável de calcário e fertilizante. O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada em área de pasto rotacionado manejado intensivamente. O estudo foi conduzido em área de 8 ha de pastagem de capim-mombaça irrigada e manejada no sistema intensivo rotacionado com 48 piquetes em São Carlos (SP). A amostragem de solo foi realizada com 6 subamostras em cada piquete. Os valores de P, K, CTC, saturação por bases foram determinados por métodos tradicionais de análise de solo nas amostras georreferenciadas coletadas a 0-0,2 m de profundidade. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida com um protótipo de sensor de contato. A variabilidade espacial das propriedades químicas do solo e da necessidade de calagem e adubação foram modeladas utilizando semivariogramas e os mapas foram obtidos por krigagem com o software Vesper. Os resultados indicaram que a área em estudo apresenta-se muito homogênea quanto às propriedades do solo avaliadas, e que apenas a adubação potássica a taxas variáveis tem potencial para ser adotada.

Palavras-chave: geoestatística, fertilidade do solo, Vesper, taxa variável, condutividade elétrica do solo, *Panicum maximum*.

Spatial variability of soil properties in intensively managed grassland in São Carlos, SP

Abstract: The knowledge of spatial variability soil properties is useful in the rational use of inputs, as in the variable rate application of lime and fertilizers. The objective of this work was to map and evaluate the soil chemical properties and maps the site specific liming and fertilizer need in a irrigated pasture. The study was conducted in an area of 8 ha of pasture Mombaça-grass irrigated and managed intensive in a rotational system with 48 paddocks in Sao Carlos, SP, Brazil. Samples with 6 sub-samples were collected in each paddock. The values of soil P, K, CEC and basis saturation were analyzed by traditional soil testing in samples collected at 0–0.2 m depth. Soil electrical conductivity (EC) was measured with a prototype of a contact sensor. Spatial variability soil properties and site specific liming and fertilizer need were modeled using semivariograms and maps were obtained by kriging with Vesper software. Results showed that the soil properties of study area are very homogeneous, and variable rate of potassium fertilizer has the potential to be adopted in the study area.

Keywords: geostatistics, soil fertility, Vesper, variable rate, soil electrical conductivity, *Panicum maximum*.



1. Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo e pode auxiliar os produtores na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (KOCH; KHOSLA, 2003). A implementação das técnicas de AP tem por meta o manejo dos diferentes fatores de produção, de modo georreferenciado, otimizando o uso de insumos, aumentando a renda dos agricultores e mantendo a qualidade do ambiente. Desse modo, pode ser definida como o manejo da variabilidade dos fatores de produção agrícola visando aumentar o benefício econômico e reduzir o impacto no meio ambiente.

Mas, a AP requer métodos e ferramentas para avaliar a variabilidade espacial do solo que possibilitem a redução das amostragens intensivas e caras (McBRATNEY; PRINGLE, 1999). A condutividade elétrica aparente do solo integra textura e a disponibilidade de água, duas características do solo que afetam a produtividade, e pode auxiliar na interpretação das variações de rendimento das culturas (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999) e foi relacionada com a variabilidade espacial da produção das culturas (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999; LUCHIARI et al., 2001). No Brasil, Machado et al. (2006) verificaram que os valores da CEa estavam relacionados com o teor de argila do solo e sua variabilidade espacial e foi útil para o estabelecimento dos limites de zonas de manejo em lavoura de soja.

O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada em área de pasto rotacionado manejado intensivamente.

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21° 57' 15" S e 47° 50' 53,5" O; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (CALDERANO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com 1502 mm de precipitação pluvial anual e

médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3° C (julho) e de 23° C (fevereiro), respectivamente (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA, 2010). A área de 8 ha de pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça vem sendo manejada no sistema intensivo desde 2005. As pastagens são manejadas em sistema rotacionado de pastejo com 3 e 4 dias de ocupação e 33 e 44 dias de descanso na época das águas e da seca, respectivamente. O pasto era adubado após a saída dos animais de cada piquete, com resíduo em torno de 40 cm, na dosagem de 80 kg/ha de nitrogênio por ciclo de pastejo, reduzida à metade no período da seca, e suspensa nos dois sistemas sem irrigação nesse período. A irrigação por aspersão foi realizada através de sistema autopropulsor de movimentação circular do tipo pivô central e o manejo da água (frequência e lâmina de irrigação) foi realizado pelo método EPS, com base no balanço entre a demanda climática (evapotranspiração) e as condições edáficas (capacidade de armazenamento de água disponível) do local (RASSINI, 2002).

A pastagem de capim-mombaça é dividida com cerca eletrificada em 4 sistemas de 12 piquetes (Figura 1a). Foram realizadas as amostragens de solo com 6 subamostras para formar uma amostra composta em cada um dos piquetes. As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas para determinação do pH em água, da matéria orgânica, do P disponível pelo método da resina, dos teores trocáveis de K, Ca e Mg, da acidez trocável e potencial, e dos teores de argila e areia. Indiretamente foram calculados, através do uso dos parâmetros anteriores, a soma de bases, a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0 (PRIMAVESI et al., 2005). A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida com um protótipo de sensor de contato, cujos pontos de amostragem estão na Figura 1b.

Adotou-se, para cálculo da necessidade de calagem e adubação com P e K as cálculos realizados pelo programa Adubapasto (<http://www.cppse>.

embrapa.br/adubapasto). O cálculo da calagem considerou o nível de acidez atual e a capacidade tampão do solo, expressa pela CTC ao pH 7,0, e a saturação por bases ideal para a cultura, que no caso, foi de 70%, por se tratar de área de forrageira mais exigente em fertilidade. O cálculo da dose de fósforo e potássio baseou-se na análise de solo para elevar o nível de P no solo para 20 mg.dm^{-3} e de K para 6% da CTC. Os modelos de semivariograma foram ajustados e os mapas estimados pelo método da krigagem utilizando o programa VESPER (MINASNY; McBRATNEY; WHELAN, 2005).

3. Resultados e discussão

A verificação da normalidade dos dados é importante, pois a krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (CARVALHO et al., 2002). Dessa forma, valores teóricos de assimetria e curtose entre 0 e 3, indicam a distribuição normal dos dados (CARVALHO et al., 2002). Dos resultados obtidos apenas pH e CTC apresentam valores de assimetria e curtose compatíveis com a normalidade (Tabela 1). Os demais parâmetros não apresentaram distribuição normal.

De acordo com a classificação sugerida por Pimentel-Gomes (1984), os valores de pH e M.O. apresentaram coeficientes de variação baixo (<10%), V% apresentou coeficiente de variação médio (entre 10 e 20%) e as demais variáveis (P, K, CTC e CEa) apresentaram coeficientes de variação altos (>20%). De acordo com Kravchenko (2003) o nível

de variabilidade dos dados é importante no manejo de sítios específicos, uma vez que as propriedades do solo com alta variabilidade (P, K, CTC e CEa, no presente estudo) são potencialmente mais apropriadas para serem manejadas espacialmente que aquelas uniformemente distribuídas. Por outro lado, o mapeamento das propriedades do solo com alta variabilidade espacial pode ter menor acurácia que os valores com menor variabilidade. As tendências de variação dos valores dos atributos de solo obtidos nesse estudo estão de acordo aos observados por Mulla e McBratney (2000) para diversos parâmetros de solo.

Os semivariogramas experimentais para as variáveis foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados (Tabela 2). Confirmando a observação de que dados com menor coeficiente de variação não apresentam dependência espacial, houve efeito pepita puro para as variáveis pH, M.O. e K. O modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais dos atributos do solo, à exceção do P cujo modelo foi o esférico. Os atributos do solo que apresentaram dependência espacial (Tabela 2), de acordo com os critérios de Cambardella et al. (1994), consideradas como forte (efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar) foi a CTC, como dependência moderada (efeito pepita entre 26-75% do patamar), CEa e doses de K_2O . E a V% e doses de P_2O_5 apresentaram dependência fraca ($\geq 75\%$).

Na Figura 2 são apresentadas a espacialização dos parâmetros que apresentaram forte a moderada

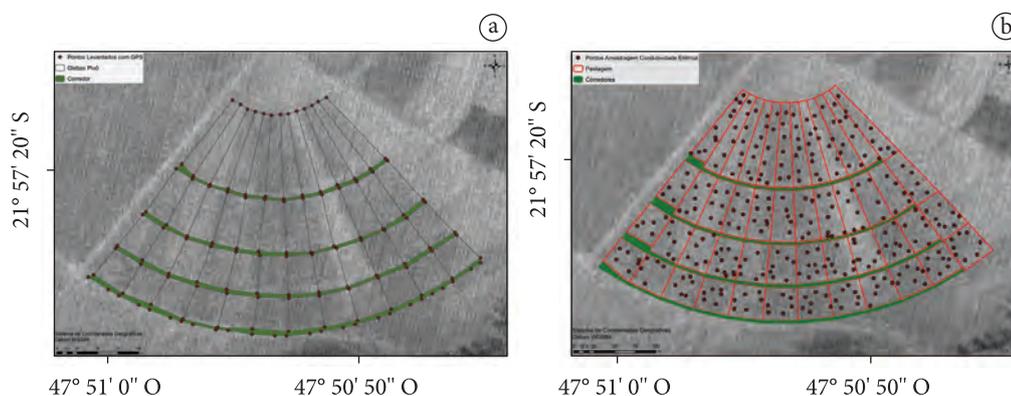


Figura 1. Localização da área de pastagem de capim-mombaça irrigado (a) na Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos, SP) e pontos de amostragem para avaliação da condutividade elétrica aparente do solo (b).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das variáveis pH, M.O., P, K, CTC, V% e condutividade elétrica aparente (CEa) de uma área de pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

Parâmetros Estatísticos	pH	MO	P	K	CTC	V	CEa
	CaCl ₂	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³		mmol _c .dm ⁻³	%	mS.m ⁻¹
Média	5,6	24,9	15,6	3,4	76,5	60,6	6,1
Desvio padrão	0,2	1,0	5,8	1,0	11,5	6,1	2,1
Mínimo	5,1	22,0	4,0	1,6	57,0	46,0	0,4
Máximo	6,2	27,0	26,0	5,5	108,0	75,0	9,9
CV	4,1	4,0	37,0	29,8	15,0	10,0	34,8
Curtose	0,1	0,9	-0,6	-0,8	0,9	-0,3	0,1
Assimetria	0,3	-0,5	0,1	0,1	0,9	0,1	-0,6
n	48	48	48	48	48	48	320

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariograma ajustados para as variáveis pH (CaCl₂), M.O., P, K, CTC, V%, CEa, necessidade de calcário, doses de adubo K e P de pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

Variável	C ₀ *	C ₁ **	a***	Modelo de ajuste	Dependência 100[C ₀ / (C ₀ + C ₁) ⁻¹]
pH (CaCl ₂)	-	-	-	Efeito pepita puro	-
MO	-	-	-	Efeito pepita puro	-
P	57,72	14,51	218,8	Esférico	79,9
K	-	-	-	Efeito pepita puro	-
CTC	23,92	245,5	209,0	Gaussiano	8,9
V	31,02	8,814	148,1	Gaussiano	77,8
CEa	5,091	496,3	10000	Gaussiano	27,3
NC	-	-	-	Efeito pepita puro	-
K ₂ O	1404,2	4082,6	71,85	Esférico	25,6
P ₂ O ₅	-	-	-	Efeito pepita puro	-

*C₀ = efeito pepita; **C₁ = variância estrutural; ***a = alcance.

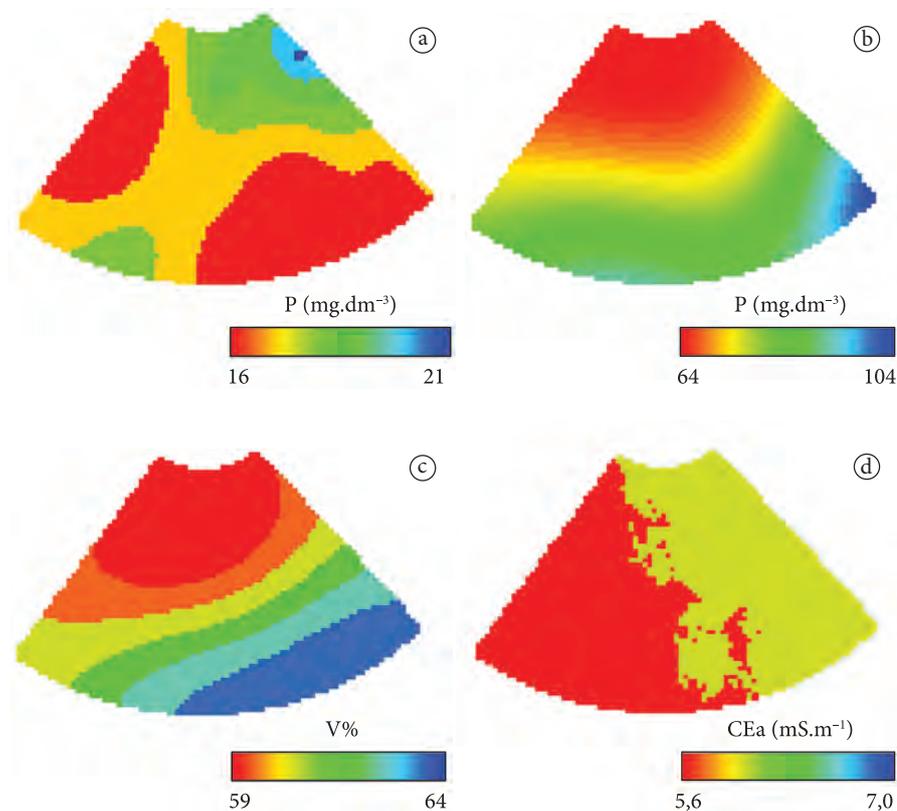


Figura 2. Mapas especializados obtidos por krigagem do teor de P, valores de CTC (B) e V% (C) e da CEa (D) em área de pastagem de capim-mombaça irrigada em São Carlos, SP.

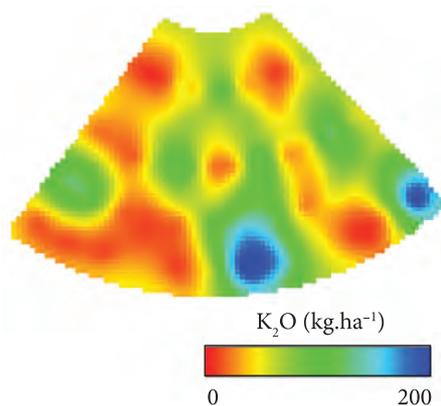


Figura 3. Recomendação espacializada da estimativa de K_2O (C) para pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

dependência espacial, ou seja, P, CTC, V% e CEa obtidos pelo método da krigagem. Destaca-se que os gráficos confirmam a que há pequenas diferenças entre os teores de P (de 16 a 21 $mg.dm^{-3}$) e valores de V% (59 a 64%) e CEa (5,6 e 7,0 $Ms.m^{-1}$).

A partir da malha de pontos amostrados, estabeleceram-se as informações para serem utilizadas no manejo da cultura no campo. Dessa forma, o mapa com as doses potássio para aplicação em taxas variáveis é apresentado na Figura 3. A espacialização da adubação potássica indica 3 faixas de doses que poderiam ser utilizadas na aplicação a taxas variáveis: 0, 100 e 200 $kg.ha^{-1}$. Observa-se que o mapa de produção de MS seguiu a tendência inversa da necessidade de calcário, apresentando distribuições semelhantes pela área.

4. Conclusões

Os resultados indicaram que a área em estudo apresenta-se muito homogênea quanto às propriedades do solo avaliadas, e que apenas a adubação potássica a taxas variáveis tem potencial para ser adotada.

Agradecimentos

Ao *International Potash Institute* – IPI pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

Referências

- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 95 p. (EMBRAPA-CNPS, Boletim de Pesquisa, n. 7).
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1151-1159, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - a classificação climática de koeppen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, v. 8, p. 361-381, 2003. http://dx.doi.org/10.1300/J144v09n01_02
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. **Journal of Production Agriculture**, v. 12, p. 607-617, 1999.
- KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1564-1571, 2003. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1564>
- LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: **PRECISION AGRICULTURE INTERNATIONAL CONFERENCE**, 5., 2000, Madison, Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2001.
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1023-1031, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600019>
- McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009995404447>

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. **VESPER**. version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, 2005. Disponível em: <<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>>. Acesso em:22 jul. 2010.

MULLA, D. J.; McBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. A321-352.

PIMENTEL-GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. Métodos de análise de solo. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130.

RASSINI, J. B. **Irrigação de pastagens: Frequência e quantidade de aplicação de água em Latossolos de textura média**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 7 p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Circular Técnica, n. 31).

Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho

Alberto Miele^{1*}, Carlos Alberto Flores^{2*}, José Maria Filippini Alba^{2*}

¹ Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, CEP 96010-971, Pelotas, RS, Brasil

*e-mail: miele@cnpuv.embrapa.br; carlos.flores@cpact.embrapa.br; jose.filippini@cpact.embrapa.br

Resumo: Tecnologias relacionadas à viticultura de precisão (VP) ainda não estão sendo contempladas pelo setor primário para aumentar a competitividade do vinho brasileiro em relação ao importado. Para sanar essa lacuna, está-se conduzindo esta pesquisa utilizando várias tecnologias de VP num vinhedo do cv. Merlot, clone 347. As atividades realizadas durante o ciclo vegetativo de 2010/2011 foram relacionadas à determinação das coordenadas da UP Uva para Vinho, georreferenciamento das videiras que formam os vinhedos, determinação dos perfis dos solos, análises de amostras de solos, NDVI, CE do solo, clorofila das folhas, análise de minerais dos pecíolos, composição físico-química do mosto da uva, elaboração de vinho em pequena escala e vigor da planta. Os dados ainda estão sendo espacializados, entretanto na UP Uva para Vinho foram determinadas três classes taxonômicas de solo (Argissolos, Cambissolos e Neossolos), as quais compõem 10 unidades de mapeamento. Além disso, a Análise de Componentes Principais discriminou as classes taxonômicas e as unidades de mapeamento em função das variáveis relacionadas à composição do mosto da uva e à composição mineral dos pecíolos das folhas.

Palavras-chave: agricultura de precisão, uva, videira, vinho, viticultura de precisão.

Present status of precision viticulture in the State of Rio Grande do Sul: first results of the Wine Grape PU

Abstract: Technologies related to precision viticulture (PV) are not yet being used by growers and wineries to improve Brazilian wine competitiveness related to import wines. To overcome this situation, a research is being carried out using many PV technologies in a vineyard of Merlot, clone 347. The activities conducted during the vegetative cycle of 2010/2011 were related to the coordinates of the Wine Grape PU, grapevines georeferencing, determination of the soil profiles, soil analyses, NDVI, soil EC, leaf chlorophyll, petiole mineral composition, grape must physicochemical composition, microvinification and plant vigor. Data are still being spatialized, however three soil taxonomic classes were determined in the Wine Grape PU, comprising 10 mapping unities. Furthermore, Principal Component Analysis discriminated the taxonomic classes and mapping unities related to the must and petiole mineral composition.

Keywords: grape, grapevine, precision agriculture, precision viticulture, wine



1. Introdução

A produção e comercialização de vinhos finos brasileiros têm sofrido séria concorrência de produtos importados, especialmente de países da América do Sul e europeus. A fim de mitigar essa situação, o setor vitivinícola nacional tem desenvolvido ações nas mais diversas áreas. Dessa forma, tem-se verificado um empenho acentuado das instituições ligadas ao setor e de algumas empresas líderes na busca de uma melhor qualidade, através da adoção de tecnologias vitícolas e enológicas modernas.

Dentre as tecnologias vitícolas, há uma preocupação constante com o manejo dos solos. Na Serra Gaúcha, eles têm estrutura, textura e composição físico-química que podem variar em espaços diminutos, as quais podem ter efeito considerável na produtividade e na qualidade da uva e do vinho. E esse é um tópico abordado pela agricultura de precisão (AP), que pode ser definida como o manejo de uma cultura numa área com escala espacial e temporal menor que a área dessa cultura como um todo (PLANT et al., 2000). O emprego da AP é uma tecnologia relativamente nova no cultivo da videira, então denominada de viticultura de precisão (VP), destacando-se os trabalhos pioneiros conduzidos nos Estados Unidos (WAMPLE et al., 1998) e na Austrália (BRAMLEY; PROFFITT, 1999; PROFFITT et al., 2006). Portanto, a utilização de tecnologias de VP constitui-se em importante ferramenta para melhorar a qualidade e a competitividade do vinho brasileiro.

2. Material e métodos

Os trabalhos de pesquisa em viticultura de precisão estão sendo realizados em três vinhedos do cv. Merlot, clone 347, enxertado sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, dois deles formados em 2005 (Vinhedos 1 e 3) e um em 2006 (Vinhedo 2). Esses vinhedos pertencem à Vinícola Miolo, localizada no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, RS. No total, são 2,42 ha de videiras conduzidas em espaldeira e podadas em cordão esporonado.

As ações de pesquisa desenvolvidas na Unidade-Piloto - UP Uva para Vinho, no ciclo vegetativo de 2010-2011, são descritas a seguir:

2.1. Georreferenciamento dos vinhedos

Os vinhedos foram numerados de 1 a 3. Em cada um deles foram estabelecidas, em janeiro de 2011, as coordenadas (latitude, longitude e altitude). O georreferenciamento da área foi feito com estação total (Sokkia SET 610) e GPS Geodésico (Sokkia GSR 2600), o qual serviu de base para a criação de cartas de altimetria, declividade e malha (10 × 10 m) de coordenadas para o mapeamento dos solos. No conjunto dos três vinhedos foram registradas as linhas de videiras, nas quais foram georreferenciadas 257 plantas.

2.2. Determinação dos perfis dos solos

Para a determinação dos perfis dos solos foram abertas quatro trincheiras, uma no Vinhedo 1, duas no 2 e uma no 3. As amostras de solo foram coletadas em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm. Isto foi feito para descrever morfologicamente e caracterizar analiticamente os solos. Para sua classificação, utilizou-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS, avaliando-se as seguintes variáveis: a) P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO, TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , Ki, Kr, Al_2O_3/Fe_2O_3 (ataque sulfúrico) e b) pH (em H_2O e KCl), Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+ , $H^+ + Al^{3+}$, P^{5+} , S, T, V, fração da amostra total (calhau, cascalho e terra fina), composição granulométrica (areia grossa, areia fina, silte e argila), argila dispersa em água, grau de floculação, relação silte/argila, C orgânico, N e relação C/N.

2.3. Coleta e análise físico-química de amostras de solo

Nos três vinhedos coletaram-se 125 amostras de solo em janeiro de 2011 na profundidade de 0 a 20 cm. Essas amostradas foram coletadas de solos próximos às videiras georreferenciadas, avaliando-se variáveis físico-químicas. As análises

foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS, sendo as variáveis avaliadas as mesmas feitas para a determinação dos perfis dos solos.

2.4. Espacialização dos dados

Os dados relacionados ao item 3 foram espacializados por meio dos aplicativos Surfer e ArcGis considerando os vinhedos individualmente, sendo elaborados os semi-variogramas da maior parte das variáveis e os respectivos mapas.

2.5. Coleta e análise físico-química de amostras de solo

Nos três vinhedos coletaram-se 124 amostras de solo em janeiro de 2011, malha de 20 × 20 m, profundidade de 0 a 20 cm e de 50 a 80 cm. Essas amostras foram coletadas de solos próximos às videiras georreferenciadas, avaliando-se variáveis físico-químicas. As análises dos solos foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS, sendo as variáveis avaliadas as mesmas feitas para a determinação dos perfis dos solos.

2.6. Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI

O NDVI foi determinado em janeiro de 2011, a cada cinco fileiras de videiras, por meio de um sensor que emite luz nas bandas vermelho e infravermelho, marca CropCircle, modelo CS 210, equipado com um aparelho Trimble e um datalog GeoSCOUT GLS 400. Foram feitas 6.238 leituras.

2.7. Determinação da condutividade elétrica do solo - CE

A condutividade elétrica do solo foi determinada em janeiro de 2011, utilizando um sensor manual adaptado pela Embrapa Instrumentação especialmente para este tipo de cultura. Foram feitas 257 leituras, todas elas entre as fileiras de videira próximas às plantas georreferenciadas.

2.8. Determinação de clorofila

A clorofila das folhas de videira foi determinada em janeiro de 2011, fazendo-se leituras em 10 folhas de cada uma das 257 plantas georreferenciadas, sempre na mesma região de cada limbo. Determinaram-se as clorofilas *a* e *b*, a relação a/b e $a+b$. Para isso, utilizou-se um medidor eletrônico de clorofila, o ClorifiLOG CFL 1030, da Falker.

2.9. Determinação da composição mineral dos pecíolos

Coletaram-se 10 folhas/planta georreferenciada e, a seguir, separaram-se os pecíolos dos limbos. Secaram-se os pecíolos em estufa com circulação forçada a 60 °C, moendo-os logo após e colocando-os em sacos de plástico. A análise de nutrientes foi feita no Laboratório de Solos da UFRGS, avaliando-se os minerais N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Na, Al e B.

2.10. Amostragem de uva, extração e análise do mosto

Precedendo a colheita da uva, em março de 2011 amostraram-se ao acaso 100 bagas de 146 plantas georreferenciadas, as quais foram colocadas em um saco de plástico e esmagadas. Do mosto obtido, avaliaram-se as variáveis: °Brix, acidez titulável, pH e relação °Brix/acidez titulável.

2.11. Colheita e pesagem da uva

Após a amostragem de uva para extração do mosto, colheu-se e pesou-se a produção de uva de cada uma das 257 plantas georreferenciadas.

2.12. Microvinificação

Colheram-se 50 kg de uva de cada unidade de mapeamento, ou seja, PBACal 2 e 3 (Argissolo - Vinhedo 1), CXve 2 e 3 (Cambissolo - Vinhedo 2), RRh 4 (Neossolo - Vinhedo 2), RRh 1, 2 e 3 (Neossolo - Vinhedo 3) e PBACal 1 (Argissolo - Vinhedo 3). De cada unidade de mapeamento, separaram-se 40 kg de uva, das quais fizeram-se duas microvinificações de 20 kg cada, em recipientes

de vidro. Após a conclusão das fermentações alcoólica e malolática, estabilizaram-se os vinhos e adicionou-se SO₂. Logo depois, eles foram engarrafados e rotulados. A análise físico-química e a sensorial serão realizadas no segundo semestre de 2011. As variáveis a ser avaliadas são – *Análise físico-química do vinho* – densidade, álcool, acidez titulável, acidez volátil, extrato seco, açúcares redutores, extrato seco reduzido, relação álcool em peso/extrato seco reduzido, cinzas, alcalinidade das cinzas, N, polifenóis totais, taninos, antocianinas, DO 420 nm, DO 520 nm, DO 620 nm, intensidade de cor, matiz, etanal, acetato de etila, metanol, 1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol, 3-metil-1-butanol, soma dos alcoóis superiores e minerais (N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Cu, Fe, Zn, Li e Rb); *Características sensoriais do vinho* – após prontos, os vinhos serão avaliados quanto às suas características sensoriais. As condições do laboratório e os procedimentos a ser adotados durante as sessões de análise sensorial seguirão os padrões internacionais.

