

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



Tese

**Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade de sementes de
trigo e soja em sucessão sob sistema de plantio direto**

Marciabela Fernandes Corrêa

Pelotas, 2017

Marciabela Fernandes Corrêa

Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade de sementes de trigo e soja em sucessão sob sistema de plantio direto

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

Orientador: Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

C823v Corrêa, Marciabela Fernandes

Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade de sementes de trigo e soja em sucessão sob sistema de plantio direto / Marciabela Fernandes Corrêa ; Luis Osmar Braga Schuch, orientador ; Gizele Ingrid Gadotti, coorientadora. — Pelotas, 2017.

74 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Agricultura de precisão. 2. Distribuição espacial. 3. Qualidade de semente. 4. *Glycine max* (L.) Merrill. 5. *Triticum aestivum* L.. I. Schuch, Luis Osmar Braga, orient. II. Gadotti, Gizele Ingrid, coorient. III. Título.

CDD : 631.521

Marciabela Fernandes Corrêa

Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade de sementes de trigo e soja em sucessão sob sistema de plantio direto

Tese aprovada, como requisito parcial, para a obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 23 de fevereiro de 2017

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch (Orientador)
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof^a. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti (Co-Orientadora)
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela
Doutor em Fitotecnia pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Ledemar Carlos Vahl
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Hilton Grimm
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

À minha família, aos meus pais Edna e Jorge,
aos meus irmãos Iberê e Jorge André. E aos
meus sobrinhos Victor e Melina.

A todos os agricultores que trabalham
incansavelmente na produção de alimentos.

Dedico.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta as mudanças.”

Charles Darwin

Agradecimentos

A Deus por tudo.

Ao professor Luis Osmar Braga Schuch, pelo conhecimento repassado, apoio, disponibilidade, pelo exemplo, e por ter contribuído para minha formação profissional.

À professora Gizele Ingrid Gadotti pela co-orientação, pelo exemplo de profissional, pelas contribuições valiosas ao trabalho, pelo apoio em todos os momentos inclusive nas avaliações do experimento em campo.

Ao Eng. Agr. Gerson Herter, proprietário da Sementes Granello, pela disposição e por viabilizar a realização deste trabalho em sua empresa, pelo seu entusiasmo e dedicação ao trabalho.

Ao Alexandre Gazolla Neto por ter incentivado este trabalho e oportunizado que o experimento se realizasse na Sementes Granello, pelo exemplo de dedicação, trabalho, e competência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela estrutura disponibilizada na realização dos trabalhos. Ao corpo docente pelos ensinamentos. À amiga Ireni pelos ensinamentos sobre análise de sementes durante as avaliações e ao secretário Bandeira, sempre disposto a ajudar.

Aos meus pais pela educação, pelos ensinamentos, pelo exemplo de família, e apoio.

Aos amigos Cassyo e Jucilayne por terem oportunizado e incentivado a realização do doutorado sanduíche na Universidad de Valladolid.

Aos professores Luis Manuel Navas, Jesus Martin Gil, Adriana e Salvador Hernandez da Universidad de Valladolid na Espanha.

Aos colegas da Universidad de Valladolid Iosody, Jorge, Gonzalo, Blas, Michel, Luis Fernando, Norlan, Micaela, que me proporcionaram momentos de troca de conhecimento e descontração.

Aos estagiários e amigos Renan Navroski, Ariele Nadal, Aline Gomes, Rafael Vergara, José Henrique, Fabiane Rezemini, sem a ajuda de vocês não seria possível a realização deste trabalho.

Aos colegas de doutorado César Castellano e Letícia Medeiros pela ajuda nos momentos difíceis e apoio sempre.

Às amigas Solange Silveira, Hélen Saliba, Danielli Olsen, Catiane da Rosa que em diferentes momentos dividimos muitas histórias.

A alguns amigos que me apoiaram, colaboraram para a minha formação e de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que contribuíram para que esta etapa fosse concluída.

A CAPES pela bolsa de doutorado e pela bolsa de doutorado sanduíche no exterior que oportunizou um período de grande crescimento profissional e pessoal, onde tive a oportunidade de conhecer vários países e culturas diferentes, além de conhecer pessoas muito especiais, fatores que contribuíram para que mudasse a minha forma de ver o mundo

RESUMO

CORRÊA, Marciabela Fernandes. Universidade Federal de Pelotas, Fevereiro de 2017. **Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade de sementes de trigo e soja produzidas em sucessão sob sistema de plantio direto.** Orientador: Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch.

O objetivo do trabalho foi correlacionar os atributos do solo com o rendimento e qualidade fisiológica de sementes de trigo e soja. No primeiro artigo o objetivo foi estudar as correlações lineares e a distribuição espacial entre os atributos do solo e o rendimento e a qualidade fisiológica de sementes de trigo. No segundo artigo o objetivo foi correlacionar atributos de solo, planta e qualidade fisiológica de sementes em um campo de produção de sementes de soja. No terceiro artigo o objetivo foi avaliar a variabilidade temporal de nutrientes do solo entre safras sucessivas de sementes de trigo e soja, e a distribuição espacial do rendimento das duas culturas relacionando com a espacialização dos nutrientes do solo. O trabalho foi realizado em um campo de produção de sementes na empresa Granello Sementes em uma área de 41 hectares, onde foram produzidas sementes de trigo e soja nas safras 2013 e 2013/2014. As avaliações foram realizadas a partir de um grid de amostragem georreferenciado com espaçamento de 100 x 100 metros. Foram avaliados a germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas, condutividade elétrica, e produtividade para sementes de trigo e soja. Em trigo foram avaliados o teor de clorofila A na folha, número de espigas, peso hectolítrico e teor de proteína na semente. Em soja também foram avaliados número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de sementes por planta e altura de planta. Os atributos do solo avaliados foram os teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, enxofre, ferro, alumínio, zinco, matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca de cátion, o índice SMP, a resistência do solo à penetração, e os percentuais de areia, silte e argila. A análise dos mapas de distribuição espacial dos nutrientes do solo é uma ferramenta que pode contribuir na tomada de decisão do produtor no manejo da adubação da lavoura, visando melhorar a produtividade e a qualidade de sementes.

Palavras chave: agricultura de precisão; distribuição espacial; qualidade de semente; *Glycine max* (L.) Merrill; *Triticum aestivum* L.

ABSTRACT

CORRÊA, Marciabela Fernandes. Federal University of Pelotas, February 2017. **Spatial variability of yield and quality of wheat and soybean seeds produced in succession under no-tillage system.** Advisor: Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch.

The objective of this work was to correlate soil attributes with yield and physiological quality of wheat and soybean seeds. In the first paper the objective was to study the linear correlations and the spatial distribution between the attributes of the soil and the yield and the physiological quality of wheat seeds. In the second paper the objective was to correlate attributes of soil, plant and physiological quality of seeds in a field of soybean seed production. In the third paper, the objective was to evaluate the temporal variability of soil nutrients between successive wheat and soybean seed crops, and the spatial distribution of the yield of the two crops relating to the soil nutrient spatialization. The work was performed in a seed production field at the company Granello Seeds in an area totaling 41 hectares, where wheat and soybean seeds were produced in the 2013 and 2013/2014 crops season. The evaluations were carried out from a georeferenced sampling grid with spacing of 100 x 100 meters. Germination, first germination count, accelerated aging, seedling emergence, electrical conductivity, and yield for wheat and soybean seeds were evaluated. In wheat, the content of chlorophyll A in the leaf, number of ears, hectolitic weight and protein content in the seed were evaluated. In soybean, it was observed number of branches per plant, number of pods per plant, number of seeds per plant and plant height. The soil attributes evaluated were calcium, magnesium, phosphorus, potassium, sulfur, iron, aluminum, zinc, organic matter, pH, cation exchange capacity, SMP index, soil penetration, percentages of sand, silt and clay. The analysis of spatial distribution maps of soil nutrients is a tool that can contribute to farmers' decision making in the management of crop fertilizing, aiming to improve seed productivity and quality.

Key words: precision agriculture; spatial distribution; seed quality; *Glycine max* (L.) Merrill; *Triticum aestivum* L.

