

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes



Tese

**Variabilidade espacial da produtividade, qualidade fisiológica e
rastreabilidade em campo de produção de semente de soja**

Alexandre Gazolla Neto

Pelotas
Rio Grande do Sul - Brasil
Fevereiro de 2015

Alexandre Gazolla Neto

**Variabilidade espacial da produtividade, qualidade fisiológica e rastreabilidade
em campo de produção de semente de soja**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Tecnologia de Sementes da
Universidade Federal de Pelotas, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

Co-Orientadores:

Prof^a. Dra. Gizele Ingrid Gadotti

Prof. Silmar Teichert Peske, Ph.D.

Pelotas

Rio Grande do Sul - Brasil

Fevereiro de 2015

Catálogo na fonte

Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

G291v Gazolla Neto, Alexandre

Variabilidade espacial da produtividade, qualidade fisiológica e rastreabilidade em campo de produção de semente de soja / Alexandre Gazolla Neto; orientador Francisco Amaral Villela; coorientadores Gizele Ingrid Gadotti e Silmar Teichert Peske. - Pelotas, 2015.

60 f. :il

Tese (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

1. *Glycine max* (L.) Merrill, 2. Agricultura de precisão 3. Gestão de informações 4. Controle de qualidade 5. Sementes rastreadas I. Villela, Francisco Amaral (orientador) II. Título

CDD 633.34

Universidade Federal de Pelotas

Alexandre Gazolla Neto

**Variabilidade espacial da produtividade, qualidade fisiológica e rastreabilidade
em campo de produção de semente de soja**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Tecnologia de Sementes da
Universidade Federal de Pelotas, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela
(Orientador)

Prof^a. Dra. Gizele Ingrid Gadotti
(Co-Orientadora)

Prof. Ph.D. Silmar Teichert Peske
(Co-Orientador)

Ph.D. José de Barros Franca Neto

Dr. Nilson Matheus Mattioni

Dra. Jucilayne Fernandes Vieira

DEDICATÓRIA

À minha família, minha filha Mariana, minha esposa Milene, meus pais Luciano e Genoefa e aos meus irmãos Marcio, Márcia e Marcos, pessoas que amo e admiro.

A todos os poucos e fiéis amigos, que sempre estiveram juntos nesta longa caminhada.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo.

Aos meus pais Luciano e Genoefa, pelo amor, dedicação e apoio incessante. Eles que nunca tiveram oportunidade de estudar, mas sempre lutaram para que seus filhos pudessem. O exemplo de luta e caráter me ensinou a buscar ser sempre, uma pessoa melhor.

Aos meus irmãos Márcio, Márcia e Marcos, pelo carinho e companheirismo que foram essenciais durante esses anos.

À minha esposa **Milene Soares Netto**, pela paciência, compreensão e dedicação.

À minha filha **Mariana Netto Gazolla**, um verdadeiro presente de Deus.

Ao amigo e professor **Francisco Amaral Villela**, pela amizade, orientação, compreensão e companheirismo nestes quatro anos.

Ao amigo e professor **Silmar Teichert Peske**, que sempre me apoiou buscando soluções práticas e simples onde aparentemente não existiam soluções.

À amiga e co-orientadora professora **Gizele Ingrid Gadotti**, pelas inúmeras contribuições.

À colega de doutorado **Marciabela Fernandes Correa** e aos alunos que participaram ativamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa: **Bruna Christofari Ceolin, Rafael de Oliveira Vergara e Aline Duarte Gomes** meus mais sinceros agradecimentos.

Aos amigos que acompanharam diariamente meus acertos e erros e que, de alguma forma, souberam incentivar meu desenvolvimento pessoal.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante o doutorado.

À Empresa O AGRO SOFTWARES PARA O AGRONEGÓCIO LTDA, pelo apoio no desenvolvimento do software Sementes Rastreadas.

A toda equipe da Sementes Lannes, em especial ao amigo **Daniel Azevedo Lanes**, pela oportunidade de realização de parte desta pesquisa em áreas de produção de sementes da empresa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
LITERATURA CITADA	6
 ARTIGO I - Espacialização dos atributos químicos do solo e do rendimento em campo de sementes de soja.....	 9
Resumo.....	9
Abstract.....	10
Introdução.....	11
Material e métodos.....	12
Resultados e discussão.....	16
Conclusões.....	25
Referências	25
 ARTIGO II - Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção.....	 29
Resumo.....	29
Abstract.....	30
Introdução.....	31
Material e métodos.....	32
Resultados e discussão.....	34
Conclusões.....	39
Referências.....	39
 ARTIGO III - Rastreabilidade associada a técnicas de agricultura de precisão no controle de qualidade de sementes de soja em campos de produção.....	 43
Resumo.....	43
Abstract.....	44
Introdução.....	45
Material e métodos.....	46

Resultados e discussão.....	49
Conclusão.....	55
Referências.....	56
Considerações gerais.....	59

RESUMO

GAZOLLA-NETO, Alexandre. Universidade Federal de Pelotas, Fevereiro de 2015. **Variabilidade espacial da produtividade, qualidade fisiológica e rastreabilidade em campo de produção de semente de soja.** Orientador: Prof. Dr. Francisco Amaral Villela.

O trabalho foi conduzido num campo de produção de sementes de soja, cultivar TEC 5936 IPRO, no município de São Gabriel - RS, numa área de 39 hectares, na safra 2012/2013, com o objetivo de avaliar a distribuição espacial da produtividade e qualidade de sementes de soja, com auxílio da rastreabilidade. Nos artigos 1 e 2 são apresentados os resultados das avaliações realizadas no campo de produção com o objetivo de identificar a ocorrência de variabilidade relacionada à produtividade e à qualidade fisiológica de sementes de soja. O artigo 3 apresenta uma inter-relação entre os atributos da qualidade fisiológica e a rastreabilidade. As avaliações foram realizadas a partir de um grid de amostragem georeferenciado no campo de produção. Foram avaliados para as sementes, a germinação, velocidade de germinação, coeficiente de velocidade de germinação, comprimento e massa seca de plântulas, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas, velocidade de emergência, vigor, viabilidade, dano por percevejo e umidade pelo teste de tetrazólio, viabilidade pelo teste do pH do exsudato, produtividade, massa de mil sementes e número de sementes e para as características do solo, matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, manganês e zinco. Uma malha de amostragem georreferenciada com espaçamento de 100 metros entre pontos apresenta eficiência na avaliação da variabilidade espacial da produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja. A produtividade e a qualidade fisiológica em um campo de produção de sementes de soja não são uniformes, particularmente em relação ao vigor, proporcionando melhor diagnóstico por meio de mapas de interpolação. A associação entre técnicas de agricultura de precisão com a finalidade de avaliação da distribuição espacial da qualidade fisiológica integradas à rastreabilidade são adaptáveis e viáveis de aplicação em empresas produtoras de sementes.

Palavras chave: *Glycine max* (L.) Merrill, agricultura de precisão, gestão de informações, controle de qualidade, sementes rastreadas.

ABSTRACT

GAZOLLA-NETO, Alexandre. Federal University of Pelotas, February 2015. **Spatial variability of yield, seed quality and traceability of soybean field**. Advisor: Prof. Dr. Francisco Amaral Villela.

The work was performed in a seed production field in the municipality of São Gabriel-RS, in an area totaling 39 hectares in the crop season 2012/2013 and the cultivar used in the experiment was TEC 5936 IPRO. The objective of this work was to assess the spatial distribution of productivity and soybean seed quality using traceability. Papers 1 and 2 shows the results of the assessments performed in the production field in order to identify the occurrence of variability related to productivity and physiological quality of soybean seeds. Paper 3 provides the relationship between physiological quality attributes and traceability. The evaluations were performed from georeferenced sampling grid in the production field. The following tests were performed: seed germination, first count of germination, germination rate, coefficient of the rate of germination, length and dry matter of seedlings, accelerated aging, seedling emergence, emergence speed, vigor, viability and damage caused by stink bug and moisture using tetrazolium test, viability by exudate pH test, productivity, thousand seeds weight and number of seeds, organic matter, pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, boron, manganese and zinc. Grid of one point per hectare and a network of georeferenced sampling spacing of 100m between points present efficiency to assess the spatial variability of yield and physiological quality of soybean seeds. Productivity and physiological quality of soybean seed in a production field is not uniform, particularly with respect to its vigor, therefore, maps through interpolation can be used to provide better diagnosis. The association between precision agriculture techniques in order to evaluate the spatial distribution of physiological seed quality and traceability are adaptable and viable management tool to be used by seed companies.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill, precision agriculture, information management, quality control, tracking seeds.

INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill], espécie originária da China, é considerada a Fabaceae líder em produção e consumo em todo o mundo. Os altos teores de óleo (20%) e proteína (40%), somados aos níveis de produtividade de grãos (em média 2.5 t.ha⁻¹) nos mais diversos ambientes, faz desta uma das espécies mais importantes em todo mundo. Atualmente é a principal fonte de proteína de origem vegetal destinada à alimentação humana e animal, óleos e carboidratos utilizados como matéria prima na elaboração de ampla gama de produtos industrializados, constituindo-se como commodity de elevada importância social, econômica e comercial.

O crescimento da população mundial evidencia a necessidade do aumento na produção de sementes com vistas a suprir a demanda da produção de grãos. Neste contexto, o emprego de técnicas modernas, aliado a incorporação de novas áreas de cultivo e do estudo, desenvolvimento e melhoria de potenciais genéticos e fisiológicos das cultivares aliando à utilização de adequadas práticas culturais e especialmente da elaboração de programa específico com vistas ao aumento da produtividade agrícola, maximizando áreas de produção já existentes (Peske et al., 2012).

O uso de sementes certificadas é a base da pirâmide produtiva. Na safra 2012/2013, a taxa brasileira de utilização de sementes de soja foi de 64%, frente a uma demanda potencial de 1.662.912 t. Todavia, no estado do Rio Grande do Sul, a taxa de utilização de sementes de soja nesta mesma safra foi de 31% e a demanda potencial atingiu 254.023 t de sementes (Abrasem, 2013).

Na safra 2013/2014, a produção brasileira de grãos de soja chegou 86,2 milhões de toneladas, com uma área cultivada de 30,2 milhões de hectares e uma produtividade média de 2.854 kg.ha⁻¹ (Conab, 2014a). A estimativa da área cultivada com soja na safra 2014/2015 é de 31.698 milhões de hectares, que corresponde a um crescimento de 1.498 mil hectares sobre a área semeada na safra 2013/2014 (Conab, 2014b).

Durante as últimas décadas, o interesse em desenvolver técnicas apropriadas para obter melhores informações sobre as culturas tem sido tópico central de pesquisas (Dell'aquila, 2009). No âmbito nacional, a avaliação dos efeitos do

potencial fisiológico das sementes de soja sobre o estabelecimento e desempenho de plântulas em condições de campo é extremamente relevante, devido à importância dessa cultura no contexto do agronegócio e da economia brasileira (Schuch et al., 2009).

A utilização de sementes de soja com alto potencial fisiológico é fundamental para manutenção do negócio de sementes no Brasil e aspecto central para o aumento da produtividade dessa cultura. Neste contexto, o controle de qualidade de sementes deve ser cada vez mais eficiente, incluindo testes que avaliem rapidamente o potencial fisiológico e que permitam diferenciação precisa entre lotes (Fessel et al., 2010; Munizzi et al., 2010). Associado ao controle de qualidade deve haver uma eficiente plataforma de gestão de informações e qualidade, permitindo a tomada de decisão com rapidez, eficiência e precisão.

A qualidade de sementes pode ser definida como um conjunto de características que determinam seu valor para a semeadura, indicando que o seu potencial de desempenho somente poderá ser identificado, de maneira consistente, se for considerada a interação dos atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária (Marcos Filho, 2005).

Os campos de produção de sementes exigem maior cuidado no que tange ao controle de plantas daninhas, à pureza varietal e ao controle de pragas e doenças. Sementes com baixa qualidade fisiológica e sanitária refletem em problemas de comercialização por resultar na reprovação de lotes ou mesmo de todo o campo de produção. Tal ocorrência proporciona desperdício de recursos naturais, físicos e financeiros devido aos elevados custos de implantação e do manejo diferenciado da lavoura, visando garantir a produção de sementes de qualidade superior (Carvalho e Nakagawa, 2000; Mestas et al., 2000).

A produção de sementes com qualidade superior muitas vezes é limitada por um conjunto de fatores bióticos e abióticos que interagem limitando a exploração de áreas destinadas a produção de sementes. Segundo BARNI et al. (1995), a investigação dos limites de produtividade contribui para a identificação das variáveis ambientais responsáveis pelo desempenho final da cultura e para ressaltar em cada nível a limitação imposta à expressão da máxima produtividade.

O emprego de avaliações quantitativas e qualitativas de fatores bióticos e abióticos responsáveis pela expressão espacial da qualidade fisiológica de sementes nos campos de produção passa por um sistema de produção, conduzido

de forma integrada e com rastreabilidade de todas as operações envolvidas no processo produtivo.

Os mapas de distribuição espacial das características do solo mostram a acentuada variabilidade de ambiente que as plantas podem encontrar em uma lavoura (Mondo et al., 2012). A produção vegetal está dependente de várias características genéticas e ambientais, que podem produzir características fenotípicas distintas a partir de um mesmo material genético. Frente a isso é importante identificar a ocorrência da variabilidade espacial da qualidade fisiológica das sementes no campo de produção no momento da colheita.

Segundo Mattioni et al. (2011), a variabilidade representada por mapas de interpolação é uma ferramenta de gestão de qualidade de sementes que permite a definição de áreas a serem colhidas e descartadas dentro de um campo de produção.

A máxima qualidade fisiológica das sementes de soja é alcançada por ocasião da maturidade fisiológica, período que coincide com o máximo acúmulo de matéria seca, vigor e germinação. Todas as condições desfavoráveis enfrentadas pelas plantas durante a maturação das sementes (estresse hídrico e térmico, ação de insetos e patógenos) podem afetar a qualidade das sementes; e aquelas enfrentadas pelas sementes durante a etapa de pré colheita (altas temperaturas, alta umidade relativa do ar, ataque de percevejos e patógenos), de colheita (momento e umidade adequados, sistema de trilha e velocidade de colheita) e de pós colheita (secagem, beneficiamento e condições de armazenamento) podem contribuir para aumentar a velocidade e intensidade da deterioração, mesmo que ocorra a atividade de mecanismos de reparo a fim de retardar o declínio do desempenho (Ávila e Albrecht, 2010).

No Brasil, em algumas regiões, observa-se a ocorrência de condições climáticas desfavoráveis durante a fase final de maturação. Frequentemente, o excesso de chuvas associado à ocorrência de altas temperaturas nessa fase, ocasionam sérios danos à produção de sementes, as quais, além do processo de deterioração fisiológica, causado pelas flutuações do grau de umidade, apresentam altos índices de infecção, causados principalmente por fungos, que acompanharão as sementes até o momento da germinação no campo (Costa et al., 1995).