2.13. Peso da poda seca e relação peso da poda/peso fresco do fruto

Em setembro de 2011 fez-se a poda seca das 257 plantas georreferenciadas, pesando o material vegetal proveniente da poda. Com isso, gerou-se a variável peso da poda seca/peso fresco do fruto.

2.14. Fotografia aérea com helicóptero semiautônomo de controle remoto

Em dezembro de 2011/janeiro de 2012 está prevista uma tomada de fotografia aérea com um helicóptero semiautônomo de controle remoto dos três vinhedos que compõem a UP Uva para Vinho.

2.15. Registro de dados climáticos

Os dados de temperatura do ar – mínima, média e máxima –, precipitação e umidade relativa do ar estão sendo registrados diariamente pela Estação Meteorológica da Embrapa Uva e Vinho localizada próxima à Vinícola Miolo. As variáveis insolação e radiação solar também estão sendo

registradas diariamente, mas estas pela Estação Agroclimatológica da Embrapa Uva e Vinho, localizada em sua sede, em Bento Gonçalves.

3. Resultados

As atividades de pesquisa do projeto viticultura de precisão planejadas para 2011 (MIELE et al., 2010) foram realizadas integralmente. Alguns resultados já foram estabelecidos e outros são preliminares, pois eles dependem da espacialização dos dados, o que está sendo feito por meio da Geoestatística. Entretanto, devido ao grande número de variáveis avaliadas o trabalho de espacialização dos resultados é minucioso e exige tempo para sua elaboração.

Os resultados finalizados relacionam-se à determinação das coordenadas da UP Uva para Vinho, do georreferenciamento das videiras que formam esta UP e da identificação de três classes taxonômicas de solos, as quais são compostas de dez unidades de mapeamento. A partir das classes e unidades de solo, e conhecendo-se as coordenadas pré-estabelecidas, estabeleceram-se seus limites na área da UP Uva para Vinho. Assim, segundo Flores et al. (2011), esta UP é constituída por Cambissolos (CXve), que apresentam alta saturação de base; Argissolos (PBACal), alta saturação por alumínio; e Neossolos (RRh), alto teor de carbono orgânico e muito pedregosos (Figura 1).

Conforme já mencionado, a espacialização dos dados está sendo processada. Face a isso, submeteram-se os dados à ACP das variáveis da análise físico-química do mosto da uva Merlot, clone 347, e da composição mineral dos pecíolos das videiras georreferenciadas.

Os componentes principais (CPs) 1 e 2 das variáveis do mosto explicam 98,57% da variação total, sendo 80,34% pelo CP1 e 18,23% pelo CP2. O pH e a relação °Brix/acidez titulável foram mais expressivos nos Argissolos (PBACal 2 e 3) e Cambissolos (CXve 2 e 3); o °Brix, nos Argissolos (PBACal 1, 2 e 3); e a acidez titulável nos Neossolos (RRh 1, 2, 3, 4) (Figura 2).

Com relação à composição mineral dos pecíolos, os CPs 1 e 2 explicam 72,51% da variação total, sendo 43,19% pelo CP1 e 29,32% pelo CP2. O

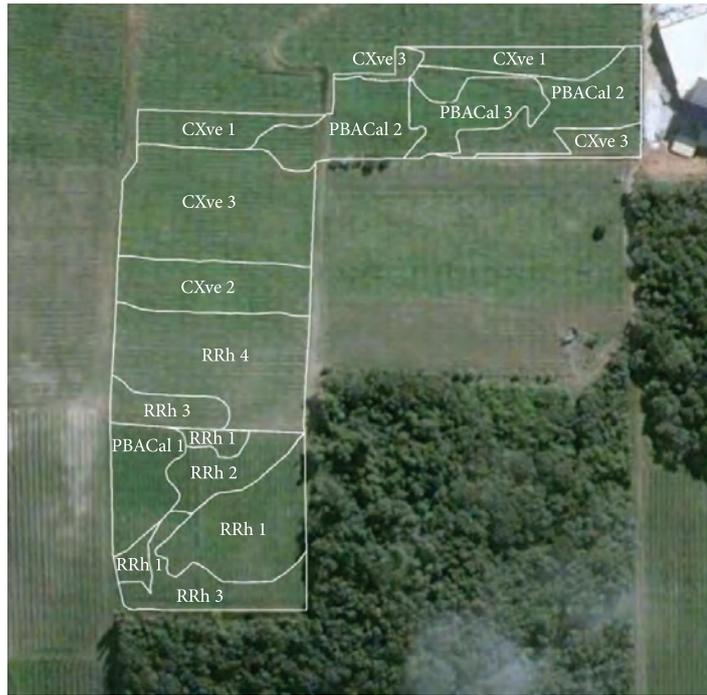


Figura 1. Mapa dos solos da UP Uva para Vinho mostrando as três classes taxonômicas e dez unidades de solo determinadas em 2011 (FLORES et al., 2011). (Foto: Google Earth, julho de 2007).

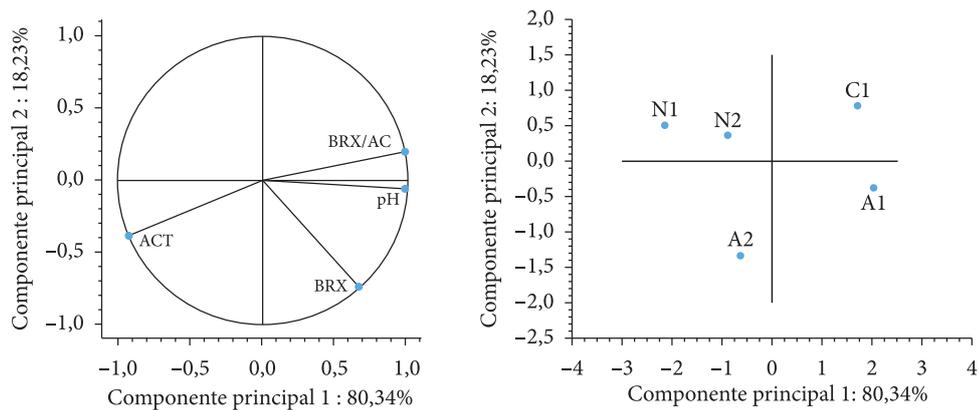


Figura 2. Projeção das variáveis relacionadas à composição do mosto da uva e dos solos no plano formado pelos componentes principais 1 x 2. Legenda: BRX = °Brix, ACT = acidez titulável, PH = pH, BRX/ACT = relação °Brix/acidez titulável; A1 = Argissolo (PBACal 2 e 3), A2 = Argissolo (PBACal 1), C1 = Cambissolo (CXve 2 e 3), N1 = Neossolo (RRh 4), N2 = Neossolo (RRh 1, 2 e 3).

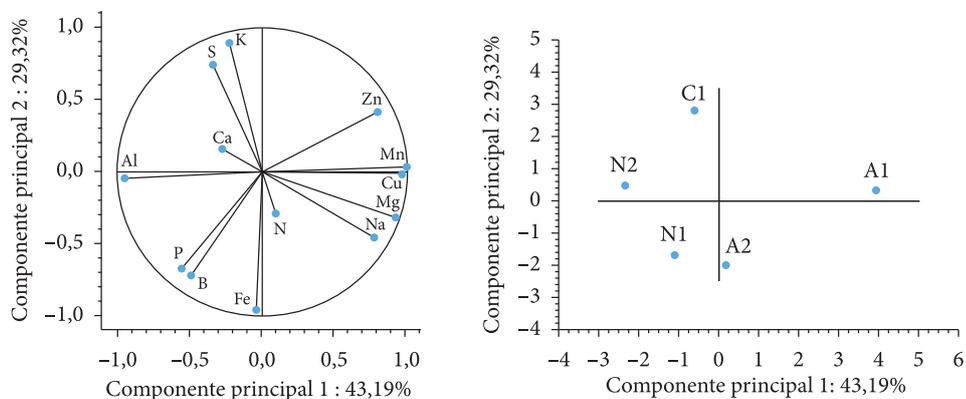


Figura 3. Projeção das variáveis relacionadas à composição mineral do pecíolo e dos solos no plano formado pelos componentes principais 1 x 2. Legenda: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Na, Al, B; A1 = Argissolo (PBACal 2 e 3), A2 = Argissolo (PBACal 1), C1 = Cambissolo (CXve 2 e 3), N1 = Neossolo (RRh 4), N2 = Neossolo (RRh 1, 2 e 3).

Cu, Mn, Mg e Zn foram mais expressivos no Argissolo (PBACal 2 e 3); o Fe, Na e B no Argissolo (PBACal 3); o K e S, no Cambissolo (CXve 2 e 3); o Al, no Neossolo (RRh 1, 2 e 3); o P, no Argissolo (PBACal 3) e Neossolo (RRh 1, 2 e 3); o N e o Ca não foram discriminados pelos diferentes tipos de solo (Figura 3).

4. Conclusões

A tecnologia de viticultura de precisão que está sendo desenvolvida na UP Uva para Vinho é inovadora e, certamente, contribuirá para melhorar a qualidade do vinho brasileiro e aumentar sua competitividade em relação ao produto importado. Ao finalizar o projeto, ter-se-á condições de definir as metodologias mais indicadas para a viticultura de precisão, seja em função da tecnologia *per se* ou de seu custo/benefício. A participação da Vinícola Miolo, colocando à disposição seus vinhedos e seus engenheiros agrônomos, foi fundamental para o êxito dos resultados alcançados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Ricardo Y. Inamasu e ao Dr. Ladislau M. Rabello, da Embrapa Instrumentação; ao Prof. Dr. Clésio Gianello, da UFRGS; aos engenheiros agrônomos Ciro Pavan e Mário L. Fochesato, da Vinícola Miolo; ao doutorando Rubens Tabile, da Faculdade de Engenharia de São Carlos-USP; ao geógrafo André R. Farias, da Embrapa Uva e Vinho; ao enólogo Guilherme da C. Meneses, ex-bolsista da Embrapa Uva e Vinho; ao técnico agropecuário Henrique F. Levien e à técnica agroindustrial Daiane Hellnvig Zarnott, bolsistas da Embrapa Clima Temperado, convênio Fapeg-Embrapa-MDA; à estudante Cristiane B. Badalotti, do IFRS Bento Gonçalves

e bolsista IC do CNPq; e aos anônimos colegas da Embrapa Uva e Vinho pelo inestimável apoio e colaboração prestados na execução das atividades de pesquisa deste projeto.

Referências

- BRAMLEY, R. G. V.; PROFFITT, A. P. B. Managing variability in viticultural production. **The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker**, n. 427, p. 11-16, 1999.
- FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; LEVIEN, H. F.; ZARNOTT, D. H.; MIELE, A.; PAVAN, C. Levantamento detalhado dos solos e a viticultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 4 p. 1 CD-ROM. Resumo expandido.
- MIELE, A.; LAZZAROTTO, M.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. Viticultura de precisão: uma ferramenta tecnológica para melhorar a qualidade e a competitividade do vinho brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010. 3 p. 1 CD- ROM. Resumo expandido.
- PLANT, E.; PETTYGROVE, G. S.; REINERT, W. R. Precision agriculture can increase profits and limit environmental impacts. **California Agriculture**, v. 54, n. 4, p. 66-71, 2000. <http://dx.doi.org/10.3733/ca.v054n04p66>
- PROFFITT, T.; BRAMLEY, R.; LAMB, D.; WINTER, E. **Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production**. Ashford: Winetitles, 2006. 90 p.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- WAMPLE, R. L.; MILLS, L.; DAVENPORT, J. R. Use of precision farming practices in grape production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, Saint Paul, Estados Unidos. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 1999. p. 897-905.

Aplicação de processamento digital de imagens orbitais e SIG para apoio à agricultura de precisão nas culturas da videira e macieira no Rio Grande do Sul**

Rosemary Hoff^{1*}, André Rodrigo Farias^{1*}, Jorge Ricardo Ducati^{2*},
Gustavo Rodrigues Toniolo^{3*}

¹ Embrapa Uva e Vinho, RS, Brasil

² Professor do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento remoto e meteorologia – CEPSRM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

³ Bolsista Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, Embrapa, RS, Brasil

*e-mail: rosehoff@cnpuv.embrapa.br; afarias@cnpuv.embrapa.br; jorge.ducati@ufrgs.br; gustavo@cnpuv.embrapa.br

**Rede AP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Resumo: O estudo por sensoriamento remoto e SIG para as culturas de videira e macieira no Brasil requereu a busca por imagens de satélite adequadas à aplicação de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Dados ALOS (Advanced Land Observing Satellite) foram testados em duas áreas experimentais no Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados apontam que a diferenciação de índices no âmbito inter e intra parcelas podem auxiliar no manejo da cultura.

Palavras-chave: imagem ALOS, macieira, NDVI, videira.

Application of digital processing on satellite images and GIS to support for precision agriculture in the cultures of vine and apple in Rio Grande do Sul

Abstract: The study by remote sensing and GIS for the vine and apple crop in Brazil has requested the search for satellite images to the appropriate application of normalized difference vegetation index (NDVI). Data ALOS (Advanced Land Observing Satellite) were tested in two experimental areas in Rio Grande do Sul State. The results suggest that differential index in inter and intra areas can assist in crop management.

Keywords: ALOS image, apple, NDVI, vine.



1. Introdução

O estudo por sensoriamento remoto da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa para as culturas de videira e macieira no Brasil requereu a busca por imagens de satélite adequadas à aplicação de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em duas áreas experimentais em Flores da Cunha na Serra Gaúcha e em Vacaria nos Campos de Cima da Serra, no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

O Índice de Vegetação (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) tem sido usado para medir e monitorar o crescimento da planta (vigor), cobertura vegetal e produção de biomassa a partir de dados de satélite multiespectrais. O princípio do NDVI se baseia no fato de que na região vermelha do espectro eletromagnético a clorofila absorve luz solar, enquanto que na região do infravermelho próximo a estrutura das folhas (mesofilo) fornece considerável reflectância (TUCKER et al., 2001). O estudo do relevo onde se desenvolvem as atividades agrícolas é a base para implantação de métodos de manejo, observações microclimáticas e análises multicritério com dados secundários, podendo apoiar a agricultura de precisão. O detalhamento do relevo pode destacar atributos como hipsometria, declividade e exposição, importantes para a planta e aspectos do solo onde se desenvolve e as imagens ALOS tem sido bastante empregadas em estudos de indicação geográfica de vinhedos e gestão ambiental da Embrapa Uva e Vinho (HOFF et al., 2011).

O objetivo deste trabalho é mostrar o emprego de NDVI no contexto da parcela de vinhedo e da macieira, após testados todos dados de satélite disponíveis, adequados em resolução espacial e acessíveis economicamente ao emprego para agricultura de precisão.

2. Material e métodos

O material utilizado para o estudo de regiões vitivinícolas e de maçã no Brasil é formado por um conjunto de imagens de satélite: 1) MDE SRTM de baixa resolução (90 m); 2) imagem multiespectral ASTER e respectivo MDE de média resolução (15 m); 3) imagem multiespectral IKONOS de

alta resolução espacial (1 a 4 m); 4) imagem ALOS multiespectral e MDE (10 e 2,5 m).

Os softwares utilizados, para o processamento digital de imagens foi ENVI 4.7 (ITT, 2011) e para geoprocessamento foi o gvSIG (2010). As principais técnicas empregadas foram ortorretificação, registo de imagem, aumento linear de contraste e determinação de NDVI por matemática de bandas. A primeira área estudada está na situada nos vinhedos pertencentes à Vinhos Argenta Ltda. E a segunda área está localizada nos pomares da Agropecuária Schio Ltda.

As imagens NDVI foram geradas a partir dos canais 3 (Red) e 4 (NIR) do conjunto ALOS AVNIR-2, na faixa espectral no visível (0,58-0,68 μ) e infravermelho próximo (0,725-1,10 μ , regiões do espectro eletromagnético. Para cálculo do NDVI, aplicou-se a seguinte operação matemática entre as bandas:

$$\text{NDVI} = (\text{Nir} - \text{red}) / (\text{Nir} + \text{Red}) \quad (1)$$

3. Resultados e discussão

Dentre muitos dados de imagens multiespectrais e pancromáticas disponíveis no acervo da Embrapa Uva e Vinho, acessíveis aos estudos, aponta-se a imagem ALOS em seu conjunto pancromático e multiespectral, como a melhor neste momento para construir-se o modelo digital de elevação para estudo detalhado do relevo e a observação do vigor da planta, dentro da escala de parcela de vinhedo e também de cultura de maçã.

A Figura 2 mostra o sistema de informações geográficas do vinhedo da empresa Vinhos Argenta Ltda., onde tem-se na tela em destaque uma composição colorida bandas RGB321 fusionadas com banda pancromática da imagem ALOS, tendo-se um resultado final com resolução 2,5 m, possibilitando a definição exata dos vinhedos. No SIG, é possível estabelecer sobreposição de camadas como altimetria, declividade, exposição solar, NDVI.

A Figura 3 mostra uma imagem NDVI gerada a partir da operação entre bandas 3 e 4 AVNIR-2 de outubro de 2009, observando-se os altos índices nas parcelas de macieira em geral, porém, passíveis de



Figura 1. Localização das unidades piloto de Flores da Cunha (vinhedo) e Vacaria (macieira) no Estado do Rio Grande do Sul.

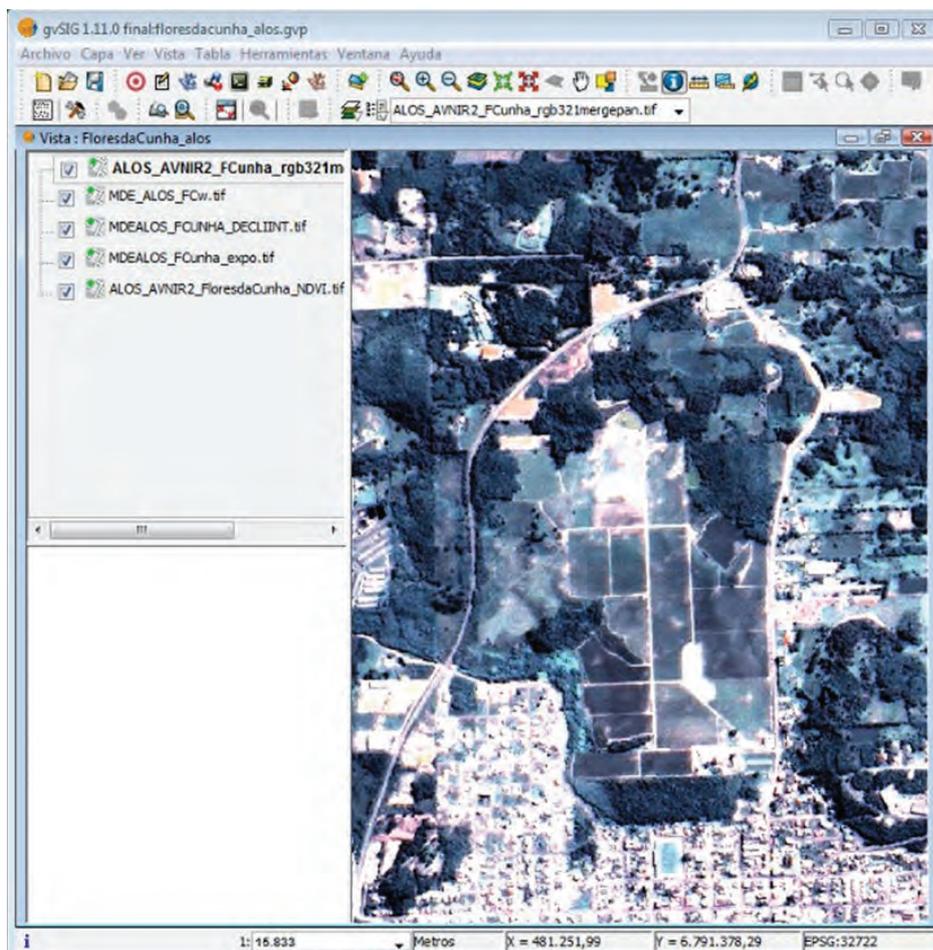


Figura 2. Sistema de informações geográficas (gvSIG) da unidade piloto de Flores da Cunha (RS) em vinhedos, mostrando composição colorida bandas RGB321 fusionadas com banda pancromática da imagem ALOS.



Figura 3. Imagem NDVI da unidade piloto de Vacaria (RS) num pomar de maçãs, resultante da operação entre bandas multiespectrais da imagem ALOS.

diferenciação entre as parcelas para permitir um manejo diferenciado entre elas, seja na época de colheita, seja para irrigação, entre outras práticas. No âmbito intraparcelsa, os dados diferenciados de NDVI podem colaborar para o manejo das mesmas.

4. Conclusões e recomendações

Ao longo do Projeto da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, a realização de testes com imagens de satélite com resoluções diferenciadas possibilitou optar por produto de custo baixo. Este produto forneceu, além de características espectrais, dados de relevo do ambiente da cultura da videira e pomicultura. No entanto, o fornecimento das imagens ALOS foi suspenso pelo seu desenvolvedor internacional, podendo-se adquirir estas imagens e utilizá-las para geração de modelos digitais de altimetria, o que ainda constituiu um ganho para agricultura. Apesar da Embrapa ter em seu acervo imagens orbitais de diversos sensores, há necessidade de obtenção de dados sazonais conforme a safra. No caso da videira na Região Sul recomenda-se adquirir imagens pouco antes e no período de colheita, a fim de relacionar a refletância às condições de sanidade e quantidade de água no sistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEPESRM/UFRGS, às empresas Vinhos Argenta Ltda. e Agropecuária Schio Ltda.

Referências

- ADVANCED AND OBSERVING SATELLITE - ALOS. 2009. Disponível em: <<https://ursa.aadn.alaska.edu/>>.
- GVSIG. **Sistema de Información Geográfica**. Valencia: Conselleria d'Infraestructuras y Transportes. Disponível em: <<http://www.gvsig.gva.es/>>.
- HOFF, R.; MENEZES, G. C.; FARIAS, A. R.; TONNETTO, J. O uso de SR/SIG: informação espacial de indicações geográficas no Brasil. In: WORLD CONGRESS OF VINE AND WINE, 34.; General Assembly Of Oiv, 9., 2011, Porto. **Proceedings...** Porto: OIV, 2011. CD-ROM, p. 1-6.
- ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS - ITT VIS. Disponível em: <<http://www.itvis.com/>>.
- TUCKER, C. J.; SLAYBACK, D. A.; PINZON, J. E.; LOS, S. O.; MYNENI, R. B.; TAYLOR, M. G. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 4, p.184-190, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-001-0109-8>

Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta na UP Uva para Vinho, Bento Gonçalves, RS

José Maria Filippini Alba^{1*}, Alberto Miele^{2*}, Carlos Alberto Flores^{1*}, Ciro Pavan^{3*}, Mário L. Fochesato^{3*}, Enrique Levien^{4*}, Daiane H. Zarnott^{5*}

¹ Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, CEP 96010-971, Pelotas, RS, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil

³ Engenheiro Agrônomo da Vinícola Miolo, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil

⁴ Técnico Agropecuário, Autônomo, CEP 96010-971, Pelotas, RS, Brasil

⁵ Técnica Agroindustrial, Pós-graduanda da UFPel, CEP 96001-970, Pelotas, RS, Brasil

*e-mail: jose.filippini@cpact.embrapa.br; miele@cnpuv.embrapa.br; carlos.flores@cpact.embrapa.br; ciro@miolo.com.br; mario@miolo.com.br; henriquelevien@gmail.com; daiahzar@gmail.com

Resumo: Tecnologias de agricultura de precisão (AP) são pouco contempladas pelo setor primário para aumentar a qualidade e competitividade do vinho brasileiro. Por isso, esta pesquisa considera várias tecnologias de AP num vinhedo do cv. Merlot, clone 347, UP Uva para Vinho, localizado em Bento Gonçalves, RS. Neste resumo apresentam-se resultados preliminares relacionados à análise da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta, complementando o trabalho de Miele et al. (2011), também apresentado neste workshop. Os dados sugerem haver variabilidade espacial significativa para vários atributos, com boa correlação com as classes taxonômicas de solo (Argissolos, Cambissolos e Neossolos) e, em certos casos, dependência com o manejo realizado no vinhedo. Os próximos passos consistem em afinar a espacialização dos dados e definir métodos adequados de integração.

Palavras-chave: agricultura de precisão, geoestatística, uva, videira, vinho, viticultura de precisão.

Spatial variation of soil and plant physical and chemical properties in a Wine Grape Pilot Unity, in Bento Gonçalves, State of Rio Grande do Sul, Brazil

Abstract: The use of precision agriculture (PA) technologies by growers and wineries in Brazil to improve wine quality and competitiveness is limited. Thus, the current research encompass several PA technologies in a vineyard of cv. Merlot, clone 347, Wine Grape Pilot Unit, established in Bento Gonçalves, RS, Brazil. This summary presents preliminary results from the analysis of the spatial variability of physical and chemical properties of soils and plants, complementing the work of Miele et al. (2011) also presented in this workshop. The data indicate the presence of significant spatial variability for several attributes, correlated to the soils taxonomic classification and for certain attributes, dependence on vineyard management practices. The subsequent stages of the project will include the improvement of spatial data and definition of appropriate integration methods.

Keywords: geostatistic, grape, grapevine, precision agriculture, precision viticulture, wine.



1. Introdução

Os sistemas de posicionamento global orientados por satélites e a geoestatística são geotecnologias estreitamente relacionadas à agricultura de precisão (AP). Os primeiros permitem localizar amostragens, avaliar perímetro e área de lavoura e implementar modelos de elevação em microescala. Já a geoestatística se associa ao estudo da variabilidade espacial, requisito imprescindível para aplicação da AP (MOLIN, 2011). Neste resumo se discute a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta, realizados na UP Uva para Vinho (Unidade-Piloto Uva para Vinho), no contexto do projeto “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”. Trata-se de uma atividade complementar a dos trabalhos de Flores et al. (2011) e Miele et al. (2011), que também está sendo apresentado no presente workshop.