Lista de Figuras

Artigo I

Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção, safra 2013/2014.....24

Figura 2. Mapas de distribuição espacial das propriedades químicas do solo, produtividade, número de espigas, peso do hectolitro, e teor de proteína de sementes de trigo, para a safra de 2013.....34

Figura 3. Mapas de distribuição espacial da resistência do solo à penetração, argila e areia.....35

Artigo II

Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção, safra 2013/2014.....42

Figura 2. Precipitação pluvial da semeadura até a colheita do campo de produção de sementes de soja, Lavras do Sul, safra 2013/2014. Fonte: INMET (Estação meteorológica de Caçapava do Sul-RS).....45

Figura 3. Mapas de distribuição espacial das propriedades químicas do solo, emergência, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica, safra 2013/2014, Lavras do Sul, RS.....52

Artigo III

Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção, safra 2013/2014.....59

Figura 2. Precipitação pluvial durante o cultivo do trigo e da soja. Fonte: INMET (Estação meteorológica de Caçapava do Sul-RS).....61

Figura 3. Mapas de distribuição espacial da matéria orgânica, fósforo e potássio avaliados durante a safra de 2013 (trigo) e 2013/2014 (soja). Lavras do Sul, RS.....63

Figura 4. Mapas de distribuição espacial do cálcio, CTC pH 7 e pH avaliados durante a safra de 2013 (trigo) a esquerda e 2013/2014 (soja) a direita. Lavras do Sul, RS.....65

Figura 5. Mapas de dispersão da produtividade e variáveis de qualidade fisiológica de sementes de trigo e soja. PCG – Primeira contagem de germinação e EC – Emergência a campo.....67

Figura 6. Mapas de variabilidade espacial da condutividade elétrica e envelhecimento acelerado de sementes de trigo e soja.....69

Lista de Tabelas

Artigo I

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos e geoestatísticos de atributos do solo e atributos do trigo, para a safra de 2013.....29

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos do solo, atributos do trigo, teor de proteína, teor de clorofila A e atributos fisiológicos de qualidade de sementes.....32

Artigo II

Tabela 1. Parâmetros estatísticos de atributos do solo e da soja para a safra de 2013/2014, Lavras do Sul.....46

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados dos atributos do solo e da soja.....49

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos do solo, atributos da soja, e atributos fisiológicos de qualidade de sementes.....51

Artigo III

Tabela 1. Parâmetros estatísticos de atributos do solo analisados na safra de trigo (T) e soja (S).....61

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
LITERATURA CITADA	19
ARTIGO I - Atributos do solo e desempenho de trigo em campo de produção de sementes georreferenciado	21
Resumo.....	21
Abstract.....	22
Introdução	23
Material e métodos.....	24
Resultados e discussão	27
Conclusões	36
Referências.....	36
ARTIGO II - Distribuição espacial dos atributos do solo e sua correlação com a produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja	39
Resumo.....	39
Abstract.....	40
Introdução	41
Material e métodos.....	41
Resultados e discussão	44
Conclusões	53
Referências.....	53
ARTIGO III – Variabilidade espacial e temporal em um campo de produção de sementes	55
Resumo.....	55
Abstract.....	56
Introdução	57
Material e métodos.....	58
Resultados e discussão	60
Conclusões	70
Referências.....	70

Considerações gerais72

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira e mundial nos últimos anos apresentou um grande crescimento em tecnologia, devido à evolução da eletrônica e da informática. As mudanças tecnológicas fazem parte de toda a cadeia produtiva, desde máquinas e equipamentos agrícolas modernos até cultivares melhoradas geneticamente contribuindo para o desenvolvimento do setor primário. Desta forma, torna-se estratégico o emprego de novas tecnologias, que proporcionem aumentos de produtividade, melhorem o aproveitamento dos recursos disponíveis e minimizem prejuízos ao ambiente.

O crescimento da população evidencia a necessidade do aumento na produção de sementes com vistas a suprir a demanda da produção de grãos, para tal, devendo assentar-se sobre base sólida a partir do emprego de técnicas modernas, da incorporação de novas áreas de cultivo e do estudo, desenvolvimento e melhoria de potenciais genéticos e fisiológicos das cultivares, aliando à utilização de corretas 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).

Na safra 2015/2016, a produção brasileira de grãos de soja chegou a 95,4 milhões de toneladas, com uma área cultivada de 33,2 milhões de hectares e uma produtividade média de 2.870 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2017). A estimativa da produção de soja na safra 2016/2017 é de 103,8 milhões de toneladas, que corresponde a um crescimento de 8,4 milhões de toneladas em relação à safra 2015/2016 (CONAB, 2017).

A produção brasileira de trigo na safra 2016 foi de 6,72 milhões de toneladas, 1,19 milhões a mais do que a safra 2015, sendo os estados do Paraná e Rio Grande do Sul os maiores produtores de trigo do Brasil (CONAB, 2017).

No Brasil, o sistema de plantio direto em lavouras comerciais iniciou na década de 1970, no estado do Paraná. Na safra 2015/2016, a área de grãos estimada com a tecnologia era de 32 milhões de hectares. Segundo o pesquisador da Embrapa Soja Henrique Debiasi, o plantio direto pressupõe três fatores: o mínimo revolvimento do solo; manutenção do solo coberto por palhada durante todo o ano; diversificação de culturas com rotação, sucessão ou consorciação. Uma boa cobertura do solo

apresenta três benefícios principais: redução do impacto da gota da chuva e conseqüente decréscimo das perdas de água e solo por erosão; manutenção da temperatura do solo numa faixa ideal para as plantas; diminuição das perdas de água por evaporação.

A cadeia produtiva de sementes caracteriza-se por sua alta tecnologia, sendo composta por produtores que buscam nas soluções geradas pela pesquisa a excelência em sua atividade. Assim, novas tecnologias que auxiliem a busca pela excelência em produção de sementes são importantes e vem ao encontro dessa grande demanda hoje existente no setor. Tecnologias como a agricultura de precisão tem facilitado o gerenciamento da propriedade agrícola, principalmente quanto à fertilidade do solo e à produtividade.

Conforme McBratney et al. (2005), a agricultura de precisão pode ser entendida como a gestão localizada ou aplicação variável dos fatores de produção. Este tipo de manejo utiliza, basicamente, ferramentas que permitem gerir a variabilidade espacial e temporal e estabelecer meios de compreensão e controle dos fatores do campo. Com esses princípios, de variabilidade espacial de atributos do solo e a aplicação de fertilizantes a taxa variada, diminui a ocorrência de sub e sobre-doses e com isso maximiza a produção e torna mais eficiente o processo de fertilização.

A agricultura de precisão tem por objetivo, a maximização da produtividade, devido a aplicação eficiente de insumos, e redução do impacto ambiental, pois esses insumos serão distribuídos de acordo com a necessidade da cultura, deixando de vir a percolar poluindo águas subterrâneas, obtendo um maior retorno financeiro (LUZ et al., 2013).

Nesse sentido torna-se importante o conceito de adubação de sistemas de produção. Esta é uma tecnologia inovadora que visa à adubação do sistema de produção como um todo, ao invés de adubar uma única cultura. Como no caso da sucessão trigo-soja, essas duas culturas se ajustam perfeitamente no aproveitamento das estações de crescimento de inverno e de verão na região Sul do país, apresentando complementaridades e utilizando estrutura de produção e maquinário similares.

Nesse contexto, é fundamental a realização de pesquisas para compreender o efeito da variabilidade espacial e temporal da fertilidade e compactação do solo na produtividade e qualidade fisiológica das sementes de trigo e soja, produzidas em

sistema de sucessão de culturas. Além disso, torna-se importante avaliar o efeito que uma cultura exerce sobre a outra. Dessa forma, torna possível um manejo mais adequado dos campos de produção de sementes, permitindo a obtenção de lotes de sementes mais uniformes e com alta qualidade.

Assim, esta tecnologia pressupõe a elaboração e utilização de mapas que descrevam as características e atributos de uma área. Eles buscam representar espacialmente a variabilidade dos atributos do solo, produtividade e características da cultura observadas em campo. De acordo com essas informações são tomadas as decisões que envolvem o manejo localizado das áreas.

Segundo Inamasu (2013), coordenador da maior rede de pesquisa do mundo na área de agricultura de precisão, a agricultura atual deve enfrentar o desafio de aumentar a produção em resposta à demanda da crescente população. Para isso, tecnologias ligadas ao sensoriamento remoto, a sistemas de informações geográficas (SIGS) e ao sistema de posicionamento por satélite (GPS) vêm propiciando o desenvolvimento da agricultura de precisão.

Com o advento dos sistemas de posicionamento global e programas geoestatísticos, o mapeamento de determinadas características ou propriedades dos solos e das plantas foi facilitado, assim como a avaliação da variabilidade de vários atributos dentro de uma mesma área.

A compactação do solo pode ser considerada um dos principais fatores, de ordem física, responsável pelo insucesso da agricultura, seja por impedir o desenvolvimento radicular das culturas, ou por concorrer para a redução da infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e, em conseqüência, a sua erosão (GOMES et al., 2006). A compactação do solo dos campos de produção de sementes também ocorre de forma heterogênea, com valores podendo variar de 0,3 até 3,3 MPa e com um coeficiente de variação de 14,34 (MATTIONI et al., 2012). De acordo com Mattioni (2010), ocorreu efeito deletério da compactação do solo sobre o vigor e viabilidade das sementes de soja produzidas. O vigor das sementes se mostrou mais afetado que a germinação pela compactação do solo.

Segundo Mattioni et al. (2011), além da variabilidade da produtividade, a germinação, o vigor e o tamanho da semente também apresentam variabilidade espacial. Em um campo de produção de sementes de soja com área de 60,6 ha,

foram observadas variações de produtividade de 2,7 a 4,2 toneladas, germinação de 61 a 93% e vigor, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, de 30 a 89%.

A quantificação desta variabilidade, tanto espacial quanto temporal, permite identificar áreas com maior potencial produtivo, nas quais pode valer a pena um maior investimento em insumos para a maximização da produtividade. Quanto às áreas com menor potencial produtivo, medidas corretivas visando à melhoria da produtividade, podem ou não ser tomadas, dependendo do fator a ser corrigido e da viabilidade econômica da correção.