O estabelecimento do melhor momento para colheita aliado ao conhecimento de subáreas dentro de um campo de produção com sementes de qualidade superior

é o desafio atual para pesquisadores e produtores de sementes. Associado à necessidade dos produtores em produzir sementes com alta qualidade física, fisiológica e sanitária, está a comercialização. Ações de marketing e estratégias de diferenciação são cada vez mais comuns neste setor.

Para Lanini (2003), atualmente, a gestão, a normatização e a padronização das informações permitem otimizar a função logística, representando a rastreabilidade dos produtos na nova fronteira da competição global.

Ainda que os atributos aparência, preço e qualidade fisiológica sejam majoritários na tomada de decisão para a aquisição de produtos, há forte tendência mundial para a diferenciação, incluindo novas variáveis, como por exemplo, comprometimento com a sustentabilidade ambiental, segurança, saúde do trabalhador e consumidor, além da responsabilidade social. Esses requisitos já são fundamentais para o credenciamento e inserção de agentes do agronegócio no mercado.

A possibilidade de inserir informações detalhadas sobre a origem e as características dos produtos, distribuídos de acordo com lotes homogêneos nas várias etapas da cadeia produtiva tornou-se importante instrumento de vantagem comercial, constituindo-se para a empresa numa condição essencial para responder às exigências dos consumidores (Qjan et al., 2012; Fenga et al., 2013).

Neste ambiente de permanente reorganização e evolução, surge a rastreabilidade de sementes, com a possibilidade de registrar e transferir informações detalhadas sobre a origem, qualidade, informações técnicas e histórico de produção nas diversas etapas da cadeia produtiva de sementes, atuando como instrumento de gestão da qualidade, marketing e transparência para os consumidores, constituindo-se para a empresa, numa condição essencial, para responder às crescentes exigências do mercado (Gazolla et al., 2012).

A gestão central das informações no decorrer do processo de produção de sementes exige uma coordenação de ações de diferentes profissionais em todas as etapas. A cada etapa, a classificação e a caracterização do material prepara os técnicos e a estrutura da etapa seguinte, para que as futuras sementes sejam tratadas de forma a manter a qualidade obtida no campo em todas as fases do processo. Assim, é possível selecionar os melhores lotes e descartar aqueles que apresentem baixas qualidades física, fisiológica e sanitária (Gazolla, 2011).

A associação entre técnicas de agricultura de precisão com a finalidade de avaliação da distribuição espacial dos componentes da qualidade integradas à rastreabilidade atua como ferramenta central de gestão de informações na produção de sementes, podendo ser utilizada visando: a) criação de mapas de espacialização para os componentes da qualidade fisiológica; b) definição de regiões dentro do campo de produção com sementes de alto e baixo vigor; c) transparência na cadeia produtiva; d) disponibilização de informações chaves do processo produtivo aos clientes (Gazolla e Gadotti, 2014).

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição espacial da produtividade e qualidade de sementes de soja, com auxílio da rastreabilidade.

LITERATURA CITADA

Associação Brasileira de Sementes e Mudanças - ABRASEM. **Anuário 2013**. p. 64, 2013.

ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja. **Informativo ABRATES**, v. 20, n. 1,2, p. 15-20, 2010.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, n.2, p.201-216, 1995.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Levantamentos de safra: 12º levantamento de grãos - Setembro/2014a**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_gaos_setembro_2014.pdf. Acesso em: 11 de Novembro de 2014.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Levantamentos de safra: 2º levantamento de grãos - Novembro/2014b**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_11_11_08_50_51_boletim_gaos_novembro_2014.pdf. Acesso em: 11 de Novembro 2014.

COSTA, N. P.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CABRAL, N. T.; MENDES, M. C. Efeito da época de semeadura sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 17, n. 1, p. 107-112, 1995.

DELL'AQUILA, A. Development of novel techniques in conditioning, testing and sorting seed physiological quality. **Seed Science and Technology**, v.37, n.3, p.608-624, 2009.

FENGA, JIANYING.; FUA, ZETIAN.; WANGB, ZAIQIONG.; XUC, MARK.; ZHANGB, XIAOSHUAN. Development and evaluation on a RFID-based traceability system for cattle/beef quality safety in China. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.31, n.2, p.314-325, 2013.

FESSEL, S. A.; PANOBIANCO, M.; SOUZA, C. R.; VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. **Bragantia**, v.69, n.1, p.207-214, 2010.

GAZOLLA-NETO, A.; Rastreabilidade na cadeia produtiva de sementes: como forma de garantia de origem e qualidade. **Revista SEED News**, v. 15, n.4, p. 12-13, 2011.

GAZOLLA-NETO, A.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; LEVINSKI, P.; FONSECA, F. R.; PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; **Rastreabilidade aplicada à produção de sementes de soja**. Informativo ABRATES, v.22, n.2, p.20-24, 2012.

GAZOLLA-NETO, A.; GADOTTI, G. I. **Estratégias para gestão de informações na produção de sementes**. Revista SEED News, n.5, p.16-18, 2014.

LANINI, L. Rintracciabilità delle merci e tecnologia dell'informazione, i nuovi servizi della logistica. **Rivista di Frutticoltura e di Orticoltura**, v.65, p.11-12, 2003.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MATTIONI, N.M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.608-615, 2011.

MESTAS, R.M.; ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; BIZARY, D.R.; PAZ, A. Variabilidad espacial de los atributos físico-hídricos del suelo y de la productividad del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado bajo un sistema de siembra directa. **Revista de Ciências Agrárias**, v.33 n.1, p.307-313, 2010.

MONDO, V.H.V.; JUNIOR, F.G.G.; PINTO, T.L.F.; MARCHI, J.L.; MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P.; CICERO, S.M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.2, p.193-201, 2012.

MUNIZZI, A; BRACCINI.; A.L.; RANGEL, MA. S; SCAPIM; CA; ALBRECHT, L.P. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.1, p.176-185, 2010.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A; SCHUCH, L.O.B. Produção de Sementes. In: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3ª ed. Ed. Universitária UFPel, 2012. Pelotas. 573 p.

QJAN, J. A.; YANG, X. T.; WU, X. M.; ZHAO, L.; FAN, B. L.; XING, B. Traceability System incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.89, p.76-85, 89:76-85, 2012.

SCHUCH, L.O.B.; KOLCHINSKI, E.M.; FINATTO, J.A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.1, p.144-149, 2009.

ARTIGO I

Espacialização dos atributos químicos do solo e do rendimento em campo de sementes de soja[‡]

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial entre os atributos químicos do solo e os componentes do rendimento de soja, por meio de técnicas de agricultura de precisão. Realizaram-se amostragens de solo e de plantas, em pontos georreferenciados, para determinação da fertilidade do solo e dos componentes do rendimento. Os resultados foram submetidos às análises de correlação linear de Pearson, estatística descritiva e geoestatística. O coeficiente de variação apresentou ampla faixa de distribuição nos atributos do solo, sendo os maiores índices obtidos para o fósforo (102%) e potássio (72.65%). O pH do solo e a matéria orgânica apresentaram coeficientes de variação de 5.96 e 15.93%, respectivamente. A análise dos semivariogramas, para os componentes do rendimento (produtividade, massa de mil sementes e número de sementes) e atributos químicos do solo (matéria orgânica, pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, manganês e zinco) ajustaram-se ao modelo esférico, com dependência espacial moderada, e valores para o alcance da dependência espacial distribuídos entre 200 a 700 m. A espacialização por meio de mapas de interpolação foi eficiente na avaliação da variabilidade espacial, permitindo a identificação e a quantificação na área de produção de regiões com baixa e alta produtividades, associado à distribuição dos atributos do solo e respectivos níveis de disponibilidade para a planta de soja.

Palavras chave: Agricultura de precisão, fertilidade do solo, distribuição espacial, produção de sementes.

[‡]Artigo sob normas da Revista Ciência Agronômica.

Spatial distribution of soil chemical properties and field performance of soybean

Abstract: The objective of this study was to evaluate the spatial dependence between soil chemical properties and yield components of soybean using precision farming techniques. Soil and plant samples were taken from georeferenced points for determining soil fertility and yield components. Data were analyzed using Pearson correlation, descriptive statistics and geostatistics. The coefficient of variation showed wide range depending on the soil properties, with the highest rates observed for phosphorus (102%) and potassium (72.65%). The coefficients of variation observed for soil pH and organic matter were 5.96 and 15.93%, respectively. The semivariograms analysis of yield components (yield, thousand seed weight and number of seed) and soil chemical properties (organic matter, pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, boron, manganese and zinc), fitted to the spherical model, with moderate spatial dependence, and range of spatial dependence varied from 200 to 700 m. The spatial maps using interpolation techniques were efficient in assessing the spatial variability, allowing the identification and quantification of low and high productivity regions. In addition, it was possible to associate the distribution of soil attributes and their levels of availability to soybean plants.

Key words: Precision agriculture, soil fertility, spatial distribution, seed production.

INTRODUÇÃO

A produção de sementes de alta qualidade fisiológica é influenciada, dentre outros fatores, pelas propriedades químicas do solo. Para tal, é necessário conhecer e quantificar a variação destas propriedades, tanto horizontal como verticalmente, uma vez que os solos, por serem sistemas dinâmicos e abertos, estão permanentemente em modificação, constituindo assim corpos heterogêneos. Na agricultura de precisão, o solo não é tratado como homogêneo e a sua variabilidade espacial passa a ser considerada, visando à exploração e ao monitoramento das características produtivas, tornando-se uma estratégia de manejo que busca a racionalização do uso de insumos, tais como agrotóxicos e fertilizantes, associado à preservação dos recursos naturais (SOUZA *et al.*, 2010).

A variação da produtividade pode ser inerente ao solo, clima ou ainda induzida pela administração da colheita, interagindo com o genótipo da planta. Entre as alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, causadas por práticas de gestão destacam-se; a compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas, a variação do estande de plantas no campo e os teores de nutrientes no solo, devido à distribuição não uniforme das sementes, adubos e ou corretivos (REICHARDT; TIMM, 2004).

O uso de sistema de informações georreferenciadas no contexto de agricultura de precisão é uma poderosa ferramenta na avaliação de fatores quantitativos e qualitativos responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade em campos de produção de sementes (AMADO; SANTI, 2010). Neste contexto, a metodologia de amostragem aleatória, que utiliza a média para caracterizar determinado fator da produção, é insuficiente para quantificar

como a sua variabilidade espacial pode melhorar a eficiência do sistema de produção das culturas (SOUZA *et al.*, 2006).

Trabalhos têm mostrado que a variabilidade espacial dos atributos do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial (SILVA *et al.*, 2003; JOHANN *et al.*, 2004; MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2011; MONDO *et al.*, 2012). Neste sentido, um sistema agrícola que utilize a agricultura de precisão requer três subsistemas: sensoriamento (levantamento dos dados); gerenciamento (tomada de decisão) e controle (transformação dos dados). Embora todos sejam imprescindíveis, o sensoriamento é o mais importante deles. Desta forma, o estudo da variabilidade espacial, com a finalidade de sensoriamento da área, torna-se parte essencial da agricultura de precisão (LUZ; LUZ; GADOTTI, 2013).

Para Corá *et al.* (2004) e Reichardt e Timm (2004), o manejo do solo propicia alterações na sua variabilidade natural, principalmente nas camadas superficiais. O conhecimento da espacialização dos atributos químicos favorece a utilização adequada do solo, execução de tratos culturais e identificação de zonas que necessitem de manejo diferenciado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial entre os atributos químicos do solo e os componentes do rendimento das sementes de soja, por meio de técnicas de agricultura de precisão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido num campo de produção de sementes de soja, cultivar TEC 5936 IPRO, no município de São Gabriel - RS (latitude 30° 19' 55" S, longitude 54° 11' 06" W), numa área de 39 hectares, destinada à produção

de sementes de soja, na safra 2012/2013. As análises dos atributos químicos do solo e dos componentes do rendimento foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Análise de Solos e no Laboratório Didático de Análise de Sementes, ambos da Universidade Federal de Pelotas.

Utilizando-se o mapa de contorno da área, foram distribuídos os pontos de monitoramento espacializados de 100 x 100 m, caracterizando um ponto amostral central por hectare com quatro sub-pontos distribuídos em quatro raios de 15 m a partir do ponto central, com um ângulo entre eles de 90° (Figura 1).

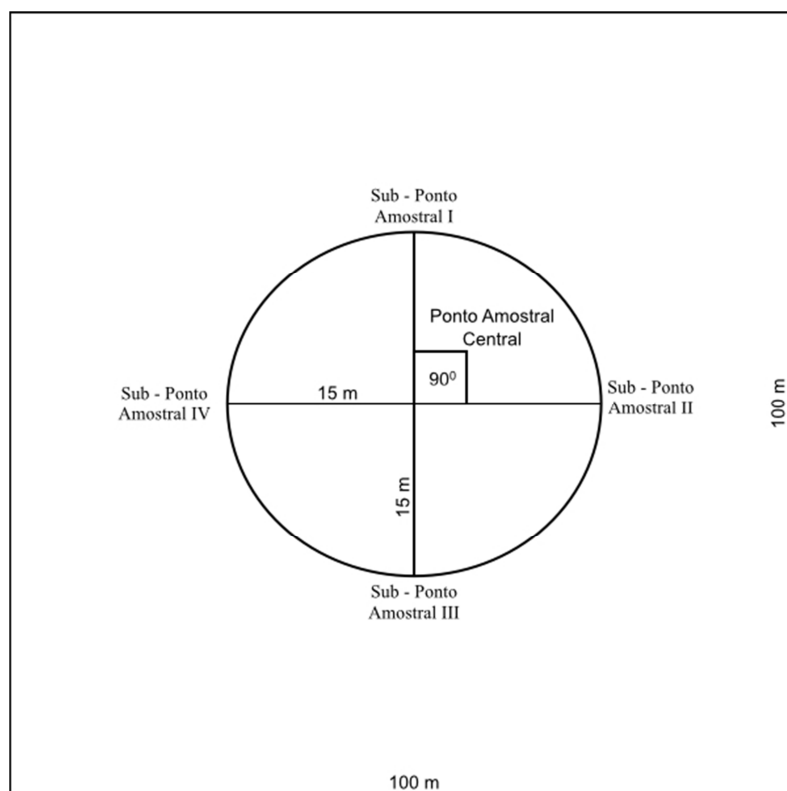


Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e sub-pontos amostrais dentro do campo de produção, safra 2012/2013.

Os pontos amostrais centrais foram definidos com base na metodologia de amostragem sistemática, seguindo uma malha regular de amostragem, cujos pontos são demarcados, numa rota de caminhamento pré-definida e com base no contorno do campo de produção (MATTIONI et al., 2011).