2. Material e métodos

Os trabalhos de pesquisa em viticultura de precisão (VP) estão sendo realizados em três vinhedos do cv. Merlot, clone 347, enxertado sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, dois deles formados em 2005 (Vinhedos 1 e 3) e um em 2006 (Vinhedo 2). Esses vinhedos pertencem à Vinícola Miolo, localizada no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, RS. No total, são 2,42 ha de videiras conduzidas em espaldeira e podadas em cordão esporonado. As ações de pesquisa relativas ao presente trabalho foram: **1) Georreferenciamento dos vinhedos:** o georreferenciamento da área foi feito com estação total (Sokkia SET 610) e GPS Geodésico (Sokkia GSR 2600), o qual serviu de base para a criação de cartas de altimetria, declividade e malha (10 × 10 m) de coordenadas para o mapeamento dos solos. No conjunto dos três vinhedos foram registradas as linhas de videiras, nas quais foram georreferenciadas 257 plantas; **2) Determinação dos perfis dos solos:** para a determinação dos perfis dos solos foram abertas quatro trincheiras. As amostras de solo foram coletadas em todos

os horizontes até a profundidade de 150 cm. Os solos foram classificados segundo Santos et al. (2006). Realizaram-se as seguintes determinações analíticas, as quais foram feitas no Laboratório de Solos da UFRGS: a) P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO, TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 (ataque sulfúrico) e b) pH, Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , P^{5+} , fração da amostra total (calhau, cascalho e terra fina), composição granulométrica (areia grossa, areia fina, silte e argila), argila dispersa em água, grau de floculação, C orgânico, N e relação C/N; **3) Coleta e análise físico-química de amostras do solo:** no Vinhedo 2 coletaram-se 54 amostras de solo, próximos às videiras georreferenciadas, em janeiro de 2011 e na profundidade de 0 a 20 cm. As análises dos solos foram realizadas sem o ataque sulfúrico; **4) Espacialização dos dados:** os dados relacionados às amostras de solos foram espacializados por métodos geoestatísticos para cada vinhedo. No presente resumo, apresentam-se somente os resultados relativos ao Vinhedo 2; **5) Determinação de clorofila:** a clorofila das folhas de videira foi determinada em janeiro de 2011, fazendo-se leituras em 10 folhas de cada uma das 257 plantas georreferenciadas, ou seja, a leitura foi feita em 2.480 folhas, sempre na mesma região de cada limbo. Determinaram-se os índices das clorofilas *a* e *b*, da relação *a/b* e da soma *a + b*. Para isso, utilizou-se um medidor eletrônico de clorofila, o ClorifiLOG CFL 1030, da Falker.

3. Resultados

As frações granulométricas apresentaram médias semelhantes para argila, silte e areia grossa, devido a sua característica complementar, ou seja, a soma de frações foi fixa (Tabela 1). As variáveis químicas, teor de Al e P, assim como pH, não mostraram variabilidade espacial. As restantes variáveis se ajustaram ao modelo esférico, com alcance diferente para silte e índice de clorofila *b*. Depois da krigagem, as variáveis relacionadas às frações granulométricas apresentam distribuições espaciais diferentes e provavelmente relacionadas com a altimetria do terreno (Figura 1). As variáveis químicas apresentam associação espacial no caso

Tabela 1. Parâmetros estatísticos e geoestatísticos das variáveis indicadas para as 54 amostras de solo ou de 257 plantas (clorofila) do Vinhedo 2.

Variável	Média	Desvio padrão	C ₀ *	C ₁ **	a***	Modelo de ajuste
Argila, <0,002 mm, g/kg	300	119	8435	9388	129	Esférico
Silte, 0,002-0,05 mm, g/kg	289	83	5100	2300	81	Esférico
Areia fina, 0,05-0,20 mm, g/kg	111	35	4800	10900	129	Esférico
Areia grossa, 0,20-2 mm, g/kg	297	70	3000	3100	129	Esférico
Al, cmol _c /kg	0,01	0,07				EPP
Ca, cmol _c /kg	9,9	1,4	1,5	1,0	129	Esférico
Índice de clorofila <i>b</i>	12,2	0,9	0,73	0,57	64	Esférico
C orgânico, g/kg	17,7	4,3	11	14	129	Esférico
K, cmol _c /kg	0,6	0,2	0,021	0,0098	129	Esférico
Mg, cmol _c /kg	2,4	0,4	0,15	0,24	129	Esférico
N, g/kg	1,9	0,4	0,16	0,39	129	Esférico
P, mg/kg	99	82				EPP
pH em H ₂ O	5,0	0,3				EPP

*C₀ = efeito pepita; **C₁ = variância estrutural; ***a = alcance, EPP = Efeito pepita puro.

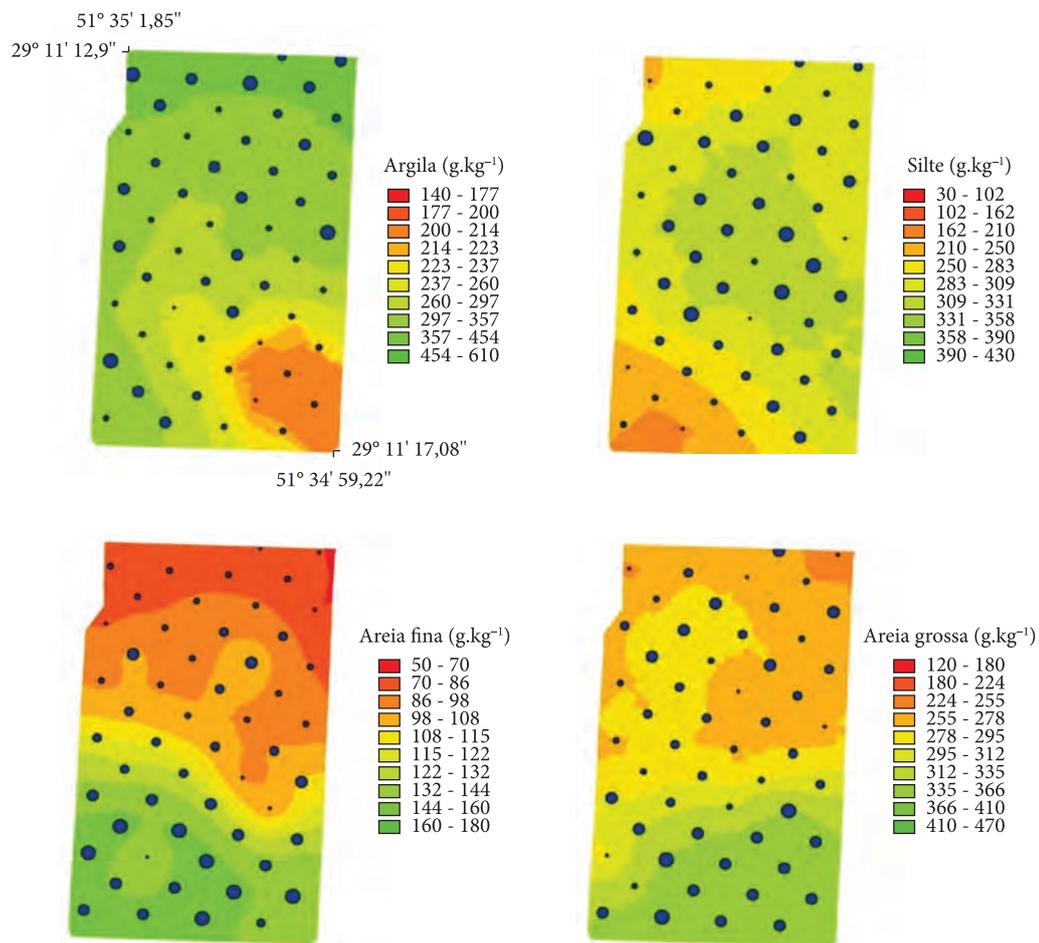


Figura 1. Distribuição espacial derivada da krigagem de variáveis derivadas das frações granulométricas no Vinhedo 2 (Bento Gonçalves, RS). Os círculos representam o valor real dos valores observados.

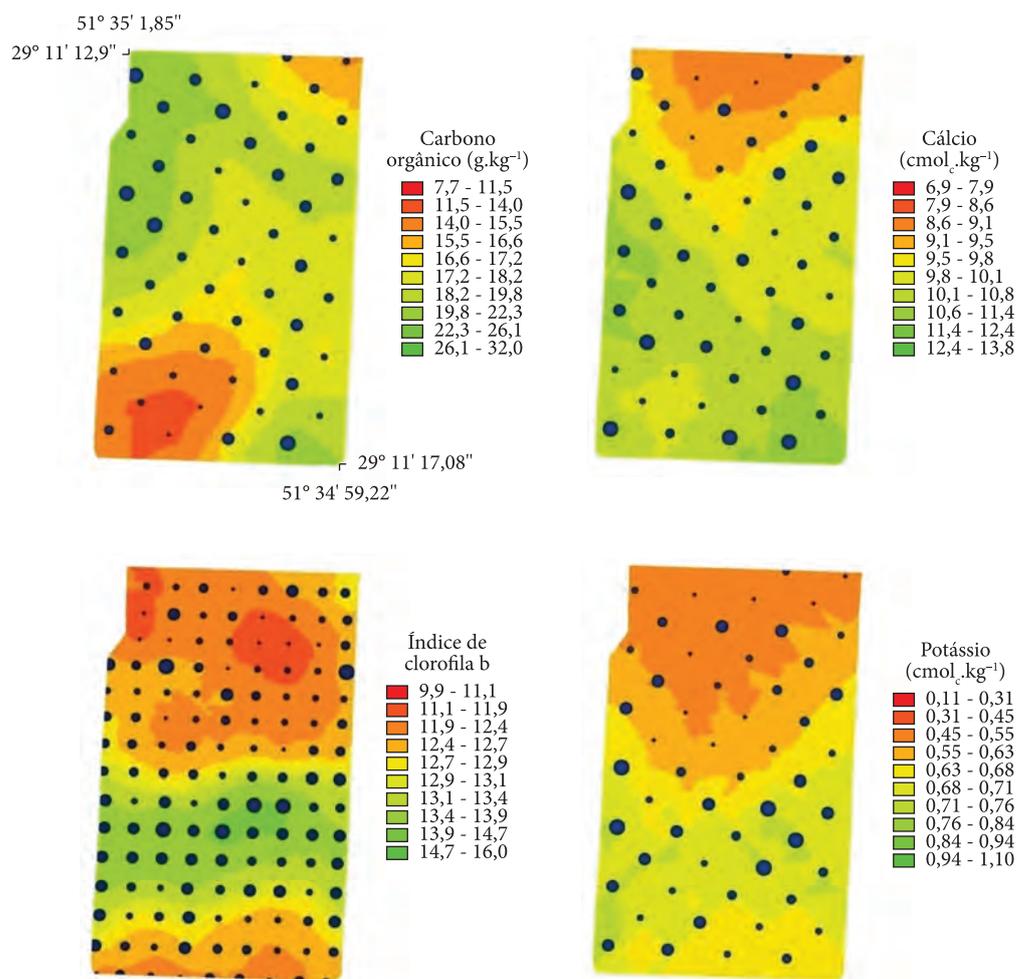


Figura 2. Distribuição espacial derivada da krigagem de variáveis químicas no Vinhedo 2 (Bento Gonçalves, RS). Os círculos representam o valor real dos valores observados.

de Ca e K (Figura 2), com boa variabilidade espacial nos casos apresentados. Os tamanho dos círculos representam o teor observado para cada variável em cada ponto, permitindo visualizar, de maneira aproximada, o grau de ajuste do processo de krigagem.

4. Conclusões

Os dados apresentam variabilidade espacial significativa, porém os mapas deverão ser aperfeiçoados ainda, sendo necessário desenvolver um método de integração multicritério, assim como articular as tarefas de intervenção a campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Drs. Ricardo Y. Inamasu e Ladislau M. Rabello; ao Prof. Clésio Gianello; ao

doutorando Rubens Tabile; ao geógrafo André R. Farias; ao enólogo Guilherme da C. Meneses; e à estudante Cristiane B. Badalotti, pelo inestimável apoio e colaboração prestados na execução das atividades de pesquisa desenvolvidas.

Referências

FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; LEVIEN, H. F.; ZARNOTT, D. H.; MIELE, A.; PAVAN, C. Levantamento detalhado dos solos e a viticultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 4 p. 1 CD-ROM. Resumo expandido.

MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. In: CONVENÇÃO DA REDE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2011, São Carlos. *Anais...* São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. No Prelo.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão. Parte II:** Diagnóstico, aplicação localizada e considerações econômicas. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos901/agricultura-precisao-diagnostico/agricultura-precisao-diagnostico.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

Visualização espacial de registros de campo referentes ao desenvolvimento e produtividade de planta perene**

Patricia dos Santos Nascimento^{1*}, Juliano Athayde Silva^{2*},
Bruno Ricardo Silva Costa^{3*}, Luís Henrique Basso^{4*}

¹ Pós-graduando, Bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil

² Pós-graduando, Bolsista da CAPES, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510, CEP 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil

³ Bolsista do CNPq, Embrapa Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Semiárido

*e-mail: patyysn@yahoo.com.br; juliano.athayde@cpatsa.embrapa.br; bruno.bolsista@cpatsa.embrapa.br; lhbasso@cpatsa.embrapa.br

**Trabalho financiado pela Embrapa e FACEPE

Resumo: O registro do desenvolvimento e produtividade de plantas perenes em uma área de cultivo pode auxiliar a tomada de decisão do produtor para a realização de práticas agrícolas localizadas. Assim, este estudo foi conduzido para aplicar técnicas geoestatísticas em registros feitos pelo produtor quanto ao desenvolvimento e ao número de cachos da videira cv. Thompson Seedless, durante o ciclo de produção de abril a agosto de 2011, em Petrolina - PE. As avaliações visuais do produtor quanto ao desenvolvimento consistiram na presença de plantas com: 1) desenvolvimento vegetativo inferior e/ou com um número reduzido de cachos por planta, sendo denominadas como plantas “fracas”; 2) bagas desidratadas em parte ou em todo o cacho, sendo denominadas como plantas “desidratadas”. Os dados foram analisados por meio da geoestatística para quantificar o grau de dependência espacial das observações. O uso da ferramenta geoestatística proporcionou uma melhor visualização pelo produtor da evolução da quantidade de plantas “fracas” e “desidratadas” durante o ciclo de produção, bem como do número de cachos a serem colhidos.

Palavras-chave: agricultura de precisão, número de cachos, videira.

Spatial visualization of field records concerning perennial plant development and yield

Abstract: The record of development and yield of perennial plants in a cropping area can be helpful to the grower's decision making towards performance of localized agricultural practices. This work was carried out to apply geostatistical techniques on grower's records concerning development and cluster number of grapevine cv. Thompson Seedless, in the 2001 April to August growing season, in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The visual evaluation by the grower concerning to plant development were based on the presence of plants with: 1) lower vegetative development and/or lower cluster number per plant (“weak plants”); 2) dehydrated berries in part or in the whole cluster (“dehydrated plants”). Data were analyzed by geostatistics to quantify the spatial dependence level of records. The use of geostatistical tools provided to the grower the evolution of amount of “weak” and “dehydrated” plants throughout the growing season, as well as the number of cluster to be harvested.

Keywords: precision agriculture, cluster number, grapevine.

1. Introdução

O estudo da variabilidade espacial possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (SOUZA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2008).

O uso das técnicas de agricultura de precisão permite a localização exata no campo dos fatores limitantes ao rendimento das culturas, como por exemplo, as condições do solo, estado nutricional, ocorrência de pragas e doenças, ou invasoras (BERNARDI et al., 2002). Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de aplicar técnicas geoestatísticas em observações realizadas pelo produtor quanto ao desenvolvimento e número de cachos da videira cv. Thompson Seedless, durante o ano de 2011 em Petrolina - PE.

2. Material e métodos

O estudo foi realizado em área de produção comercial de uvas de mesa (latitude 9° 23' S, longitude 40° 39' O, altitude 394 m), localizada no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, em Petrolina-PE. A área apresenta um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 1,6 ha (20 fileiras de plantas e 81 plantas por fileiras), cultivada com videira cv. Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004, no espaçamento de 4 × 2,5 m, conduzida no sistema de latada e irrigada por microaspersão, com 1 difusor por planta.

As avaliações visuais do produtor/técnico consistiram na presença de plantas com: 1) desenvolvimento vegetativo inferior e/ou com um número reduzido de cachos por planta em relação às demais plantas do parreiral, sendo denominadas como plantas “fracas”; 2) presença de

bagas desidratadas em parte ou em todo o cacho, sendo denominadas como plantas “desidratadas”. As avaliações visuais do produtor/técnico foram realizadas durante o ciclo de produção compreendido entre 18 de abril (poda de produção) e 9 de agosto (colheita) de 2011, sendo a “avaliação 1” realizada no início (3 de maio de 2011) e a “avaliação 2” no final do ciclo de produção (2 de agosto de 2011).

O número de cachos também foi contabilizado de forma individual por planta em toda a área de produção, no momento em que as plantas encontravam-se próximo à colheita. Assim, o grid de avaliação foi o de 20 fileiras de plantas e 81 plantas por fileiras.

Os dados referentes às plantas sadias, “fracas” e/ou “desidratadas”, e os dados de número de cachos por plantas, foram analisados por meio da geoestatística, utilizando-se o software GS+ 7.0, para a elaboração de semivariogramas, quantificação do grau de dependência espacial e construção de mapas de superfície por meio da krigagem indicativa. Posteriormente, o índice de dependência espacial dos atributos (IDE), que é dado por $[C/(C_0 + C)] * 100$, foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), assumindo, assim, os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE \leq 25\%$, moderada para $25\% \leq IDE \leq 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os modelos e parâmetros dos variogramas para as características planta “fraca” e/ou “desidratada” em duas avaliações realizadas durante o ciclo de cultivo da videira. Em ambas as avaliações o modelo exponencial foi o que apresentou o melhor ajuste para os dados observados. Os valores de alcance nas duas avaliações foram maiores que o valor de espaçamento entre as amostragens, indicando que as amostras estão correlacionadas umas as

outras, o que permite que se façam interpolações (VIEIRA, 2000). A dependência espacial dos dados analisados foi classificada como moderada ($25\% \leq IDE \leq 75\%$) segundo os intervalos propostos por Zimback (2001).

A Figura 1 apresenta os mapas de distribuição das características de plantas “fracas” e/ou “desidratadas” (áreas vermelha e azul) e plantas normais (área verde), sendo que a área azul apresenta uma maior probabilidade que a área vermelha em apresentar planta “fraca” e/ou “desidratada”. É possível observar uma distinção no comportamento das características analisadas durante os períodos de avaliação. A Figura 1a corresponde à avaliação realizada logo após a poda de produção da cultura, com uma menor incidência de plantas com as características avaliadas, fato este que pode estar atribuído ao

menor desenvolvimento vegetativo da cultura nesse período. A mesma avaliação ao ser realizada no período final do ciclo de cultivo da videira revelou uma maior incidência de plantas com características “fracas” e/ou “desidratadas”. A utilização da ferramenta geoestatística mostrou-se eficiente na visualização das características avaliadas pelo produtor, auxiliando o mesmo no acompanhamento das plantas com características desejáveis ou não na área de cultivo.

A Figura 2 representa a distribuição espacial do número de cachos por planta na área de produção, a qual permite identificar áreas homogêneas quanto à produtividade da videira e, conseqüentemente, da produção total da área.

Com base nas Figuras 1a e 2, é possível observar áreas comuns às plantas fracas e às plantas com menores números de cachos por plantas.

Tabela 1. Modelos e parâmetros dos variogramas para o desenvolvimento de videiras cv. Thompson Seedless em diferentes ciclos de produção.

Avaliação	Modelo	Alcance (m)	C_0	$C_0 + C$	IDE
Plantas 1	exponencial	7,5	0,0253	0,035	27
Plantas 2	exponencial	5,0	0,1091	0,1980	45
Número de cachos	exponencial	13,9	40,2966	63,9901	37

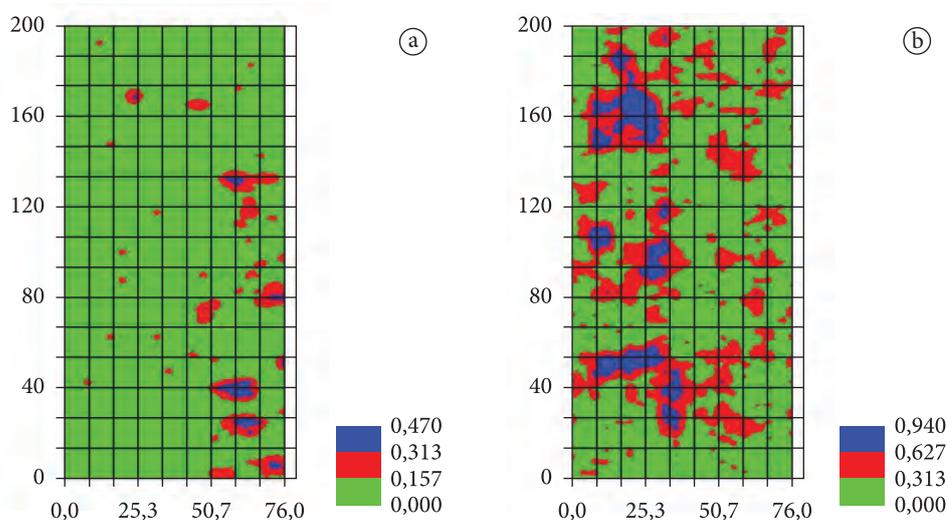


Figura 1. Distribuição de plantas fracas e/ou desidratadas (áreas em vermelho e azul) e plantas sadias (área verde) em dois períodos de avaliação durante o ciclo de produção da videira cv. Thompson Seedless entre abril e agosto de 2011.

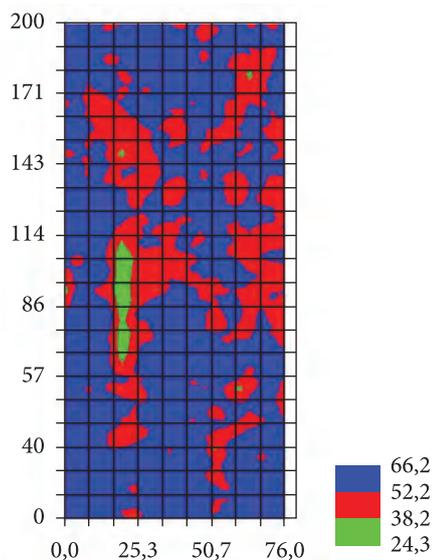


Figura 2. Distribuição espacial do número total de cachos por videira cv. Thompson Seedless.

4. Conclusões

A aplicação da ferramenta geoestatística foi satisfatória para a avaliação da evolução de características de desenvolvimento da videira, bem como na determinação das áreas com maiores e menores números de cachos por planta.

Agradecimentos

À Fazenda Sasaki, pela cessão da área para a realização do experimento, e à FACEPE, pelo financiamento do projeto

Referências

BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. **Variabilidade Espacial de Teores de Nutrientes em Folhas de Soja como Ferramenta para Agricultura de Precisão**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. 5 p.(Embrapa Solos, Comunicado Técnico, n. 17).

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI, Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ConBAP, 2008.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Visualização espacial do teor foliar de N total em videira com uso do medidor portátil de clorofila na folha**

Patricia dos Santos Nascimento^{1*}, Juliano Athayde Silva^{2*},
Bruno Ricardo Silva Costa^{3*}, Luís Henrique Basso^{4*}

¹ Pós-graduando, Bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil

² Pós-graduando, Bolsista da CAPES, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510, CEP 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil

³ Bolsista do CNPq, Embrapa Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Semiárido

*e-mail: patyysn@yahoo.com.br; juliano.athayde@cpatsa.embrapa.br; bruno.bolsista@cpatsa.embrapa.br; lhbasso@cpatsa.embrapa.br

**Trabalho financiado pela Embrapa e FACEPE

Resumo: O uso do clorofilômetro portátil pode permitir a determinação rápida e em campo do teor foliar de N. Assim, este estudo foi realizado para determinar zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N em videira de mesa em Petrolina - PE. As leituras com o clorofilômetro foram realizadas em cada fileira de planta e a cada duas plantas, em um grid de amostragem de 5 x 4 m. Os dados foram submetidos a análise pela geoestatística para análise da dependência espacial e delimitação das zonas homogêneas. Posteriormente, as mesmas zonas serviram de subsidio para a avaliação qualitativa da uva na área de cultivo. Em cada zona delimitada foram coletadas 20 bagas de uva, em 3 repetições, para análise de teor de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e pH em laboratório. Os resultados apresentaram uma correlação direta desses parâmetros com o teor foliar de N total. A determinação das zonas homogêneas possibilitou a orientação da amostragem de bagas na área para a análise de qualidade antes da colheita.

Palavras-chave: agricultura de precisão, teor de sólidos solúveis totais, uva.

Spatial visualization of foliar total N content in grapevines by using portable leaf chlorophyll meter

Abstract: The use of portable chlorophyll meter can provide the in field and quick determination of foliar N content. This work was carried out to determine foliar N content homogeneous zones in grapevines in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The measurements with the chlorophyll meter were performed in every plant row and in every two plants inside the rows, compounding a 5 x 4 m sampling grid. Data were analyzed by geostatistics to analyze the spatial dependence and to determine homogeneous zones. After that, the same zones were used as reference to the berry qualitative analysis in the cropping area. In every homogeneous zones 20 berries were harvested, in 3 replications, to the total soluble solid content, total titratable acidity and pH determination in laboratory. Results showed a direct correlation among these parameters with foliar total N content. The determination of homogeneous zones was suitable to guide the berries sampling in the orchard for the quality analysis before harvesting.

Keywords: precision agriculture, total soluble solid content, grape.

1. Introdução

A presença de nitrogênio nas plantas é o principal indicativo do teor de clorofila no tecido foliar, o qual é amplamente utilizado na avaliação do estado nutricional em algumas culturas. Com o desenvolvimento do clorofilômetro tornou-se possível a determinação do teor de clorofila em nível de campo, proporcionando leituras instantâneas, de uma maneira não destrutiva de folhas. A utilização de medidores portáteis, que utilizam princípios ópticos não destrutivos, baseados na absorvância e/ou refletância da luz pelas folhas para a determinação de clorofilas, é um processo fácil e rápido, podendo ser realizado em campo (RICHARDSON et al., 2002). O teor de clorofilas nas folhas é influenciado por diversos fatores, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2002).

Assim, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o teor foliar de N em videira de mesa em Petrolina - PE, medido com um clorofilômetro portátil e determinar as zonas homogêneas de seus teores.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em área de produção comercial, localizada no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, em Petrolina-PE (latitude 9° 23' S, longitude 40° 39' O, altitude 394 m). O solo da área é um Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 20 fileiras de plantas e 81 plantas por fileira, em um pomar de videira cultivar Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004, no espaçamento de 4 x 2,5 m, conduzida no sistema de latada, e irrigada por microaspersão, com 1 difusor por planta.

Para a avaliação do teor foliar de N total foi utilizado um clorofilômetro portátil KONICA SPAD 502 Plus. As leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas e com bom aspecto fitossanitário, em 18 de julho de 2011 (91 dias após a poda de produção). A colheita dos

cachos de uva foi iniciada em 9 de agosto de 2011 (113 dias após a poda de produção).

O clorofilômetro foi previamente calibrado na mesma área, em função da leitura do equipamento em folhas com diferentes tonalidades de cor verde, nos dias 18, 25 e 31 de maio de 2011 (respectivamente 30, 37 e 43 dias após a poda). As folhas utilizadas foram coletadas e enviadas para a determinação do teor foliar de N total no Laboratório de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido. Assim, a relação linear entre a leitura do clorofilômetro e o teor foliar total de N foi determinada.