Para o estabelecimento e a quantificação dos atributos do solo que exercem maior influência na produtividade de uma cultura, a análise de correlação existente entre os atributos do solo e da planta constitui-se em importante ferramenta, conforme relatos de Amado et al. (2007), Amado et al. (2009), Durigon et al. (2009), Rodrigues et al. (2012), Santi et al. (2012), Mattioni, Schuch e Villela, (2013) e Gazolla-Neto et al. (2016). Este estudo constitui-se em uma forma de gerenciar um campo de produção de sementes, por se tratar de uma lavoura com alto valor agregado e que necessita de atenção especial para a obtenção de semente com alta qualidade fisiológica.

LITERATURA CITADA

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.

AMADO, T.J.C.; PERES, R.B.; COSTA, J.A.; NICOLOSO, R.S.; TEIXEIRA, T.G. A safra recorde analisada pelos modelos digitais de rendimento no RS. **Revista Plantio Direto**, n.101, p.18-123, 2007.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Levantamentos de safra: 4º levantamento de grãos - Janeiro/2017**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_11_11_30_39_boletim_graos_janeiro_2017.pdf. Acesso em: 24 de Janeiro de 2017.

DURIGON, R.; SCHLOSSER, J. F.; RUSSINI, A.; DORNELLES, M. E. C.; PINHEIRO, E. D. Correlações entre atributos químicos do solo e atributos da cultura e da produtividade de arroz irrigado determinadas com técnicas de manejo localizado. **Revista Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2629-2633, 2009.

GAZOLLA-NETO, A.; CORRÊA, M.F.; VERGARA, R. DE O.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Spatial distribution of the chemical properties of the soil and of soybean yield in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.2, p.325-333, 2016.

GOMES, A. da S.; SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M. B.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Embrapa, 2006. p. 17-21. (Documento 169).

INAMASU, R. Agricultura de precisão. **Revista XXI – Ciência para a vida**. Segunda edição, 2013.

LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I. Introdução ao conceito de Agricultura de Precisão. In.: LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I. (Eds.). **Agricultura de Precisão**, 1ª Ed., Pelotas, p. 01 – 12. 2013.

MATTIONI, N. M. **Variabilidade espacial da qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja em campo de produção**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

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.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A.; MERTZ-HENNING, L. M.; PESKE, S. T. Soybean seed size and quality as a function of soil compaction. **Seed Science and Tecnology**, Zurich, v. 40, n. 3, p. 333-343, 2012.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, v. 19, n. 1, p. 20-32, 2013.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. **Future Directions of Precision Agriculture**. Precision Agriculture, v. 6, p. 7-23, 2005.

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.

RODRIGUES, M.S.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p. 599-609, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v.47, n.9, p.1346-1357, 2012.

ARTIGO I

Atributos do solo e desempenho de trigo em campo de produção de sementes georreferenciado

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estudar as correlações lineares e a distribuição espacial entre os atributos do solo e o rendimento e a qualidade fisiológica de sementes de trigo. Realizaram-se amostragens de solo em pontos georeferenciados em uma área de 41ha, com uma malha retangular de 100x100m, para determinação da fertilidade do solo. Foram avaliados também a produtividade, número de espigas/m², peso hectolítrico, teor de clorofila A na folha e de proteína na semente e a qualidade fisiológica das sementes. Os resultados foram submetidos às análises de correlação linear de Pearson, estatística descritiva e geoestatística. O elemento fósforo apresentou alta variabilidade espacial, com coeficiente de variação de 97,79%. O peso do hectolitro, teor de proteína, número de espigas e índice SMP apresentaram valores baixos de coeficiente de variação, indicando baixa variabilidade espacial destes atributos. A produtividade de trigo apresentou forte correlação com os teores de cálcio e matéria orgânica do solo, constatado pela análise dos mapas de distribuição espacial. A análise dos mapas de distribuição espacial dos nutrientes do solo é uma ferramenta que pode contribuir na tomada de decisão do produtor no manejo da fertilização da lavoura, visando melhorar a produtividade.

Palavras chave: agricultura de precisão; variabilidade espacial; fertilidade; qualidade de sementes; *Triticum aestivum* L.

Soil attributes and wheat performance in the georeferenced field of seed production

Abstract: The objective of this work was to study the linear correlations and the spatial distribution between the attributes of the soil and the yield and the physiological quality of the wheat seeds. Soil samples were taken at georeferenced points in an area of 41ha, with a rectangular grid of 100x100m, to determine soil fertility. The productivity, number of ears m⁻², hectoliter weight, chlorophyll A content in the leaf and protein in the seed and the physiological quality of the seeds were also evaluated. The results were submitted to Pearson's correlation analysis, descriptive statistics and geostatistics. The phosphorus element presented high spatial variability, with a coefficient of variety of 97.79%. The weight of the hectoliter, protein content, number of spikes and SMP index presented low values of coefficient of variety, indicating low spatial variability of these attributes. The yield of wheat showed a strong correlation with the calcium and organic matter content of the soil, which can be verified through spatial distribution maps analysis. The analysis of spatial distribution maps of soil nutrients is a tool that can contribute to farmers' decision making in the management of crop fertilization in order to improve productivity.

Key words: precision agriculture; spatial variability; fertility; seed quality; *Triticum aestivum* L .

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é um conjunto de ferramentas que auxiliam o produtor a gerenciar os processos executados na lavoura por meio de uma série de informações da área, como modelos digitais de fertilidade do solo, modelos digitais de produtividade e imagens de satélite, cujo objetivo é gerenciar a variabilidade espacial e temporal de atributos do solo, da planta e do ambiente, para que se possa obter elevada produtividade e maior eficiência no uso de insumos, diminuindo os custos de produção (LUZ, LUZ e GADOTTI, 2013).

Os atributos químicos do solo possuem grande variabilidade espacial e temporal. Variabilidade esta que pode ser atribuída a fatores intrínsecos e extrínsecos, ou seja, fatores pedogenéticos do solo e fatores relacionados ao seu manejo. Esta variabilidade constatada no solo pode ter alta correlação com a qualidade fisiológica das sementes produzidas, uma vez que os nutrientes desempenham funções específicas na planta e nos seus processos metabólicos, que podem ser afetadas pelo teor e disponibilidade destes no solo. No entanto, trabalhando com a correlação entre teores de nutrientes do solo e a qualidade fisiológica de sementes de soja, Mondo et al. (2012) não encontraram correlação significativa entre os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e pH com germinação, primeira contagem da germinação e envelhecimento acelerado.

O estudo da correlação entre atributos do solo e planta tem importância para se estabelecer e quantificar os atributos do solo que tem maior influência na produtividade de uma cultura, como mencionado em vários trabalhos (Amado et al., 2007; Amado et al., 2009; Durigon et al., 2009; Rodrigues et al., 2012; Santi et al., 2012; Mattioni, Schuch e Villela, 2013; Gazolla-Neto et al., 2016). Este estudo se encaixa como uma forma de gerenciar um campo de produção de sementes, por se tratar de uma lavoura com alto valor agregado e que necessita de atenção especial para a obtenção de uma semente com alta qualidade fisiológica.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar as correlações lineares e a distribuição espacial entre os atributos do solo e o rendimento e a qualidade fisiológica da semente de trigo, por meio de técnicas de agricultura de precisão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um campo de produção de sementes de trigo, cultivar TBio Pioneiro, na empresa Granello Sementes no município de Lavras do Sul - RS (latitude 30° 43' 18,6" S, longitude 53° 56' 44,4" W), em uma área de 41 hectares na safra 2013/2013.

A partir do mapa de contorno da área, foi elaborado um grid de amostragem, sendo os pontos amostrais espacializados de 100 x 100 metros, caracterizando um ponto por hectare. Para a determinação dos atributos do solo e da semente foi realizada a coleta de quatro sub-amostras, sendo uma sub-amostra no ponto georeferenciado (ponto amostral central), e as demais coletadas em pontos equidistantes ao redor do ponto em um raio de 15m (Figura 1).

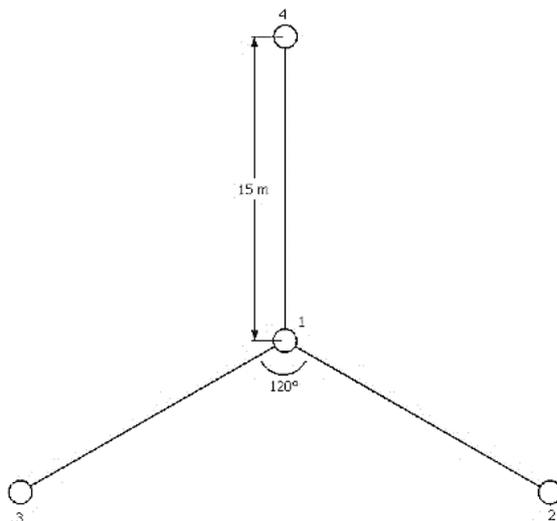


Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e pontos amostrais equidistantes dentro do campo de produção, safra 2013/2014.