Foi empregada a semeadura direta na palha, no dia 05 de novembro de 2012, utilizando uma semeadora equipada com sulcador do tipo facão e sistema de distribuição de sementes tipo disco perfurado (Semeato® Sol T 15). A máquina foi regulada para distribuir 15 sementes por metro linear, e espaçamento entre linhas de 0,45 m. A adubação de base consistiu numa dose fixa de 160 kg.ha⁻¹ de adubo NPK de formulação 02-20-20, distribuído na linha de semeadura.

A avaliação dos atributos do solo (matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, manganês e zinco) foi conduzida de acordo com CQFS RS/SC (2004). A amostragem do solo foi realizada com pá de corte na direção transversal às linhas de adubação (CQFS RS/SC, 2004), sendo este procedimento realizado 30 dias antes da semeadura da soja. Foram coletadas subamostras de solo de zero a 10 cm de profundidade em cinco pontos, sendo que as cinco subamostras formaram a amostra média do ponto. Para demarcação dos locais para coleta das amostras de solo e demais variáveis em estudo foi considerado um ponto de monitoramento central, onde foi coletada uma subamostra e as outras quatro coletados em quatro raios de 15 m a partir do ponto central, sendo o ângulo entre dois raios consecutivos de 90° (Figura 1).

A colheita foi realizada no dia 28 de março de 2013. As plantas tiveram as vagens removidas, que posteriormente sofreram debulha manual, obtendo-se as amostras de sementes de todos os pontos da malha de amostragem. As amostras foram submetidas à operação de secagem artificial em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 30 °C, até atingirem teor de água de 12%.

Para a determinação dos componentes do rendimento, foram realizadas as seguintes avaliações:

Produtividade (PROD): estimada a partir da média de cada parcela de 5 m² por hectare cujas amostras foram pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g e os valores transformados em kg.ha⁻¹ e corrigidos para o grau de umidade de 12%.

Massa de mil sementes (MMS): obtida a partir da contagem manual de oito subamostras de 100 sementes. Posteriormente, as sementes de cada ponto amostral médio foram pesadas e calculado o coeficiente de variação entre elas. Caso o coeficiente de variação excedesse a 4%, a determinação era repetida. Para os valores dentro da variação tolerada, o resultado foi obtido, multiplicando-se por 10 a massa média das oito subamostras de 100 sementes, obtendo-se assim a massa de 1.000 sementes, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Número de sementes (NS): determinado a partir da colheita de parcelas de 5 m² por hectare, cujas plantas sofreram debulha manual e as vagens separadas de acordo com o número de sementes, determinando-se posteriormente o número de sementes por m².

Os resultados foram submetidos à análise de estatística descritiva, correlação linear de Pearson e geoestatística. O método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, com raio máximo de pesquisa de 100 m. A elaboração dos modelos digitais (mapas) foi realizada pelo emprego do software “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 7” (GIOTTO; ROBAINA; SULZBACH, 2004). O semivariograma foi estimado pela seguinte expressão:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ; $Z(x_i)$ é o valor determinado em cada ponto amostrado; $Z(x_i + h)$ é o valor medido num ponto mais uma distância h .

O coeficiente de efeito pepita (E%) foi calculado pela equação $(C_0/C_0 + C) \times 100$, sendo: C_0 o efeito pepita e $C_0 + C$ o patamar, com os resultados expressos em porcentagem. A razão de dependência espacial (RDE) foi determinada baseada nos resultados do coeficiente do efeito pepita. Neste sentido, os semivariogramas que apresentam RDE menor ou igual a 25% têm forte dependência espacial. A dependência é moderada se esta relação variar de 25% a 75% e fraca se esse valor for superior a 75%, de acordo com classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas descritivas determinadas para os atributos químicos do solo (matéria orgânica, pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, manganês e zinco) e componentes do rendimento (produtividade, massa de mil sementes e número de sementes) estão apresentados na Tabela 1. Entre os atributos químicos do solo, o coeficiente de variação (CV) apresentou amplitude de valores entre as variáveis estudadas, de 5,96% para o pH em água e a 102% para fósforo disponível e de 15,93 e 72,65% para matéria orgânica e potássio, respectivamente.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos para os atributos do solo e os componentes do rendimento de sementes de soja, safra 2012/2013

Variáveis	Classificação*	Valores		Média	Coeficiente		
		Mínimo	Máximo		Variação (%)	Assimetria	Curtose
Atributos do Solo							
Matéria Orgânica (%)	Baixo	1,50	2,80	2,24	15,93	-0,09	-0,47
pH	Muito baixo	4,00	5,20	4,67	5,96	-0,30	0,12
P (mg.dm ⁻³)	Baixo	1,80	27,70	5,86	102,00	2,74	7,87
K (mg.dm ⁻³)	Alto	23,00	264,00	99,38	72,65	1,10	0,12
Ca (cmolc.dm ⁻³)	Médio	0,50	4,40	2,60	35,60	0,16	-1,02
Mg (cmolc.dm ⁻³)	Alto	0,50	2,10	1,40	28,35	0,16	-0,01
B (mg.dm ⁻³)	Médio	0,10	0,60	0,27	39,86	1,05	1,08
Mn (mg.dm ⁻³)	Baixo	0,50	2,10	1,40	28,35	0,54	-0,08
Zn (mg.dm ⁻³)	Alto	0,20	1,50	0,69	55,44	0,68	1,08
Componentes do Rendimento							
PROD (kg.ha ⁻¹)	-	2.006	3.456	2.964	9,86	-0,89	1,41
MMS (g)	-	181,76	209,52	198,58	3,29	-0,14	-0,45
NS (nº.m ⁻²)	-	1.341	3.058	2.400	12,82	-0,55	2,99

* = Segundo CQFS (2004).

**PROD = produtividade; MMS = massa de mil sementes; NS = número de sementes.

Para FREDDI *et al.* (2006), a variabilidade de um atributo pode ser classificada conforme a magnitude do coeficiente de variação. Os altos valores obtidos do coeficiente de variação para o fósforo e potássio (Tabela 1) demonstram a acentuada variação da concentração destes elementos na área amostrada. Todavia, o pH e a matéria orgânica apresentaram baixo coeficiente de variação. Esta variabilidade pode ser verificada nos mapas de espacialização destas variáveis (Figura 2). Presença residual de adubações anteriores pode justificar a variação da concentração do fósforo, considerando o histórico e a forma de aplicação em linha, enquanto a correção da acidez do

solo, bem como a deposição dos restos culturais, é realizada a lanço na área (SILVA *et al.*, 2003; AMADO; SANTI, 2010). Os resultados obtidos corroboram com Schlindwein e Anghinoni (2000), que verificaram altos coeficientes de variação para o fósforo e o potássio e baixos para pH e matéria orgânica do solo.

Os atributos químicos do solo foram classificados de acordo com o proposto por CQFS RS/SC (2004), e constam na Tabela 1. A menor faixa foi identificada para o pH do solo, classificado como muito baixo, considerando que apresentou valores mínimos de 4,00; máximo de 5,20 e média de 4,67. Os valores recomendados desta variável para a cultura da soja situam-se na faixa de 5,50 a 6,00; e que nestas condições ocorrem: a) neutralização do alumínio tóxico; b) eliminação da toxidez de manganês; c) melhor aproveitamento dos nutrientes do solo; d) condições adequadas para os processos naturais, como a liberação de nutrientes presentes na matéria orgânica e a fixação de nitrogênio atmosférico (CQFS RS/SC, 2004).

A produtividade média da área de produção foi de 2.964,6 kg.ha⁻¹, apresentando variação entre 2.006 e 3.456 kg.ha⁻¹, e amplitude de 1.450 kg.ha⁻¹, porém coeficiente de variação moderado (9,86%) (Tabela 1). Esta variação pode ser observada na distribuição espacial desta variável (Figura 2). Avaliando a variabilidade espacial da produtividade em áreas de produção de sementes de soja, Mattioni, Schuch e Vilela (2011) e Mondo *et al.* (2012) obtiveram coeficientes de variação de 9,6 e 6,5%, respectivamente. Por outro lado, estudando a variabilidade da produtividade de soja em função de atributos do solo, Johann *et al.* (2004) diagnosticaram uma variabilidade média expressa pelo coeficiente de variação de 14 e 23%, respectivamente.

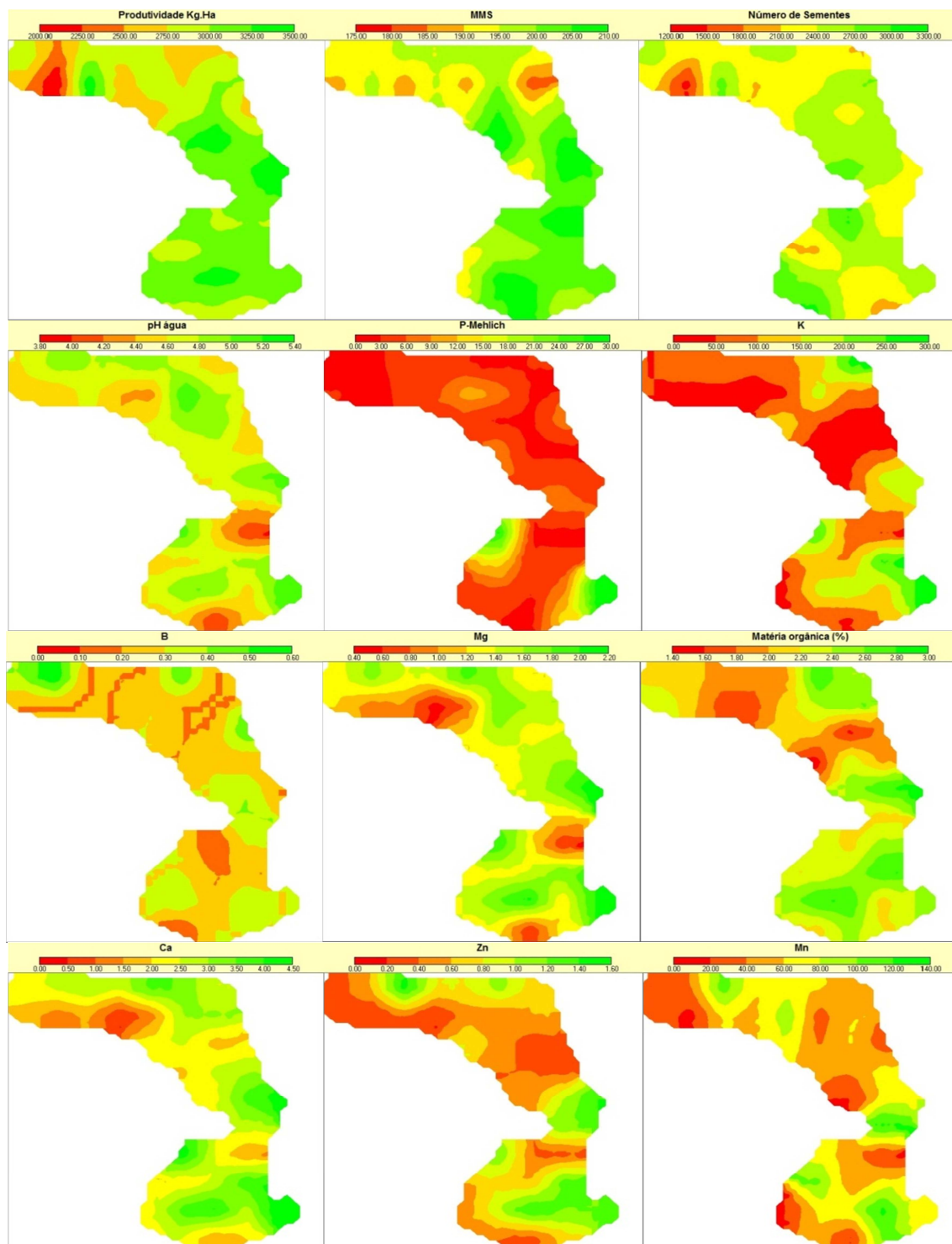


Figura 2 - Mapas de espacialização dos atributos químicos do solo e componentes do rendimento de sementes de soja, safra 2013/2014.

A massa de mil sementes registrou um coeficiente de variação de 3,29%, menor índice entre as variáveis em estudo, com valores mínimos e máximos de 181,76 e 209,52 g, respectivamente (Tabela 1). Esta reduzida variabilidade

pode ser constatada na espacialização da variável (Figura 2). Baixos coeficientes de variação para a massa de mil sementes também foram observadas por Mondo *et al.* (2011).

Os coeficientes de assimetria e curtose foram diferentes de zero para todas as variáveis avaliadas (Tabela 1). A assimetria foi negativa para a matéria orgânica, pH, produtividade, massa de mil sementes e número de sementes. Entretanto, a curtose apresentou valores negativos para matéria orgânica, cálcio, magnésio, manganês e massa de mil sementes. Resultados semelhantes foram encontrados por Cambardella *et al.* (1994). A assimetria representa o grau de desvio de uma curva na direção horizontal, podendo este desvio ser positivo, com maior concentração de valores altos, ou negativo, com predomínio de valores baixos. A curtose expressa o grau de achatamento de uma curva em relação a uma curva representativa de uma distribuição normal (ANDRIOTTI, 2013). Vale destacar que para o fósforo ocorreram elevados valores de assimetria (2,74) e de curtose (7,87), indicando a predominância de valores elevados e pronunciado achatamento da curva.

A análise de correlação linear de Pearson entre os atributos químicos do solo e os componentes do rendimento de sementes não demonstrou correlação entre as variáveis (Tabela 2). Baixa correlação entre produtividade de culturas e atributos químicos do solo também foram observadas por Yanai *et al.* (2001) e Mondo *et al.* (2012). A não significância ou mesmo os baixos níveis de correlação podem indicar que outros fatores estejam afetando o desempenho da cultura, necessitando de uma investigação mais detalhada. Para Motomiya *et al.* (2011), em manejo detalhado associado à agricultura de precisão, faz-se necessária uma adequação das recomendações, considerando, por exemplo, o

uso de cultivares modernas, a produtividade esperada e as particularidades que envolvem a variabilidade espacial do solo da área de produção.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação linear de Pearson entre os atributos do solo e os componentes do rendimento de sementes de soja, safra 2012/2013.