Os dados foram submetidos a análise por meio do software GS+ 7,0 com o objetivo de determinar a dependência espacial. O índice de dependência espacial dos atributos (IDE), que é dado por $[C/(C_0+C)]*100$, foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), assumindo, assim, os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para IDE < 25%, moderada para 25% < IDE < 75% e forte para IDE > 75%. Posteriormente, as zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N total foram determinadas.

Posteriormente, em cada zona delimitada foram coletadas aleatoriamente 20 bagas de uva, em 3 repetições. As bagas foram acondicionadas em sacos plásticos e em isopor com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Enologia da Embrapa Semiárido, onde foram determinados o teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix), com o auxílio de um refratômetro digital de bancada calibrado a 20 °C; pH, com medidor digital e acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico⁻¹), por titulação em uma alíquota de 5 mL do mosto com NaOH 0,1N.

3. Resultados e discussão

O teor foliar de N total apresentou dependência espacial, seguindo um modelo exponencial, com alcance de 51,30 m e IDE moderado (41).

Na Figura 1 é possível observar a distribuição espacial do teor foliar de N total na área de cultivo da videira. O mapa de superfície possibilitou a delimitação de 3 zonas homogêneas, com intervalos maiores (azul), intermediários (vermelho) e menores (verde).

Tabela 1. Acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico⁻¹), pH e teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) em diferentes zonas homogêneas de teor foliar de N total na videira cv. Thompson Seedless.

Zonas Homogêneas	pH	ATT	SST
Azul - 78,9 a 80,4 g N.kg ⁻¹	3,53 ± 0,058	8,20 ± 0,087	18,60 ± 0,819
Vermelha - 77,2 a 78,8 g N.kg ⁻¹	3,53 ± 0,115	8,74 ± 0,433	16,23 ± 1,210
Verde - 75,5 a 77,1 g N.kg ⁻¹	3,43 ± 0,058	9,34 ± 0,568	14,80 ± 0,173

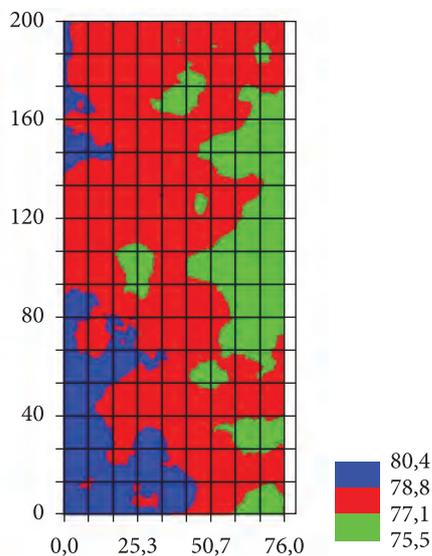


Figura 1. Mapa de zonas homogêneas do teor foliar de N total (g.kg⁻¹) na videira Thompson Seedless, aos 91 dias após a poda.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise qualitativa realizada nas bagas provenientes da amostragem com base nas zonas homogêneas de teor foliar de N. Maiores valores indicam uma maior presença de clorofila, que por sua vez podem indicar uma maior taxa fotossintética da videira e, conseqüentemente, maior teor de carboidratos. Tais fotoassimilados são transportados para as bagas durante a fase de maturação dos frutos. A análise dos dados coletados revelou que a acidez total titulável aumentou da zona azul (maior teor de N) para a zona verde (menor teor de N), comportamento inverso ao verificado pelo teor de sólido solúveis totais e pH, que teve um crescimento decrescente da zona azul (maior teor de N) para a zona verde (menor teor de N). Brunetto et al. (2009), trabalhando com a videira cv. Cabernet Sauvignon, observaram que a aplicação de doses de N aumentou de forma linear os valores de sólidos solúveis (°Brix) e pH do mosto. Busato et al. (2011), ao testarem diferentes doses de nitrogênio em videira cv. Niagara Rosada, observaram um

aumento linear do teor de sólidos solúveis e pH e uma redução linear da acidez total titulável nas bagas.

A utilização do mapa com base no teor de clorofila proporcionou a identificação de zonas homogêneas, e as mesmas foram utilizadas para orientar a coleta de bagas para a determinação de parâmetros de qualidade, que auxiliam o produtor na identificação do momento da colheita, especificamente quanto aos valores de SST e ATT. A relação entre o teor foliar de N e a qualidade da baga será abordada de modo mais detalhado na continuidade do experimento no próximo ano.

4. Conclusões

A aplicação da ferramenta geoestatística possibilitou a identificação de zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N em videira, e serviu como referência para a amostragem localizada de bagas para análise qualitativa antes da colheita.

Agradecimentos

À Fazenda Sasaki, pela cessão da área para a realização do experimento, e à FACEPE, pelo financiamento do projeto.

Referências

- BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W.; GIOTTO, E.; TRENTIN, E. E.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; GATIBONI, L. C. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, v. 39, n. 7, p. 2035-2041, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000162>
- BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; MOTOIKE, S. Y.; REIS, E. F. Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira 'Niágara Rosada'. *Ciência Rural*, v. 41, n. 7, p. 1183-1188, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000085>

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI, Embrapa Solos, 2006. 306 p.

RICHARDSON, A. D.; DUGAN, S. P.; BERLYN, G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v. 153, n. 1, p. 185-194, 2002. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690 p.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Zonas homogêneas de condutividade elétrica aparente em Neossolo Quartzarênico no Semiárido**

Patricia dos Santos Nascimento^{1*}, Marlon Gomes da Rocha^{1*},
Juliano Athayde Silva^{2*}, Bruno Ricardo Silva Costa^{3*},
Ladislau Marcelino Rabello^{4*}, Luís Henrique Basso^{5*}

¹ Pós-graduando, Bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – FCA/ UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil

² Pós-graduando, Bolsista da CAPES, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510, CEP 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil

³ Bolsista do CNPq, Embrapa Semiárido, CP 23 56302-970, Petrolina, PE, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua VX de Novembro, CP 1452, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

⁵ Pesquisador, Embrapa Semiárido

*e-mail: patyysn@yahoo.com.br; marlon.bolsista@cpatsa.embrapa.br; juliano.athayde@cpatsa.embrapa.br; bruno.bolsista@cpatsa.embrapa.br; rabello@cnpdia.embrapa.br; lhbasso@cpatsa.embrapa.br

**Trabalho financiado pela Embrapa e FACEPE

Resumo: O uso da condutividade elétrica do solo para auxiliar a determinação de zonas de manejo do solo tem se configurado numa prática cada vez mais comum em sistemas agrícolas que desenvolvem suas atividades no contexto da agricultura de precisão. Esta pesquisa teve por objetivo determinar a condutividade elétrica aparente do solo e identificar zonas homogêneas em solo de textura arenosa em Petrolina-PE, em um pomar de videira irrigada. As leituras foram realizadas em uma área de 1,6 ha, entre as plantas na linha de cultivo, de modo que o espaçamento entre cada ponto amostral fosse de 2,5 m. Na camada de 0-0,4 m de profundidade foi detectado o efeito pepita pura, provavelmente devido ao revolvimento dessa camada de solo na linha de plantas quando da aplicação de composto orgânico em pequenas trincheiras, abertas na linha de plantas antes do início de cada ciclo de produção. Na camada de solos de 0-0,8 m, houve dependência espacial das medidas da condutividade elétrica aparente do solo.

Palavras-chave: agricultura de precisão, solo, textura arenosa.

Homogeneous zones of apparent soil electric conductivity in a Neossolo Quartzarêncio of Brazilian Semi-arid

Abstract: Soil electric conductivity has been commonly used to help on determination of soil management zones in cropping system developed in the precision agriculture context. This work had the objective to determine apparent soil electric conductivity and identify management zones in a sandy texture soil, which has been cultivated with irrigated table grape, in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The measurements were performed in a 1.6 ha, in the vine row (between plants), in a 2.5 spacing. In the 0-0.4 m soil layer, the nugget effect was detected, probably due to the soil revolving for organic composting application in small trenches opened before the beginning of every growing season. In the 0-0.8 m soil layer, the spatial dependence was detected and management zones were determined.

Keywords: precision agriculture, soil, sandy texture.

1. Introdução

O conhecimento da variabilidade espacial em uma área agrícola é a etapa inicial e imprescindível para subsidiar o planejamento e o manejo dessa área com base nos conceitos de agricultura de precisão (BERNARDI et al., 2002). O manejo agrícola baseado nas zonas com características similares é uma técnica que vem ganhando grande número de adeptos dentro do setor agrícola por ser uma alternativa razoável para a otimização na utilização de insumos, bem como da produtividade agrícola. Assim, as informações quanto à abrangência da dependência espacial de um determinado atributo do solo é extremamente relevante no planejamento de execuções em uma determinada área agrícola. Nesse sentido, a utilização da condutividade elétrica aparente do solo (CEap) para delimitação de zonas de manejo agrícola com menor heterogeneidade é uma técnica que vem se firmando na agricultura de precisão pelos satisfatórios resultados apresentados por alguns autores (MACHADO et al., 2004; MOLIN et al., 2005). A determinação da CEap constitui-se numa técnica com um custo relativamente baixo e de simples obtenção (RABELLO et al., 2008). Nos últimos anos vem se intensificando os estudos a cerca das correlações existentes entre parâmetros do solo e a CE em diferentes situações de cultivo. A medida da CEap se correlaciona com vários parâmetros físicos e químicos do solo, como teor de argila, conteúdo de água, capacidade de troca catiônica, entre outros. (MOLIN et al., 2005). Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar a condutividade elétrica aparente do

solo e identificar zonas homogêneas em um solo de textura arenosa do Semiárido brasileiro.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em área de produção comercial de uvas de mesa, no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, em Petrolina-PE (latitude 9° 23' S, longitude 40° 39' O, altitude 394 m), em um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006). Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 20 fileiras de plantas e 81 plantas por fileiras, em um pomar de videira cv. Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004, no espaçamento de 4 x 2,5 m, conduzida no sistema de latada, e irrigada por microaspersão, com 1 emissor por planta. Para a avaliação da condutividade elétrica aparente do solo (CEap) foi utilizado um sensor portátil (ROCHA et al., 2011), o qual possibilita a avaliação da condutividade elétrica nas camadas de solo de 0-0,4 m e 0-0,8 m (Figura 1). As leituras foram realizadas entre as plantas na linha de cultivo, de modo que o espaçamento entre cada ponto amostral fosse de 2,5 m. Os dados de CEap foram submetidos à análise por meio da geoestatística com objetivo de quantificar o grau de dependência espacial, utilizando-se o software GS+ 7.0. O índice de dependência espacial dos atributos (IDE), que é dado por $[C/(C_0 + C)] * 100$, foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE \leq 25\%$, moderada para $25\% \leq IDE \leq 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.



Figura 1. Medida da condutividade elétrica aparente do solo entre duas videiras, com um medidor portátil.

Tabela 1. Modelos e parâmetros dos variogramas para a condutividade elétrica do solo no semiárido.

Camada de solo (m)	Modelo	Alcance (m)	C_0	$C_0 + C$	IDE
0-0,40	efeito pepita	-	-	-	-
0-0,80	exponencial	6,00	9,88	12,92	46

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural.

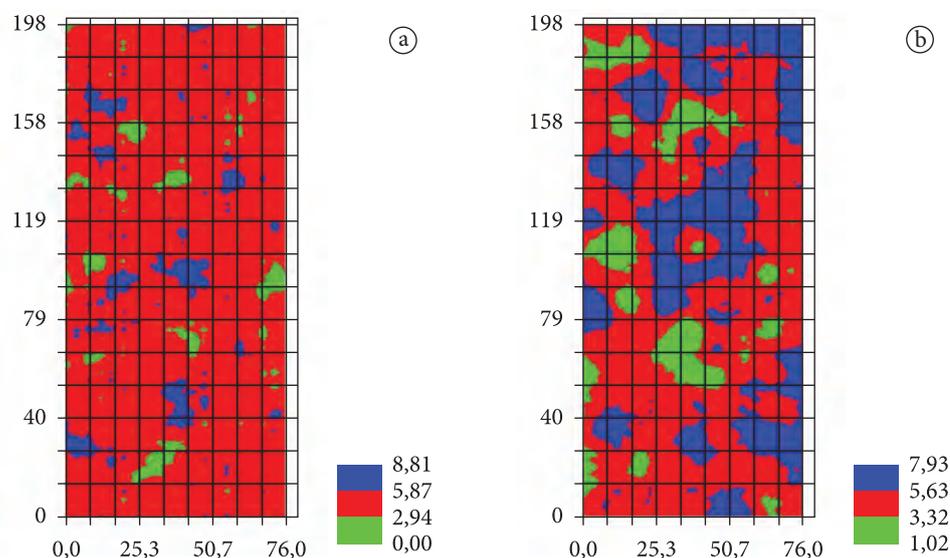


Figura 2. Mapas de zonas homogêneas da condutividade elétrica aparente ($cS.m^{-1}$) nas camadas de 0-0,4 m (a) e 0-0,8 m (b).

3. Resultados e discussão

Pela Tabela 1, observa-se que para a camada de 0-0,4 m foi detectado o efeito pepita puro, ou seja, não foi possível a observação de uma dependência espacial dos valores de CEap coletados, o que pode estar atribuído ao revolvimento dessa camada de solo, quando da aplicação de composto orgânico antes do início de cada ciclo de produção da videira, prática amplamente adotada no sistema de produção de uvas de mesa no Semiárido brasileiro. Na camada de 0-0,8 m, houve a dependência espacial da CEap e o melhor ajuste foi obtido com o modelo exponencial, com um alcance de 6 m. Essa distância corresponde ao conceito da zona de influência ou dependência espacial de uma amostra, marcando o valor de distância a partir do qual as amostras tornam-se independentes (ANDRADE, 2002). De acordo com Zimback (2001), essa dependência espacial da CEap para a camada de 0-0,8m é considerada como moderada (IDE > 75%).

Na Figura 2, estão representados os mapas de superfície da CEap nas camadas de solo de 0-0,4 m (a) e 0-0,8 m (b). O primeiro foi obtido pela interpolação com base no inverso do quadrado

da distância, enquanto que o segundo foi obtido a partir da krigagem.

Em uma outra área agrícola em Petrolina - PE, cultivada com videira de vinho, em um Argissolo Vermelho Amarelo, Rocha et al. (2011) detectaram a dependência espacial das medidas de CEap a 0-0,8 m de profundidade, realizadas com o mesmo equipamento nas linhas de plantas. Ressalta-se que, no sistema de produção de videira de vinho, não há o revolvimento do solo como o que ocorre na produção de uva de mesa, conforme abordado anteriormente.

4. Conclusões

O efeito do revolvimento da camada de solo de 0-0,4 m para a não determinação da dependência espacial da condutividade elétrica aparente do solo de textura arenosa deverá receber um análise mais detalhada na continuidade desse trabalho.

Agradecimentos

À Fazenda Sasaki, pela cessão da área para a realização do experimento, e à FACEPE, pelo financiamento do projeto.

Referências

- ANDRADE, A. R. S. **Aplicação da Teoria fractal e da geostatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos**. 2002. 181 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. **Variabilidade Espacial de Teores de Nutrientes em Folhas de Soja como Ferramenta para Agricultura de Precisão**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. 5 p. (Embrapa Solos, Comunicado Técnico, n. 17).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI, Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- MACHADO, P.; BERNARDI, A.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MANDARI, B. E.; MEIRELES, M. Mapeamento da condutividade elétrica do solo e relação com os teores de argila de um latossolo vermelho sob plantio direto de grãos no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ConBAP, 2004.
- MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com os fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 420-426, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200015>
- RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; TORRE NETO, A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; MOLIN, J. P. **Medida de condutividade elétrica do solo adaptada a uma plantadeira**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008.
- ROCHA, M. G.; NASCIMENTO, P. S.; COSTA, B. R. S.; SILVA, J. A.; BASSOI, L. H.; RABELLO, L. M. Mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo com sensor portátil em um Argissolo no Semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2011.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

INOVAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO



Inovação tecnológica é a adoção de uma tecnologia pelo usuário final. Um sentido muito mais amplo do que o simples desenvolvimento de algo novo.

Para que haja a inovação várias etapas devem se cumpridas a partir da geração, adaptação e validação das tecnologias.

A Rede agricultura de Precisão tem atuado em várias dessas etapas iniciando pelas atividades de comunicação, como no desenvolvimento da identidade visual, na homepage e inserções na mídia.

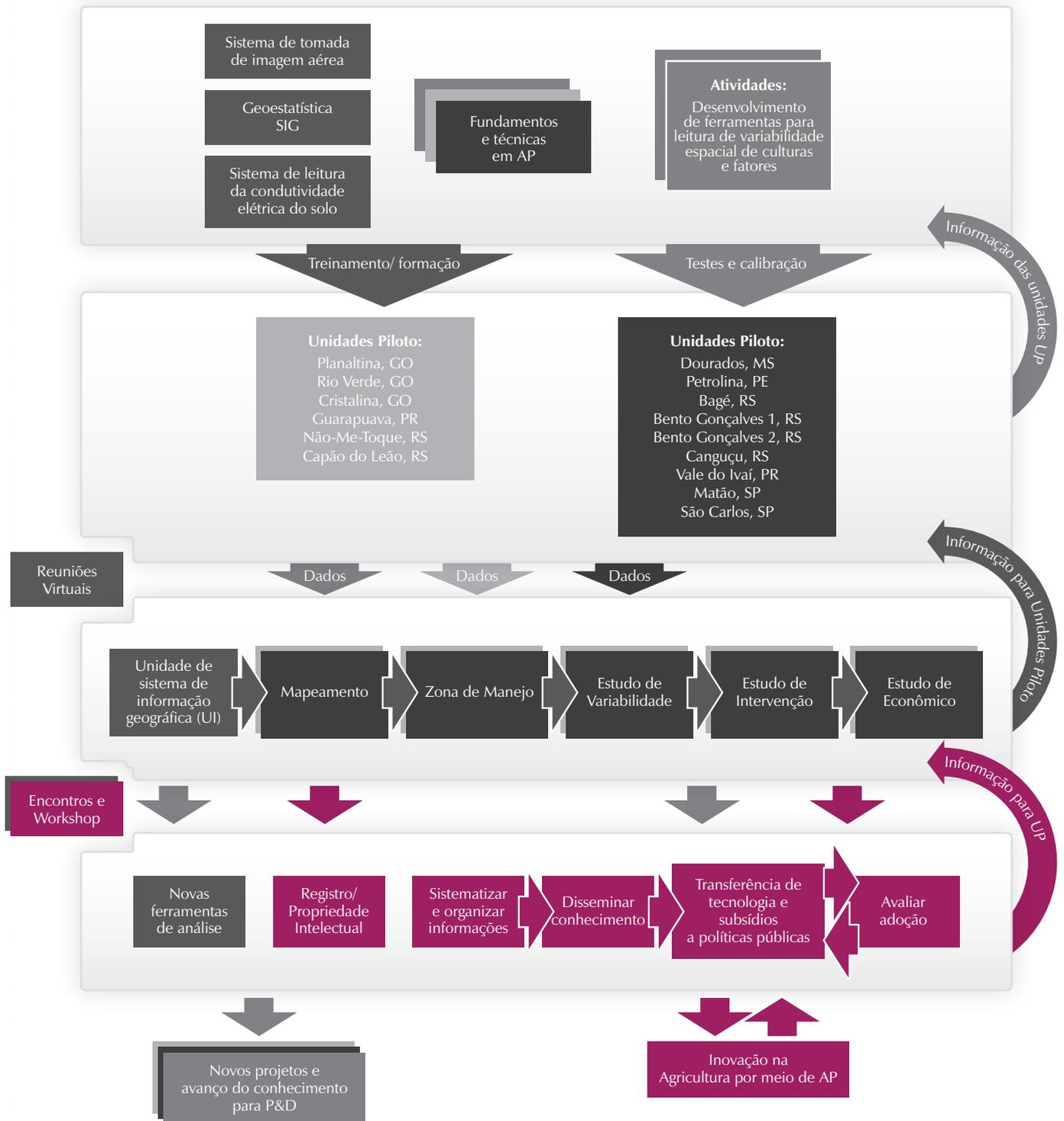
As relações entre os geradores da tecnologia e adotantes estão regulamentadas e deve ser observada em todas as etapas desse processo.

Os impactos das tecnologias podem ser avaliados para se ter a dimensão econômica, social e ambiental de sua adoção.

Para acelerar a inovação tecnológica pode-se fazer ainda fazer uso de diversos instrumentos de política tecnológica, a exemplo do que tem sido feito pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Dessa forma, foram organizadas as atividades de inovação da Rede AP. Participam dessas atividades a Assessoria de inovação Tecnológica, as Embrapa Clima Temperado, Instrumentação, Meio Ambiente, Milho e Sorgo, Monitoramento por Satélite, Pecuária Sudeste, Pesca e Sistemas Agroflorestais, Semi-Árido, Uva e Vinho, o MAPA além dos parceiros da indústria de máquinas, equipamentos e insumos, produtores. Universidades e empresas públicas e privadas de pesquisa e desenvolvimento





Legenda:

- Organização da Rede
- Ferramentas para Agricultura de Precisão
- Agricultura de Precisão para Culturas Anuais
- Agricultura de Precisão para Culturas Perenes
- Inovação em Agricultura de Precisão

Inovação tecnológica em Agricultura de Precisão

Alberto C. de Campos Bernardi^{1,3*}, Edilson Pepino Fragalle²,
Ricardo Y. Inamasu^{2,3}

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, CP 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil

³ Bolsista do CNPq

*e-mail: alberto@cnpqse.embrapa.br

Resumo: A Agricultura de Precisão é um sistema de manejo integrado de informações e tecnologias fundamentado nos conceitos de que as variabilidades espaciais e temporais influenciam nos rendimentos dos cultivos. As tecnologias de AP têm por objetivo detectar, monitorar e manejar a variabilidade espacial e temporal dos sistemas de produção agropecuários buscando a otimização desses sistemas. No entanto, a adoção da Agricultura de Precisão está ocorrendo nos diversos setores do agronegócio brasileiro em um ritmo inferior ao previsto inicialmente. O objetivo deste projeto componente da Rede Agricultura de Precisão da Embrapa é sistematizar e potencializar o processo de inovação da rede Agricultura de Precisão. Estão sendo estabelecidas as metodologias de avaliação dos impactos e da estimativa da tendência de adoção e um índice de adoção de AP. Haverá a capacitação e transferência de tecnologias e conhecimentos para técnicos e produtores. A equipe do projeto receberá treinamento em conceitos, ferramentas e tecnologias de AP, e para o tratamento geoestatístico dos dados levantados e SIG. Os aspectos relacionados à propriedade intelectual serão observados ao longo de todas as atividades do projeto, bem como das às atividades de avaliação do potencial de inovação das tecnologias. As ações do projeto prevêem ainda a criação de um campo permanente para o fomento e a facilitação de um diálogo entre os setores do agronegócio: privado, público e terceiro setor. Os resultados do projeto deverão impulsionar a difusão da AP nas cadeias produtivas envolvidas e no agronegócio como um todo.

Palavras-chave: transferência de tecnologia, proteção intelectual, adoção, impactos, capacitação.

Technological innovation in precision agriculture

Abstract: Precision agriculture is an integrated management system of information and technology based on concepts that spatial and temporal variability influence crop yields. PA technologies aim to detect, monitor and manage the spatial and temporal variability of agricultural production systems seeking to optimize these systems. However, the adoption PA precision agriculture is occurring slower than originally planned in many sectors of Brazilian agribusiness. The goal of this component project of the Embrapa's Research Network in Precision Agriculture is to systematize and strengthen the innovation process of Precision Agriculture network. Methodologies for evaluating the impact and estimate the AP adoption trend and rate are being established. Training curses and technologies transfer of knowledge for technicians and producers are being organized. Project staff will be trained in PA concepts, tools and technologies, as geostatistical treatment of data collected and GIS. All aspects related to intellectual property are observed throughout all the project activities, as well as evaluation of the activities of the innovation potential of the technologies. The actions of the project include the creation of a permanent field for the promotion and facilitation of a dialogue between the agribusiness, private, public and third sector. The expected results of project are the dissemination of the AP technologies and thus boost the supply chains involved and agribusiness as a whole.

Keywords: technological transfer, intellectual property protection, adoption, impacts, training.



1. Introdução

As tecnologias geradas pela Embrapa, prioritariamente, procuram reduzir custos, aumentar a produção ou agregar valor aos produtos. As tecnologias geradas pelo uso da Agricultura de Precisão (AP) têm por objetivo detectar, monitorar e manejar a variabilidade espacial e temporal dos sistemas de produção agropecuários buscando a otimização desses sistemas. Dessa forma também podem contribuir para racionalizar a produção agropecuária e florestal, reduzindo as perdas e o impacto ambiental, aumentando a renda dos produtores rurais, e contribuindo ainda com os sistemas de rastreamento.

No entanto, a adoção da AP está ocorrendo nos diversos setores do agronegócio brasileiro em um ritmo inferior ao previsto inicialmente. Para melhorar a taxa de adoção existe ainda a necessidade de melhorar e de refinar as relações básicas das respostas das culturas aos insumos; desenvolver sistemas de suporte à decisão; identificar e quantificar as causas das variabilidades espaço-temporais; melhorar o conhecimento da variação temporal; desenvolver metodologia para a pesquisa na propriedade agrícola como um todo e para avaliar a qualidade dos produtos; estabelecer de modelos práticos para manejo utilizando AP; desenvolver sensores para detecção em tempo real; avaliar o impacto da AP para os produtores, o agronegócio, o meio ambiente e para o setor governamental.

Há de se considerar que no cenário mundial contemporâneo a ciência, a tecnologia e a inovação são instrumentos fundamentais para o desenvolvimento, o crescimento econômico e a geração de emprego e renda. O crescimento da economia mundial também leva a um forte aumento da concorrência e a necessidade de se intensificar a geração e adoção de tecnologias.

Os avanços tecnológicos e a competição internacional implicam que, sem investimentos em CT&I um país dificilmente alcançará o desenvolvimento que não dependa da exploração de recursos naturais ou humanos. Com intuito de acelerar o desenvolvimento das atividades de inovação pode-se fazer uso de diversos instrumentos de política tecnológica como o

incentivo fiscal às atividades inovativas e o incentivo financeiro. Para isso os formuladores de políticas públicas devem ser subsídios e estar cientes dos benefícios das novas tecnologias da AP ao desenvolvimento do agronegócio brasileiro. Entre os vários fatores que podem facilitar o papel da pesquisa na formulação de políticas estão: o timing, o reconhecimento do pesquisador ou grupo de pesquisa, o envolvimento dos pesquisadores em fóruns de formulação de políticas, comunicação, percepção e utilidade, bom relacionamento entre pesquisa e formuladores de políticas, viabilidade e legitimidade política.