Os pontos de amostragem centrais foram definidos com base no método de amostragem sistemática, seguindo uma grade regular de amostragem, onde os pontos são marcados ao longo de um percurso predefinido, e com base nos contornos do campo (MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2011).

As amostras foram coletadas na entrelinha de cultivo, na profundidade de 0 – 10 cm, conforme indicado pela CQFS (2004). A análise química do solo e a avaliação da qualidade da semente foram realizadas, respectivamente no Laboratório de

Análise de Solos e no Laboratório de Análise de Sementes, ambos localizados na Universidade Federal de Pelotas.

A semeadura foi realizada no dia 14 de junho, com uma população de 300 plantas/m². Na adubação de base foram utilizados 280 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20 de NPK. A adubação nitrogenada de cobertura foi fracionada em duas aplicações: no estágio de afilamento (90 kg ha⁻¹ de uréia) e alongamento (190 kg ha⁻¹ de uréia). Ainda no alongamento foi realizada adubação com cloreto de potássio (100 kg ha⁻¹).

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração foi realizada com um penetrômetro eletrônico, modelo PLG 1020, da marca Falker, que tem por finalidade quantificar a compactação do solo. A medição foi realizada em cada ponto central do grid de amostragem, e nos três pontos laterais. A camada analisada foi de 0 a 40 cm.

A avaliação dos atributos do solo (cálcio, magnésio, fósforo, potássio, matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), Índice SMP, alumínio, enxofre, areia e argila) foi realizada de acordo com as indicações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004). Os modelos digitais foram elaborados por meio do software "Sistema Agropecuário CR - Campeiro 7" (GIOTTO et al., 2004). A krigagem foi o método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais. A estimativa dos parâmetros foi pelo método da máxima verossimilhança.

Para a determinação da produtividade e da qualidade fisiológica de sementes foram colhidas as plantas em quatro sub-amostras de 1m² em cada ponto do grid de amostragem, conforme distribuição descrita anteriormente, as quais formaram a amostra média do ponto.

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pelos seguintes testes:

Germinação (G): conduzido em oito repetições de 50 sementes. A semeadura foi em substrato de papel, previamente umedecido em água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco e mantido em germinador à temperatura de 20 °C. As avaliações foram efetuadas aos quatro e oito dias após a semeadura, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem da germinação (PCG): conduzido conjuntamente com o teste de germinação e avaliação aos quatro dias após a semeadura por ocasião da realização do teste de germinação.

Condutividade elétrica (CE): foi realizado pelo sistema massal segundo metodologia proposta pelo comitê de vigor da *Association of Official Seed Analysts*, descrita por Marcos Filho et al. (1987). Quatro amostras de 50 sementes, previamente pesadas em balança de precisão 0,0001g, foram colocadas em copos plásticos contendo 50mL de água destilada e deionizada. Os copos foram mantidos em ambiente a 25°C e as leituras realizadas após a imersão por 24 horas. Os valores médios obtidos foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}$ de sementes⁻¹.

Envelhecimento acelerado (EA): realizado em caixa tipo gerbox com tela metálica. Adicionaram-se 40 mL de água destilada ao fundo de cada caixa, e sobre a tela foram distribuídas uniformemente as sementes em camada única. Em seguida, as caixas, contendo as sementes, foram tampadas e acondicionadas em incubadora do tipo BOD, a 41 °C, onde permaneceram por 72 horas. Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação (DELOUCHE; BASKIN, 1973).

Emergência de plântulas em campo (EC): realizada com quatro sub-amostras de 50 sementes para cada ponto amostral, distribuídas em sulco de 1,0 m de comprimento e profundidade de 2,5 cm. A semeadura foi realizada em canteiros com solo na época recomendada para cultivar. A contagem de plântulas emergidas foi realizada 14 dias após a semeadura.

A avaliação do teor de clorofila na folha foi realizada com medidor eletrônico de clorofila – modelo ClorofiLOG, marca Falker. A avaliação ocorreu na fase final do perfilhamento, sendo utilizadas 15 repetições por ponto amostral, sempre no terço médio da última folha totalmente expandida, adaptado de Knob (2006).

Teor de proteína: a determinação foi realizada por Espectrometria de Ressonância Magnética Nuclear (RMN). O tamanho da amostra foi de 10 gramas.

Peso hectolítrico (PH): realizada com quatro repetições e balança específica, com capacidade de 250mL de sementes, sendo o resultado expresso em kg hL^{-1} .

Produtividade: as espigas presentes nas quatro sub-amostras de um metro quadrado em cada ponto de amostragem, foram colhidas e trilhadas, sendo a umidade corrigida para 13% e o resultado expresso em kg ha^{-1} .

Número de espigas: foi obtido pela contagem das espigas presentes nas quatro sub-amostras de um metro quadrado e o resultado expresso em espigas m^{-2} .

Os coeficientes de correlação linear de Pearson foram determinados utilizando o programa estatístico WinStat (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2007). A variabilidade espacial foi analisada adotando o critério de classificação para o

coeficiente de variação (CV) proposto por Wilding e Dress (1983), que definem como baixa variabilidade os atributos com valor de CV inferior a 15%, variabilidade moderada se o CV situa-se entre 15 e 35% e alta variabilidade se o CV apresenta valor superior a 35%.

Foi realizada a correlação linear de Pearson dos atributos do solo e dos atributos do trigo, sendo representada por valores que variam de -1 a 1, de modo que, segundo o critério proposto por Dancey e Reidy (2005), valores positivos ou negativos abaixo de 0,3 indicam baixa correlação, entre 0,3 e 0,7 indicam correlação moderada e acima de 0,7 forte correlação.

O grau de dependência espacial dos semivariogramas foi avaliado pelo grau de dependência espacial (GDE) segundo os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994): $GDE < 25\%$ - forte dependência espacial; $25\% < GDE < 75\%$ - moderada dependência espacial e $GDE > 75\%$ - fraca dependência espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentada a estatística descritiva dos atributos químicos do solo e atributos da semente do trigo. Para o fósforo, obteve-se valores mínimos e máximos de 4,1 e 50,7 mg dm⁻³, respectivamente, com um valor médio de 16,88 mg dm⁻³, apresentando um coeficiente de variação (CV) de 97,79%, indicando uma alta variabilidade espacial deste elemento no solo, segundo o critério de variabilidade espacial proposto por Wilding e Dress (1983). Resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al., (2014) e Gazolla-Neto et al., (2016) ao encontrarem que o elemento fósforo apresentou um coeficiente de variação de 95,35% e 102%, respectivamente.

Esta alta variabilidade espacial do fósforo no solo pode ser explicada pelo fato deste elemento ser pouco móvel no solo, assim, ocorre um acúmulo superficial deste em áreas de semeadura direta, ocasionado pelo não revolvimento do solo e pela adubação em linha feita no sistema de semeadura direta, dificultando a perda por erosão.

O cálcio teve como mínimo, máximo e médio, os valores de 3,8; 16,5 e 10,47 mg dm⁻³, respectivamente, e CV de 22,97%, apresentando moderada variabilidade espacial. O magnésio apresentou 1,1; 5,7 e 3,77 mg dm⁻³ de valores mínimo, máximo

e médio, respectivamente, com CV de 24,99%, indicando moderada variabilidade espacial. A matéria orgânica apresentou valor médio de 3,11%, mínimo de 1,93% e máximo de 4,28% e CV de 15,86%, indicando moderada variabilidade espacial.

No que diz respeito aos atributos da cultura, a estatística descritiva demonstra para a produtividade da cultura um valor mínimo de 2739 kg ha⁻¹, um máximo de 5378 kg ha⁻¹, e amplitude de 2639 kg ha⁻¹, ou seja, existe um potencial para produzir 5378 kg ha⁻¹, porém a média foi de 4.243kg ha⁻¹, portanto deve-se observar e corrigir os fatores que mais influenciam na produtividade do trigo. A produtividade apresentou um CV de 12,44% o que demonstra baixa variabilidade espacial na área em estudo. Esta variabilidade pode ser observada no mapa de distribuição espacial (Figura 1). Para o número de espigas/m², os valores mínimo, máximo e médio foram de 333,0; 479,75 e 402,571 respectivamente, tendo um CV de 10,11%, classificando-se como de baixa variabilidade espacial.

Os atributos da qualidade fisiológica de sementes apresentaram baixa variabilidade espacial (Tabela 1). A média da germinação foi de 95%, com os valores variando entre 89% e 98% e um CV de 1,75%, considerado baixo. Sendo a germinação mínima para comercialização de sementes de trigo de 80%, segundo a Instrução Normativa n° 45 (2013), estando todo o campo com germinação superior ao limite mínimo aceitável.

Os parâmetros germinação, primeira contagem da germinação e emergência de plântulas em campo apresentaram uma amplitude entre os valores de mínimo e máximo de 9%, 29% e 37% respectivamente. O tratamento diferenciado das parcelas durante o cultivo, poderá contribuir para a produção de sementes de alta qualidade fisiológica.