Variáveis	Componentes do Rendimento		
	PROD (kg.ha ⁻¹)	MMS (g)	NS (nº.m ⁻²)
Matéria Orgânica (%)	0,256 ^{NS}	0,205 ^{NS}	0,165 ^{NS}
pH	0,140 ^{NS}	0,160 ^{NS}	0,148 ^{NS}
P (cmolc.dm ⁻³)	0,172 ^{NS}	0,187 ^{NS}	-0,086 ^{NS}
K (mg.dm ⁻³)	0,271 ^{NS}	0,141 ^{NS}	0,194 ^{NS}
Ca (cmolc.dm ⁻³)	0,306 ^{NS}	0,314 ^{NS}	0,222 ^{NS}
Mg (cmolc.dm ⁻³)	0,243 ^{NS}	0,243 ^{NS}	0,182 ^{NS}
B (mg.dm ⁻³)	0,160 ^{NS}	-0,010 ^{NS}	0,155 ^{NS}
Mn (mg.dm ⁻³)	0,009 ^{NS}	0,173 ^{NS}	-0,022 ^{NS}
Zn (mg.dm ⁻³)	0,161 ^{NS}	0,225 ^{NS}	0,165 ^{NS}

^{NS} = Não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

**PROD = produtividade; MMS = massa de mil sementes; NS = número de sementes.

A espacialização dos atributos químicos do solo e dos componentes do rendimento foram estabelecidas por meio da análise dos semivariogramas e seus componentes (Tabela 3). De maneira ampla, verificaram-se variações expressivas nos valores do alcance da dependência espacial para todas as variáveis, com uma faixa de valores compreendida entre 200 a 700 m. O alcance indica o limite da dependência espacial da variável, de modo que determinações realizadas a distancias superiores ao alcance possuem distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica. Por outro lado, determinações realizadas em

distâncias menores são correlacionadas umas as outras, permitindo interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (ANDRIOTTI, 2013). Nesse sentido, valores de alcance são importantes na planificação de futuras amostragens, permitindo dimensionar grades e estimar o número de pontos a serem amostrados (SOUZA *et al.*, 2006). Segundo Oliveira *et al.* (1999), o conhecimento dos valores do alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e/ou menores índices de determinado atributo químico, são fundamentais para o planejamento do manejo da fertilidade do solo, na agricultura de precisão.

Pela análise dos parâmetros dos semivariogramas (Tabela 3), verificou-se que todas as variáveis ajustaram-se ao modelo esférico, concordando com resultados de pesquisas que indicam este modelo como o de maior ocorrência para os atributos do solo (SOUZA *et al.*, 2004; CORÁ *et al.*, 2004; MONTANARI *et al.*, 2008). Entre os atributos químicos do solo, o coeficiente de determinação (r^2) ficou compreendido entre 0,728 para fósforo e 0,997 para o pH. Enquanto para os componentes do rendimento, a variação observada foi de 0,988 para número de sementes a 0,994 para produtividade. Valores superiores a 0,728 para os atributos do solo e 0,988 para os componentes da produtividade, indicam, respectivamente que 72,8% e 98,8% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados (SOUZA *et al.*, 2006). Avaliando a variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade na cultura do milho, Silva *et al.* (2003) verificaram uma faixa de variação para o coeficiente de determinação de 0,85 para produtividade a 0,99 para saturação por bases e alumínio.

Tabela 3 - Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados dos atributos do solo e componentes do rendimento de sementes de soja, safra 2012/2013

Variáveis	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	Alcance (m)	GDE		r ²
					E(%)	RDE	
Matéria Orgânica (%)	Esférico	0,049	0,127	300	38,81	Moderada	0,983
pH	Esférico	0,040	0,077	200	51,96	Moderada	0,997
P (cmolc.dm ⁻³)	Esférico	11,076	35,976	300	30,79	Moderada	0,728
K (mg.dm ⁻³)	Esférico	1767,11	5214,03	300	33,89	Moderada	0,802
Ca (cmolc.dm ⁻³)	Esférico	0,379	0,859	300	44,08	Moderada	0,917
Mg (cmolc.dm ⁻³)	Esférico	0,076	0,158	300	48,50	Moderada	0,937
B (mg.dm ⁻³)	Esférico	0,006	0,012	200	52,37	Moderada	0,879
Mn (mg.dm ⁻³)	Esférico	443,13	884,66	200	50,09	Moderada	0,868
Zn (mg.dm ⁻³)	Esférico	0,064	0,146	300	43,92	Moderada	0,838
PROD (kg.ha ⁻¹)	Esférico	33549,24	89313,37	600	37,56	Moderada	0,994
MMS (g)	Esférico	17,780	42,903	600	41,44	Moderada	0,999
NS (nº.m ⁻²)	Esférico	45521,53	94747,92	700	48,04	Moderada	0,988

Efeito pepita: C₀; Patamar: C₀ + C₁; Grau de dependência espacial: GDE; Coeficiente de efeito pepita: E(%); Razão de dependência espacial: RDE; Coeficiente de determinação: r²

*PROD = produtividade; MMS = massa de mil sementes; NS = número de sementes.

Os valores do efeito pepita (C₀) e do patamar (C₀+C₁) exibiram destacada faixa de distribuição, de 0,006 a 33549,24 e 0,012 a 89313,37, respectivamente (Tabela 3). O efeito pepita, parâmetro importante do semivariograma, indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada. Quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa (VIEIRA, 2000). A razão entre os valores do efeito pepita e os do patamar estabelece o grau de

dependência espacial (GDE) das variáveis em estudo (CAMBARDELLA *et al.*, 1994).

O coeficiente de efeito pepita (E%) apresentou valores mínimo e máximo de 30,79 e 52,37%. A razão de dependência espacial (RDE) foi obtida conforme a classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994), indicando que todas as variáveis apresentaram moderada dependência espacial. Este critério baseia-se nos resultados do coeficiente do efeito pepita das variáveis compreendido entre 25 a 75%. Estes dados demonstram que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. Avaliando a variabilidade espacial das características químicas do solo, Silva *et al.* (2003) e Mondo *et al.* (2012) observaram variações de moderada a forte para a razão de dependência espacial. De acordo com Kravchenko (2003), variogramas com estrutura de dependência espacial de moderada a forte geram mapas de krigagem mais precisos do que aqueles gerados com fraca dependência espacial, devido à menor contribuição do componente aleatório na variabilidade dos dados.

Os mapas de espacialização para as variáveis em estudo proporcionaram adequado diagnóstico da distribuição dos atributos do solo e dos componentes do rendimento, mostrando sensibilidade na identificação de pequenas variações (Figura 2). Similarmente ao obtido por Silva *et al.* (2003), Montanari *et al.* (2008) e Motomiya *et al.* (2011), observa-se acentuada amplitude nos atributos químicos, revelando problemas que podem ocorrer ao utilizar a média dos valores para o manejo da fertilidade. Em determinados locais da área de produção, a aplicação de fertilizantes será inferior à necessária, em outros será condizente com as necessidades e, em outros poderá haver a aplicação de

doses excessivas, fator que pode comprometer a produtividade e a qualidade de sementes do campo de produção. Mattioni, Schuch e Villela (2011) e Mondo *et al.* (2012) verificaram em seus estudos que a qualidade fisiológica de sementes de soja não é uniforme nos campos de produção, sendo que o vigor demonstra maior sensibilidade e, portanto, com maior variabilidade comparativamente a germinação.

CONCLUSÕES

As maiores variabilidades espaciais num campo de produção de sementes de soja, medidas pelo coeficiente de variação, são observadas para fósforo e potássio, enquanto a matéria orgânica, o pH do solo e os componentes do rendimento apresentam os menores coeficientes de variação.

A espacialização dos atributos por meio de mapas de interpolação é eficiente na identificação e determinação da variabilidade espacial. Os atributos químicos do solo apresentam dependência espacial moderada, com valores do alcance da dependência espacial distribuídos de 200 até 700 m.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L. In: THOMAS, A.L.; CONTA, J.A. (org). **Soja: Manejo para altas produtividades de grãos**. Ed. EVANGRAF, Porto Alegre, 2010. p. 177-207.
- ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, p. 102. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

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.

CORÁ, J.E., ARAUJO, A.V., PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de- açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1013-1021, 2004.

CQFS. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2004. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10^a. Ed. Porto Alegre, 400p.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.:113-121, 2006.

GIOTTO, L; ROBAINA, A.D.; SULZBACH, L. **A agricultura de precisão com o sistema CR campeão 5**, Manual do Usuário, 2004. 330p.

JOHANN, J.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G.; ROCHA, J.V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.8, p.212-219, 2004.

KRAVCHENKO, A.N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. Soil. **Science Society of American Journal**, v.67, p.1564-1571, 2003.

LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I. **Mapas de controle de aplicação - tecnologias de taxa variável e aplicação em taxa variável**. In.:

LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I. (Eds.). Agricultura de Precisão, 1a Ed., Pelotas, p. 241 - 254. 2013.

MATTIONI, N.M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F.A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.608-615, 2011.

MONDO, V.H.V.; JUNIOR, F.G.G.; PINTO, T.L.F.; MARCHI, J.L.; MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P.; CICERO, S.M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.2, p.193-201, 2012.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J.; CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em latossolo e argissolos. **Ciência Rural**, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P.; LIRA, A.; OLIVEIRA, J.R.G.; BISCARO, G.A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, v.4, n.11, p.01-09, 2011.

OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E.; LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.23, p.783-789, 1999.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.30, n.4, p.611-617, 2000.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1013-1020, 2003.

SOUZA, C.M.A.; BOTTEGA, E.L.; VILELA, F.V.; RAFULL, L. Z.L.; QUEIROZ, D.M. Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semimecanizada. **Acta Scientiarum**. v.32, n.2, p.201-208, 2010.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.937-944, 2004.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.829-836, 2006.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. (ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

YANAI, J.; LEEA, C.K.; KAHOA, T.; IIDAA, M.; MATSUIA, T.; UMEDAA, M.; KOSAKIA, T. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield-determining factors. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.47, n.2, p.291-301, 2001.

ARTIGO II

Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção[‡]

Resumo: O objetivo do trabalho foi identificar e determinar a distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja, num campo de produção com 39 hectares, por meio de técnicas de agricultura de precisão. Foram realizadas amostragens de solo e sementes na colheita em pontos georreferenciados para determinação da fertilidade do solo, qualidade fisiológica das sementes e alcance da dependência espacial. Os resultados foram submetidos a análise estatística descritiva, correlação linear de Pearson e geoestatística. Os dados apresentaram coeficiente de variação de 1,63% para emergência, 1,74% para a germinação, 1,63% para viabilidade, 2,59% para envelhecimento acelerado e 4,28% para vigor, avaliado pelo teste de tetrazólio. A germinação, a emergência e a viabilidade das sementes correlacionaram-se negativamente com o pH do solo. O grid de um ponto por hectare e uma malha de amostragem georreferenciada com espaçamento de 100 m entre pontos foi eficiente na avaliação da variabilidade espacial. A qualidade fisiológica não é uniforme, particularmente em relação ao vigor, proporcionando melhor diagnóstico por meio de mapas de interpolação. A agricultura de precisão possibilita determinar a distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes numa área de produção de sementes de soja, facilitando a tomada de decisão, no que se refere às áreas a serem colhidas.

Palavras chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Variabilidade espacial. Agricultura de precisão. Produção de sementes. Geoestatística.

[‡]Artigo sob normas da Revista Caatinga.

SPATIAL DISTRIBUTION OF PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SOYBEAN SEED PRODUCTION FIELD

Abstract: The objective of this study was to identify and determine the spatial distribution of the physiological quality of soybean seeds in an area of 39 hectares using precision farming techniques. Soil samples and seed samples were taken during harvest from georeferenced points for determining soil fertility, seed quality and range of spatial dependence were also performed. The results were submitted to analysis of descriptive statistics, Pearson correlation and geostatistics. The data presented coefficient of variation of 1,63% for emergence, 1,74% for germination, 1,63% for viability, 2,59% for accelerated aging and 4,28% for vigor evaluated by the tetrazolium test. Soil pH was negatively correlated with germination, emergence and viability. The grid point per hectare and a georeferenced sampling grid, spacing 100 m between points were efficient in assessing the spatial variability. Physiological quality is not uniform, particularly regarding vigor, providing better diagnosis through interpolation maps. Precision agriculture allows producers to determine the spatial distribution of physiological seed quality in soybean seed production area, facilitating decision-making refers to the areas to be harvested.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill. Spatial variability. Precision agriculture. Seed production. Geostatistics.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem apresentado desempenho crescente em termos de produtividade e produção de grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. Na safra 2013/2014, a área semeada com esta cultura no Brasil foi de 30.173,1 mil hectares, com uma produtividade média de 2.854 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2014).

A utilização de sementes de soja com alto potencial fisiológico é aspecto importante a ser considerado para o aumento da produtividade dessa cultura e, por isso, o controle de qualidade de sementes deve ser cada vez mais eficiente, incluindo testes que avaliem rapidamente o potencial fisiológico e que permitam diferenciação precisa entre lotes (FESSEL et al., 2010; MUNIZZI et al., 2010).

Estudos têm sido realizados com o objetivo de estabelecer correlações entre a produtividade das culturas e propriedades físico-químicas do solo, bem como outras variáveis, estabelecendo, assim, os principais fatores de influência (MONDO et al., 2012). Na agricultura de precisão o solo deixa de ser tratado como homogêneo e a sua variação espacial passa a ser considerada, visando à exploração e monitoramento das características produtivas, tornando-se uma estratégia de manejo que busca a racionalização do uso de insumos, tais como agrotóxicos e fertilizantes, associado à preservação dos recursos naturais (MESTAS et al., 2010; SOUZA et al., 2010).

O uso de amostragem aleatória que utiliza a média para quantificar determinado fator da produção, é insuficiente para caracterizar como a sua variabilidade espacial pode melhorar a eficiência do sistema de produção das culturas (AMADO et al., 2007; SOUZA et al., 2008; RESENDE et al., 2014).

A produção de sementes envolve a necessidade de um sistema otimizado e altamente produtivo aliado a um produto de elevada qualidade. Para atingir esses objetivos, há preferências por solos naturalmente férteis. A disponibilidade de áreas com estas características, no entanto, nem sempre ocorre, o que resulta na necessidade da utilização de solos com média a baixa fertilidade (PESKE et al., 2012). Neste contexto, mapas de distribuição espacial das características do solo mostram a acentuada variabilidade de ambiente que as plantas podem encontrar numa lavoura (MONDO et al., 2012).

Para Mattioni et al. (2011), a variabilidade representada por mapas de interpolação é uma ferramenta de gestão de qualidade na produção de sementes que permite o estabelecimento de áreas a serem colhidas e descartadas dentro de um campo de produção. Esta ferramenta associada com testes rápidos de avaliação da qualidade fisiológica, como a

viabilidade e o vigor pelo teste de tetrazólio, permite a identificação de áreas aptas para produção de sementes.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi identificar e determinar a distribuição espacial da qualidade de sementes de soja, num campo de produção com 39 hectares por meio de técnicas de agricultura de precisão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido num campo de produção de sementes de soja, cultivar TEC 5936 IPRO, com hábito de crescimento indeterminado, no município de São Gabriel - RS (latitude 30° 19' 55'' S, longitude 54° 11' 06'' W) numa área de 39 ha na safra 2012/2013. As análises de qualidade das sementes foram realizadas no Laboratório Didático de Análise de Sementes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, da Universidade Federal de Pelotas.