Observa-se ainda no País, que a pesquisa em AP está em diferentes estágios de execução. As ações para automação de processos, desenvolvimento de sistemas de rastreamento e de tomada de decisão são áreas novas, com conhecimento técnico e infraestrutura em desenvolvimento. Assim, estas linhas deverão ser estimuladas para que efetivamente haja inovação e possam gerar benefícios à sociedade. Por outro lado o desenvolvimento, adaptação e uso de sensores está em franco desenvolvimento. No entanto, tem-se verificado que os técnicos estão utilizando algumas ferramentas para a AP disponíveis no mercado como programas de computador, sensores diversos, amostradores de solo e sensores de colheita, e gerando mapas de atributos do solo e de colheita, muitas vezes desconsiderando a dependência espacial dos atributos analisados para estimar valores em locais não-amostrados, e também sem a devida integração destas informações. A razão para tal fato é que estes profissionais são usuários das ferramentas, porém faltando, na maioria das vezes, os conhecimentos necessários sobre o processo. Por isso, ainda é preciso investir no desenvolvimento do conhecimento, para melhor entender as complexas interações entre múltiplos fatores que afetam o desenvolvimento dos cultivos e o processo de decisão dos produtores. A popularização da AP requer maior envolvimento da pesquisa pública, quer pela sua natureza estratégica, quer pelo processo que orienta a tomada de decisões dos produtores e provedores de serviços.

O objetivo deste projeto componente é sistematizar e potencializar o processo de inovação da Rede AP da Embrapa.

2. Material e métodos

A estratégia de comunicação da Rede AP tem sido baseada em várias ações como: elaboração de material de divulgação (portfólio e folderes), matérias na mídia, homepage, cursos e reuniões técnicas. Estas ações têm como foco viabilizar a difusão de conhecimentos e tecnologias de AP, gerados ou não pelo projeto, para o público interno e externo do projeto. O portal da Rede AP tem também a função de apoiar a gestão do projeto no acompanhamento das atividades que estão sendo realizadas e no compartilhamento de informações.

O treinamento em AP está sendo conduzido para ampliar a conscientização da importância da AP para a sustentabilidade da produção. Isso ocorreu inicialmente entre a equipe do projeto e agora serão intensificadas para o público externo em geral. A editoração de publicações, organização de palestras, cursos e dias de campo está sendo utilizada para divulgar as tecnologias de AP. Como as atividades de pesquisa estão ocorrendo em várias áreas de parceiros do setor privado, isso tem permitido o desenvolvimento de conhecimento técnico-científico concomitantemente com sua transferência.

A avaliação do impacto econômico de tecnologias será realizada considerando a agregação de valor aos produtos, o aumento de produtividade, a redução de custos de produção e a ocupação de áreas (ÁVILA, 2001). Serão também realizadas análises de impactos ambientais e sociais destas tecnologias pelos sistemas Ambitec Agro e Ambitec Social (RODRIGUES et al., 2001, 2005) para sistemas de culturas anuais (irrigadas e de sequeiro) e perenes. Estas avaliações qualitativas e quantitativas permitem indicar, além do ganho tecnológico, também os benefícios para a geração de empregos, a educação, a conservação ambiental e geração de recursos ou redução de custos de produção. Serão também conduzidas análise baseada na metodologia proposta por McBratney et al.

(2005) que propõe o cálculo do benefício social do empreendimento agrícola, que considera em sua fórmula o lucro líquido e os impactos ambientais da tecnologia de AP. Posteriormente estas metodologias serão comparadas. Pretende-se comparar a situação usual com uma outra com adoção de tecnologia AP destacando os problemas num contexto de desenvolvimento sustentável, com análises *ex-ante* e *ex-post*. Serão feitas ainda comparações quanto às tendências de adoção entre os diferentes usuários, preferências por fontes de informação, equipamentos e programas computacionais.

Os dados coletados com cujas coordenadas geográficas conhecidas estão sendo armazenados em banco de dados e formato padronizados, que possibilitarão a aplicação de técnicas de análises geoestatísticas para detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas (VIEIRA et al., 2002).

Os direitos de propriedade intelectual das tecnologias geradas na Rede AP serão garantidos e monitorados ao longo da realização das atividades. Existe iniciativa de para celebração do “Termo de Acordo de Direitos Compartilhados”, que estabelecerá os direitos e deveres das partes sobre a propriedade intelectual dos resultados das pesquisas realizadas em conjunto, de acordo com o aporte de conhecimento técnico-científico e recursos financeiros das partes com as instituições parceiras. Além de providências quanto à garantia do sigilo, também serão realizados os processos necessários para a proteção legal da tecnologia, como a busca de anterioridade, a redação da patente e o acompanhamento dos trâmites do pedido (FIGUEIREDO; MACEDO; PENTEADO, 2008). As novas tecnologias e processos, após os desenvolvimentos necessários e um estudo do mercado serão protegidas via depósitos de patentes no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Serão realizados estudos para identificação e caracterização dos principais nichos de mercado para as tecnologias envolvidas, barreiras de entrada, produtos concorrentes e substitutos, parceiros potenciais e eventuais especificidades (KOTLER, 2000).

A criação de campo permanente para o fomento e a facilitação de diálogo entre os setores do agronegócio ligados à AP está ocorrendo pelo processo de múltiplos atores sociais (*multi-stakeholders*). Para assegurar um público representativo estão sendo organizadas ações junto a representantes do setor produtivo, entidades de produtores, trabalhadores, consumidores e empresários e órgãos consultivos de interlocução entre governo e sociedade, como as Câmaras Setoriais e Temáticas do MAPA, a Comissão de Agricultura, Pecuária, Abastecimento e Desenvolvimento Rural da Câmara dos Deputados, o Comitê Gestor do Fundo Setorial de Agronegócio, a FINEP, entre outras. Estes processos envolvendo múltiplos atores sociais podem assumir muitas formas, incluindo mesas-redondas, corporações de co-gestão, forças-tarefa, e/ou iniciativas de prestação de serviços sociais, e a participação dos atores sociais envolvidos pode variar de consultas rápidas e compartilhamento de informações até o planejamento integrado e a delegação de autoridade no nível superior (WESTMAN, 1985).

3. Resultados e discussão

Portal do projeto (<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>)

Foi organizado, estruturado e tem sido mantido atualizada a base de informação em um sistema gerenciador de base de dados, com acesso via Internet baseado no PLONE. A página do projeto tem servido para prover meios eletrônicos de acesso dos usuários externos para atualização de dados. Esta atividade está apoiando a execução do projeto, tanto na disseminação das informações geradas, para o público externo, quanto na gestão das atividades e interação entre os membros da equipe. Desse modo, a homepage tem feito a socialização dos conhecimentos gerados a partir deste projeto

de pesquisa, bem como a disponibilização de informações já existentes em publicações e sites referentes à temática Agricultura de Precisão. Para alcançar um grande público, estão sendo implementadas ações de divulgação do site e da Rede AP. Por se tratar de um projeto em rede a criação desta homepage, também trouxe maior facilidade de acompanhamento das atividades que estão sendo realizadas por todos os integrantes, em um espaço de acesso restrito à equipe do projeto. Perante isso, o desenvolvimento da página da web constitui-se como importante veículo de difusão do conhecimento, tornando-o acessível a um grande número de pessoas e auxiliando as ações dos pesquisadores envolvidos no projeto. Levantamento feito pela ferramenta *Google Analytics* desde o lançamento da página (em abril de 2010), indicou que houve 6336 visitas, com 22.314 páginas visualizadas, com uma média de 3,52 páginas/visita. Estas se referem a 4.600 visitantes. Os países de origem e números de acessos foram: Brasil (5.989), Portugal (80), Estados Unidos (47), Argentina (27), Paraguai (24). Destaca-se o aumento nos acessos comparando-se os anos de 2010 e 2011 (Tabela 1). Estes números confirmam as expectativas iniciais sobre o papel da homepage na divulgação da Rede AP.

Treinamento da equipe da Rede AP

Realizou-se em São Pedro – SP entre os dias 12 a 16/abril/2010 a Convenção da Rede de Agricultura de Precisão, a qual teve como objetivo integrar a rede, ajustar procedimentos e metodologias por meio de atividades técnicas, passando por todas as etapas da Agricultura de Precisão. Houve a participação de 60 membros da Rede AP. O conteúdo programático do evento buscou o nivelamento técnico, a equalização de conceitos, a orientação na implantação das Unidades Piloto

Tabela 1. Informações sobre os acessos à homepage da Rede Agricultura de Precisão.

Ano	Acessos	Visitantes	Páginas visualizadas	Páginas/visita	Tempo médio	Novas visitas
2010	2.263	1.612	9.308	4,11	3:02	70,2
2011	4.073	3.034	13.006	3,19	2:08	72,7
Total	6.336	4.600	22.314	3,52	2:27	71,8

e seu relacionamento com atividades transversais (medidas de condutividade elétrica, imagens aéreas e topografia); apresentação da dimensão e a estrutura do projeto; apresentação dos principais atores da rede e planejamento da agenda de compromissos. Promoveu-se discussão de todas as etapas da AP: aquisição de dados, análise e intervenção com palestras de especialistas convidados. Houve mesa redonda com produtores e treinamento com equipamentos de campo. Os detalhes estão no link: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/eventos/eventos-gerenciais/convencao-da-rede-de-agricultura-de-precisao>

Reunião técnica no Agrishow 2010 em Ribeirão Preto, SP

Durante o evento promoveu-se o lançamento de mapa de condutividade elétrica. Na ocasião foi realizada uma reunião no centro de imprensa que contou com representantes de cerca de 20 indústrias de máquinas, e que serviu para estreitamento dos contatos. Houve ainda Convite para a rede no estande da Força Tarefa ISOBUS no Agrishow 2011.

Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (CONBAP 2010)

No evento houve ampla participação da Rede AP no CONBAP, com 19 trabalhos selecionados, os quais representaram 15% dos trabalhos apresentados (total de 128). Além disso, membros da Rede foram convidados para dois painéis. Todos os trabalhos apresentados podem ser consultados no em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/apresentacoes-da-convencao-da-rede-ap/conbap-2010>

Workshop em Tecnologias de Informação Geográfica

Realizou-se entre 29/nov a 03/dez/2011 a oficina de Trabalho sobre Tecnologias de Informação Geográfica da Rede de Agricultura de Precisão com 20 participantes. Na ocasião houve treinamento e divulgação dos softwares selecionados para uso na rede: gvSIG e Vésper (geoestatística) e também houve divulgação do repositório de dados Foi um

evento conjunto da Embrapa Instrumentação, Pecuária Sudeste, Informática e Monitoramento por satélite, e contou com facilitadores da GAUSS Geotecnologia e Engenharia, FCAV / UNESP e Embrapa Solos. Detalhes podem ser consultados em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/eventos/eventos-gerenciais/orkshop-sobre-tecnologias-de-informacao-geografica-da-rede-agricultura-de-precisao>

Participação do Agrishow 2011 em Ribeirão Preto, SP

Durante o evento a Rede AP esteve presente no estande do projeto Isobus e promoveu uma reunião técnica em conjunta com o Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão, coordenado pelo MAPA.

Divulgação na mídia

Várias notícias sobre a atuação da Rede AP estão sendo vinculadas na mídia e têm auxiliado a promover a imagem da Rede AP. Dentre as iniciativas de divulgação destaca-se a realização de 2 programas de rádio Prosa Rural. Detalhes podem ser vistos em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/noticias>

Publicações da Rede AP

Estão disponíveis em formato digital que permitem consultas e gravação. Há também link para publicações sobre AP disponíveis na literatura. Detalhes podem ser consultados em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes>

4. Conclusões

As atividades de inovação da Rede AP têm sido pautadas em:

Fortalecimento e divulgação do conceito de AP como ferramenta gerencial para produtores e provedores de serviços.

Popularização da AP por meio de estímulo do envolvimento da pesquisa com o setor privado.

Fomento e a facilitação do diálogo entre os setores do agronegócio: privado, público e terceiro setor. Gestão da propriedade Intelectual das tecnologias desenvolvidas ao longo do projeto.

Agradecimentos

A Rede AP agradece a todos os parceiros envolvidos nas atividades e quem podem ser vistos em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/parceiros-da-rede-ap>

Referências

ÁVILA, A. F. D. **Avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais da pesquisa da Embrapa**: metodologia de referência. Brasília: Embrapa, SEA, 2001. 66 p.

FIGUEIREDO, L. H. M.; MACEDO, M. F. G.; PENTEADO, M. I. O. **Noções de Propriedade Intelectual - Patenteamento na Embrapa**: conceitos e procedimentos. Brasília: Assessoria de Inovação Tecnológica, 2008. 130 p.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2000.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 7-23, 2005.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C.; IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, I. **Sistema de avaliação de impacto social da inovação tecnológica agropecuária (Ambitec-Social)**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 31 p. (Embrapa Meio Ambiente, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 35).

RODRIGUES, R. Agricultura e agronomia. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142001000300022>

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C. REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

WESTMAN, W. E. **Ecology, impact assessment and environmental planning**. Toronto: John Wiley and Sons, A Wiley-Interscience Publication, 1985.

Comunicação e Agricultura de Precisão: similaridade nas diferenças

Edilson Pepino Fragalle^{1*}, Wilson Correa da Fonseca Júnior^{2*}

¹ Analista A. Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Analista A. Secretaria de Comunicação da Embrapa, Av. W3 Norte/Final, Parque Estação Biológica, CEP 70770-901, Brasília, DF, Brasil

*e-mail: fragalle@cnpdia.embrapa.br; wilson.fonseca@embrapa.br

Resumo: Comunicação e Agricultura de Precisão possuem similaridades interessantes para serem observadas, especialmente, porque elas se aproximam nas diferenças. Atualmente, a Comunicação Organizacional praticada na Embrapa busca tratar a diversidade de públicos com os quais a Empresa se relaciona, não utilizando mais o conceito de “comunicação de massa”. Hoje, a Embrapa já admite que muitos de seus problemas não são problemas de comunicação, entretanto, ela pode ajudar a resolvê-los na parte que lhe cabe. A Comunicação, principalmente desde a década de 90 do século passado, recebeu injeção de recursos humanos e financeiros para também contribuir no planejamento institucional. Em suas quase quatro décadas de existência a Empresa colocou o planejamento como um pilar estratégico. O planejamento prevê um mix de mídias para atingir um mix de públicos, com o objetivo de reforçar a percepção pública do conceito da Agricultura de Precisão, de sua importância para o Brasil, para que o País seja cada vez mais competitivo no cenário global e que os produtores rurais possam gerar emprego, renda e bem-estar, com sustentabilidade econômica, social e ambiental - uma nova página na história da recente, mas já vitoriosa Agricultura Tropical.

Palavras-chave: agricultura de precisão, comunicação, mídia, percepção pública, planejamento, relacionamento.

Communication and Precision Agriculture: similarity in the differences

Abstract: Communication and Precision Agriculture have interesting similarities to be observed, especially because they are approach in the differences. Currently, the Organizational Communication used at Embrapa deal with the diversity of public which the Corporation connects, no more using the concept of “mass communication”. Actually Embrapa admitted that many of their problems are not communication problems, however, communication can help to solve them on its share. Communication, especially since the 90s of last century, received an injection of human and financial resources to contribute with institutional planning. In it's nearly four decades of existence the Corporation has placed planning as a strategic pillar. The plan forecast a mix of media to achieve a mix of public, in order to strengthen the public perception of the agriculture's precision concept, its importance to Brazil, to which the country is increasingly competitive on the global environment and that farmers can generate employment, income and welfare, with economic, social and environmental sustainability - a new page in the history of recent, but already victorious Tropical Agriculture.

Keywords: precision agriculture, communication, media, public perception, planning, relationship.



1. Introdução

Comunicação e Agricultura de Precisão possuem similaridades interessantes para serem observadas, especialmente, porque elas se aproximam nas diferenças. Atualmente, a Comunicação Organizacional praticada na Embrapa busca tratar a diversidade de públicos com os quais a Empresa se relaciona, não utilizando mais o conceito de “comunicação de massa”.

A Empresa define a Comunicação Organizacional como um processo de gerenciamento que integra todas as atividades orientadas para o relacionamento entre uma organização e os ambientes interno e externo. Sua responsabilidade fundamental é criar e manter fluxos de informação e influência recíproca entre a empresa, seus públicos de interesse e a sociedade em geral.

A Agricultura de Precisão, por sua vez, é entendida como uma postura gerencial que leva em conta a variabilidade espacial da propriedade para maximizar o retorno econômico e minimizar riscos de dano ao meio ambiente.

Mas a relação entre Comunicação e Agricultura não é recente. Em sua obra “As Tecnologias da Inteligência – O Futuro do Pensamento na Era da Informática”, Lévy (1993, p. 53) lembra que:

[...] a escrita foi inventada diversas vezes e separadamente nas grandes civilizações agrícolas da Antiguidade. Reproduz, no domínio da comunicação, a relação com o tempo e o espaço que a agricultura havia introduzido na ordem da subsistência alimentar [...].

Ele aponta similaridades quando diz que:

[...] o escriba cava sinais na argila de sua tabuinha assim como o trabalhador cava sulcos no barro de seu campo. É a mesma terra, são instrumentos de madeira parecidos, a enxada primitiva e o cálamo distinguindo-se quase que apenas pelo tamanho. O Nilo banha com a mesma água a cevada e o papiro. Nossa página vem do latim *pagus*, que significa o *campo do agricultor* [...]. (LÉVY, 1993, p. 53)

Nas páginas dos comunicadores e nos campos da agricultura de precisão do século XXI outro fator convergente e de extrema relevância é o planejamento, para que os resultados sejam bem sucedidos. Não vamos tratar aqui dos detalhes do planejamento na propriedade rural, pois ele é da competência dos especialistas no tema, mas sim

da importância do planejamento na Comunicação Organizacional.

Em suas quase quatro décadas de existência a Embrapa colocou o planejamento como um pilar estratégico. A Comunicação, especialmente desde a década de 90 do século passado, recebeu injeção de recursos humanos e financeiros para também contribuir no planejamento institucional. Hoje, a Empresa já admite que muitos de seus problemas não são problemas de comunicação, entretanto, ela pode ajudar a resolvê-los na parte que lhe cabe. A comunicação entra em cena quando os problemas da Empresa envolvem questões ligadas ao relacionamento da organização com seus diversos públicos, ao convencimento ou conscientização sobre diversos assuntos, a percepções e imagem institucionais, à promoção de produtos e serviços, entre outros. Ao mesmo tempo, também é preciso ter consciência que não cabe à comunicação resolver problemas que não lhe são exclusivos.

O trabalho de planejamento deve levar em consideração os problemas a serem resolvidos pela Embrapa e como a comunicação pode ajudar na resolução desses problemas. Seguindo esse raciocínio, é possível perceber quando uma questão se refere direta ou indiretamente à comunicação, ou seja, quando se trata de um problema de comunicação ou um de problema para a comunicação.

2. A visão de comunicação na Embrapa

A Comunicação da Embrapa parte do pressuposto de que em qualquer relacionamento, seja a comunicação de um fato ou para a transferência de tecnologia, o uso que vai se dar ao objetivo (informação ou produto) dessa interação depende mais de fatores e circunstâncias associadas ao cliente ou usuário que os estiver recebendo do que às nossas intenções de repassá-los. Ou seja, quem decide se a tecnologia que estamos transferindo é satisfatória ou não é quem a adquire e usa, da mesma maneira que é o leitor do jornal quem julga se a nossa versão dos fatos é verdadeira.

Isto se torna particularmente complexo porque clientes e usuários, no seu relacionamento com a Empresa, assumem distintos papéis: o mesmo

cidadão que exige rigor metodológico em um artigo científico, aceita com tranquilidade imprecisões do noticiário da imprensa, e se torna francamente prático de um dia de campo na condição de produtor.

O que é mais importante nisso é perceber que um mesmo cidadão impõe à Embrapa um compromisso diferente e específico para cada um desses papéis distintos que assume numa interação de comunicação com a Empresa. A habilidade da Embrapa em atender a esses compromissos distintos é que vai determinar o sucesso ou insucesso da sua comunicação.

A comunicação na Embrapa tem evoluído para um sistema de inteligência organizacional, apoiado no planejamento, no monitoramento sistemático e contínuo, seja das atividades de comunicação que desenvolve seja da inserção da empresa no ambiente externo. Com isso, tem buscado implementar bancos de dados inteligentes que incluam os atributos principais de seus públicos de interesse (seu perfil, suas expectativas, suas demandas etc). Da mesma forma, ela tem se valido de metodologias para aferir os resultados de suas ações e recorrido a pesquisas e auditorias (de imagem, de presença na mídia, de níveis de satisfação dos clientes, de clima organizacional etc), buscando definir indicadores de desempenho e mesmo antecipar-se para dar conta dos novos desafios.

Ao atingir esse novo patamar, a comunicação na Embrapa obrigou não apenas os profissionais que a praticam a ampliarem o seu escopo de atuação e a vislumbrarem a responsabilidade do seu trabalho, mas, sobretudo, chamou a atenção da organização como um todo para a necessidade premente da capacitação em comunicação. Isso significa dizer que a implementação de uma “cultura de comunicação” tornou-se obrigatória para o processo de gestão do conhecimento da Embrapa.

3. As diretrizes da Comunicação organizacional

As diretrizes da Comunicação organizacional, fundamentais para projetar a competência interna e para apontar caminhos de excelência a serem seguidos, são as seguintes:

- Fortalecimento e defesa da marca Embrapa: a comunicação deve consolidar a marca da Embrapa, de grande valor institucional de mercadológico;
- Unicidade do discurso: embora o modelo de gestão praticado pela Empresa tenha como vetor básico a descentralização administrativa, seu sistema de comunicação deve pautar-se pela busca de unidade na diversidade;
- Interação com a sociedade: como Empresa pública, a Embrapa deve priorizar sua interação com a sociedade, criando espaços de comunicação para realizar a interface com os diversos segmentos sociais;
- Qualificação da informação: o conceito de qualificação da informação deve ser entendido, na Embrapa, em seu sentido mais amplo. Qualificar a informação é traduzir a informação relativa à ciência e à tecnologia, visando a eficácia de sua recepção, obedecidos os níveis de complexidade e de discurso compatíveis com cada público em particular;
- Participação interna: a Empresa deve buscar, em todas as ações e produtos que integram a comunicação interna, estimular a participação dos seus empregados de qualquer nível funcional ou hierárquico, criando um ambiente favorável para a livre circulação de idéias;
- Parceria: o conceito de cadeia produtiva se aplica, também, à indústria da comunicação, que abriga uma capacidade de articulação, produção e distribuição, níveis de especialização e competências específicas de comunicação superiores às da Empresa. Reconhecendo a especialização desse mercado, além de, internamente, estimular o trabalho cooperativo, a Embrapa deve estabelecer parcerias com outras instituições públicas e privadas, pautadas pela convergência de objetivos e pela complementaridade de esforços, com o objetivo de ampliar o atendimento aos seus múltiplos públicos de interesse.

4. O planejamento integrado

Para buscar que a comunicação Organizacional seja cada vez mais efetiva, atingindo os públicos de interesse e respeitando suas diretrizes, a Embrapa

trabalha agora num planejamento integrado de comunicação, envolvendo suas 47 Unidades Descentralizadas. Esse planejamento toma por base as seguintes características:

- Possui caráter orientador e unificador – as Unidades passam a ter as mesmas diretrizes para atuarem, respeitando suas diferenças regionais e de tipos de Centros (temáticos, ecorregionais, produtos ou serviços);
- Induz ao pensamento de longo prazo – dessa forma busca-se minimizar a comunicação “apaga incêndios” para uma postura de ações devidamente estruturadas ao longo do tempo;
- Define responsabilidades e propósitos – cada um reconhece seu papel e quais objetivos deve cumprir na instituição;
- Gera processos de interação e aprendizagem entre todos seus componentes – mais gente pensando para finalidades comuns podem proporcionar crescimento individual e coletivo, no momento em que os conhecimentos são compartilhados;
- Unifica recursos com relação a objetivos – evita dissipar esforços e capital para cumprir a missão da Empresa.

5. Conclusões

A execução de um planejamento integrado em comunicação cumpre algumas funções importantes para a comunicação, que terão reflexos diretos no processo de comunicação da própria Rede de Agricultura de Precisão, já que a mesma envolve 20 Unidades da Empresa:

- Obriga a uma reflexão e análise periódicas sobre a relação da organização com seus públicos;
- Define uma linha diretriz da comunicação;
- Estabelece os diferentes territórios de aplicação, devendo precisar se é necessário intervir e com que intensidade;
- Dá coerência à pluralidade de comunicação da organização;
- Determina os critérios de avaliação de resultados.

O planejamento em comunicação passa por várias etapas, que compreendem desde a análise do ambiente; o estabelecimento da diretriz organizacional; a formulação de estratégias;

a implementação dessas estratégias e, por fim a avaliação e controle. No tocante à Rede de Agricultura de Precisão, é importante avaliar que o ambiente aponta para a diversidade econômica, social, ambiental e cultural, visto que o projeto abrange quatro regiões brasileiras, nas 15 unidades-piloto.

Para fazer essa mediação entre os mais de 200 pesquisadores envolvidos, empresas privadas, universidades, instituições de ciência e tecnologia e demais parceiros, a comunicação é fundamental, num processo de conhecimento em rede. No seu processo de gestão, a Comunicação já tem se utilizados de ferramentas do Jornalismo, das Relações Públicas e da Publicidade para que a Rede de AP cumpra seus objetivos.

As ferramentas apontadas são a veiculação de matérias na mídia (jornais, rádio, revistas, televisão, internet); a apresentação de resultados em feiras e exposições agropecuárias (a Agrishow é um dos principais exemplos); a distribuição de material institucional (pasta, folderes); a divulgação de vídeos no Youtube; a criação de um site próprio da Rede. O planejamento prevê um mix de mídias para atingir um mix de públicos, com o objetivo de reforçar a percepção pública do conceito da Agricultura de Precisão, de sua importância para o Brasil, para que o País seja cada vez mais competitivo no cenário global e que os produtores rurais possam gerar emprego, renda e bem-estar, com sustentabilidade econômica, social e ambiental - uma nova página na história da recente mas já vitoriosa Agricultura Tropical.

Agradecimentos

Agradecemos a participação, nas atividades de comunicação da Rede de Agricultura de Precisão, das equipes dos Núcleos de Comunicação Organizacional das Unidades envolvidas, especialmente, Embrapa Instrumentação e Embrapa Pecuária Sudeste. Agradecemos também à Secretaria de Comunicação da Embrapa.