O peso do hectolitro, teor de proteína, número de espigas/m² e índice SMP apresentaram valores baixos de CV, o que indica baixa variabilidade espacial destes atributos.

Na Tabela 1 são apresentados os valores do grau de dependência espacial das variáveis, sendo que os teores de Ca, MO, S, areia e argila, assim como CTC e índice SMP apresentaram forte dependência espacial. De acordo com Cambardella et al. (1994), atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados pelas propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia, enquanto aqueles com fraca dependência espacial são mais influenciados por fatores externos, tais como a aplicação de fertilizantes e preparo do solo e cultivo,

isto é, pelo manejo do solo. As demais variáveis apresentaram moderada dependência espacial corroborando com os resultados encontrados por Gazolla-Neto et al. (2016).

O alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística a qual representa a distância em que uma variável sinaliza continuidade espacial sendo que, a partir desta distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO et al., 2008). Por outro lado determinações realizadas em distâncias inferiores são correlacionadas umas às outras, permitindo interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (ANDRIOTTI, 2013). De acordo com a análise dos dados na Tabela 1, os valores do alcance da dependência espacial variaram de 200 a 600m. Baseado no exposto, o grid de amostragem utilizado foi adequado, porque foi inferior à 200m. Em geral atributos do solo apresentam alcances maiores, enquanto os atributos da planta são menores.

Os atributos químicos do solo foram classificados de acordo com o proposto pela CQFS (2004) e constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos e geoestatísticos de atributos do solo e atributos do trigo, para a safra de 2013.

Variáveis	Valores		Média	Classificação*	Coeficiente			GDE	Alcance
	Mínimo	Máximo			Varição	Assimetria	Curtose		
Atributos do solo									
Ca	3,8	16,5	10,4	alto	22,97	-0,37	0,82	22,28	500
Mg	1,1	5,7	3,7	alto	24,99	-0,14	0,57	36,16	500
P	4,1	50,7	16,8	alto	97,79	1,39	0,28	33,76	400
K	63	197	96,3	alto	28,46	1,56	3,62	31,89	400
MO	1,9	4,2	3,1	médio	15,86	-0,10	-0,08	21,48	500
CTC pH7	2,1	34,7	22,1	alto	26,01	-0,91	2,50	24,65	500
pH	4,8	5,5	5,24	baixo	2,56	-0,82	1,79	29,99	600
S	13,1	30,7	18,6	alto	24,17	1,02	0,05	11,53	500
Zn	1,3	5,5	3,5	alto	30,97	0,07	-0,70	29,76	500
Al	0,1	0,7	0,2	-	52,45	3,04	14,38	27,21	500
Índice SMP	5,1	5,9	5,5	-	3,85	-0,10	-1,04	14,68	500

Areia	36,7	66,6	49,6	-	12,8	0,36	0,02	20,22	500
Silte	9,9	20,9	15,5	-	15,27	-0,33	0,01	36,68	500
Argila	21,9	44,9	34,9	-	17,51	0,06	-0,91	15,47	500
Atributos da semente									
Prod.	2.739	5.378	4.243	-	12,44	-0,58	1,19	56,32	200
NE	333	479	402	-	3,68	0,13	-0,93	38,79	400
PH	77,2	80,5	78,9	-	0,97	-0,24	-0,21	43,91	400
Prot.	13,3	15,6	14,5	-	3,68	-0,24	0,03	44,12	500
Clor. A	27,3	32,9	30,2	-	4,06	0,14	-0,17	52,78	200
G	89	98	95	-	1,75	-1,40	3,44	50,76	200
PCG	66	95	83	-	8,12	-0,46	-0,16	33,6	500
EA	90	98	95	-	1,86	-0,87	1,01	42,52	400
EC	60	97	83	-	9,99	-0,44	0,23	51,3	200
CE	15	30	23	-	14,93	-0,29	-0,32	45,3	300

Prod.= produtividade; NE= número de espigas; PH= peso hectolítrico; Prot.= proteína; Clor. A= teor de clorofila A; G= germinação; PCG= primeira contagem da germinação; EA= envelhecimento acelerado EC= emergência de plântulas em campo CE= condutividade elétrica. *Segundo a CQFS (2004); GDE= Grau de dependência espacial

Na Tabela 2 está apresentada os resultados da correlação linear de Pearson dos atributos do solo e dos atributos do trigo. Na análise da correlação entre os atributos químicos do solo e os atributos do trigo observou-se uma forte correlação entre a produtividade da cultura e o elemento cálcio. Trabalhando com trigo, Brennan et al. (2007), encontraram um aumento de 25% na produção de grãos com a aplicação de cálcio. Também observou-se uma correlação moderada do cálcio com o número de espigas/m². A produtividade de trigo apresentou correlação moderada com magnésio, fósforo, capacidade de troca de cátions, índice SMP, alumínio, enxofre, areia e argila. Resultados similares foram encontrados por Durigon et al. (2009). Kramer et al. (2014) também observaram correlação entre a produtividade de trigo e os teores de cálcio e magnésio no solo.

A produtividade apresentou correlação negativa com o teor de areia e de alumínio e correlação positiva com o teor de argila, corroborando com os resultados encontrados por Rodrigues et al. (2012) em trabalho realizado com milho em plantio direto. A correlação negativa entre produtividade e o teor de alumínio demonstra que altos teores de alumínio prejudicam a produtividade. O sintoma mais evidente do

efeito nocivo de alumínio é a redução no crescimento radicular de plantas sensíveis, o que impede a planta de obter água e nutrientes em pontos de maior profundidade pelo seu enraizamento superficial.

A produtividade está fortemente correlacionada com o teor de matéria orgânica, evidenciando o seu importante papel para melhorar a estrutura e a porosidade do solo, contribuindo para aumentar a produtividade.

Os atributos do solo que melhor se correlacionaram com a produtividade de trigo foram os teores de cálcio, magnésio, matéria orgânica e CTC. Resultados semelhantes foram obtidos por Rodrigues et al. (2012) na cultura do milho sob plantio direto e por Kramer et al. (2014) trabalhando com a cultura do trigo.

O número de espigas/m² apresentou correlação moderada com os teores de cálcio, magnésio, matéria orgânica, enxofre, zinco e areia, bem como com a CTC e o índice SMP.

Quanto à qualidade fisiológica de sementes de trigo, os testes de germinação, envelhecimento acelerado e emergência em campo não apresentaram nenhuma correlação com os atributos do solo. Já o teste de primeira contagem da germinação apresentou correlação moderada com o teor de potássio e fraca com o teor de argila. O teste de condutividade elétrica apresentou correlação moderada com os teores de potássio, matéria orgânica, areia, argila e CTC, índice SMP e pH (Tabela 2).

Entre os atributos químicos do solo destaca-se a forte correlação existente entre o cálcio com magnésio, matéria orgânica, CTC pH 7, índice SMP, areia e argila. E moderada correlação do cálcio com fósforo, alumínio e enxofre.

A produtividade de trigo apresentou forte correlação com os teores de cálcio e matéria orgânica do solo, sendo que este fato também pode ser observado pela análise visual dos mapas de distribuição espacial (Figura 2).

Com relação à qualidade tecnológica de trigo, outro nutriente fundamental, além do nitrogênio é o enxofre, pois é fundamental na formação de clorofila (DUKE e REISENAUE, 1986), sendo constituinte de proteínas formadoras de glúten e estabiliza polímeros de gluteninas por pontes de enxofre, que determinam a elasticidade da massa (RODRIGUES e TEIXEIRA, 2010). O teor de clorofila A apresentou correlação moderada com os teores de cálcio, magnésio, matéria orgânica, areia, argila e com o índice SMP, mas não teve significância com enxofre. No entanto, enxofre e proteína possuem a mesma tendência de distribuição espacial verificada nos mapas correspondentes a esses atributos (Figura 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos do solo, atributos do trigo, teor de proteína, teor de clorofila A e atributos fisiológicos de qualidade de sementes.