Com base no mapa de contorno da área, foram distribuídos pontos de monitoramento espacializados de 100 x 100 m, caracterizando um ponto amostral central por hectare com quatro sub-pontos distribuídos em quatro raios de 15 m a partir do ponto central, com um ângulo entre eles de 90°. Os pontos amostrais centrais foram definidos com base na metodologia de amostragem sistemática, seguindo uma malha regular de amostragem, cujos pontos são demarcados, numa rota de caminhamento pré-definida e com base no contorno do campo de produção (MATTIONI et al., 2011).

Foi empregada a semeadura direta na palha, no dia 05 de novembro de 2012, utilizando uma semeadora equipada com sulcador tipo facão e sistema de distribuição de sementes tipo disco perfurado (Semeato® Sol T 15). A máquina foi regulada para distribuir 15 sementes por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,45 m. A adubação de base consistiu em numa dose fixa de 160 kg.ha⁻¹ de adubo NPK de formulação 2-20-20.

A avaliação dos atributos do solo (matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, manganês e zinco) foi conduzida de acordo com CQFS RS/SC (2004). A amostragem do solo foi realizada com pá de corte na direção transversal às linhas de adubação (CQFS RS/SC, 2004), sendo este procedimento realizado 30 dias antes da semeadura da soja. Foram coletadas subamostras de solo de zero a 10 cm de profundidade em cinco pontos, sendo que as cinco subamostras formaram a amostra média do ponto. Para demarcação dos locais para coleta das amostras de solo e demais variáveis em estudo foi considerado um ponto de monitoramento central, onde foi coletada uma subamostra e as outras quatro

coletados em quatro raios de 15 m a partir do ponto central, sendo o ângulo entre dois raios consecutivos de 90°.

Para a determinação da qualidade das sementes produzidas no campo, foi realizada a coleta das amostras, coletando as plantas em cinco parcelas de 1 m² cada, sendo que as cinco subamostras formaram a amostra média do ponto. A colheita foi realizada no dia 28 de março de 2013. As plantas tiveram as vagens separadas, que posteriormente sofreram debulha manual, obtendo-se as amostras de sementes de todos os pontos da malha de amostragem. As amostras foram submetidas à operação de secagem artificial em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 30 °C, até atingirem teor de água de 12%.

Para a determinação da qualidade fisiológica das sementes, foram realizadas as seguintes avaliações:

Teste de germinação (G): conduzido em oito repetições de 50 sementes. As sementes foram dispostas em rolos formados por três folhas de papel germitest, umedecidas com quantidade de água o equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram transferidos para câmara de germinação tipo BOD a 25 °C e período luminoso de 12 horas. As avaliações foram efetuadas no quinto e no oitavo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Velocidade de germinação (VG): obtida a partir de contagens diárias das sementes germinadas (protrusão radicular mínima de 3 a 4 mm). As contagens foram realizadas até a obtenção do número constante de sementes germinadas e posteriormente foi calculada a velocidade de germinação. Os resultados foram expressos em dias (NAKAGAWA, 1999).

Emergência de plântulas (E): a emergência das plântulas foi realizada com oito subamostras de 50 sementes para cada ponto amostral, distribuídas em sulcos de 1,0 m de comprimento, profundidade de 2,5 cm e espaçamento entre linhas de 0,5 m. A semeadura foi realizada em canteiros com areia lavada no interior casa de vegetação telada, na época recomendada para a semeadura da cultivar. As contagens foram realizadas diariamente no mesmo horário, a partir do momento que os epicótilos romperam a superfície da areia até 14 dias após a semeadura, sendo então calculada a porcentagem de emergência de plântulas (NAKAGAWA, 1999).

Velocidade de emergência (VE): realizada conjuntamente com o teste de emergência plântulas em areia, sendo realizadas contagens diárias a partir do dia em que a primeira plântula emergiu até alcançar o número constante de plântulas emergidas e calculada a velocidade de emergência. Os resultados foram expressos em dias (NAKAGAWA, 1999).

Teste de tetrazólio: foram utilizadas duas subamostras de 50 sementes, dispostas entre três folhas de papel germitest umedecido com água destilada e pré-condicionadas por 16 horas em

câmara incubadora (tipo BOD), a 25 °C. Decorrido este período, as sementes foram transferidas para copos plásticos, com volume de 50 mL, sendo totalmente submersas em solução de tetrazólio (0,075%), e mantidas a 40 °C por 180 minutos no interior da BOD. Após a coloração e a lavagem em água corrente, as sementes foram separadas em classes de 1 a 8. A viabilidade (VBT) foi representada pela soma das porcentagens de sementes pertencentes às classes de 1 a 5; o nível de vigor (VT), pelas classes de 1 a 3 e, a não viabilidade, pelas classes de 6 a 8. O potencial de vigor e viabilidade foram expressos em porcentagem (FRANÇA NETO et al., 1998).

Envelhecimento acelerado (EA): foram utilizadas caixas plásticas do tipo gerbox como compartimento individual, em cujo interior ocorreu à adição de 40 mL de água. As sementes foram colocadas em camada única sobre uma tela acondicionada dentro da caixa gerbox e mantidas a 41 °C durante 48 horas. Posteriormente conduziu-se o teste de germinação, realizando uma única contagem no quinto dia. Os resultados foram expressos em porcentagem (MARCOS FILHO, 2005).

Os resultados foram submetidos a análise de estatística descritiva, correlação linear de Pearson e geoestatística. O método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, empregando raio máximo de pesquisa de 100 metros. A elaboração dos modelos digitais (mapas) foi realizada por meio do software “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 7” (GIOTTO, et al., 2004). O semivariograma foi estimado pela seguinte expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ; $Z(x_i)$ é o valor determinado em cada ponto amostrado; $Z(x_i + h)$ é o valor medido num ponto mais uma distância h .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar TEC 5936 IPRO completou o ciclo em 115 dias, entre a emergência e a maturidade fisiológica e 123 dias entre a emergência e a colheita, sendo as sementes colhidas com umidade média de 17%.

Os dados de precipitação pluviométrica, radiação solar, umidade relativa do ar e temperatura do ar e do solo, estão presentes na Figura 1. Estas variáveis apresentam efeitos importantes sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas de soja, além de influenciar

a qualidade fisiológica e sanitária das sementes (ARANGO et al., 2006; PINTO et al., 2007; PINTO et al., 2009; FORTI et al., 2010). Na décima sexta semana, período que antecedeu a colheita não ocorrem precipitação pluvial, fator que pode ter contribuído para alta qualidade fisiológica das sementes.

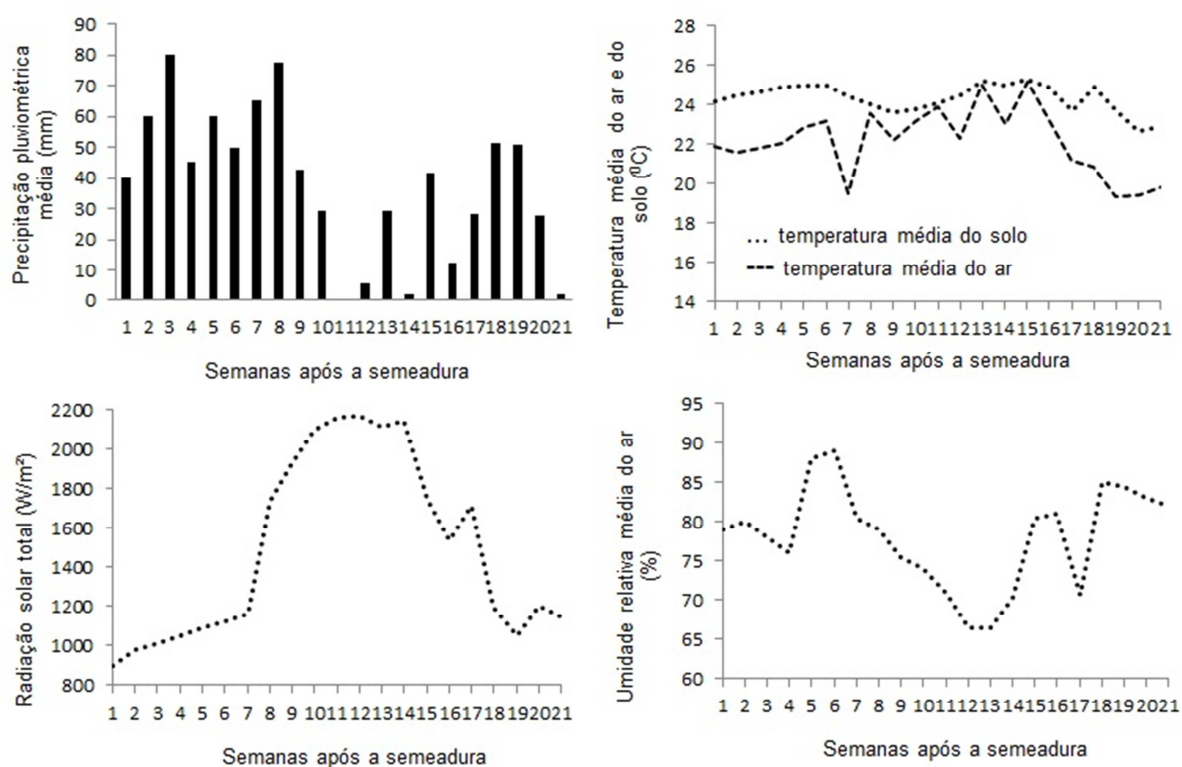


Figura 1. Precipitação pluviométrica, radiação solar, umidade relativa do ar e temperatura do ar e do solo, da semeadura até a colheita do campo de produção de sementes de soja, São Gabriel/RS, safra 2012/2013.

Os resultados da emergência de plântulas em areia, germinação em papel e viabilidade pelo teste de tetrazólio (VBT) estão apresentados na Tabela 1, conjuntamente com EA, VT, VG. Os valores médios de germinação, viabilidade e emergência em campo foram superiores a 90%, com coeficiente de variação inferior a 1,74%. De maneira semelhante, os dados médios de envelhecimento acelerado e vigor pelo teste de tetrazólio, foram de 94% e 92%, respectivamente, evidenciando a elevada qualidade fisiológica das sementes. Em estudo semelhante, Mondo et al. (2012) obtiveram média de germinação de 87,67%, e valores máximo e mínimo de 98 e 73%, respectivamente, e um CV de 7,25%. Os resultados obtidos neste estudo podem estar relacionados às condições climáticas favoráveis ocorridas nos estádios R7 e R8 da cultura, associado à colheita com umidade média de 17% e posterior secagem artificial seguida pela trilha manual das sementes. Após a maturidade fisiológica, as sementes desligam-se fisiologicamente da planta-mãe, ficando expostas a condições de

ambiente, muitas vezes desfavoráveis (PESKE et al., 2012), sendo recomendável proceder o início da colheita de sementes de soja com teor de água entre 17 a 18%.

Tabela 1. Valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), alcance e grau de dependência espacial (GDE) dos atributos de qualidade de sementes de soja.

	Máximo	Mínimo	Média	DP (%)	CV (%)	Alcance (m)	GDE
G (%)	99,00	92,00	96,49	1,68	1,74	200	63,85
VBD (%)	99,00	93,00	96,28	1,57	1,63	300	48,98
E (%)	98,00	90,00	95,44	1,55	1,63	200	59,97
EA (%)	97,00	88,00	94,00	2,44	2,59	200	53,73
VT (%)	99,00	85,00	92,48	4,05	4,28	200	54,02
VG (dias)	2,28	1,48	1,90	0,24	12,46	200	53,85
VE (dias)	2,90	2,22	2,40	0,16	6,62	700	28,03
pH	5,20	4,00	4,67	0,28	5,97	200	51,96

G = germinação em papel; VBD = viabilidade pelo teste de tetrazólio; E = emergência, EA = envelhecimento acelerado; VT = vigor pelo teste de tetrazólio; VG = velocidade de germinação; VE = velocidade de emergência; pH = pH do solo.

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), ao definir que valores de $(C_0 / (C_0 + C_1))100$, inferiores a 25%, apresenta grau de dependência espacial forte, entre 25 e 75%, grau moderado e superiores a 75% grau fraco. O grau de dependência espacial das variáveis apresentou dependência espacial moderada, com valores entre 48,98 para viabilidade pelo teste de tetrazólio e 59,97 para a emergência, exceto a velocidade de emergência que atingiu 28,03.

A análise dos resultados do alcance obtidos para as variáveis germinação, viabilidade e vigor pelo teste de tetrazólio, emergência, envelhecimento acelerado, velocidade de germinação e emergência, demonstram que o grid de amostragem de um ponto por hectare, foi eficiente para obtenção de amostras representativas e estimação da qualidade das sementes e da produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por Mattioni et al. (2011). O alcance representa a zona de influência de uma observação, refletindo o grau de homogeneidade entre as amostras, de forma que quanto maior for o valor, mais homogêneo será o processo em estudo (ANDRIOTTI, 2013). Neste contexto, valores de alcance são fundamentais no planejamento de futuras amostragens, permitindo dimensionar grades e estimar o número de pontos a serem amostrados (SOUZA et al., 2006).

Os resultados da avaliação do potencial fisiológico das sementes pela interpolação dos mapas de distribuição espacial para as variáveis, germinação, emergência de plântulas, velocidade de emergência, viabilidade e vigor pelo teste de tetrazólio e envelhecimento acelerado apresentaram pronunciada diferenciação dentro da área de produção (Figura 2). Estes resultados evidenciam a distribuição desuniforme da qualidade fisiológica de sementes na área de produção. Resultados semelhantes foram obtidos por Mattioni et al. (2011) e Mondo et al. (2012). De acordo com Peske et al. (2012), durante o processo de deterioração das sementes, a perda da capacidade de germinação é o último evento antes da morte da semente, em contrapartida os testes de vigor baseiam-se em eventos que ocorrem anteriormente. Os testes de vigor permitem, segundo Mattioni et al. (2011) um melhor diagnóstico espacial da qualidade fisiológica das sementes, pois apresentam maior sensibilidade no diagnóstico da deterioração.