Referências

LEVY, P. *As tecnologias da inteligência*. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

Impactos da agricultura de precisão na economia brasileira

Cinthia Cabral da Costa^{1*}, Joaquim José Martins Guilhoto^{2*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Professor Titular, Departamento de Economia, Universidade de São Paulo – FEA/USP, Av. Prof. Luciano Gualberto, 908, FEA 2, Cidade Universitária, CEP 05508-010, São Paulo, SP, Brasil

*e-mail: cinthia-costa@bol.com.br; guilhoto@usp.br

Resumo: Com o objetivo de estimar o potencial impacto da adoção das principais técnicas de agricultura de precisão na agricultura brasileira sobre fatores socioeconômicos no país, este estudo utilizou uma ampla revisão bibliográfica dos principais resultados que as técnicas de agricultura de precisão promovem e simulou seus impactos na agricultura brasileira. Para isto, foi considerado o potencial da atividade agrícola que pode ser beneficiada por estas tecnologias. A seguir, os impactos foram analisados utilizando a matriz insumo-produto do país com os principais produtos analisados desagregados como setores individualizados. Os produtos analisados foram: cana-de-açúcar; milho e soja. Observou-se que um cenário de aumento de 10% na produtividade apresenta impactos na economia poderiam aumentar R\$ 11 bilhões no PIB e mais de 450 mil empregos. Já um cenário de redução no uso de fertilizante não mostrou impactos sócioeconômicos favoráveis considerando toda a economia brasileira.

Palavras-chave: emprego, produto interno bruto, estimação, produtividade, uso de insumos.

Impacts of precision agriculture in the Brazilian economy

Abstract: In order to estimate the potential impact of the adoption of the main techniques of precision agriculture in the Brazilian agriculture on socio-economic development, this study used an extensive bibliographic review of the main results that the techniques of precision agriculture and simulated impacts in agriculture. For this, was considered the potential of agricultural activity that can be benefited by these technology. The following impacts were analyzed using the input-output matrix of the country with the main products analyzed as individual sectors. The products analyzed were: sugarcane, corn and soybeans. It was observed that a scenario of a 10% increase in productivity indicated that the impacts on the economy could be increased from \$ 11 billion in GDP and more than 450.000 jobs. However, a scenario of reduced use of fertilizer did not show favorable socio-economic impacts considering the impacts in Brazilian economy.

Keywords: employment, gross domestic product, estimating, productivity, input use.



1. Introdução

Este estudo buscou estimar o impacto potencial da adoção das principais técnicas de agricultura de precisão na agricultura brasileira sobre fatores socioeconômicos no país. A lucratividade ou não das técnicas e sua mensuração não foram objetivo desta análise. Entretanto, foram considerados como potenciais para uso da técnica as condições identificadas em outros estudos como àquelas favoráveis a obtenção de lucro. Neste sentido, os principais benefícios gerados por esta tecnologia (ou conjunto de tecnologias que estão associadas ao sistema de agricultura de precisão) são um ou mais de um dos listados a seguir: i) redução nos custos pela diminuição no uso de insumos agrícolas; ii) redução na poluição da água e do ambiente e; iii) aumento da produtividade agrícola pela aplicação mais eficiente dos insumos.

Conforme descrito por Plant (2001), a agricultura de precisão ou manejo sítio-específico é o manejo de lavouras agrícolas ou pecuárias em escala espacial menor do que aquela normalmente adotada para toda a lavoura. Segundo este autor, muitos agricultores irão decidir por adotar as práticas do manejo sítio-específico e começar a influenciar e aprender o uso da tecnologia somente quando eles forem convencidos que o tempo e o dinheiro gasto são justificados pela melhoria na produtividade ou redução de custos ou de riscos. Neste sentido, este autor cita Miller et al. (1999) que lista três critérios necessários para justificar a introdução destas práticas. São eles: i) que haja uma significativa variabilidade espacial na fazenda em fatores que influenciam a produtividade; ii) que as causas desta variabilidade possam ser identificadas e mensuradas e; iii) que a informação destas medidas possam ser utilizadas para modificar as práticas para aumentar o lucro ou reduzir os impactos ambientais. Desta forma entende-se que os benefícios do uso da agricultura de precisão devem ser analisados caso a caso. Entretanto, este estudo buscou traçar um cenário geral para identificar os impactos com base nos benefícios originadas pelo uso da técnica na agricultura brasileira. Esta consideração deve ser entendida como uma hipótese e, portanto, uma limitação dos resultados obtidos.

Um levantamento realizado por Whipker e Akridge (2009) mostrou que, para uma amostra dos produtores rurais nos EUA, no ano de 2009: 85% deles utilizaram alguma técnica de agricultura de precisão em algum momento da produção. Destes, 62,6% utilizam os métodos de agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes e 55,5% utilizam para aplicação de pesticidas. Já no Brasil, apesar de não existir levantamentos desta natureza, sabe-se que o uso maciço da agricultura de precisão não é uma realidade. Assim, outra pressuposição adotada neste estudo é a de que os benefícios da técnica ainda ocorrerão para o potencial da agricultura que pode ser beneficiada e que as técnicas adotadas serão utilizadas para aplicação de fertilizantes.

2. Material e métodos

Para alcançar os resultados esperados neste trabalho inicialmente foi necessária uma compilação de resultados de diversos estudos que tratam do tema de agricultura de precisão. A seguir, uma análise sobre as condições da agricultura brasileira e do potencial de adoção da técnica foi realizado. Para isto foram analisadas as informações do último censo agropecuário do país, do ano de 2006. Com base nos resultados de ambas revisões foram traçados panoramas e elaborados cenários para identificar os possíveis impactos da adoção da agricultura de precisão na economia brasileira. Os impactos sócio-econômicos analisados foram: número de empregos; valor das remunerações; valor da produção; valor das importações e produto interno bruto (PIB). Para isto foram realizados choques, provenientes dos cenários a serem estabelecidos, e foi analisada a dispersão de seus resultados na economia brasileira utilizando a análise da matriz insumo-produto (MIP). Os choques da prática da agricultura de precisão utilizados foram: a) aumento de produtividade das culturas e b) redução no uso de fertilizantes químicos. Foi utilizada a MIP do Brasil estimada com base nas Contas Nacionais referente ao ano de 2006, onde os produtos analisados encontram-se desagregados em setores específicos.

3. Resultados e discussão

Apesar do foco aqui ser o impacto na agricultura e na economia do Brasil, a maior parte das revisões não se restringe a análises feitas para as condições brasileiras, em função da existência de ainda poucos estudos para as nossas condições. Nas revisões observou-se que, além da diversidade dos estudos no que se refere ao produto agrícola analisado e ao insumo avaliado sob condição de aplicação dos métodos da agricultura de precisão, algumas outras características importantes os distinguem. Na Tabela 1 são descritos os resultados dos estudos que estimam impactos sobre o uso dos insumos e, ou, produtividade.

Observando os resultados apresentados na Tabela 1, a conclusão é que não há um padrão para alterações no uso de insumos e da produtividade. Verificou-se que há uma grande diversidade de resultados considerando a aplicação diferenciada de insumo em relação à aplicação uniforme. Tal diversidade não é motivada pelo produto agrícola, uma vez que houve também grandes variações para o mesmo produto. Assim, a diversidade de resultados deve ser mais bem avaliada na condução de estudos

futuros com o mesmo propósito. Desta revisão também se verificou que a redução no consumo de fertilizantes químicos tem sido o alvo principal dos impactos no uso de técnicas de agricultura de precisão.

Apesar dos benefícios citados, os trabalhos que apresentam resultados inconsistentes em termos dos benefícios financeiros das técnicas de agricultura de precisão para o produtor não são raros. Isto não significa que a técnica não seja ou não possa se tornar eficiente. Como descrito pelos próprios autores destes trabalhos, há situações nas quais a agricultura de precisão pode ser mais ou menos eficiente.

Segundo Tekin (2010), o principal fator para a implementação da agricultura de precisão é o grau de variabilidade, onde maiores graus facilitam a implementação. Adicionalmente a esta idéia, Molin (1997) descreve que normalmente existe uma variabilidade muito grande nas propriedades do solo e que esta variabilidade cresce com o tamanho da lavoura. Áreas com fertilidade muito baixa ou muito alta tendem também a ser mais homogêneas

Tabela 1. Estudos sobre o impacto da agricultura de precisão (aplicação diferenciada de insumos) sobre o consumo dos insumos agrícolas e sobre a produtividade em relação ao uso uniforme dos insumos.

Fonte	Produto analisado	Insumo avaliado	Variação no uso do insumo	Variação na Produtividade
Griepentrog e Kuhn (2000)	Trigo e barley	N	-36%	-
Mckinion et al. (2001)	Algodão	N e água	+2,6 cm/ha de água; -35 kg/ha de N	+322 kg/ha
Ahmad, Supalla e Miller (1997)	Milho	N e água	-18,4% para N; -5,9% de água	-4,6%
Stone et al. (1996)	Trigo	N	até -50%	
Koch et al. (2003)	Milho	N	-46%	
Menegatti et al. (2006)	Cana-de-açúcar	Calcário, gesso e P	-15% custos	+9%
Ruffo et al. (2008)	Etanol de milho	N	-36%	+0,7
Hedley e Yule (2008)	Milho e pastagem	Água de irrigação	-26,3% no milho; -21,8% na pastagem	
Bonfil et al. (2008)	trigo	N	+73 kg/ha	+8%
Molin et al. (2010)	Café	P e K	-13% de P; +13% de K	+34%
Barbieri et al. (2008)	Cana-de-açúcar	Calcário dolomítico	-30%	-
Lopes e Molin (2010)	Citrus	P, K e calcário	-27% de calcário; -53,5% de P; -47,5% de K	-
Faulin, Molin e Stanislavski (2010)	Café	N, P e K	-2% de N; -1% de P e +7% de K	+2%
Acosta et al. (2010)	Arroz	N, P e K	+6% de N; +75% de P e +80% de K	+3%

Nota: P indica fósforo; K representa o potássio e N é o nitrogênio.

e, portanto, a responder menos às técnicas de agricultura de precisão. Corroborando em esta idéia, English, Roberts e Larson (2000) descrevem que a maior diversidade dos solos está diretamente correlacionada com a efetividade no uso da agricultura de precisão.

Plant (2001) descreve que uma das críticas às práticas da agricultura de precisão é que provém mais benefícios para os grandes produtores agrícolas. Segundo este autor, um argumento comum é que grandes propriedades são economicamente e agronomicamente ineficientes porque não levam em conta a variabilidade inerente. Entretanto, isto não é a realidade em países como o Brasil onde os produtores menores são, também, menos capitalizados para investir em insumos que aumentam a produtividade das suas lavouras. Mas esta é mais uma indicação de que os efeitos benéficos destas práticas são mais restritos a grandes áreas de lavouras.

Dada estas considerações, parte-se para a segunda parte da obtenção dos dados para esta análise, que é identificar o potencial desta prática para as condições brasileiras. A produção agropecuária no censo de 2006 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011a) está separada em 9 categorias: lavoura temporária; horticultura e floricultura; lavoura permanente; sementes, mudas e outras formas de propagação vegetal; pecuária e criação de outros animais; produção florestal – plantadas; produção florestal – nativas; pesca e aquicultura. Uma vez que a agricultura de precisão se beneficia quando utilizada em áreas mais extensas, segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011a), das categorias descritas tem-se que a pecuária ocupa maior área (62% do total com área média das propriedades de 90 ha), seguido das lavouras temporárias (25% do total e área média das propriedades de 44 ha) e das lavouras permanentes (6% da área agrícola total e área média das propriedades de 34 ha). Entretanto, conforme observado na Tabela 1, os estudos de avaliação das técnicas de agricultura de precisão contemplam a produção agrícola de lavouras temporárias ou permanentes.

Assim, considerando as lavouras temporárias, dados do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011a) mostram que 63% do valor da produção destas lavouras ocorreram em lavouras com mais de 100 ha. Já para as lavouras permanentes este percentual caiu para 42%. Em termos de área plantada, 53% das lavouras temporárias estão em áreas com mais de 100 ha e 48% das lavouras permanentes se encontram em áreas de mais de 100 ha. O tamanho de 100 ha adotado para esta descrição é considerado de grande extensão para uma lavoura e, portanto, com boas possibilidades de uso da agricultura de precisão. Foram também as lavouras com mais de 100 ha que mais gastaram em investimentos no ano de 2006. Cerca de 30% delas compraram máquinas e implementos novos e cerca de 20% compraram tratores novos.

Entretanto, considerar o total de lavouras temporárias ou permanentes na análise pode acarretar em erros uma vez que cada cultura pode ter características muito diferenciadas uma da outra. Assim, dentre as lavouras foram selecionadas para análise neste estudo aqueles produtos que mais se destacaram no censo de 2006. Desta maneira foram escolhidos os produtos: cana-de-açúcar (27% do valor da produção e 11% da área plantada com lavouras temporárias); milho (16% e 24%, respectivamente do valor da produção e da área plantada com lavouras temporárias) e soja (24% do valor da produção e 32% da área plantada com lavouras temporárias). Estes três produtos corresponderam a 67% do valor da produção e da área com lavoura temporária no país para o ano de 2006.

Uma vez que os resultados encontrados na Tabela 1 não foram convergentes, foram simulados 2 cenários considerando a área cultivada de lavouras com mais de 100 ha para os produtos selecionados. Os cenários foram: 1) 10% de aumento de produtividade; 2) 10% de redução de consumo de fertilizantes.

Considerando dados da Produção Agrícola Municipal - PAM (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011b) foram calculados o preço e a produtividade de cada um destes produtos. Multiplicadas estas variáveis pela

área total colhida em propriedades com mais de 100 ha, tem-se o valor de produção equivalente para estas áreas. Entretanto, parte da produção é processada. Assim, este percentual foi considerado, utilizando para isto as informações da própria MIP e considerando apenas o processamento principal para cada produto: açúcar e etanol para a cana-de-açúcar; ração animal para o milho; beneficiamento de produto vegetal (óleo e farelo) para a soja. Assim, o choque para o cenário base, sobre o qual os choques provenientes do uso da agricultura de precisão foram comparados, correspondeu à: R\$ 3.564 milhões de milho; R\$ 7.273 milhões de soja; R\$ 19.403 milhões de açúcar (utilizando 50% da cana); R\$ 11.542 milhões de etanol (utilizando os demais 50% da cana); R\$ 3.943 milhões de ração e R\$ 19.105 milhões de óleo e farelo de soja. Estes foram também os valores dos choques utilizados no cenário 2. Entretanto, neste último cenário, para os setores correspondentes à produção da cana-de-açúcar, do milho e da soja, o coeficiente de uso de adubos e fertilizantes foi reduzido em 10% e a diferença em relação ao valor da produção correspondente a esta economia foi incluída como lucro para o produtor. Já para o cenário 1, o aumento de 10% na produtividade foi adicionado levando a novos valores calculados para os choques que foram exatamente 10% superiores aos valores descritos anteriormente (o aumento na produção dos produtos processados foi considerado dada a hipótese de que os demais insumos utilizados para sua produção estarão disponíveis). Além desta mudança nos valores dos choques, os coeficientes de uso de insumos na produção de cana-de-açúcar, milho e soja também foram alterados para o cenário 1. Neste caso houve uma redução de 10% no uso de todos os insumos e aumento correspondente no lucro do produtor de maneira a simular os impactos do aumento de 10% na produtividade.

A partir destes cenários, na Tabela 2 são apresentados os resultados dos impactos diretos, indiretos e de efeito renda resultantes da diferença entre os resultados do choque do cenário base e os resultados apresentados pelos choques descritos nos cenários 1 e 2.

Observa-se que os resultados sócio-econômico favoráveis para a economia brasileira, comparado ao cenário base, ocorreram apenas pela simulação do choque do cenário 1, ou seja, considerando o aumento de produtividade. Neste caso, os ganhos na economia foram da ordem de R\$ 20 bilhões de produção; R\$ 10,8 bilhões de PIB; R\$ 3 bilhões de remuneração e cerca de 455 mil empregos. Observa-se, portanto, resultados positivos na economia, apesar do aumento nas importações (R\$ 0,6 bilhões). Já o cenário de redução no uso de fertilizantes, sem considerar o aumento na produtividade, apresentou perdas na economia da ordem de R\$ 0,9 bilhões de produção; R\$ 0,1 bilhão de PIB, R\$ 0,1 bilhão de remuneração e menos cerca de 14 mil empregos. Apenas as importações deram impacto positivo pela redução de R\$ 70 milhões. Este resultado ocorreu porque os impactos do ganho de renda por parte dos produtores foi inferior às perdas econômicas provocadas pela redução no consumo de fertilizantes.

Por outro lado, neste estudo não foram avaliados os impactos ambientais resultantes desta redução de consumo, os quais provavelmente ocorreram e devem ser considerados juntamente com os impactos sócio-econômicos para uma interpretação mais holística dos impactos da agricultura de precisão. Neste sentido percebe-se uma deficiência de estudos para as condições brasileiras. Muitos trabalhos sobre os impactos na redução de contaminação ambiental provocada pelas práticas da agricultura de precisão foram realizados, mas em outros países.

Tabela 2. Impactos socioeconômicos na economia brasileira resultantes da diferença entre o cenário base e os cenários considerando aumento de produtividade (cenário 1) ou redução no uso de fertilizante (cenário 2) pelo uso da agricultura de precisão.

	Produção	PIB	Remuneração	Importação	Emprego (número)
	(milhões de reais)				
Ganho no cenário 1	20.227	10.856	3.188	635	454.903
Ganho no cenário 2	(992)	(132)	(153)	(70)	(13.899)

4. Conclusões

Estudos relacionados aos impactos sobre a produção agrícola do uso de técnicas de agricultura de precisão precisam ser revistos dada a falta de convergência dos resultados obtidos.

Para as condições nacionais, são necessários também estudos relacionados à redução na poluição ambiental provocada por estas técnicas.

Este trabalho mostrou que se o benefício das técnicas de agricultura de precisão ocorrer sobre a produtividade agrícola, isto acarreta em benefícios sociais e econômicos para a economia brasileira. Entretanto, no caso do benefício ser apenas de redução do insumo (fertilizantes no caso analisado), apesar de poder acarretar em aumento de lucro para o produtor rural, o benefício para a economia como um todo não ocorre e a vantagem da técnica deve ser analisada no sentido da redução de poluição.

Referências

ACOSTA, J. A. A.; BUSATO, M. R.; LONDERO, G. T.; LEMAINSKI, C. L.; SANTI, O. G. R. Uso de técnicas de agricultura de precisão no manejo da adubação do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2010.

AHMAD, S.; SUPALLA, R. J.; MILLER, W. Precision farming for profits and environmental quality: problems and opportunities. In: ANNUAL MEETING OF AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION, 1997, Toronto, Canadá. **Proceedings...** Toronto, 1997.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SANCHES, R. B.; PAZETO, R. J.; SIQUEIRA, D. S. Dependência espacial dos custos de fertilizantes para aplicação em taxa variada em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2008.

BONFIL, D. J.; MUFRADI, I.; ASIDO, S.; LONG, D. S. Precision nitrogen management based on nitrogen removal in rain fed wheat. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver, Colorado. **Proceedings...** Denver, 2008.

ENGLISH, B. C.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A. **A logit analysis of precision farming technology adoption in Tennessee**. Knoxville: The University of Tennessee Agricultural Experiment Station, Department of Agricultural Economics, 2000.

FAULIN, G. D. C.; MOLIN, J. P.; STANISLAVSKI, W. M. Influência da adubação em doses variáveis na produtividade da cultura do café (*Coffea arábica* L.) durante quatro safras consecutivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2010.

GRIEPENTROG, H. W.; KYHN, M. Strategies for site specific fertilization in a highly productive agricultural region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

HEDLEY, C. B.; YULE, I. J. A high resolution soil water status mapping method for irrigation scheduling and two variable rate scenarios for pasture and maize irrigation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver, Colorado. **Proceedings...** Denver, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 20 jun. 2011a.

_____. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009/PAM2009_Publicacao_completa.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2011b.

KOCH, B.; KHOSLA, R.; FRASIER, M.; WESTFALL, D. G. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application in site specific management. In: WESTERN NUTRIENT MANAGEMENT CONFERENCE, 2003, Salt Lake City. **Proceedings...** Salt Lake City, 2003. v. 5.

LOPES, F. A.; MOLIN, J. P. Adubação em doses variadas em citrus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2010.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.; GÓES, S. L.; KORNDORFER, G. H.; SOARES, R. A. B.; LIMA, E. A. Benefícios econômicos e agrônômicos da adoção de agricultura de precisão em usinas de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 2., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro, 2006.

MCKINION, J. M.; JENKINS, J. N.; AKINS, D.; TURNER, S. B.; WILLERS, J. L.; JALLAS, E.; WHISLER, F. D. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 32, n. 3, 2001.

MILLER, R.O.; PETTYGROVE, S.; DENISON, R.F.; JACKSON, L.; CAHN, M.; PLANT, R.; KEARNY, T. Site-specific relationships among flag leaf nitrogen, SPAD meter values and grain protein in irrigated wheat. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.113-122.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte 2: diagnóstico, aplicação localizada e considerações econômicas. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 2, p. 108-121, 1997.

MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, A. V. A.; FRASSON, F. R.; FAULIN, G. D. C.; TOSTA, W. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.

PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Journal of Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, p. 9-29, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00152-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00152-6)

RUFFO, M. L.; HENNINGER, A. S.; WIEBERS, M.; BELOW, F. E. Spatial variability of corn grain and ethanol responses to nitrogen fertilizer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver, Colorado. **Proceedings...** Denver, 2008.

STONE, M. L.; SOLIE, J. B.; RAUN, W. R.; TAYLOR, S. L.; RINGER, J. D.; WHITNEY, R. W. Use of spectral radiance for correcting in season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. **Transactions of the ASABE**, v. 39, n. 5, 1996.

TEKIN, A. B. Variable rate fertilizer application in Turkish wheat agriculture: economic assessment. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 8, p. 647-652, 2010.

WHIPKER, L. D.; AKRIDGE, J. T. **Precision Agricultural Services: Dealership Survey Results**. Center for Food and Agricultural Business at Purdue University, 2009. Working Paper n. 09-16.

Avaliação do padrão tecnológico e tendências da agricultura de precisão no Estado do Tocantins

Emerson Borghi^{1*}, Ariovaldo Luchiari Junior², Leandro Bortolon²,
Junior Cesar Avanzi³, Elisandra Solange Oliveira Bortolon⁴,
Alexandre Ayres de Freitas⁵, Ricardo Y. Inamasu⁶

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agricultura, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

⁴ Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

⁵ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

⁶ Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: emerson.borghi@embrapa.br



Resumo: Embora amplamente difundida em todas as regiões brasileiras, a agricultura de precisão ainda não é explorada de forma a racionalizar o uso de insumos e das tecnologias hoje disponibilizadas. O Estado do Tocantins representa 46% de toda a produção de soja da região Norte do país e, juntamente com os Estados do Maranhão, Piauí e Bahia, formam uma das últimas fronteiras agrícolas do país. Embora as produtividades das principais culturas de interesse econômico – soja, milho e algodão – apresentem produtividades semelhantes comparativamente à regiões do Cerrado brasileiro, muito ainda necessita ser feito. O uso de AP nesta região restringe-se a amostragem de solo e elaboração dos mapas para indicativo dos níveis de fertilidade e de nutrientes. Em virtude das condições de solo – em grande parte Latossolos e Plintossolos - a aplicação em taxa variável restringe-se, na grande maioria dos produtores que já realizaram amostragem em grids, somente a aplicação de corretivos em taxa variável, em especial calcário. Além disso, mesmo com máquinas equipadas com GPS e monitores de colheita, a grande maioria dos produtores, desconhecem a forma de utilização destes equipamentos. Conhecer a dificuldade na adoção das tecnologias hoje empregadas na AP para seu amplo uso na agricultura no Estado do Tocantins pode elevar as produtividades, além de proporcionar um direcionamento em futuras pesquisas e inovações para estas regiões. Assim, o presente trabalho tem como objetivo detalhar o estado-da-arte do uso da AP no Estado do Tocantins, por meio de questionário a ser respondido por produtores rurais e empresários ligados à agricultura de precisão para identificar as potencialidades, os riscos e as tendências do uso das tecnologias. Espera-se como resultado deste questionário o levantamento de informações para futuras pesquisas envolvendo a AP que possam atender as demandas de produtores e do setor industrial.

Palavras-chave: adoção da agricultura de precisão, aplicação a taxa variável, variabilidade espacial, índice de oportunidade, amostragem do solo em grid.

Evaluation of the current adoption level, of the technological pattern and future tendencies of precision agriculture use in the Tocantins State, Brazil

Abstract: Although precision farming is used in most of the Brazilian grains producers states, it is initiating in Tocantins State. This state is responsible for 46% of soybean production of the northern states of Brazil. Tocantins, Maranhão, Piauí and Bahia states are the last frontier for agricultural expansion. Considering that the yields levels of soybean, corn and cotton in these states are close to the average of Brazil, still there are room for improvements. Precision agriculture technologies are

restricted to the use of grid soil sampling to produce maps for lime application. Even with machineries equipped with GPS and yield monitors the farmers do not use all the potential of precision agriculture management strategies. This is due to a lack of knowledge in how to use the concept and the tools of precision agriculture in a rational way. The objective of this paper is to diagnosis the adoption level and the level of understanding the concept and the capability of use the precision agriculture technologies available in the State of Tocantins. This will be done by the application and analyses of a questionnaire and by interview with producers and service providers. It is expected with this procedure the mains difficulties, risks and opportunities for precision farming adoption could be identified and strategies to increase adoption could be elaborated.

Keywords: precision agriculture adoption, variable rate application, spatial variability, opportunity index, soil grid sampling.

1. Introdução

Os números divulgados pelos órgãos estaduais do Estado do Tocantins relatam que o total de área agricultável é de 27.842.070 ha de terras, sendo 49,74% destinadas às atividades agropecuárias. Deste total, 7.498.250 ha (26,93%) são áreas de pastagens, sendo apenas 714.192 ha (8,40%) explorados pela agricultura. O potencial de crescimento na produção é enorme, principalmente em áreas em pousio (239.304 ha), juntamente com áreas sob algum grau de degradação. Grande parte das áreas destinadas para a exploração de pastagens e para a produção de grãos no Estado caracteriza-se pela baixa fertilidade de seus solos, sendo geralmente áreas de cerrado, campos nativos, bastante esgotados pela intensa exploração extensiva, cuja capacidade de suporte não supera 0,5 unidade animal por hectare, aliado à baixa produção de forragem das espécies destinadas ao pastejo.

Segundo levantamento da CONAB (2011), o Tocantins atualmente é responsável por 46,8% da produção de grãos da região Norte do Brasil. A área cultivada total de grãos no Estado está estimada em 695.430 ha, 8,6% superior à safra passada, 2009/2010, que foi de 640.260 ha. Segundo o levantamento, a produção de grãos nesta safra foi de 2.170.100 t, crescimento de 16,6% em relação à safra passada, de 1.875.000 t. A soja representa a cultura de maior importância econômica. Além disso, o milho safrinha teve produção recorde, com aumento de quase 300%, subindo de 33.250 t para 132.760 t. E a produtividade subiu 51,61% com relação à safra anterior, passando de 3.100 kg.ha⁻¹ para 4.700 kg.ha⁻¹. Já a área plantada passou de 10.760 para 28.300 ha, um aumento de 163%.