	Mg	P	K	MO	CTC _{pH7}	SMP	Al	S	Areia	Argila	Prod.	NE	PH	Prot.	Clor. A	G	PCG	EA	EC	CE	
Ca	0,844**	0,442**	-0,138 ^{NS}	0,932**	0,831**	-0,717**	-0,437**	0,663**	-0,905**	0,826**	0,722**	0,485**	-0,031 ^{NS}	-0,094 ^{NS}	0,410**	-0,072 ^{NS}	-0,284 ^{NS}	-0,093 ^{NS}	0,067 ^{NS}	-0,284 ^{NS}	
Mg		0,239 ^{NS}	0,033 ^{NS}	0,786**	0,707**	-0,489**	-0,475**	0,586**	-0,789**	0,726**	0,606**	0,451**	-0,072 ^{NS}	0,058 ^{NS}	0,394*	-0,119 ^{NS}	-0,276 ^{NS}	-0,072 ^{NS}	0,059 ^{NS}	-0,206 ^{NS}	
P			0,088 ^{NS}	0,496**	0,492**	-0,598**	0,028 ^{NS}	0,488**	-0,423**	0,496**	0,400**	0,223 ^{NS}	-0,150 ^{NS}	0,026 ^{NS}	0,169 ^{NS}	-0,156 ^{NS}	-0,279 ^{NS}	-0,287 ^{NS}	0,026 ^{NS}	0,008 ^{NS}	
K				-0,028 ^{NS}	-0,022 ^{NS}	0,021 ^{NS}	0,119 ^{NS}	0,263 ^{NS}	0,057 ^{NS}	0,040 ^{NS}	-0,025 ^{NS}	0,008 ^{NS}	-0,282 ^{NS}	0,197 ^{NS}	-0,042 ^{NS}	-0,279 ^{NS}	-0,414**	-0,194 ^{NS}	0,124 ^{NS}	-0,329*	
MO					0,818**	-0,773**	-0,316*	0,724**	-0,891**	0,839**	0,716**	0,478**	-0,032 ^{NS}	-0,007 ^{NS}	0,374*	-0,138 ^{NS}	-0,121 ^{NS}	-0,128 ^{NS}	0,085 ^{NS}	-0,380*	
CTC _{pH7}						-0,713**	-0,231 ^{NS}	0,663**	-0,819**	0,819**	0,629**	0,449**	-0,156 ^{NS}	0,236 ^{NS}	0,236 ^{NS}	-0,136 ^{NS}	-0,303 ^{NS}	-0,112 ^{NS}	0,037 ^{NS}	-0,317*	
SMP							-0,102 ^{NS}	-0,774**	0,786**	-0,832**	0,558**	-0,396*	0,183 ^{NS}	-0,100 ^{NS}	-0,316*	0,230 ^{NS}	0,459**	0,191 ^{NS}	-0,115 ^{NS}	0,478**	
Al								0,026 ^{NS}	0,295 ^{NS}	-0,166 ^{NS}	-0,442**	-0,213 ^{NS}	-0,095 ^{NS}	0,081 ^{NS}	-0,307 ^{NS}	0,009 ^{NS}	-0,262 ^{NS}	0,287 ^{NS}	-0,126 ^{NS}	-0,295 ^{NS}	
S									-0,731**	0,810**	0,517**	0,376*	-0,241 ^{NS}	0,188 ^{NS}	0,286 ^{NS}	-0,298 ^{NS}	-0,495**	0,127 ^{NS}	-0,095 ^{NS}	0,223 ^{NS}	
Areia										-0,934**	-0,568**	-0,467**	-0,104 ^{NS}	0,110 ^{NS}	-0,368*	0,127 ^{NS}	0,355*	0,113 ^{NS}	0,073 ^{NS}	0,378*	
Argila											0,587**	0,269 ^{NS}	-0,073 ^{NS}	0,086 ^{NS}	0,368*	-0,211 ^{NS}	-0,507**	-0,026 ^{NS}	0,102 ^{NS}	0,419**	
Prod.												0,719**	0,015 ^{NS}	0,282 ^{NS}	0,255 ^{NS}	-0,238 ^{NS}	-0,315*	-0,216 ^{NS}	0,172 ^{NS}	-0,237 ^{NS}	
NE													-0,116 ^{NS}	0,183 ^{NS}	0,064 ^{NS}	-0,367*	-0,149 ^{NS}	0,101 ^{NS}	-0,129 ^{NS}	-0,092 ^{NS}	
PH														-0,489**	-0,232 ^{NS}	0,334*	0,253 ^{NS}	0,301 ^{NS}	-0,130 ^{NS}	0,258 ^{NS}	
Prot.															0,221 ^{NS}	-0,089 ^{NS}	-0,377*	-0,222 ^{NS}	0,179 ^{NS}	-0,293 ^{NS}	
Clor. A																0,244 ^{NS}	-0,187 ^{NS}	-0,288 ^{NS}	0,102 ^{NS}	-0,099 ^{NS}	
G																	0,457**	0,323*	0,138 ^{NS}	0,099 ^{NS}	
PCG																		0,480**	-0,248 ^{NS}	0,529**	
EA																			-0,101 ^{NS}	0,305 ^{NS}	
EC																					-0,128 ^{NS}

Prod.= produtividade; NE= número de espigas; PH= peso hectolétrico; Prot.= proteína; Clor. A= teor de clorofila A; G= germinação; PCG= primeira contagem da germinação; EA= envelhecimento acelerado EC= emergência de plântulas em campo CE= condutividade elétrica **significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS}: não significativo

Observa-se nos modelos digitais de distribuição espacial, que a região sul no mapa apresenta maiores teores de Ca, Mg, M.O., S e P, o que corresponde a maior produtividade do trigo e maior número de espigas/m² (Figura 2). O mapa de rendimento é uma importante ferramenta na tomada de decisão e análise de desempenho agrícola em nível de propriedade (AMADO et al., 2007).

A produtividade apresenta correlação significativa e positiva com o teor de M.O., uma vez que este fato está relacionado com a retenção de água mais elevado e sua disponibilidade para as culturas promovida pela M.O., em função de que o déficit hídrico afeta o metabolismo e prejudica o crescimento das plantas (MONDO et al., 2012).

A análise de correlação de Pearson mostrou que ocorreu correlação positiva entre a produtividade e o teor de argila no solo (Tabela 2), e correlação negativa entre a produtividade e o teor de areia, o que pode ser observado nos mapas de distribuição espacial (Figura 2). A retenção de cátions depende também do teor de argila. Assim pode-se observar que na região com maior teor de argila ocorrem também maiores teores de Ca e MO refletindo em maior produtividade nesta área.

A correlação significativa encontrada entre produtividade e alguns elementos do solo pode servir como ferramenta importante na produção de trigo, uma vez que essas subáreas podem ser tratadas separadamente de acordo com os elementos mais influenciadores da produtividade que estiverem em falta ou em altos níveis. As áreas amostradas refletem o comportamento observado na distribuição destes elementos, sendo que este fato pode ser comprovado pela análise visual dos modelos digitais.

Os dados anteriores corroboram com Vezzani e Mielniczuk (2009) ao afirmarem que a produção vegetal está dependente da interação de vários fatores como a química, física e biologia do solo, e de fatores ambientais e características genéticas da cultivar, que podem produzir características fenotípicas distintas.

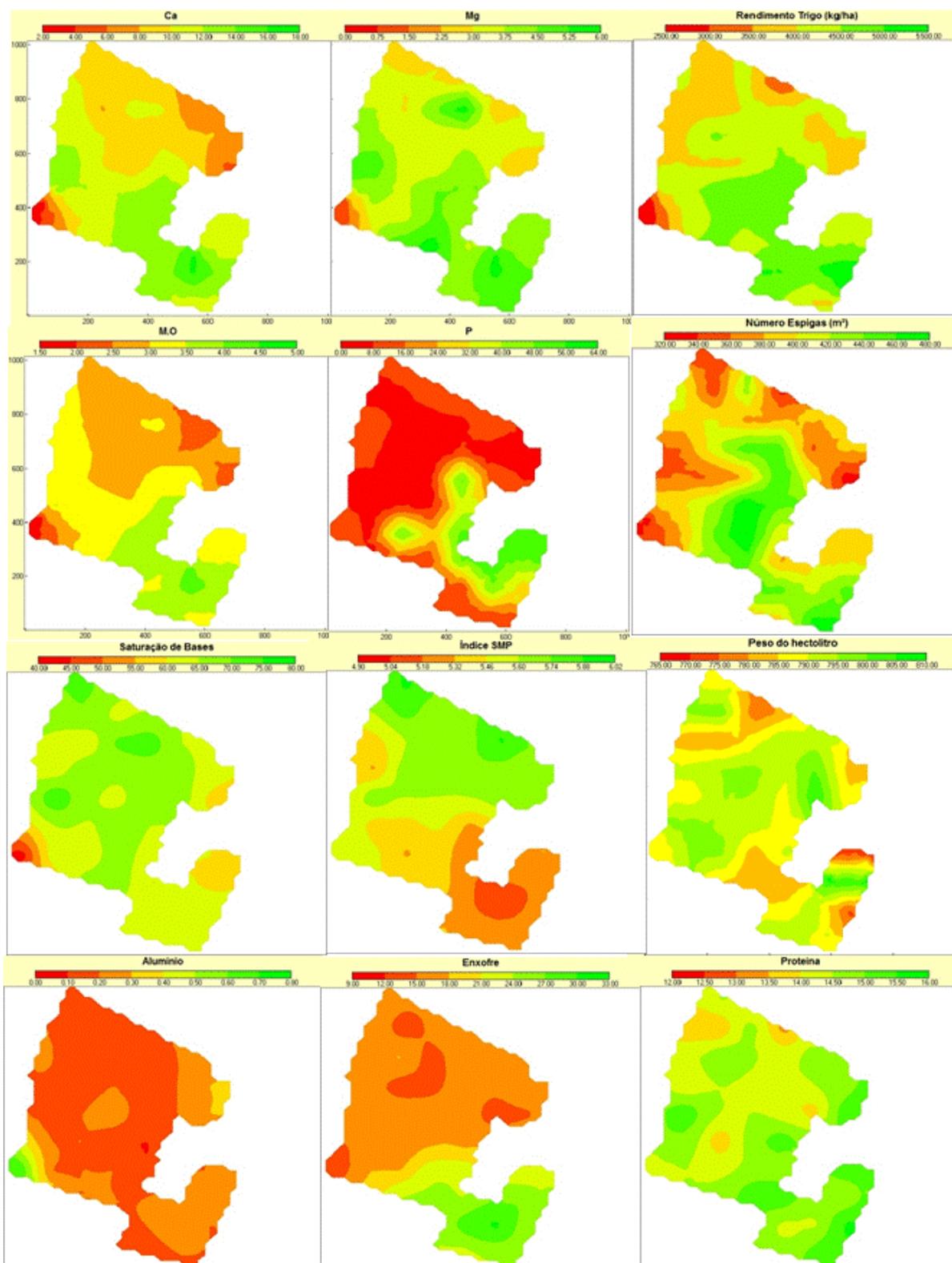


Figura 2. Mapas de distribuição espacial das propriedades químicas do solo, produtividade, número de espigas, peso do hectolitro, e teor de proteína de sementes de trigo, para a safra de 2013, na área de cultivo.