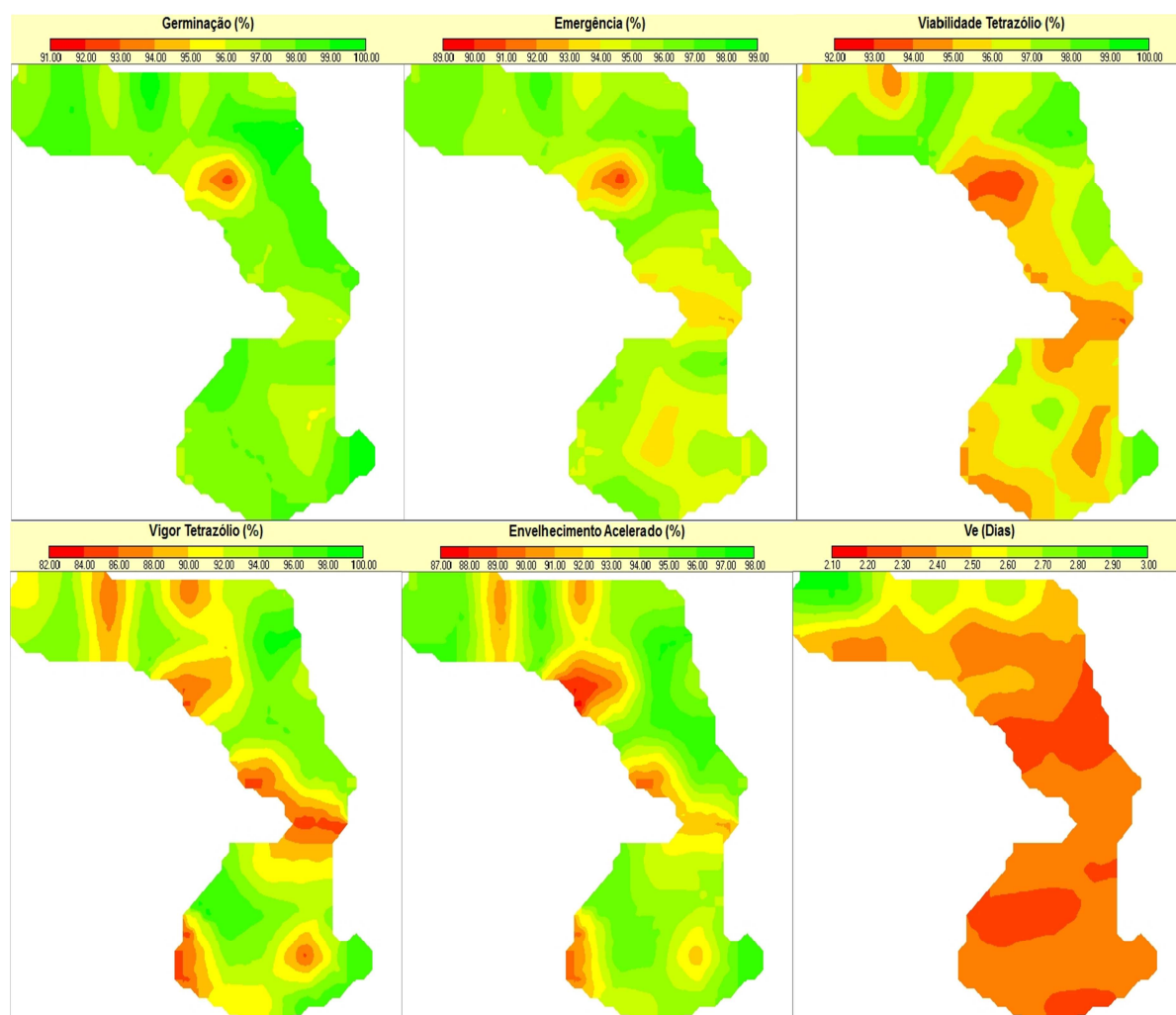


Figura 2. Mapas de variabilidade espacial da germinação, emergência, viabilidade e vigor pelo teste de tetrazólio, envelhecimento acelerado e velocidade de emergência (Ve), na área de produção de sementes de soja, safra 2013/2014.

Os mapas da variabilidade espacial dos resultados dos testes de envelhecimento acelerado, vigor pelo teste de tetrazólio e velocidade de emergência proporcionaram adequado diagnóstico da qualidade fisiológica das sementes, demonstrando sensibilidade na identificação de variações dentro do campo de produção. A interação dos resultados da variabilidade espacial dessas variáveis, associado ao mapeamento georreferenciado, proporcionou o mapeamento de regiões com sementes de alto e baixo vigor dentro do campo de produção (Figura 2). Sementes com baixo vigor podem provocar reduções na velocidade de emergência, na uniformidade, na emergência total, no tamanho inicial das plântulas e no estabelecimento de estandes adequados (SCHUCH et al., 2009; SANTOS et al., 2011), fatores que podem reduzir o acúmulo de matéria seca, e consequentemente a produtividade (KOLCHINSKI et al., 2005).

O pH do solo apresentou coeficiente de variação de 5,97%, com amplitude de valores entre 4 e 5,2 e média de 4,67, condição de pH inferior a faixa recomendada para a cultura da soja. O grau de dependência espacial e o alcance para esta variável foram 51,96 e 200 m, respectivamente (Tabela 1). Os valores recomendados de pH para a cultura da soja situa-se entre 5,5 a 6, considerando que nestas condições ocorrem: a) neutralização do alumínio tóxico; b) eliminação da toxicidez de manganês; c) melhor aproveitamento dos nutrientes do solo; d) condições adequadas para os processos naturais, como a liberação de nutrientes contidos na matéria orgânica e a fixação de nitrogênio atmosférico (CQFS RS/SC, 2004).

A análise de correlação linear de Pearson demonstrou reduzidas correlações entre os atributos químicos do solo e potencial fisiológico de sementes (Tabela 2). Por sua vez, a germinação, emergência e viabilidade pelo teste de tetrazólio apresentaram correlação negativamente com o pH do solo. Avaliando a variabilidade espacial da produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja em área de produção, obtiveram reduzidas correlações entre os atributos químicos do solo e potencial fisiológico de sementes (MONDO et al., 2012).

Tabela 2. Correlação linear de Pearson entre os atributos do solo e fatores que determinam a qualidade fisiológica das sementes de soja.

Atributos do Solo	Atributos da Qualidade						
	G (%)	E (%)	VBD (%)	VE (dias)	VG (dias)	VT (%)	EA (%)
Matéria Orgânica (%)	-0,0003 ^{NS}	-0,1747 ^{NS}	0,0172 ^{NS}	-0,2211 ^{NS}	-0,1333 ^{NS}	-0,0668 ^{NS}	-0,0572 ^{NS}
pH	-0,5249 ^{**}	-0,3628 ^{**}	-0,3735 ^{**}	-0,0586 ^{NS}	0,0966 ^{NS}	-0,1515 ^{NS}	-0,2286 ^{NS}
P (cmolc.dm ⁻³)	-0,0745 ^{NS}	-0,1374 ^{NS}	-0,2341 ^{NS}	-0,1623 ^{NS}	0,2443 ^{NS}	-0,2717 ^{NS}	-0,1497 ^{NS}
K (mg.dm ⁻³)	-0,1236 ^{NS}	-0,2826 ^{NS}	-0,1746 ^{NS}	-0,0567 ^{NS}	-0,0334 ^{NS}	-0,0433 ^{NS}	-0,0637 ^{NS}
Ca (cmolc.dm ⁻³)	-0,1091 ^{NS}	-0,2419 ^{NS}	-0,2454 ^{NS}	-0,0567 ^{NS}	0,1444 ^{NS}	-0,1064 ^{NS}	-0,0848 ^{NS}
Mg (cmolc.dm ⁻³)	-0,1983 ^{NS}	-0,2240 ^{NS}	-0,2697 ^{NS}	-0,1004 ^{NS}	0,0215 ^{NS}	-0,0148 ^{NS}	-0,0508 ^{NS}
Fe (mg.dm ⁻³)	0,1576 ^{NS}	-0,0020 ^{NS}	0,0626 ^{NS}	0,1739 ^{NS}	0,1461 ^{NS}	-0,0264 ^{NS}	0,1115 ^{NS}
B (mg.dm ⁻³)	-0,0025 ^{NS}	-0,0209 ^{NS}	-0,1264 ^{NS}	0,2530 ^{NS}	0,1515 ^{NS}	-0,2070 ^{NS}	-0,0347 ^{NS}
Cu (mg.dm ⁻³)	0,1821 ^{NS}	-0,0545 ^{NS}	-0,0066 ^{NS}	-0,0057 ^{NS}	0,0717 ^{NS}	-0,0266 ^{NS}	0,0980 ^{NS}
Mn (mg.dm ⁻³)	0,1474 ^{NS}	0,0278 ^{NS}	0,0956 ^{NS}	0,1919 ^{NS}	-0,1764 ^{NS}	-0,0267 ^{NS}	0,0401 ^{NS}
Zn (mg.dm ⁻³)	-0,0031 ^{NS}	-0,0215 ^{NS}	-0,0884 ^{NS}	0,0237 ^{NS}	-0,0660 ^{NS}	-0,0724 ^{NS}	-0,0273 ^{NS}

^{NS}Não significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade.

CONCLUSÕES

O grid de um ponto por hectare e uma malha de amostragem georreferenciada com espaçamento de 100 metros entre pontos apresenta eficiência na avaliação da variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja.

A qualidade fisiológica em diferentes posições em campo de produção de sementes de soja não é uniforme, particularmente em relação ao vigor, proporcionando melhor diagnóstico por meio de mapas de interpolação.

A utilização de técnicas de agricultura de precisão possibilita determinar a distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes numa área de produção de sementes de soja, o que pode facilitar a tomada de decisão, no que refere-se às áreas a serem colhidas.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, p. 102. 2013.

ARANGO, M. R. et al. Description of the environmental damage on soybean seeds (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Seed Science and Technology**, v. 34, p. 133-141, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SDA/ACS, 2009. 399p.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamentos de safra: 12º levantamento de grãos-setembro/2014**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_graos_setembro_2014.pdf Acesso em: 26 de fevereiro de 2015.

CQFS. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10ª. Ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

FESSEL, S.A. et al. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. **Bragantia**, São Paulo, v. 69, n.1, p. 207-214, 2010.

FORTI, V.A.; CICERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 123-133. 2010.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **The tetrazolium test for soybean seeds**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. 72p. (EMBRAPA-CNPo. Documentos, 116).

GIOTTO, L; ROBAINA, A.D.; SULZBACH, L.A. **Agricultura de precisão com o sistema CR campeiro 5**, Manual do Usuário, 2004. 330p.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MATTIONI, N.M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.608-615, 2011.

MESTAS, R. M. et al. Variabilidad espacial de los atributos físico-hídricos del suelo y de la productividad del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L) irrigado bajo un sistema de siembra directa. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, Portugal, v. 33 n. 1, p. 307-313, 2010.

MONDO, V. H. V. et al. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2012.

MUNIZZI, A. et al. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 176-185, 2010.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Ed. ABRATES, 1999, p. 20-24.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A; SCHUCH, L.O.B. Produção de Sementes. In: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3ª edição. Pelotas: Ed. Universitária, 2012, cap. 1, p. 13-100.

PINTO, T.L.F.; CICERO, S.M.; FORTI, V.A. Avaliação de danos por umidade, em sementes de soja, utilizando a técnica de análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29. n. 3, p. 31-38. 2007.

PINTO, T.L.F. et al. An assessment of mechanical and stink bug damage in soybean seed using X-ray analysis test. **Seed Science and Technology**, v.37, p.110-120, 2009.

RESENDE, A.V. et al. Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. In: BERNARDI, A.C.C. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Ed. Embrapa, 2014, cap. 2, p. 192-339.

SANTOS, J. F. et al. Avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 743-751, 2011.

SOUZA, Z. M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 829-836, 2006.

SOUZA, G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SOUZA, C. M. A. et al. Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semimecanizada. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 201-208, 2010.

SCHUCH, L.O.B.; KOLCHINSKI, E.M.; FINATTO, J.A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 144-149, 2009.

ARTIGO III

Rastreabilidade associada a técnicas de agricultura de precisão no controle de qualidade de sementes de soja[‡]

Resumo: O trabalho teve por objetivo a aplicação de técnicas de agricultura de precisão, associadas à rastreabilidade como ferramenta de controle de qualidade e de informações na produção de sementes de soja. Foram realizadas amostragem de sementes, em pontos georreferenciados, para determinação da qualidade fisiológica. Os resultados foram submetidos à análise geoestatística. A qualidade fisiológica das sementes não foi uniforme, com destaque para os testes de vigor que se mostraram mais sensíveis às variações dentro da área de produção, sendo possível a representação destes resultados em mapas de interpolação. Os valores do alcance da dependência espacial ficaram compreendidos entre 200 a 800 m. Observaram-se acentuadas variações na porcentagem de dano por percevejo e de umidade dentro da área de produção. A rastreabilidade proporcionou o registro, o acompanhamento e a gestão de informações das etapas do processo de produção de sementes. As principais informações relacionadas ao processo de produção foram disponibilizadas para consulta dos clientes por meio dos lotes de sementes beneficiadas. A associação entre técnicas de agricultura de precisão e rastreabilidade com a finalidade de avaliação da distribuição espacial da qualidade fisiológica, criação das variáveis respostas para adubação, integradas à rastreabilidade, como ferramenta de gestão de informações na produção de sementes é adaptável e viável de aplicação em empresas produtoras de sementes.

Palavras chave: *Glycine max* (L.) Merrill, variabilidade espacial, gestão de informações, rastreamento, qualidade fisiológica.

[‡] Artigo sob normas da revista La Plata.

Traceability and spatial variability to assess physiological quality of soybean seeds

Abstract: The objective of the study was to associate precision agriculture techniques with traceability as quality control tools and information in the production of soybean seeds. Seeds were sampled for analysis of physiological quality in a soybean production field in georeferenced points. The results were subjected to geostatistical analysis and the information was interpolated and the results presented on maps. The seed quality was not uniform, and the sample showed greater variation in seed vigor within the production area and these results shows that is possible the representation of interpolation maps. The values of spatial dependence ranged between 200-800 m. There was a large variation in the percentage of damage caused by insect and moisture within the production area. Traceability provided registration, monitoring and steps of seed production management process. The main information related to the production process was made available to customers through of the processed seed lots. The interaction between technical precision agriculture traceability provides access to detailed information about spatial distribution of quality of the seed lots and creation of variable response of cultivar to fertilizer integrated to traceability. This is an adaptable and viable management tool to be used by soybean seed companies.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill, spatial variability, information management, tracking.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem apresentado nas últimas safras um desempenho crescente em termos de produtividade e produção de grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e a base dessa pirâmide produtiva esta associada à utilização de sementes de qualidade comprovada. Na safra 2011/2012, a taxa de utilização de sementes de soja no Brasil foi de 67%, frente a uma demanda potencial de 1.501.080 t de sementes (ABRASEM, 2012). Neste contexto, o desenvolvimento de novas tecnologias visando à otimização de recursos na produção e comercializações de sementes são fundamentais.

O uso de sistema de informações geográficas, no contexto de agricultura de precisão, é uma poderosa ferramenta na avaliação de fatores quantitativos e qualitativos responsáveis pela variabilidade espacial em campos de produção de sementes (Mondo et al., 2011). A produção de sementes com qualidade superior muitas vezes é limitada por um conjunto de fatores bióticos e abióticos que interagem, limitando a exploração de áreas destinadas à produção. O estudo dos limites de produtividade contribui para a identificação das variáveis ambientais responsáveis pelo desempenho final da cultura e ressalta cada nível à limitação imposta à expressão da máxima produtividade (Amado & Santi, 2010).