Grande parte deste impulso na produtividade de grãos se deve ao acesso às tecnologias hoje empregadas, como o uso de híbridos e cultivares adaptados às condições edafoclimáticas, além de boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes, corretivos e defensivos, além de sistemas conservacionistas como o sistema plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta.

Além disso, a agricultura de precisão tem sido difundida nas principais regiões produtoras do Tocantins. Porém, a tecnologia se restringe, basicamente, na coleta de solos em malhas de amostragem somente na profundidade de 0-20 cm, para confecção dos mapas de fertilidade. Poucos produtores tem utilizado técnicas como a amostragem estratificada de solo em diferentes profundidades. Além disso, no tocante ao processo de aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa variável, muitos produtores tem realizado somente para aplicação de calcário.

O sistema de produção atualmente empregado na quase totalidade das regiões produtoras baseia-se na soja no verão, milho no outono-primavera, seguido de preparo convencional antecedendo a semeadura da safra seguinte. Este manejo tem causado restrições químicas, físicas e biológicas do solo, de tal forma que a produtividade média da cultura granífera encontra-se aquém do restante das regiões com as mesmas características edafoclimáticas. Nas pastagens, o clima, aliado também à baixa fertilidade dos solos e a não reposição nutricional ao longo da exploração das espécies, têm inviabilizado a atividade pecuária. O milho, como cultura de outono-primavera, tem baixa produtividade de matéria seca não só

em virtude das condições climáticas desfavoráveis ao seu desenvolvimento, mas também pelo fato do baixo valor cultural de suas sementes, uma vez que muitos agricultores realizam a colheita de grãos desta espécie de cobertura antecedendo o preparo da próxima safra de soja. A fim de se alcançar maiores produtividades em solos de baixo nível de fertilidade, a literatura sugere várias medidas, desde o cultivo de espécies adaptadas a solos de baixa fertilidade, à correção do solo através das práticas de calagem e adubação, sendo a melhor opção a que possa se assemelhar ao nível tecnológico e econômico do produtor. A adoção de tecnologias, como a agricultura de precisão, apresentam incrementos significativos na região produtoras de grãos, porém, ainda necessitam de ajustes em função das características regionais. Grande parte dos produtores tem acesso a informações sobre os benefícios da agricultura de precisão, porém, ainda encontram muitas dificuldades na sua adoção. Entre as principais, o alto custo dos equipamentos e a complexidade de softwares fazem com que muitos produtores passem para empresas privadas o levantamento das informações georreferenciadas. Para os prestadores de serviço em AP, embora em franca expansão, a dificuldade no acesso ao crédito para aquisição dos maquinários e dos equipamentos limitam o seu crescimento e, por conseguinte, a tecnologia restringe-se a poucos recursos oferecidos. De acordo com Mandel, Lawes e Robertson (2010), embora muitos produtores tenham adotado com sucesso a agricultura de precisão (AP), não há informação suficiente para interpretação de vários mapas obtidos de um mesmo talhão. Técnicos ligados ao setor de AP e consultores não conseguem estabelecer critérios de recomendação e/ou análise espacial de resultados quando os mapas são interpolados e, desta forma, a AP acaba sendo uma tecnologia empregada apenas para análise in situ. Como conclusão de sua pesquisa, grande parte dos produtores demonstraram certa frustração na continuidade do uso da AP, tornando-se essencial o papel da pesquisa, principalmente, no levantamento de estudos-de-caso para munir agricultores, consultores e fornecedores de hardware de informações dos

problemas enfrentados no estabelecimento de um sistema de AP e como o setor de pesquisa pode ser um forte aliado para o terceiro setor na busca por inovações.

Em países que utilizam a AP em larga, as instituições de ensino e pesquisa atuam como interlocutores no levantamento de demandas tanto pelos produtores como pela iniciativa privada. Os levantamentos servem como um banco de dados para futuras pesquisas e inovações e, além disso, busca-se munir os agricultores com resultados que sejam factíveis de sua realidade. Para as empresas privadas, estes levantamentos são indicativos para solucionar possíveis barreiras na utilização de softwares e de equipamentos, de tal forma que possam aos seus clientes serviços diferenciados, que atendam as reais necessidades e possibilite o fácil acesso da AP nas mais variadas condições. No levantamento das perspectivas e questões da AP na Austrália, Mandel, Lawes e Robertson (2010) observaram que o custo da tecnologia foi de menor importância e não o fator primordial para a adoção por parte dos agricultores, porém, a falta de suporte técnico e a complexidade de softwares e equipamentos foi levantado como dificuldades por muitos usuários.

Levantamento realizado por Winstead et al. (2009) demonstram que, das áreas colhidas de milho (28%) e soja (22%) nos anos de 2005 e 2002, respectivamente, já utilizavam monitor de colheita para levantamento de informações georreferenciadas para tomada de decisão no manejo da cultura. Muito do sucesso da AP nos principais estados produtores dos EUA se deve ao acesso rápido e constante de informações pelos produtores. Segundo os autores, nos estados da Flórida e Alabama, 80% dos produtores tem acesso à internet de alta velocidade, mas somente 14% utilizam a internet como ferramenta para obtenção de informações relativas a AP, demonstrando o potencial que ainda pode ser explorado pela iniciativa privada no tocante ao fornecimento de novas tecnologias e informações. Porém, os agricultores entrevistados levantaram a importância de novos estudos e do envolvimento constante das instituições de ensino e pesquisa no levantamento de demandas e de transferência de tecnologia

como forma de troca de experiências entre as diferentes regiões produtoras, proporcionando o aprimoramento do sistema produtivo na busca pelo uso mais eficiente dos recursos, aliado a recursos tecnológicos.

No Brasil, os levantamentos realizados a cada safra focam somente nas tecnologias empregadas no tocante ao sistema de manejo do solo, cultivares e adubações. Informações sobre tecnologias para uso eficiente de recursos utilizando tecnologias como a AP são escassas na literatura. Embora amplamente difundida, não há uma base de dados para consulta sobre a representatividade da AP no incremento de produção das principais culturas graníferas. Além disso, inexistem informações levantadas junto aos produtores sobre as dificuldades na adoção e continuidade do uso da AP, e que poderiam servir como instrumento para empresas do setor privado na busca por novas tecnologias ou na prestação de serviços.

Desta maneira, o presente levantamento contribuirá para a identificação das dificuldades encontradas no campo pelos produtores, verificar as soluções que os mesmos estão adotando para superá-las, e por fim, dar subsídios para o grupo conhecer essas dificuldades e estabelecer linhas de pesquisa que venham auxiliar na superação dos desafios, incrementando, assim, o desenvolvimento regional através de tecnologias aplicadas na agricultura de precisão.

2. Material e métodos

O trabalho terá início a partir da coleta de informações dos principais municípios produtores de grãos e de atividade pecuária no Estado do Tocantins. A partir deste levantamento, será realizada uma pesquisa in loco para identificação das propriedades rurais a serem visitadas.

Para o levantamento das informações, foram confeccionados dois questionários, um para produtores rurais que utilizam a AP e outro para empresas prestadoras de serviço. Os questionários foram elaborados a partir da metodologia de Whipker e Akridge (2009), adaptados às condições regionais.

Os questionários também foram redigidos em ferramenta digital, para encaminhamento via internet, nas regiões onde não será possível a realização das visitas. Os acessos aos questionários podem ser feitos pelos links, respectivamente, para produtores e para empresas prestadoras de serviço:

<https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dDNfcWhvSUdXUjh2NkM1VnBtT09NbWc6MQ>

<https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dG9UUG51WEhtTVZQSXJCR0ZNTVRna3c6MQ>

Estas informações serão compiladas e, com auxílio da estatística e interpretação, serão utilizadas para identificar necessidades de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Além disso, a tais informações serão repassadas aos produtores e demais segmentos da cadeia agropecuária do Estado, fortalecendo o intercâmbio e o interesse por novas pesquisas envolvendo a AP, como forma de minimizar as barreiras para imposição ao uso de novas tecnologias sob diferentes condições de uso e manejo do solo.

3. Considerações finais

Espera-se com este trabalho o levantamento de informações no tocante ao uso da AP no Estado do Tocantins, como forma de disponibilizar a todos os setores envolvidos informações para suporte na tomada de decisões, demandas por novas soluções em pesquisa, desenvolvimento e inovação, além de possibilitar a transferência de tecnologias entre as diferentes regiões produtoras do Estado. Caso o resultado seja considerado satisfatório, esta pesquisa poderá ser ampliada para outras regiões, como forma de estabelecer um banco de dados sobre o estado-da-arte da AP no Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos à Rede AP o apoio e oportunidade de divulgação do trabalho a ser iniciado pela Embrapa Pesca e Aquicultura.

Referências

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, décimo segundo levantamento, setembro 2011. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_setembro-2011.pdf>. Acesso em: 14 out. 2011.

MANDEL, R.; LAWES, R.; ROBERTSON, M. Farmer perspectives of precision agriculture in Western Australia: issues and the way forward. In: AGRONOMY CONFERENCE, 15., 2010, Lincoln, New Zealand. **Proceedings...** Lincoln, 2010.

WINSTEAD, A. T.; NORWOOD, S. H.; GRIFFIN, T. W.; RUNGE, M.; ADRIAN, A. M.; FULTON, J.; KELTON, J. **Adoption and use of precision agriculture technologies by practitioners**. Disponível em: <<http://www.aces.edu/anr>>. Acesso em: 13 out. 2011.

WHIPKER, L. D.; AKRIDGE, J. T. **Precision Agriculture Survey: the roller-coaster economy impact**. Disponível em: <<http://www.croplife.com/clmag/?storyid=1827>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

Avaliação impactos ambientais e uso do Ambitec na Rede AP: uma proposta de aplicação

Luciano Gebler^{1*}

¹ Embrapa Uva e Vinho, Estação de Fruticultura de Clima Temperado – EFCT, BR 285, km 115, CP 1513, CEP 95200-000, Vacaria, RS, Brasil

*e-mail: lugebler@cnpuv.embrapa.br; luciano.gebler@embrapa.br

Resumo: A aferição da importância dos impactos causados por uma pesquisa ou desenvolvimento de atividade científica é extremamente importante para auxiliar na orientação e eventuais correções de rumo da pesquisa. Mesmo com o desenvolvimento do sistema AMBITEC para medir o impacto das tecnologias da Embrapa, ainda há poucas ferramentas que permitam a aferição de descobertas pré-tecnológicas, sem as quais a geração da tecnologia não ocorre. É sobre este problema que este artigo pretende se debruçar rapidamente, buscando, durante a execução do projeto de Agricultura de Precisão, estabelecer, no mínimo, uma metodologia que permita aferir tais progressos.

Palavras-chave: Matrizes de impacto, metodologias de aferição.

Evaluation of environmental impacts and use Ambitec the AP Network: a proposal for application

Abstract: The importance of measuring the impacts of a research or development of scientific activity is extremely important to assist in any direction and course corrections research. Even with the development of the system AMBITEC to measure the impact of technology Embrapa, yet there are few tools that allow the measurement of pre-technological discoveries, without which the generation of technology does not occur. It is this problem that this article intends to address quickly, looking for project execution Precision Agriculture, as a minimum, a methodology to measure such progress.

keywords: Impact matrices, methods of measurement.



1. Introdução

A avaliação de impactos sócio-econômicos e ambientais em projetos da Embrapa é derivada da necessidade que a Embrapa tinha de avaliar suas unidades para prestação de contas perante a sociedade. Iniciou com a avaliação econômica somente, e, a partir de 2002, foi solicitada a alteração na metodologia, visando incluir as avaliações sociais e ambientais.

Concomitante a isto, nos anos seguintes, com a criação dos macroprogramas, houve a exigência de que os projetos passassem a ser avaliados individualmente, e não mais aqueles de escolha da unidade. Com isso, se buscava incutir a preocupação no foco de resultados, pois o sistema escolhido para esta avaliação, o sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica – AMBITEC (RODRIGUES et al., 2003; IRIAS et al., 2004), só é eficaz quando há um produto finalístico ou tecnologia, possível de ser comparada com a tecnologia anterior.

O AMBITEC é composto por uma série de indicadores que busca compreender as dimensões de análise social, econômica e ambiental, divididas em quatro categorias: a) alcance da tecnologia; b) eficiência tecnológica; c) conservação ambiental; d) Recuperação ambiental. Estas categorias se dividem em uma série de outros indicadores, na forma de um fluxograma, conforme a Figura 1. O sistema se apresenta de fácil compreensão, uma vez que analisa os impactos de forma expost, mas, ao mesmo tempo, permite orientar a pesquisa segundo uma avaliação dos impactos ex-ante, uma vez que a configuração do sistema não será alterada.

Já as atividades que não forem transformadas, pelo menos durante o âmbito deste projeto, em ações finalísticas, poderão vir a ser avaliadas por outras metodologias, como matrizes de impacto ou métodos ad hoc, dentre outros. Para tal é necessário que seja feita a escolha e adaptação ao sistema.

Portanto, há um hiato envolvendo a questão dos projetos ou atividades que tem um foco voltado ao passo intermediário, pré-finalístico, e que não serão acessados pelo usuário, impedindo a aplicação do AMBITEC. Para estes, ainda podem ser aplicados sistemas de avaliação de impacto que

atendam a necessidade de verificar e re-ordenar o foco da pesquisa, caso haja esta necessidade (LA ROVERE, 2001).

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o sistema AMBITEC aos usuários do projeto em rede de Agricultura de Precisão, demonstrando suas potencialidades e elucidando seus alcances, aplicando-o nas atividades que atingirem o status de tecnologias finalísticas e propor a aplicação de uma metodologia alternativa nas áreas ou atividades que ficarem a descoberto, buscando cumprir a demanda de avaliar o projeto de forma completa.

2. Material e métodos

O projeto em rede de Agricultura de Precisão será avaliado a fim de selecionar as atividades que resultaram em tecnologias ou processos finalísticos e separá-las daquelas que buscam resultados intermediários. Para as atividades finalísticas, será aplicado o AMBITEC segundo suas especificações (AMBITEC-Agro ou AMBITEC-Produção animal). Já para as atividades intermediárias, haverá um passo anterior à simples aplicação de sistema de AIA, que envolverá a definição do sistema de avaliação a ser utilizado. Os candidatos serão analisados segundo a finalidade da atividade em questão, sempre buscando aquele que possa reproduzir o que foi proposto pelo sistema AMBITEC. Uma vez selecionado um sistema de avaliação de impacto, as atividades não finalísticas passarão por avaliação e, em conjunto com os resultados obtidos no sistema AMBITEC será feito o relatório final do projeto.

3. Resultados e discussão

Os resultados serão numéricos, variando de valores negativos, onde são apontados os impactos negativos, até valores positivos, representados os impactos de mesmo nome, além do conjunto de impactos sem alteração, fixados com o valor zero. Com base nesta escala, a leitura será facilitada e prontamente compreensível, permitindo, inclusive, a comparação direta de importância entre eles.

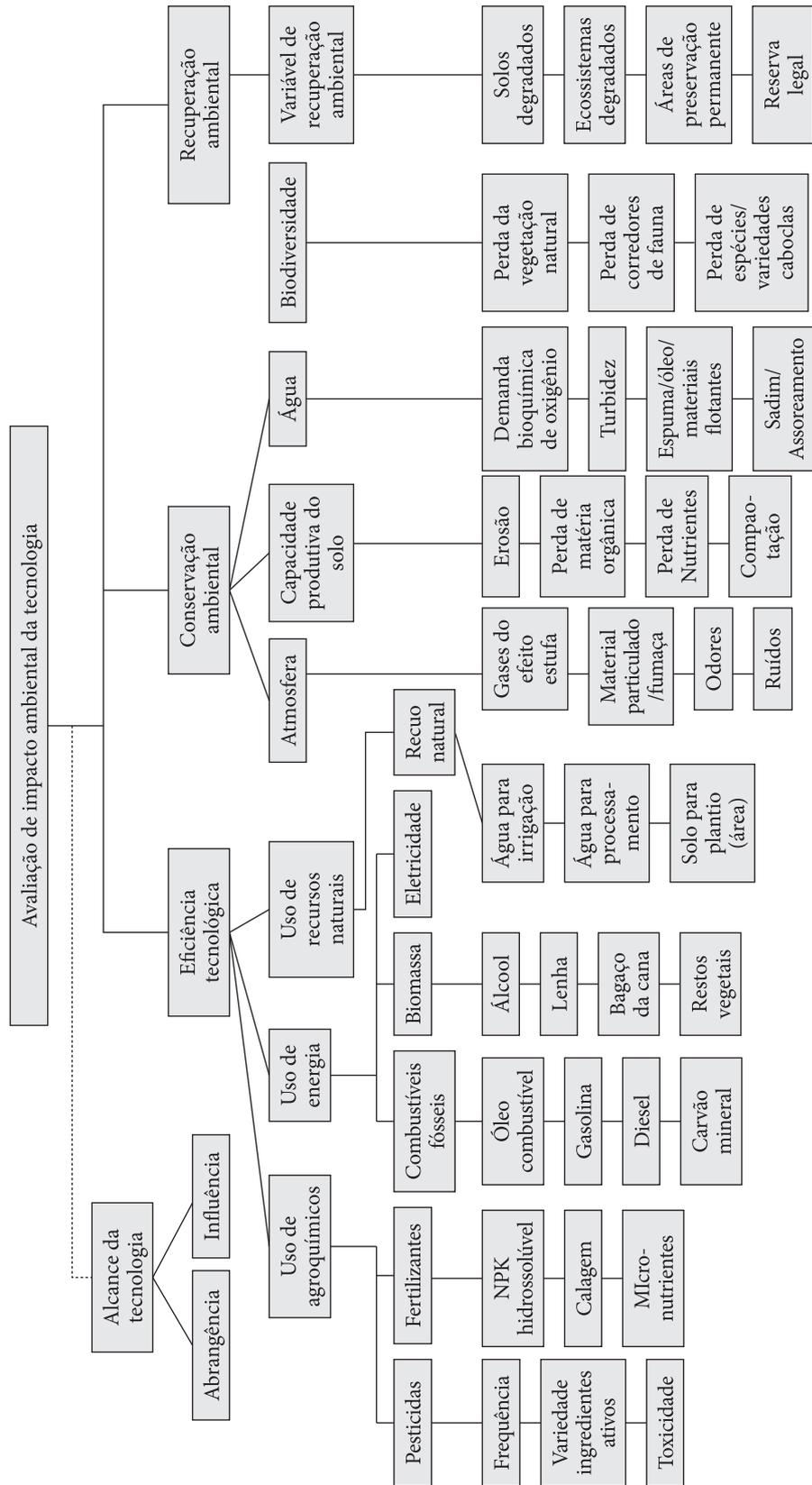


Figura 1. Estrutura do sistema AMBITEC, versão agro.

A avaliação de impacto tanto das atividades finalísticas como as intermediárias permitirá a execução do ajuste de rumo de alguns pontos do projeto, subsidiando aos participantes do mesmo, no momento da construção de uma nova proposta. Agregado a isso, a sistemática do AMBITEC auxilia na compreensão dos ganhos sociais e ambientais junto ao destinatário final ou parceiro, pois converte valores subjetivos em valores numéricos, transformando os resultados para uma escala de conhecimento concreto ao produtor.

4. Conclusões

A Avaliação de Impactos Ambientais no projeto permitirá esclarecer definitivamente o avanço que a projeto em rede de Agricultura de Precisão promoveu aos parceiros e produtores durante seu período de vigência.

Ao mesmo tempo, permitirá orientar as linhas intermediárias na geração de resultados finalísticos, que serão os resultados das ações dos futuros projetos em AP.

Referências

IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C.; RODRIGUES, I.; BUSCHUNELLI, C. C. A. **Sistema de avaliação de inovações tecnológicas nos segmentos agropecuário, produção animal e agroindústria (sistema ambitec)**. Jaguariúna: EMBRAPA/CNPMA, 2004. 8 p. (Embrapa Meio Ambiente, Circular Técnica, n. 5).

LA ROVERE, E. L. **Instrumentos de planejamento e gestão ambiental para a amazônia, cerrado e pantanal: demandas e propostas: metodologia de impacto ambiental**. Brasília: Ed. IBAMA, 2001. 54 p. (Série Meio Ambiente em Debate, n. 37).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: ambitec-agro**. Jaguariúna: EMBRAPA/CNPMA, 2003. 95 p. (Embrapa Meio Ambiente, Documentos, n. 34).

Propriedade intelectual da Rede AP: importância e estratégias - monitoramento tecnológico mundial em documentos de patentes dedicados à Agricultura de Precisão**

Sandra Protter Gouvêa^{1*}

¹ Analista de Propriedade Intelectual, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: sandra@cnpdia.embrapa.br

**MP1 Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro

Resumo: Um repositório de tecnologias em agricultura de precisão é representado pelas bases de patentes com cobertura mundial, podendo agregar até 80% do conhecimento em uma área de conhecimento via documentos exclusivos neste tipo de coleção. Aliada a ferramentas como softwares bibliométricos e estratégia de busca estruturada, a coleção e análise de pedidos de patente dedicadas à agricultura de precisão foi enfoque do presente trabalho. Produtos e processos relativos à agricultura de precisão estão em pleno crescimento. Com a presente busca e análise, foi indicada a liderança por países asiáticos, e por empresas japonesas e norte-americanas na proteção de tecnologias em Agricultura de Precisão via o processo patentário. Os setores tecnológicos mais representados são voltados à sementeira, à botânica e mudas, à análise de materiais com uso de meios ópticos e à direção de máquinas e implementos agrícolas. O emprego das ferramentas base de dados em patentes e software bibliométrico permitiu a análise de um grande número de documentos no entendimento do conhecimento e proteção patentária em Agricultura de Precisão.

Palavras-chave: análise bibliométrica, documento de patente, estratégia de busca, propriedade industrial.

Intellectual Property of the PA Network: importance and strategies – technology monitoring of patent publications dedicated to Precision Agriculture

Abstract: A technology repository dedicated to Precision Agriculture is represented by worldwide patent databases, able to gather up to 80% of documents of a certain knowledge area exclusively present at this type of collection. Allied to the use of tools as bibliometric softwares and structured search strategies, the harvesting and analysis of patent documents related to Precision Agriculture was aimed at this work. Precision Agriculture's products and processes are continuously increasing. With the present search and analysis, leadership of asiatic countries as well as japanese and north-american companies were indicated through patent protection in Precision Agriculture. The technological fields most depicted are related to sowing, botany, seedling, material analyses through optics, and agricultural machine steering. The use of tools such as patent databases and bibliometric softwares provided means for analysis of a large amount of documents applied to understanding Precision Agriculture knowledge and patent protection.

Keywords: bibliometrical analysis, industrial property, patent document, search strategy.



1. Introdução

As bases de patentes detentoras de publicações mundiais podem representar até 80% de conhecimento tecnológico mundial exclusivo neste tipo de coleção. Pelo monitoramento tecnológico de pedidos de patente em certo assunto de interesse, é possível ter um mapeamento de competências (*quem, o que, quando e onde*) e de fronteira do conhecimento em áreas tecnológicas com estratégia em proteção patentária. Ferramentas representadas por essas bases de patentes mundiais, aliadas a softwares bibliométricos e estratégia estruturada de busca são imprescindíveis na recuperação e tratamento de um grande volume de informação. Deste modo, é tornada mais ampla e completa a definição do estado da técnica em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. O levantamento deste tipo de conhecimento também é estratégico na decisão de proteger tecnologias via patenteamento de novos resultados. Ainda, são vantagens reconhecidas da prática de monitoramento tecnológico em bases de patentes: reorientar pesquisas e recursos humanos em caso de duplicidade de esforços; decidir pela proteção patentária de produtos e processos resultantes da pesquisa; evitar contrafação de direitos de terceiros; explorar tecnologias já em domínio público; conhecer inovações e tendências de competidores; planejar negociações, licenciamentos, aquisição de tecnologias e parcerias tecnológicas; identificar tendências chave em setores tecnológicos específicos e de interesse público, para provimento de base em políticas de planejamento (WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2009). O presente trabalho visa apresentar a importância da prática de monitoramento tecnológico em bases de patentes, como estratégia de gestão de resultados e de busca pelo avanço do conhecimento em agricultura de precisão.

2. Material e métodos

Como base de publicações em patentes, a Derwent Innovations Index (DII) foi utilizada, devido às características de cobertura mundial em documentos e alta flexibilidade na estruturação das

buscas. O objetivo de recuperação de informações foi dedicado a documentos que declaradamente sinalizaram ter relação com o tema agricultura de precisão. Para tanto, a estratégia de busca foi construída de forma ampla, com o uso do campo tópicos, pelo qual as palavras-chave informadas são buscadas tanto no título quanto no resumo da publicação. O símbolo * foi usado como *Wildcard* com o objetivo de recuperar variantes de radicais de palavras e como operador, foi usado *and* para recuperar resumos com ambas as palavras entre este operador. A estratégia usada foi redigida em inglês devido à língua usada na base, correspondendo a: *ts=(precision and agricultur*)*. O intervalo de tempo dos documentos recuperados foi de 1965 a 2011. Esses documentos foram exportados em arquivo txt, com todos os campos disponibilizados pela base DII. Foi usado o software bibliométrico Vantage Point (VP), versão 5.0 10506 (Search Technology, Inc.) na avaliação de campos principais de informação dos documentos de patente, como o ano de prioridade, país de depósito, nome dos depositantes e setores tecnológicos representados pela classificação internacional de patentes – CIP (GONTOW; SANTOS; INAMASU, 2005). Planilhas produzidas no software bibliométrico foram transferidas (comandos copiar e colar) ao software Excel (Microsoft Office) para a representação gráfica.

3. Resultados e discussão

Pela estratégia descrita e o uso da base DII, foram recuperados 1044 documentos em 15/09/2011. Na Figura 1 são reunidos 10 países com maior nº de pedidos na presente busca. O Brasil ocupa o 9º lugar nesta lista, liderada pelo Japão e Rússia. Na última década do estudo, é observada tendência de crescimento em depósitos de patentes relativas à agricultura de precisão (Figura 2); para o ano de 2010, a queda em quantidade é devido a pedidos ainda em sigilo (publicações não disponíveis ainda na base de patente).

Entre os dez depositantes com maior número de pedidos de patentes para a busca realizada, 8 empresas são japonesas, como a Iseki Co., e 2 empresas são norte-americanas, como a Deere

& Co. (Figura 3). Deste modo, destaca-se dentre o conjunto de dados analisados, o Japão como líder em agricultura de precisão.