Observa-se por meio dos mapas de distribuição espacial que a resistência à penetração do solo (Figura 3) pode ter influenciado a produtividade de sementes de trigo, pois na região que ocorreu maior compactação nas três camadas do solo, houve menor produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Girardello et. al. (2014), em trabalho cujo objetivo foi avaliar a eficiência de escarificadores e seu efeito na produtividade da soja. Na região em que a compactação foi maior também observam-se menores teores de fósforo e cálcio (Figura 2) e conseqüentemente menor produtividade de trigo, ou seja, a compactação afeta a absorção de nutrientes, além de limitar a infiltração e redistribuição da água. Da mesma forma, Amado et al. (2007) encontraram que a zona de baixa produtividade apresentava as características de maior resistência à penetração, ou seja maior compactação.

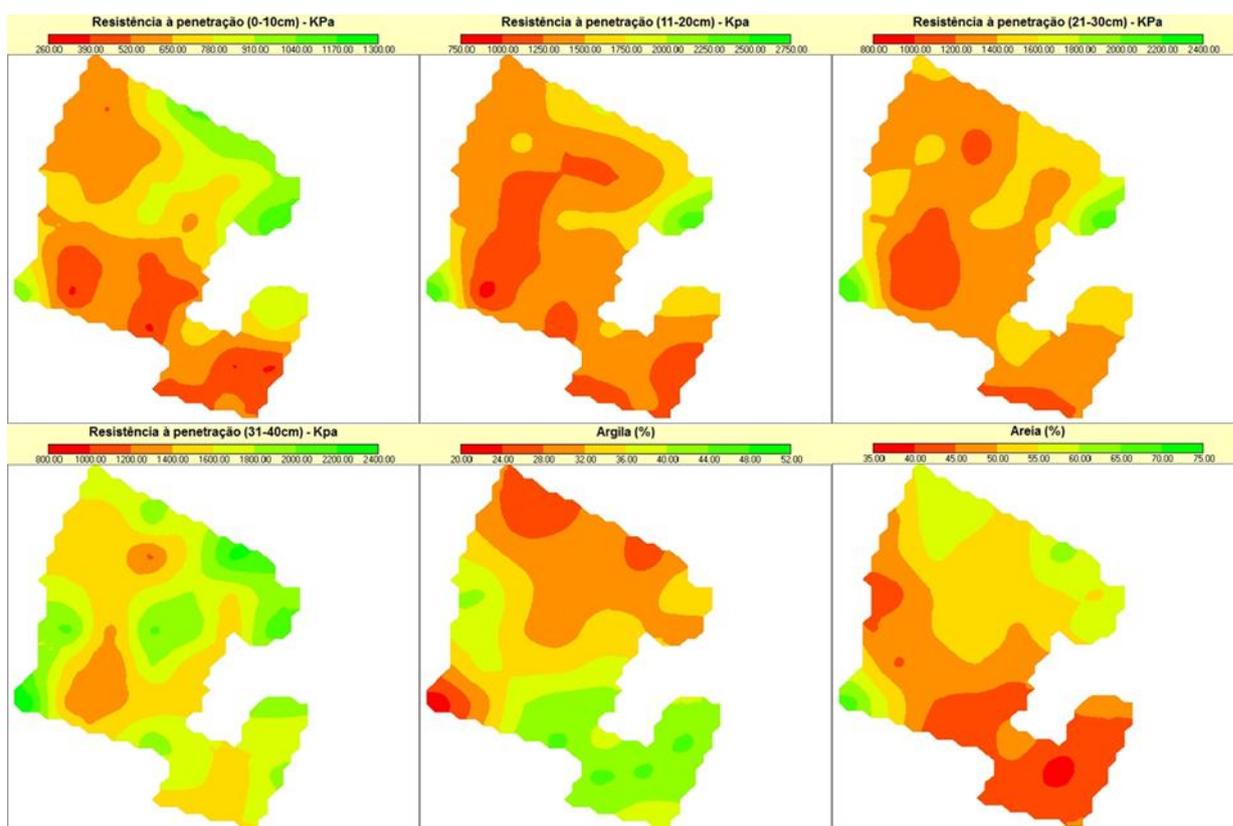


Figura 3. Mapas de distribuição espacial da resistência do solo a penetração, argila e areia, na área de cultivo.

CONCLUSÕES

Na área de cultivo de trigo existe variabilidade espacial da qualidade fisiológica das sementes produzidas, apesar de não apresentar correlação com os atributos do solo, se a fertilidade do solo atinge níveis adequados.

A produtividade de trigo correlaciona-se fortemente com os teores de cálcio e matéria orgânica do solo.

A análise dos mapas de distribuição espacial dos nutrientes do solo é uma ferramenta que pode contribuir na tomada de decisão do produtor no manejo da adubação da lavoura, visando a melhorar a produtividade de sementes.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S.M. de F.; QUEIROZ, D. M.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p. 22-30, 2014.
- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.
- AMADO, T.J.C.; PERES, R.B.; COSTA, J.A.; NICOLOSO, R.S.; TEIXEIRA, T.G. A safra recorde analisada pelos modelos digitais de rendimento no RS. **Revista Plantio Direto**, n.101, p.18-123, 2007.
- ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, p. 102, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, DF: MAPA: SDA, 2009. 395 p.
- BRENNAN, R. F.; BOLLAND, M. D. A.; WALTON, G. H. Comparing the calcium requirements of wheat and canola. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, l. 7, p. 1167-1184, 2007.
- CQFS. **Manual de adubação e de 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. 10° Ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v.1, p.427-52. 1973.

DUKE, S.H.; REISENAUE, H.M. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: Sulfur in agriculture, ed. M. A. **Tabatabai, Agronomy Series** n.27, 124-168, 1986.

DURIGON, R.; SCHLOSSER, J. F.; RUSSINI, A.; DORNELLES, M. E. C.; PINHEIRO, E. D. Correlações entre atributos químicos do solo e atributos da cultura e da produtividade de arroz irrigado determinadas com técnicas de manejo localizado. **Revista Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2629-2633, 2009.

GAZOLLA-NETO, A.; CORRÊA, M.F.; VERGARA, R. DE O.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Spatial distribution of the chemical properties of the soil and of soybean yield in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.2, p.325-333, 2016.

GIOTTO, L.; ROBAINA, A.D.; SULZBACH, L.A. Agricultura de precisão com o sistema CR campeiro5, **Manual do Usuário**, 2004. 330p.

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

KRAMER, L. F. M.; MÜLLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; GENÚ, A. M.; MICHALOVICZ, L.; VICENSI, M. Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p. 1190-1199, 2014.

LEMONS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L. DE; FARIA, M. A. DE; ANDRADE, L. A. DE B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.193-202, 2008.

LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I. **Agricultura de Precisão**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 2013. 268p.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. WinStat - Sistema de Análise Estatística para Windows. Universidade Federal de Pelotas, RS. 2007.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. DA. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 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.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, v. 19, n. 1, p. 20-32, 2013.

MONDO, V. H. V.; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L. DE; MOTOMIYA, A. V. DE 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, pp. 193-201, 2012.

RODRIGUES, M.S.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p. 599-609, 2012.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M.C.C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 84p., 2010.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v.47, n.9, p.1346-1357, 2012.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

WILDING, L. P.; DRESS, L. R. Spatial variability and pedology and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-166.

ARTIGO II

Variabilidade espacial dos atributos do solo e sua correlação com a produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja

Resumo: O objetivo deste trabalho foi correlacionar atributos de solo, planta e qualidade fisiológica de sementes em um campo de produção de sementes de soja. Realizaram-se amostragens de solo em pontos georeferenciados em uma área de 41ha, com uma malha retangular de 100x100m, para determinação da fertilidade do solo. Foram avaliados também a produtividade, resistência do solo a penetração, número de ramos, número de vagens, número de sementes por planta, altura de planta e a qualidade fisiológica das sementes. Os resultados foram submetidos às análises de correlação linear de Pearson, estatística descritiva e geoestatística. Entre os atributos do solo destaca-se a alta variabilidade espacial do elemento fósforo, com coeficiente de variação de 102,34%, e a baixa variabilidade do pH com coeficiente de variação de 3,01%. A produtividade não apresentou correlação com os atributos químicos do solo e resistência do solo a penetração. A análise geoestatística mostrou que os atributos químicos do solo Mg, S, Fe, atributos físicos do solo como, resistência à penetração nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm e atributos da cultura da soja, como produtividade, altura de planta, número de ramos, número de vagens, número de sementes por planta, rendimento por planta, primeira contagem da germinação e germinação não apresentaram dependência espacial, o que é denominado de efeito pepita puro. Os mapas de distribuição espacial da emergência em campo e condutividade elétrica podem ser utilizados no gerenciamento da colheita de sementes de alta qualidade fisiológica.