Segundo Mattioni et al. (2011), a variabilidade representada por mapas de interpolação é uma ferramenta de gestão de qualidade de sementes que permite a definição de áreas a serem colhidas e descartadas dentro de um campo de produção. A rastreabilidade, na forma de garantia de origem e qualidade, é importante alternativa de controle de qualidade e operações nos campos de produção, permitindo o acompanhamento das etapas, iniciando com a semeadura, tratos culturais, aplicações de agrotóxicos e fertilizantes, colheita, beneficiamento até a venda ao cliente final (Gazolla et al., 2012).

A associação entre técnicas de agricultura de precisão com a finalidade de avaliação da distribuição espacial dos componentes da qualidade integradas à rastreabilidade constitui-se em ferramenta central de gestão de informações na produção de sementes e pode ser utilizada visando: a) criação de mapas de espacialização para os componentes da qualidade fisiológica; b) definição de regiões dentro do campo de produção com sementes de alto e baixo vigor; c) ferramenta de gestão de informações e tomada de decisões; d) transparência na

cadeia produtiva; f) disponibilização de informações chaves do processo produtivo aos clientes (Gazolla & Gadotti, 2014).

A possibilidade de inserir informações detalhadas sobre a origem e as características dos produtos, distribuídos de acordo com lotes homogêneos nas várias etapas da cadeia produtiva, tornou-se importante instrumento de vantagem comercial, constituindo-se, para a empresa, numa condição essencial, para responder às exigências dos consumidores (Qjan et al., 2012; Fenga et al., 2013).

Este trabalho teve por objetivo a aplicação de técnicas de agricultura de precisão, associadas à rastreabilidade, como ferramenta de controle de qualidade e de informações na produção de sementes de soja.

MATERIAL E METODOS

O trabalho foi conduzido num campo de produção de sementes de soja no município de São Gabriel - RS (latitude 30° 19' 55" S, longitude 54° 11' 06" W) numa área de 39 ha na safra 2012/2013. As análises de qualidade das sementes foram realizadas no Laboratório Didático de Análise de Sementes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, da Universidade Federal de Pelotas.

Considerando o mapa de contorno da área de produção, foram distribuídos os pontos de monitoramento espacializados de 100 x 100 m, caracterizando um ponto amostral central por hectare com quatro sub-pontos distribuídos em quatro raios de 15 m a partir do ponto central, com um ângulo entre eles de 90°. Os pontos amostrais centrais foram definidos com base na metodologia de amostragem sistemática, seguindo uma malha regular de amostragem, cujos pontos são demarcados, dentro de uma rota de caminhamento pré-definida e com base no contorno do campo de produção.

A semeadura foi realizada no sistema de semeadura direta na palha, no dia 05 de novembro de 2012, utilizando uma semeadora equipada com sulcador do tipo facão e sistema de distribuição de sementes do tipo disco perfurado (Semeato® Sol T 15). A máquina foi regulada para distribuir 15 sementes por metro linear e um espaçamento entre linhas de 0,45 m. A cultivar utilizada foi a TEC 5936 IPRO, com hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 5.9.

A colheita foi realizada no dia 28 de março de 2013, totalizando 115 dias entre a emergência e a maturidade fisiológica e 123 dias entre a emergência e a colheita.

Foram coletadas as plantas em cinco parcelas de 1 m² cada uma, de forma que as cinco subamostras formaram a amostra média do ponto. As plantas colhidas tiveram as suas vagens removidas, posteriormente estas sofreram debulha manual, obtendo-se as amostras de sementes de todos os pontos da malha de amostragem. As amostras foram submetidas à operação de secagem artificial em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 30 °C, até atingirem um teor de água de 12%.

Para a determinação da qualidade fisiológica das sementes, foram realizadas as seguintes avaliações:

Teste de germinação (G): conduzido em quatro amostras de oito subamostras de 50 sementes, totalizando 400 sementes por amostra. As sementes foram dispostas em rolos formados por três folhas de papel germitest, umedecidas com água o equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram transferidos para uma câmara de germinação tipo BOD a 25 °C e período luminoso de 12 horas. As avaliações foram efetuadas no quinto e no oitavo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Coeficiente de velocidade de germinação (CVG): obtido a partir de contagem diária do número de sementes germinadas (protrusão radicular mínima de 3 a 4 mm). As contagens foram realizadas até a obtenção do número constante de sementes germinadas. O cálculo foi realizado segundo Nakagawa (1999).

Comprimento de plântulas (CP): avaliados por meio de quatro subamostras de 10 plântulas, ao final do teste de germinação. O comprimento de plântulas foi obtido pela medida da distância entre a porção apical da raiz ao ápice da parte aérea. Os resultados foram expressos em centímetros (cm) (NAKAGAWA, 1999).

Massa seca de plântulas (MSP): obtida pela aferição da massa de quatro subamostras de 10 plântulas, ao final do teste de germinação. As plântulas foram acondicionadas em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada sob temperatura de 65 °C, por 72 horas. Os resultados foram expressos em gramas (g) (NAKAGAWA, 1999).

Envelhecimento acelerado (EA): foram utilizadas caixas plásticas do tipo gerbox como compartimento individual, em cujo interior ocorreu à adição de 40 mL de água. As sementes foram colocadas em camada única sobre uma tela acondicionada dentro da caixa gerbox e mantidas a 41 °C durante 72 horas. Posteriormente

conduziu-se o teste de germinação, realizando uma única contagem no quinto dia. Os resultados foram expressos em porcentagem (Marcos Filho, 2005).

pH do exsudato (Viabilidade): as sementes foram embebidas em 2 mL de água destilada com pH = 7,0 em recipiente de plástico com células individualizadas (capacidade de 3 mL cada), durante 30 minutos, a 25 °C. Em seguida, adicionou-se a cada célula uma gota de solução indicadora pH do exsudato, e agitou-se com um bastonete. A coloração resultante indica o nível de viabilidade da semente, indo do rosa forte (sementes viáveis que originarão plantas normais), passando pelo rosa fraco (sementes que originarão plântulas anormais) até o incolor (sementes mortas). Os resultados foram expressos em porcentagem (Amaral & Peske, 1984).

Teste de tetrazólio: foram utilizadas duas subamostras de 50 sementes, sendo estas dispostas entre três folhas de papel germitest umedecido com água destilada e pré-condicionadas por 16 horas em estufa incubadora (tipo BOD), a 25 °C. Decorrido este período, as sementes foram transferidas para copos plásticos, com volume de 50 mL, sendo totalmente submersas em solução de tetrazólio (0,075%), e mantidas a 40 °C por 180 minutos no interior da BOD. Após a coloração e lavagem das sementes em água corrente, estas foram classificadas em níveis de 1 a 8. A viabilidade (VBT) foi representada pela soma das porcentagens de sementes pertencentes às classes de 1 a 5; o nível de vigor (VT), pelas classes de 1 a 3 e, a perda de viabilidade, pelas classes de 6 a 8, o dano por percevejo [DP 1-8(%)], dano por umidade [DU 1-8(%)], [DP 6-8(%)] e o [DU 6-8(%)], foram calculados pela soma dos valores das repetições dos respectivos efeitos nas classes de 1 a 8 e de 6 a 8, respectivamente. Os resultados foram expressos em porcentagem (França Neto et al., 1998).

Os resultados foram submetidos à análise geoestatística. O método geoestatística de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, com raio máximo de pesquisa de 100 metros. A elaboração dos modelos digitais (mapas) foi realizada por meio do software “Sistema Agropecuário CR - Campeiro 7” (Giotto et al., 2004). Todas as informações referentes ao manejo, tratamentos culturais, colheita e precipitações pluviométricas, sequência do beneficiamento e controles de qualidade foram registrados por meio do sistema “Sementes Rastreadas” (Gazolla et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas descritivas determinadas para os atributos da qualidade de sementes de soja (germinação, pH do exsudato, viabilidade e vigor por tetrazólio, envelhecimento acelerado, coeficiente de velocidade de germinação, matéria seca de plântulas, dano por percevejo e umidade) estão apresentados na Tabela 1. Entre as variáveis, o coeficiente de variação apresentou uma amplitude de valores de 1,40% para germinação em papel e 42,91% para o dano por percevejo. A germinação em papel, o pH do exsudato e viabilidade pelo teste de tetrazólio registraram os menores coeficientes de variação, 1,40; 1,42 e 1,63%, respectivamente. Estes resultados são evidenciados nos mapas de espacialização dessas variáveis (Figura 1). Mattioni et al. (2011) e Mondo et al. (2012) obtiveram coeficientes de variação superiores para variável germinação em papel, de 7,25 e 8,45%, respectivamente.

Tabela 1 - Variáveis estatísticas para os atributos da qualidade de sementes de soja, safra 2012/2013.

Variáveis*	Valores		Média	Coeficiente		
	Mínimo	Máximo		Variação (%)	Assimetria	Curtose
G (%)	92	100	97,54	1,40	4,36	-1,31
pH do Exsudato (%)	92	98	96,02	1,42	0,48	-0,37
VBV (%)	93	99	96,28	1,63	-0,83	-0,19
EA (%)	87	92	91,51	2,00	-0,01	-0,97
VT (%)	85	99	92,49	4,38	-0,86	-0,56
CVG	43,80	65,79	53,05	11,74	-1,17	0,21
CP (cm)	19,07	36,21	27,48	18,52	-1,37	-0,09
MSP (g)	5,31	7,08	6,05	8,00	-0,89	0,28
DP 1-8 (%)	6	54	27,89	42,91	-0,48	0,47
DU 1-8 (%)	18	54	39,62	25,52	-0,32	-0,55

*G: Germinação; pH do Exsudato: Viabilidade pH do exsudato; VBT: Viabilidade pelo teste de tetrazólio; EA: Envelhecimento Acelerado; VT: Vigor pelo teste de tetrazólio; CVG: Coeficiente de velocidade de germinação; CP: Comprimento de Plântulas; MSP: Matéria seca de plântulas; DP 1-8: Dano por percevejo pelo do teste de tetrazólio; DU 1-8: Dano por umidade pelo do teste de tetrazólio.

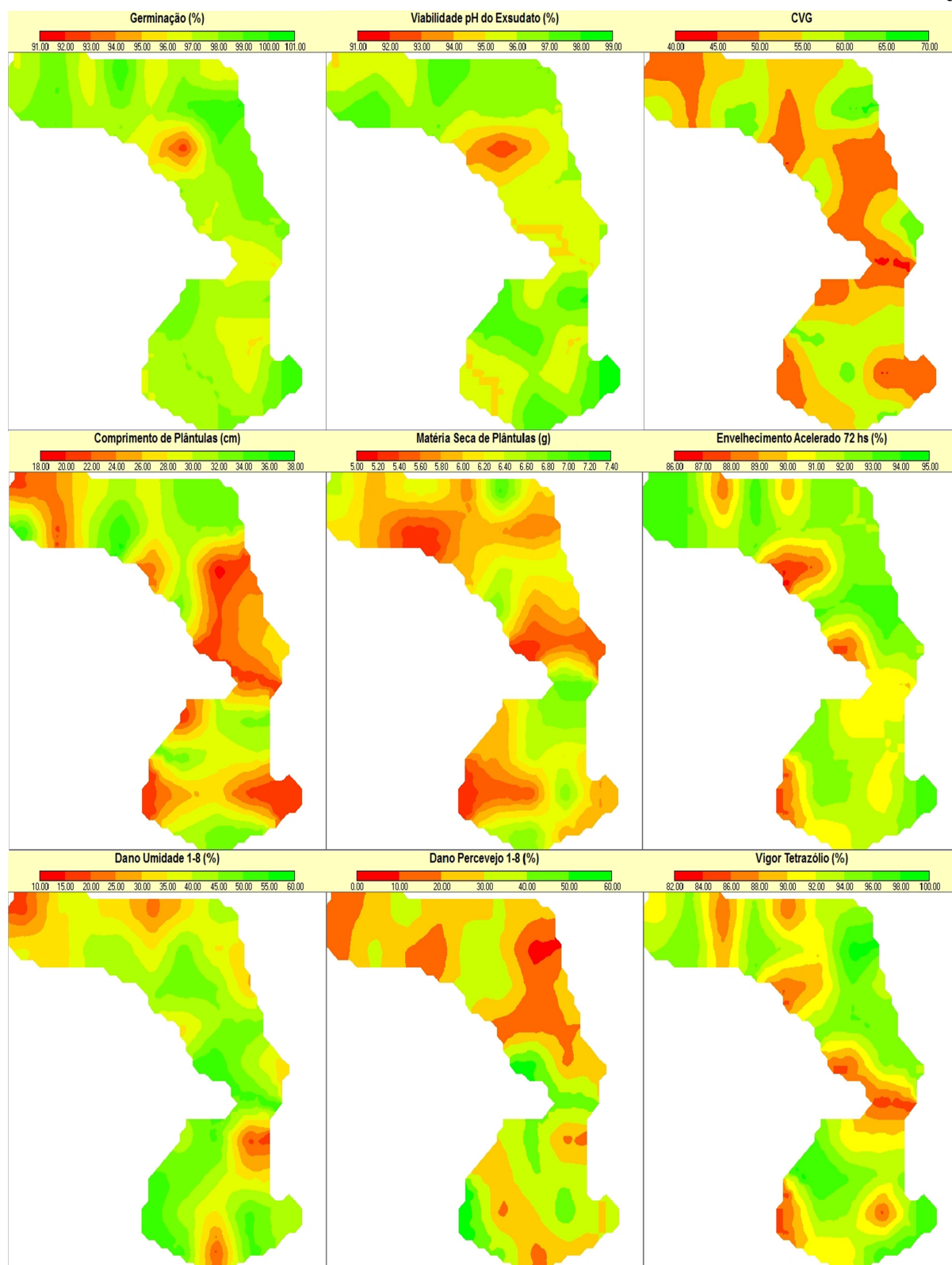


Figura 1. Mapas de variabilidade espacial dos componentes da qualidade, dano por percevejo e umidade em campo de produção de sementes de soja, safra 2012/2013.

A interação dos resultados da distribuição espacial dos componentes da qualidade e do mapeamento georreferenciado proporcionou a identificação de regiões com sementes de alto e baixo vigor dentro do campo de produção (Figura

1). Segundo Mattioni et al. (2011), a variabilidade representada por mapas de interpolação é uma ferramenta da gestão de qualidade de sementes que permite a definição de áreas a serem colhidas e descartadas dentro de um campo de produção de sementes. Sementes com baixo vigor podem provocar reduções na velocidade de emergência, na uniformidade, na emergência total, no tamanho inicial e no estabelecimento de estandes adequados (Vanzolini & Carvalho, 2002), fatores que podem reduzir o acúmulo de matéria seca e, conseqüentemente, a produtividade (Kolchinski et al., 2005).