A caracterização dos setores tecnológicos mais empregados no desenvolvimento de produtos e

processos relativos à agricultura de precisão pode ser avaliada via as dez classificações internacionais de patentes mais empregadas entre os documentos recuperados (Tabela 1). São os setores mais representados aqueles dedicados à sementeira,

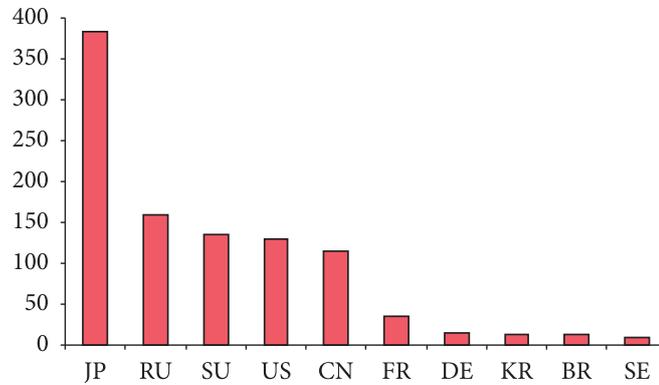


Figura 1. Países com maior número de pedidos de patente em Agricultura de Precisão para a busca realizada (de 1965 a 2009).

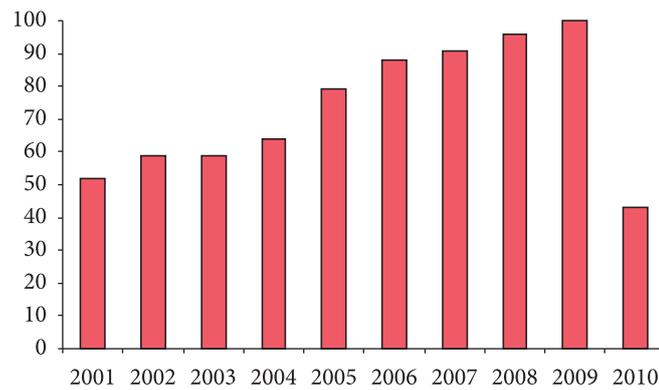


Figura 2. Número de depósitos de patente em Agricultura de Precisão por ano (última década).

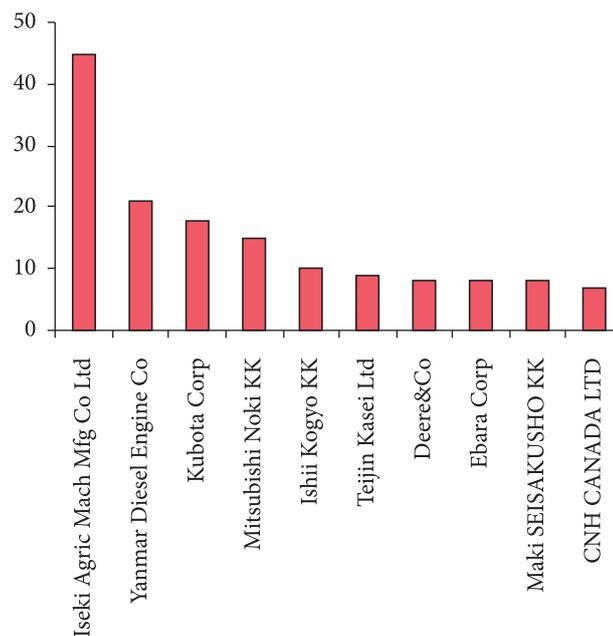


Figura 3. Depositantes com maior nº de documentos de patente em Agricultura de Precisão, para a presente busca.

Tabela 1. Caracterização de setores tecnológicos mais recorrentes entre os pedidos de patente, via descrição da Classificação Internacional de Patentes.

CIP	Setor tecnológico
A01C-007/00	Semeadura
A01C-007/04	Semeadoras para grãos isolados de cereais, com ou sem dispositivos de sucção
A01C-007/20	Peças para semeadoras para conduzir e depositar sementes
A01G-007/00	Botânica em geral
A01C-011/02	Máquinas para transplantar; para mudas
G01N-021/35	Investigação ou análise de materiais pela utilização de meios ópticos, i.e., utilizando raios infravermelhos, visíveis ou ultravioletas; Sistemas nos quais a luz incidente é modificada em concordância com as propriedades do material investigado (nas quais o material investigado é oticamente excitado, provocando uma modificação no comprimento de onda da luz incidente. Cor; Propriedades espectrais, i.e., comparação do material sobre a luz em dois ou mais comprimentos de ondas diferentes ou faixas de comprimento de ondas. Investigação do efeito relativo do material em comprimentos de ondas características de elementos ou moléculas específicas, por ex., espectrometria de absorção atômica; utilizando luz infravermelha
G01N-021/31	Investigação ou análise de materiais pela utilização de meios ópticos, i.e., utilizando raios infravermelhos, visíveis ou ultravioletas. Sistemas nos quais a luz incidente é modificada em concordância com as propriedades do material investigado (nas quais o material investigado é oticamente excitado, provocando uma modificação no comprimento de onda da luz incidente. Cor; Propriedades espectrais, i.e., comparação do material sobre a luz em dois ou mais comprimentos de ondas diferentes ou faixas de comprimento de ondas; Investigação do efeito relativo do material em comprimentos de ondas características de elementos ou moléculas específicas, por ex., espectrometria de absorção atômica
A01B-069/00	Direção de máquinas ou implementos agrícolas; Direção de máquinas ou implementos agrícolas sobre uma trilha desejada
A01B-069/04	Adaptações especiais para direção automática de tratores, por ex., sistema elétrico para aradura em curva de nível
A01C-007/08	Semeadoras a lançar; Semeadoras que depositam sementes em fileiras

à botânica e mudas, à análise de materiais com uso de meios ópticos, e à direção de máquinas e implementos agrícolas.

A avaliação de documentos de patente em assuntos mais específicos no tema Agricultura de Precisão é possível com a análise quantitativa e qualitativa de palavras e frases contidas nas seções Título e Resumo. Como exemplo, foram obtidas 325 formas de associação da palavra *precision* com outras palavras, enquanto a palavra *agriculture* foi combinada 48 vezes com outras palavras na seção Resumo dos documentos recuperados na busca. Da mesma forma, é possível recuperar documentos mais recentes nos setores tecnológicos de interesse via a CIP ou empresas/titulares de interesse, ou por busca em palavras-chave no título e resumo, tornando o emprego destas ferramentas estratégico em inteligência competitiva.

4. Conclusões

Com o monitoramento tecnológico de pedidos de patente relativos ao tema Agricultura de Precisão, por meio de base mundial de documentos e tratamento bibliométrico em software específico, foi possível:

- Caracterizar historicamente a proteção do conhecimento no tema agricultura de precisão, de forma a constatar a tendência de crescimento em P&D e proteção patentária no assunto;
- Elencar países e titulares de tecnologias protegidas com maior número de proteções via depósito de patentes com a estratégia de busca estruturada no presente trabalho;
- Descrever os setores tecnológicos aos quais pertencem as tecnologias via as classificações internacionais de patentes mais recorrentes nas publicações colecionadas;

- Constatar que o emprego das ferramentas banco de dados de patentes e software bibliométrico são promissoras na recuperação e análise de um grande número de documentos no intuito de entender o avanço da fronteira do conhecimento em Agricultura de Precisão.

Agradecimentos

O autor agradece o convite à participação no evento e no Macroprograma 1 em Agricultura de Precisão, como responsável pela atividade de

gestão de propriedade intelectual entre instituições membros e parceiros do projeto.

Referências

GONTOW, R.; SANTOS, V. V.; INAMASU, R. Y. **Núcleo de apoio ao patenteamento**: manual de procedimentos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005. 35 p.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION - WIPO. **WIPO guide to using patent information**. WIPO: Switzerland, 2010. (WIPO publication, n. L434/3(E)). Disponível em: <<http://www.wipo.int/patentscope>>. Acesso em: 24 ago. 2009.

Agricultura de Precisão como ferramenta para promoção da sustentabilidade e competitividade do agronegócio brasileiro

Izaías de Carvalho Filho^{1*}

¹ Fiscal Federal Agropecuário, Departamento de Propriedade Intelectual e Tecnologia Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

*e-mail: izaías.carvalho@agricultura.gov.br



Resumo: O fomento à Agricultura de Precisão – AP pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) iniciou-se com a criação da Coordenação de Acompanhamento e Promoção da Tecnologia Agropecuária (CAPTA) e do Departamento de Propriedade Intelectual e Tecnologia Agropecuária (DEPTA) em 2005. A missão de promover o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio em benefício da sociedade brasileira, incorporada em todas as ações da Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo (SDC), criou um ambiente favorável e inovador para o fomento da AP. Em 2007, o setor produtivo e academia, sob liderança do MAPA, uniram seus esforços e criaram o Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão (CBAP). Com caráter consultivo e propositivo, o CBAP vem buscando as soluções para os principais gargalos que restringem o desenvolvimento da AP no Brasil. Neste contexto, o MAPA busca promover a divulgação, o uso da tecnologia e o desenvolvimento de tecnologia nacional: desenvolvimento do parque de máquinas e equipamentos agrícolas adequados às necessidades brasileiras; otimização do uso de insumos e redução de perdas; escalonamento de colheita; monitoramento de qualidade e delimitação de indicações geográficas; expansão da zootecnia de precisão (indicadores e parâmetros para o bem estar animal, entre outras aplicações), da silvicultura de precisão e irrigação de precisão (gestão de recursos hídricos); desmistificação, barateamento, difusão da AP; Capacitação e atualização de agentes e setores (público e privado); promoção e participação de eventos e intercâmbios relacionados ao tema.

Palavras-chave: competitividade, impactos ambientais, inclusão tecnológica, rastreabilidade.

Precision Agriculture as a tool to promote sustainability and competitiveness of Brazilian agribusiness

Abstract: Fostering Precision Agriculture - AP Ministry of Agriculture, Livestock and Supply began with the creation of the Coordination of Monitoring and Promotion of Agricultural Technology and the Department of Intellectual Property and Agricultural Technology in 2005. The mission to promote sustainable development and competitiveness of agribusiness for the benefit of Brazilian society, incorporated in all actions of the Department of Agriculture and Cooperative Development, has created an innovative environment for the development of AP. In 2007, the productive sector and academia under the leadership of the MAPA, have joined forces and created the Brazilian Committee on Precision Agriculture - CBAP. With a consultative nature and purpose, CBAP has been seeking solutions to major bottlenecks restricting the development of AP in Brazil. Precision Agriculture is an extremely important technology platform to ensure the sustainability and competitiveness of Brazilian agribusiness, especially against the backdrop of high input costs and the need to reduce the environmental impacts caused by agricultural activity. In this context, the Ministry of Agriculture seeks to promote disclosure, the use of technology and the development of national technology: development of the park agricultural machinery and equipment appropriate to Brazilian needs, optimize the use of inputs and reduce losses, harvest scheduling, quality monitoring and delineation of geographical indications; expansion of animal precision (indicators and standards for animal welfare, among other applications), forestry accuracy and precision irrigation (water management); demystification, cheaper, diffusion of the AP; Training and update agents and sectors (public and private), promotion and participation in events and exchanges related to the topic.

Keywords: competitiveness, environmental impacts, including technology, traceability.

1. Introdução

O fomento à Agricultura de Precisão – AP pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) iniciou-se com a criação da Coordenação de Acompanhamento e Promoção da Tecnologia Agropecuária (CAPTA) e do Departamento de Propriedade Intelectual e Tecnologia Agropecuária (DEPTA) em 2005. Naquela oportunidade, as novas demandas globais e questões estratégicas foram inseridas nas competências do MAPA por um processo de reestruturação, que foi consolidado pelo Planejamento Estratégico da Instituição.

A missão de promover o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio em benefício da sociedade brasileira, incorporada em todas as ações da Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo (SDC), criou um ambiente favorável e inovador para o fomento da AP. Em 2007, o setor produtivo e academia, sob liderança do MAPA, uniram seus esforços e criaram o Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão (CBAP). Com caráter consultivo e propositivo, o CBAP vem buscando as soluções para os principais gargalos que restringem o desenvolvimento da AP no Brasil, por exemplo, pela criação de um edital específico para pesquisas na área, discussão para viabilização de cursos de capacitação técnica para técnicos e operadores de máquinas com tecnologia eletrônica embarcada, apoio à projetos que disponibilizem esta tecnologia aos produtores, principalmente aos pequenos e médios produtores.

A AP é uma plataforma tecnológica extremamente importante para garantir a competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro, sobretudo frente ao cenário de elevados custos dos insumos e da necessidade de redução dos impactos ambientais gerados pela atividade agropecuária. Constitui um conjunto de tecnologias que permite uma exploração mais racional dos sistemas produtivos, otimizando o uso dos insumos (agrotóxicos, corretivos, fertilizantes e combustíveis), reduzindo os impactos ambientais

aumentando a lucratividade e melhorando a gestão da atividade.

A existência de uma demanda clara levantada junto aos setores da pesquisa, da indústria de máquinas e equipamentos agrícolas e pelo setor de serviços, corroborada pelo Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão - CBAP evidencia a importância do fomento da tecnologia e do papel do MAPA na promoção do desenvolvimento de tecnologia nacional e redução da dependência externa.

2. Objetivos (atribuições do MAPA)

- Promover a divulgação, o uso da tecnologia e o desenvolvimento de tecnologia nacional;
- Desenvolvimento do parque de máquinas e equipamentos agrícolas adequados às necessidades brasileiras;
- Otimização do uso de insumos e redução de perdas; escalonamento de colheita; monitoramento de qualidade e delimitação de indicações geográficas;
- Expansão da zootecnia de precisão (indicadores e parâmetros para o bem estar animal, entre outras aplicações), da silvicultura de precisão e irrigação de precisão (gestão de recursos hídricos);
- Desmistificação, barateamento, difusão da AP;
- Capacitação e atualização de agentes e setores (público e privado);
- Promoção e participação de eventos e intercâmbios relacionados ao tema.
- Levantar, caracterizar e qualificar as demandas e prioridades para o fomento da AP;
- Coordenar o Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão – CBAP;
- Identificar parceiros e recursos, articular cooperação para apoiar projetos específicos;
- Impactos esperados: sustentabilidade e competitividade do Agronegócio Brasileiro, inclusão tecnológica, monitoramento dos impactos ambientais, gestão da atividade agropecuária, apoio à Defesa Agropecuária e Rastreabilidade e apoio ao bem estar animal.

3. Articulação, interlocução e cooperação

3.1. CBAP

Fórum de articulação, interlocução e proposição que envolve o MAPA (coordenador), a academia, as indústrias de máquinas e equipamentos agrícolas e setor de serviços. Criado no âmbito do Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão - SIAP em atendimento da demanda do setor (outubro 2007), tem caráter consultivo e propositivo na elaboração de políticas públicas.

3.2. Propostas do CBAP

Promover a desmistificação da AP (*elaboração de boletins e material de divulgação*), a difusão e adoção da AP (*redução do custo, desenvolvimento de tecnologia nacional*), a capacitação de recursos humanos, em todos os níveis (*de operadores a técnicos de assistência técnica e extensão rural*) e eventos de sensibilização no MAPA (*envolvendo outros ministérios - MCT, MC, MDIC, MDA*).

3.3. Fundo Setorial do Agronegócio/ Ministério da Ciência e Tecnologia

Parceria e alocação de recursos para apoio aos projetos de agricultura de precisão no País.

4. Atividades em andamento

- Levantamento de dados e informações setoriais, identificação de demandas e projetos prioritários, apresentação de subsídios ao estabelecimento de política setorial (*discussão no âmbito do CBAP*), em parceria com a Rede AP da Embrapa;
- Apoio à projetos de pesquisa em AP através do Edital nº 01/2008 FINEP/MCT/MAPA, no valor de R\$ 10.600.000,00;
- Re-edição do Boletim Técnico sobre AP, realização de Workshop sobre AP;
- Elaboração de estatísticas do setor: em parceria com Rede AP da Embrapa, Grupos de Trabalhos em AP, Academia, e empresas privadas

(fabricantes de máquinas, equipamentos, softwares e prestação de serviços), de acordo com cada segmento;

- Apoio à Grupos de Trabalho em AP: apoio à Força Tarefa Isobus – FTI, grupo de instituições que trabalham na elaboração de um padrão de comunicação eletrônica entre máquinas e implementos, sob a coordenação da Embrapa.

5. Demandas identificadas

- Capacitação de técnicos e operadores de máquinas e equipamentos com tecnologia eletrônica embarcada;
- Estruturação de programas específicos para Agricultura de Precisão junto aos NIT's (*Implementação da Lei da Inovação – envolvimento efetivo do setor privado no estabelecimento de parcerias*);
- Levantamento estatístico e estabelecimento de indicadores para AP (*estatísticas de vendas de equipamentos, área plantada, outros*);
- Ampliação do apoio financeiro à pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor (*Fundos Setoriais, BNDES, PAC C&T*);
- Apoio a projeto de transferência de tecnologia, principalmente com foco nos pequenos e médios produtores;
- Término da discussão sobre padronização eletrônica entre máquinas e equipamentos – FTI;
- Fortalecimento e estruturação do CBAP;

Nosso grande desafio é disponibilizar esta tecnologia para os pequenos e médios produtores, como ferramenta para promover a competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro, não só pelo uso racional de insumos, mas também por ser uma ferramenta importante para a gestão das atividades agropecuárias, gestão hídrica, rastreabilidade, defesa agropecuária e monitoramento dos impactos ambientais.

Algumas cooperativas do Rio Grande do Sul já oferecem este serviço para seus cooperados, Projeto Cooperativo em Agricultura de Precisão – APcoop. Segundo seus diretores é uma forma de permitir o acesso de pequenos produtores à tecnologia, uma verdadeira “inclusão tecnológica”. O APcoop

alia tecnologia (máquinas, equipamentos, eletrônica embarcada, geotecnologias, programas computacionais e pessoal especializado) com conhecimento e visa estimular a adoção da agricultura de precisão no sistema cooperativo do RS. Atualmente fazem parte deste projeto 1850 produtores, associados à 19 cooperativas, ou seja, demonstra a verdadeira “inclusão tecnológica” de pequenos e médios produtores, promovendo/propiciando uma nova forma de se “fazer agricultura”.

Estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO e da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE mostram que a população brasileira mundial poderá chegar a 8,3 bilhões de habitantes em 2030. Se considerarmos a área disponível para produção de alimentos e o número de habitantes percebemos que cada vez mais a área agricultável/habitante vai diminuir. Esse panorama nos mostra que o aumento da produtividade será fundamental para atender a demanda mundial por alimentos. Por outro lado, os mercados compradores são cada vez mais exigentes com relação à segurança alimentar, rastreabilidade, respeito ao meio ambiente, mercado justo e sistemas de produção sustentáveis e energia renovável, além das barreiras sanitárias e fitossanitárias. Considerando que poucos países no mundo têm condições de dar esta resposta à crescente demanda para produção de alimentos, o Brasil tem um grande desafio para se tornar, num prazo de 10 a 20 anos, um dos principais produtores de alimentos do mundo. Os produtores, por outro lado, dada a globalização e margens mais apertadas, serão mais exigidos em termos de competitividade e sustentabilidade. Cada vez mais nossos produtores percebem que a tomada das decisões, tanto de gestores como de operadores, por sistemas inteligentes, mais que

uma tendência, é uma questão de sobrevivência e uma necessidade.

O Agronegócio Brasileiro é responsável por 26,4% do PIB nacional, 36% das exportações brasileiras e 39% dos empregos gerados. Neste contexto, o desenvolvimento da AP, o uso de máquinas e equipamentos com tecnologia eletrônica embarcada, adaptados para a agricultura moderna é uma realidade e a demanda é cada vez maior. Dessa forma, o mercado aponta para a inovação e incorporação tecnológica como uma ferramenta fundamental para a competitividade e resposta à produção crescente de alimentos e energia renovável. A AP caminha para o uso de sensores ópticos para adubação a taxa variável em tempo real, semeadura a taxa variada, de acordo com os mapas de fertilidade e declividade do terreno, piloto automático e tráfego controlado, plantio na mesma linha aproveitando a adubação residual e permitindo a semeadura noturna, escarificação à taxa variável. Essas ferramentas contribuem para tornar as práticas agropecuárias cada vez mais sustentáveis, com decisões mais precisas e acertadas para melhor gerenciamento agropecuário. A aplicação desta tecnologia vai muito além das atividades agrícolas, pois tem um grande potencial para aplicação na área de zootecnia, principalmente na gestão e manejo para bem estar animal, na gestão hídrica (irrigação de precisão), na silvicultura, como apoio às ações de defesa agropecuária e rastreabilidade e monitoramento dos impactos ambientais. Esses conceitos já são usados há algum tempo na agricultura, mas na produção animal ainda são poucos difundidos e tem um grande potencial se considerarmos a participação brasileira nos mercados mundiais de carne de frango e suínos. Poderia trazer grandes incrementos na eficiência das granjas ao monitorar as respostas dos animais, aves e suínos, ao manejo visando diminuir o stress e melhorar o seu desempenho produtivo e/ou reprodutivo.



ÍNDICE DE AUTORES

A

Adilson de Oliveira Junior	153
Adolfo Posadas	82, 91
Alan Kazuo Hiraga	106
Alberto C. de Campos Bernardi	14, 31, 41, 55, 178, 261, 297
Alberto Miele	267, 277
Alexandre Ayres de Freitas	60, 314
Alexandre Moura Cintra Goulart	189
Alex de Oliveira	240, 245
Aline Segnini	91
Álvaro Vilela de Resende	14, 31, 135, 184, 189
André de Souza Tarallo	106
André Di Thommazo	51
André Leonardo Vemâncio	78
André Luiz dos Santos Furtado	240
André Rodrigo Farias	273
André Torre-Neto	115
Antonio Rioyey Higa	227
Aried de Aguiar Sá	51
Ariovaldo Luchiari Junior	60, 314
Arthur José Vieira Porto	120

B

Bruna Moreira Schrammel	222
Bruno Ricardo Silva Costa	282, 286, 290

C

Carlos Alberto Flores	267, 277
Carlos H. Kurihara	232
Carlos Manoel Pedro Vaz	14, 69
Carlos Reisser Júnior	207, 212, 217
Célia Regina Grego	46, 240, 245
Charles Martins de Oliveira	189
Christel Lingnau	227
Cinthia Cabral da Costa	307
Ciro Pavan	277

Cleber H. dos Santos	91
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues	240

D

Daiane H. Zarnott	277
Daine H. Zarnott	168
Daniel Caio de Lima	51
Débora M. B. P. Milori	78, 91
Décio Karam	110
Diego Carlos Pereira da Silva	82

E

Edemar J. Corazza	184
Edemar Joaquim Corazza	143, 148, 189
Éder Comunello	254
Edilene C. Ferreira	91
Edilson Batista de Oliveira	227, 232
Edilson Pepino Fragalle	14, 31, 297, 303
Ednaldo J. Ferreira	78, 91
Eduardo Antonio Speranza	46
Elisandra Solange Oliveira Bortolon	60
Emerson Borghi	60, 314

F

Fabiano Fruett	87
Fabio Álvares de Oliveira	138, 153, 173
Flavio Jesus Wruck	173
Flávio Luiz Carpena Carvalho	207, 212, 217
Francisco Assis da Silva	106

G

Gilvan Barbosa Ferreira	162
Giovana Maranhão Bettiol	178, 261
Giovani Theisen	168
Gustavo Rodrigues Toniolo	273

H

Heitor Vinicius Mercaldi	96
Heitor V. Mercaldi	101



Henrique Debiassi	138, 153, 157, 173	Luciano Gebler	222, 319
Henrique Levien	168, 277	Luciano S. Shiratsuchi	184
I			
Itamar Antonio Bognola	227, 232, 235	Lúcio André de Castro Jorge	14, 51, 82, 106
Izaias de Carvalho Filho	328	Luís Carlos Timm	207, 212, 217
J			
Jamir L. Silva da Silva	168	Luís Henrique Bassoi	14, 31, 205, 282, 286, 290
Joana Bresolin	78	Luziane Franciscón	232
João Camargo Neto	69	M	
João de Mendonça Naime	14, 31, 41, 69	Marcelo C. B. Cardinali	78
João Henrique Zonta	162	Marcelo L. Simões	91
Joaquim José Martins Guilhoto	307	Marcos Corrêa Neves	249
John F. Shanahan	184	Marcos David Ferreira	87
Jorge Ricardo Ducati	273	Maria de Fátima Guimarães	143, 148
José da Cunha Medeiros	162	Maria Stela Veludo de Paiva	82, 106
José Francirlei de Oliveira	143, 148	Marília Alves Brito Pinto	168
José Francisco Martins Pereira	207, 212, 217	Marina de Fátima Vilela	14, 31, 135, 189
José Maria B. Parfitt	168	Marina F. Vilela	184
José Maria Filippini Alba	168, 267, 277	Mário L. Fochesato	277
José Paulo Molin	41	Marlon Gomes da Rocha	290
Josiléia Acordi Zanatta	254	Marta Eichemberger Ummus	60
Juliana Freitas-Astúa	78	Michely Tomazi	254
Juliano Athayde Silva	282, 286, 290	Murilo Nicolau	87
Júlio Cesar Salton	254	N	
Julio Cezar Franchini	138, 157, 173	Naylor Bastiani Perez	14, 31, 205, 249
Julio Franchini	153	O	
Junior Cesar Avanzi	60, 314	Osmir José Lavoranti	227
K			
Kleber R. Felizardo	101	P	
Kleber Romero Felizardo	96	Patricia dos Santos Nascimento	282, 286, 290
L			
Ladislau Marcelino Rabello	41, 55, 46, 245, 290	Paulino Ribeiro Villas Boas	91
Ladislau Martin-Neto	91	Paulino Villas Boas	78
Ladislau Rabello	178, 254, 261	Paulo E. Cruvinel	96, 101, 110
Leandro Bochi da Silva Volk	249	Pedro Pavan	51
Leandro Bortolon	60, 314	Poliana Cristina Spricigo	87
Leonardo Alves Martins	249	Polyana Kelly Martins	78
Leonardo Ribeiro Queiros	14, 31, 46	R	
Lorena Stolle	227, 235	Rafael V. de Sousa	126
Lúcia E. Coelho da Cruz	168	Raquel Ghini	115



Renan A. Romano	91	Sidney Rosa Vieira	245
Ricardo Y. Inamasu	14, 51, 31, 41, 60, 82, 120, 126, 178, 261, 297, 314	Stanislas Mayi III	143, 148
Richard B. Ferguson	184	T	
Robélio Leandro Marchão	143, 148, 189	Thiago Martins Machado	138, 153
Robson R. D. Pereira	126	V	
Rodison Natividade Sisti	249	Viacheslav I. Adamchuk	184
Ronaldo P. de Oliveira	55, 194	Vilma Alves de Oliveira	96, 101
Ronei Sandri Sana	162	Vinicius de M. Benites	194
Rosemary Hoff	273	Vinicius Valls	51
Rubens Andre Tabile	120	Viviane Santos Silva Terra	207, 212, 217
S		W	
Sandra Furlan Nogueira	240	Waldir Pereira Dias	157
Sandra Protter Gouvêa	323	Wellington C. Lopes	126
Sandro C. Hurtado	184	Wilson Correa da Fonseca Júnior	303
Sandro Manuel Carmelino Hurtado	143, 148, 189	Wilson T. L. da Silva	91
Sandro Roberto Brancalião	240, 245	Z	
Shizuo Maeda	232	Ziany Neiva Brandão	46, 162