A espacialização dos resultados dos testes de tetrazólio para as variáveis, dano por percevejo (DP 1-8) e umidade (DU 1-8) evidenciaram uma ampla faixa de distribuição na área de produção, sendo possível a identificação de regiões com diferentes níveis de incidência (Figura 1). Altos índices de dano por percevejo e umidade estão diretamente relacionados à redução do vigor das sementes de soja (França Neto et al., 1998). Em contrapartida, a porcentagem de sementes inviáveis devido ao DP 6-8 e DU 6-8 foram reduzidas, não apresentando variação expressiva, não permitindo a construção dos mapas de interpolação.

A espacialização dos atributos da qualidade de sementes de soja foram estabelecidas por meio da análise dos semivariogramas e seus componentes (Tabela 2). De maneira ampla, verificaram-se variações expressivas nos valores do alcance da dependência espacial entre as variáveis, com valores compreendidos entre 200 a 800 m. O alcance expressa o limite da dependência espacial da variável, de forma que determinações realizadas a distancias superiores ao alcance possuem distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica. Por outro lado, determinações realizadas em distâncias inferiores são correlacionadas umas as outras, permitindo interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (Andriotti, 2013). Nesse sentido, valores de alcance são importantes na planificação de futuras amostragens, permitindo dimensionar grades e estimar o número de pontos a serem amostrados (Souza et al., 2006). Segundo Oliveira et al. (1999), o conhecimento dos valores do alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e/ou menores índices de determinado atributo químico são fundamentais para o planejamento do manejo da fertilidade do solo, na agricultura de precisão.

Pela análise dos parâmetros dos semivariogramas (Tabela 2), verificou-se que todas as variáveis ajustaram-se ao modelo esférico, concordando com resultados de

pesquisas que indicam este modelo como o de maior ocorrência (Souza et al., 2004; Corá et al., 2004 e Montanari et al., 2008). Entre as variáveis em estudo o coeficiente de determinação (r^2) ficou compreendido entre 0,882 para dano por percevejo 1-8 (%) e 0,999 para o vigor pelo teste de tetrazólio. Valores superiores a 0,882 para os atributos da qualidade indicam, que 88,2% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados (Souza et. al., 2006).

Os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar (C_0+C_1), exibiram destacada faixa de destruição, de 0,120 a 69,294 e 0,238 a 143,305, respectivamente (Tabela 2). O efeito pepita indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada. Quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa (Vieira, 2000). A razão entre os valores do efeito pepita e os do patamar estabelece o grau de dependência espacial (GDE) das variáveis em estudo (Cambardella et al., 1994).

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos atributos da qualidade de sementes de soja, safra 2012/2013.

Variáveis**	Modelo	C_0	C_0+C_1	Alcance (m)	GDE		r^2
					E (%)	RDE	
G (%)	Esférico	1,339	2,097	200	63,85	Moderada	0,998
pH do Exsudato (%)	Esférico	0,901	1,867	300	48,24	Moderada	0,998
VBT (%)	Esférico	1,210	2,471	300	48,98	Moderada	0,999
EA (%)	Esférico	1,824	3,414	200	53,43	Moderada	0,998
VT (%)	Esférico	8,866	16,414	200	54,02	Moderada	0,997
CVG (%)	Esférico	21,019	38,884	200	54,11	Moderada	0,990
CP (%)	Esférico	11,500	25,912	500	44,38	Moderada	0,978
MSP (g)	Esférico	0,120	0,238	200	50,56	Moderada	0,995
DP 1-8 (%)	Esférico	69,294	143,305	500	48,35	Moderada	0,882
DU 1-8 (%)	Esférico	44,423	102,242	800	43,45	Moderada	0,951

Efeito pepita: C_0 ; Patamar: $C_0 + C_1$; Grau de dependência espacial: GDE; Coeficiente de efeito pepita: E (%); Razão de dependência espacial: RDE; Coeficiente de determinação: r^2 .

**G: Germinação; pH do Exsudato: Viabilidade pH do exsudato; VBT: Viabilidade pelo teste de tetrazólio; EA: Envelhecimento Acelerado; VT: Vigor pelo teste de tetrazólio; CVG: Coeficiente de velocidade de germinação; CP: Comprimento de Plântulas; MSP: Matéria seca de plântulas; DP 1-8: Dano por percevejo pelo do teste de tetrazólio; DU 1-8: Dano por umidade pelo do teste de tetrazólio.

O coeficiente de efeito pepita (E%) apresentou valores mínimo e máximo de 43,45 e 63,85%. A razão de dependência espacial (RDE) foi obtida conforme a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), indicando que todas as variáveis apresentaram moderada dependência espacial. Este critério baseia-se nos resultados do coeficiente do efeito pepita das variáveis compreendido entre 25 a 75%. Estes dados demonstram que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. Avaliando a variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja, Mondo et al. (2012) observaram variações de moderada a forte para a razão de dependência espacial. De acordo com Kravchenko (2003), variogramas com estrutura de dependência espacial de moderada a forte geram mapas de krigagem mais precisos do que aqueles gerados com fraca dependência espacial, devido à menor contribuição do componente aleatório na variabilidade dos dados.

As operações da semeadura até a expedição ao cliente final foram documentadas por meio do software de rastreabilidade, estabelecendo zonas de manejo dentro do campo de produção. Este monitoramento iniciou pelo registro detalhado das unidades de produção (áreas de produção e unidade de beneficiamento de sementes), seguindo pelas operações pós-semeadura (tratos culturais executados durante o ciclo da cultura, monitoramento de pragas, doenças e inimigos naturais, gestão de aplicações de agrotóxicos e fertilizantes), colheita, seguido pelas operações de acondicionamento na unidade de beneficiamento de sementes e controle de qualidade. Segundo Ávila e Albrecht (2010), a máxima qualidade fisiológica das sementes de soja é alcançada por ocasião da maturidade fisiológica, período que coincide com o máximo acúmulo de matéria seca, vigor, germinação e todas as condições desfavoráveis enfrentadas pelas plantas durante a maturação das sementes (estresse hídrico e térmico, ataque de insetos e patógenos); durante a pré-colheita (altas temperaturas, alta umidade relativa do ar, ataque de percevejos e patógenos), de colheita (momento e umidade, sistema de trilha e velocidade de colheita) e de pós-colheita (secagem, beneficiamento e condições de armazenamento) afetam a qualidade das sementes. Neste contexto, o controle e a gestão de informações são fundamentais.

Foi possível integrar os dados gerados pela agricultura de precisão, como mapas, zonas de manejo e dados foram incorporados ao sistema de rastreabilidade.

Durante a recepção e o beneficiamento, as cargas e os lotes foram relacionados ao histórico de produção do campo e organizados de acordo com a data da recepção, cultivar, fazenda e área de produção. Ao histórico de cada novo lote foi associado um código único de 10 caracteres, composto de letras e números, impresso a uma etiqueta com código de barras 2D, fixada nas embalagens (Figura 2). Após este procedimento, as movimentações no interior da unidade de beneficiamento de sementes foram controladas pela leitura do código 2D. A utilização do código de barras 2D torna a rastreabilidade um processo acessível para as empresas que desejam aumentar a transparência do processo de produção, proporcionando ao cliente final o acesso detalhado às informações através de dispositivos móveis e site da empresa (Fröschle et al., 2009; Qjan et al., 2012; Vaz e Vaz., 2014).



Figura 2. Etiqueta com informações para consulta da rastreabilidade, Safra 2012/2013.

A proposta de rastreabilidade para a produção de sementes de soja está de acordo com o proposto por Legge Regionale (2002), ao relatar que um sistema de rastreabilidade eficiente possui a finalidade de garantir a segurança alimentar, assegurar o direito do consumidor à informação, destacar a origem e qualidade da produção e aperfeiçoar a organização das cadeias produtivas por meio de inovações tecnológicas.

Após a comercialização, os lotes foram rastreados até o destino final, a fim de garantir a manutenção da origem em todas as etapas da cadeia produtiva (Qjan et al., 2012 e Fenga et al., 2013). Considerando, por exemplo, a ocorrência de

A demarcação de regiões com alto e baixo vigor através da agricultura de precisão, associado à rastreabilidade, proporcionam a formação de lotes baseados na qualidade fisiológica das sementes de soja e sua localização geográfica no campo de produção.

Os valores do alcance da dependência espacial dos atributos da qualidade de sementes de soja apresentam uma ampla faixa de distribuição entre as variáveis, com valores compreendidos entre 200 a 800 m.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.S. & PESKE, S.T. 1984. pH do exsudato para estimar, em 30 minutos a viabilidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.6, n.3, p.85-92.
- AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L. In: THOMAS, A.L.; CONTA, J.A. (org) 2010. Soja: Manejo para altas produtividades de grãos. Ed. EVANGRAF, **Porto Alegre**. p. 177-207.
- ANDRIOTTI, J.L.S. 2013. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, p. 102.
- Associação Brasileira de Sementes e Mudanças - ABRASEM. 2012. **Anuário 2012**. p.39.
- ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. 2010. **Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja**. Informativo ABRATES, v. 20, n. 1,2, p. 15-20.
- BARROS, A.S.R.; MARCOS FILHO, J. 1990. Testes para avaliação rápida da viabilidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.10, p.1447-1459.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2009. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 395p.http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/2946_regras_analise__sementes.pdf
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. 1994. **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511.
- CORÁ, J.E., ARAUJO, A.V., PEREIRA, G.T. & BERALDO, J.M.G. 2004. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de

precisão na cultura de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1013-1021.

FENGA, JIANYING.; FUA,ZETIAN.; WANGB, ZAIQIONG.; XUC, MARK. & ZHANGB, XIAOSHUAN. 2013. Development and evaluation on a RFID-based traceability system for cattle/beef quality safety in China. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.31, n.2, p.314-325.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. 1998. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. 72p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 116).

FRÖSCHLE, H.K.; GONZALES-BARRON, U.; MCDONNELL, K. & WARD, S. 2009. Investigation of the potential use of e-tracking and tracing of poultry using linear and 2D barcodes. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.66, n.2, p.126-132.

GAZOLLA-NETO, A.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; LEVINSKI, P.; FONSECA, F. R.; PESKE, S. T. & VILLELA, F. A. 2012. **Rastreabilidade aplicada à produção de sementes de soja**. Informativo ABRATES, v.22, n.2, p.20-24.

GAZOLLA-NETO, A.; GADOTTI, G. I. 2014. **Estratégias para gestão de informações na produção de sementes**. Revista SEED News, n.5, p.16-18.

GIOTTO, L; ROBAINA, A.D. & SULZBACH, L. 2004. A Agricultura de precisão com o sistema CR campeiro 5, **Manual do Usuário**, 330p..

LEGGE REGIONALE. 9 dicembre de 2002, n. 33. **Bolletino Ufficiale Della Regione Emilia Romagna**, n. 171, 2002.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B. & PESKE, S.T. 2005. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1248-1256.

KRAVCHENKO, A.N. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. **Soil. Science Society of American Journal**, v.67, p.1564-1571.

MARCOS FILHO, J. 2005. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 495 p..

MATTIONI, N.M.; SCHUCH, L.O.B. & VILLELA, F.A. 2011. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.608-615.

MONDO, V.H.V.; JUNIOR, F.G.G.; PINTO, T.L.F.; MARCHI, J.L.; MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P. & CICERO, S.M. 2012. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.2, p.193-201.

- MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J. & CAMARGO, L.A. 2008. Variabilidade espacial de atributos químicos em latossolo e argissolos. **Ciência Rural**, v.38, n.5, p.1266-1272.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Ed. ABRATES, 1999, p. 20-24.
- OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E. & LUNA, J.G. 1999. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.23, p.783-789.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A. & MENEGHELLO, G.E. 2012 (Eds.). 3rd ed. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Pelotas, UFPel.
- QJAN, J. A.; YANG, X. T.; WU, X. M.; ZHAO, L.; FAN, B. L. & XING, B. 2012. Traceability System incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.89, p.76-85, 89:76-85. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.004>. Último acesso: outubro de 2014.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. 2004. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.937-944.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T & MONTANARI, R. 2006. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.829-836.
- VANZOLINI, S.; CARVALHO, N.M. 2002. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.1, p.33-41.
- VAZ, M. C. S.; VAZ, M. S. M. G. 2014. Information Technology Applied to the Process of Traceability in the Wheat Supply Chain. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, v.17, p. 1318-1325.
- VIEIRA, S.R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. (ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Num campo de produção de sementes, os atributos químicos do solo naturalmente apresentam variabilidade entre diferentes pontos. A adubação e a correção do solo não eliminam estas diferenças, embora possam minimizar e maximizar os excessos. Em consequência, a produtividade pode apresentar variações dentro do campo de produção.

Além disso, a ação de agentes bióticos e abióticos não se manifesta de maneira uniforme na área de cultivo, podendo exercer influência de intensidade variável em diferentes pontos, contribuindo para estabelecer variabilidade espacial no que se refere à qualidade fisiológica das sementes num campo de produção.

Considerando um campo de produção de sementes de soja em que foram distribuídos pontos de monitoramento especializados, constatou-se que os valores do alcance da dependência espacial apresentaram uma ampla faixa de distribuição entre as variáveis, com valores compreendidos entre 200 a 700 m para os atributos químicos do solo e componentes do rendimento e 200 a 800 m para os atributos da qualidade de sementes de soja. Neste contexto, o grid de um ponto por hectare e uma malha de amostragem georreferenciada com espaçamento de 100 metros entre pontos apresenta eficiência na avaliação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, componentes de rendimento e qualidade fisiológica de sementes de soja, permitindo a identificação de regiões dentro do campo de produção, com altos e baixos rendimentos e com sementes de alto e baixo vigor.

A qualidade fisiológica em diferentes posições em campo de produção de sementes de soja não é uniforme, particularmente em relação ao vigor, proporcionando melhor diagnóstico por meio de mapas de interpolação.

A utilização de técnicas de agricultura de precisão associadas às avaliações rápidas da qualidade fisiológica das sementes nos campos de produção de soja maximizam a utilização de recursos, facilitando a tomada de decisão, no que se refere às áreas a serem colhidas.

A interação entre técnicas de agricultura de precisão, por meio da espacialização dos atributos da qualidade fisiológica com a rastreabilidade, possibilita a identificação de regiões dentro do campo de produção com sementes de soja de alto e baixo vigor, associada à gestão de informações

durante as etapas da produção e beneficiamento, permitindo aumentar a transparência do processo e, assim, possibilitar o acesso a informações detalhadas sobre a origem e a qualidade dos lotes.

A gestão central de informações associada à organização dos processos produtivos proporcionam otimização de recursos, redução de custos operacionais e qualificação do produto final, por meio da disponibilização de informações online para consulta dos consumidores.