Palavras chave: distribuição espacial; geoestatística; produção de sementes; *Glycine max* (L.) Merrill

Spatial variability of soil attributes and their correlation with yield and physiological quality of soybean seeds

Abstract: The objective of this work was to correlate attributes of soil, plant and physiological seed quality in a field of soybean seed production. Soil samples were taken at georeferenced points in an area of 41ha, with a rectangular grid of 100x100m, to determine soil fertility. The productivity, soil resistance to penetration, number of branches, number of pods, number of seeds per plant, plant height and the physiological quality of the seeds were also evaluated. The results were submitted to Pearson's correlation analysis, descriptive statistics and geostatistics. Among the attributes of the soil is the high spatial variability of the phosphorus element, with a coefficient of variety of 102.34% and a low pH variability with coefficient of variety of 3.01%. The productivity did not present correlation with soil chemical attributes and soil penetration resistance. The geostatistical analysis showed that soil chemical attributes Mg, S, Fe, soil physical attributes such as, resistance to penetration in the layers of 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40cm and attributes of the soybean crop. As yield, plant height, number of branches, number of pods, number of seeds per plant, yield per plant, first germination count and germination did not present spatial dependence, which is called a pure nugget effect. The spatial distribution maps of the field emergency test and electrical conductivity can be used to manage high quality physiological seed harvesting.

Key words: spatial distribution; geostatistics; seed production; *Glycine max* (L.) Merrill

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é um sistema de manejo integrado de informações e tecnologias, fundamentado nos conceitos de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam os rendimentos dos cultivos (INAMASU, 2013).

A evolução da tecnologia na agricultura tem demonstrado a importância de se mensurar a variabilidade espacial e temporal das propriedades do solo que afetam a produtividade das culturas (VIEIRA et al., 2007) visto que, tais informações podem ser utilizadas como base para a aplicação de insumos em taxa variável e ajustada especificamente para cada parcela (FARIA et al., 2009).

Os campos de produção estão sujeitos a uma série de fatores, que podem influenciar na qualidade final das sementes produzidas. Entre estes podem ser citados os atributos de solo, a ocorrência de pragas e doenças, a disponibilidade hídrica, entre outros. Devido a isto, produtores de sementes que trabalham com alto valor agregado, com lotes de alta qualidade fisiológica, necessitam administrar a variabilidade espacial de seus campos de produção para alcançar os patamares estabelecidos.

Com esse levantamento da variabilidade espacial, os campos de produção de sementes de alta qualidade deveriam ser manejados pela aplicação de insumos em taxa variável e assim minimizar a amplitude dos fatores que influenciam esta qualidade.

Assim, o objetivo deste trabalho foi correlacionar atributos de solo, da planta e qualidade fisiológica de sementes em um campo de produção de sementes de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um campo de produção de sementes de soja comercial na empresa Granello Sementes no município de Lavras do Sul - RS (latitude 30° 43' 18,6" S, longitude 53° 56' 44,4" W), em uma área de 41 hectares na safra 2013/2014.

A partir do mapa de contorno da área, foi elaborado um grid de amostragem, sendo os pontos amostrais espacializados de 100 x 100 metros, caracterizando um ponto por hectare. Para a determinação dos atributos do solo, avaliação da produtividade, número de ramos, número de vagens e número de sementes por planta foi realizada a coleta de quatro sub-amostras, sendo uma sub-amostra no ponto

georeferenciado, e as demais coletadas em pontos equidistantes ao redor do ponto central em um raio de 15m, de acordo com a Figura 1.

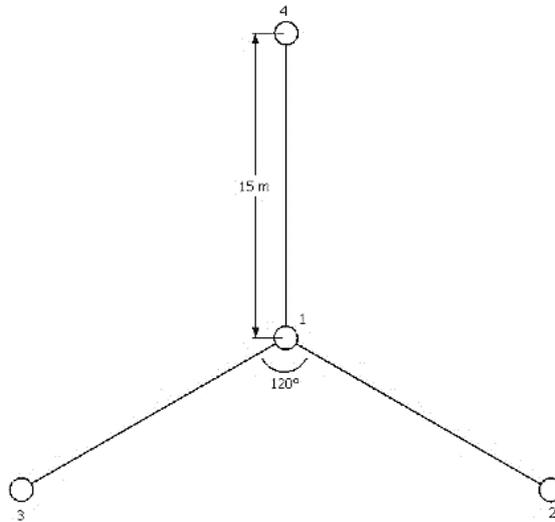


Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção de sementes de soja, safra 2013/2014.

Os pontos de amostragem centrais foram definidos com base no método de amostragem sistemática, seguindo uma grade regular de amostragem, onde os pontos são marcados ao longo de um percurso predefinido, e com base nos contornos do campo (MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2011).

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 – 10 cm, antes da semeadura da soja, no dia 01 de novembro de 2013, conforme indicado pela CQFS (RS/SC, 2004). A análise química do solo e análise da semente foram realizadas, respectivamente no Laboratório de Análise de Solos e no Laboratório Didático de Análise de Sementes, ambos localizados na Universidade Federal de Pelotas.

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi realizada no dia 01 de novembro de 2013, com um penetrômetro eletrônico, modelo PLG 1020, da marca Falker, que tem por finalidade quantificar a compactação do solo. A medição foi realizada em cada ponto central do grid de amostragem, e nos três pontos laterais, sendo analisadas as camadas de 0-10, 11-20, 21-30 e 31-40cm, expressando os resultados em MPa.

A avaliação dos atributos do solo (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, matéria orgânica (MO), pH, saturação de bases (V%), CTC pH7) foi realizada de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004). Os modelos digitais

foram elaborados através do pacote geoR do software estatístico R (2014). A krigagem foi o método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais.

Foi realizada semeadura direta na palha da cultivar NS 5160 IPRO, no dia 3 de novembro de 2013, utilizando uma semeadora-adubadora de plantio direto, equipada com sulcador tipo facão. A máquina foi regulada para distribuir 15 sementes por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,50m, com uma população de 300.000 plantas.ha⁻¹. A adubação de base consistiu em uma dose fixa de 160 kg.ha⁻¹ de adubo NPK da formulação 2-20-20.

Os coeficientes de correlação linear de Pearson foram determinados utilizando o programa estatístico WinStat (MACHADO E CONCEIÇÃO, 2007). A variabilidade espacial foi analisada adotando o critério de classificação para o coeficiente de variação (CV) proposto por Wilding e Dress (1983), que definem como baixa variabilidade os atributos com valor de CV inferior a 15%, variabilidade moderada se o CV situa-se entre 15 e 35% e alta variabilidade se o CV apresenta valor superior a 35%.

A produtividade (Prod.) foi determinada a partir da média de cada parcela de quatro 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 13%.

O número de ramos por planta (NRP) foi determinado a partir da contagem do número de ramos das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georeferenciados.

O número de vagens por planta (NVP) foi determinado a partir da contagem do número de vagens das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georeferenciados.

O número de sementes por planta (NSP) foi determinado a partir da contagem do número de sementes das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georeferenciados.

A altura de planta foi determinada a partir da medição das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georeferenciados.

Para o teste de germinação foram semeadas quatro subamostras de 50 sementes, para cada ponto amostral georeferenciado. As sementes foram dispostas em rolos formados por três folhas de papel germitest, umedecidas com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel. Os rolos foram transferidos

para o germinador a temperatura de 25°C. As avaliações foram efetuadas no quinto e oitavo dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

O teste de primeira contagem da germinação foi realizado conjuntamente ao teste de germinação, com avaliação no quinto dia após a instalação do teste de germinação. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pelas Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Para o teste de envelhecimento acelerado foram analisadas 200 sementes, para cada ponto amostral georeferenciado, divididas em quatro repetições de 50, utilizando-se o método de gerbox adaptado. As sementes foram distribuídas em camada única sobre uma tela suspensa dentro de caixas de gerbox, contendo 40 mL de água. Posteriormente, essas caixas permaneceram em câmara BOD por 48h, a 41°C. Após este período, as sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita para o teste de germinação (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais aos cinco dias após início do teste de germinação.

O teste de condutividade elétrica foi realizado utilizando quatro repetições de 50 sementes, para cada ponto amostral georeferenciado. As sementes foram colocadas em copos plásticos de 200 mL, contendo 75 mL de água deionizada e mantidas a 20°C por 24 horas. Após este período, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução com condutímetro digital. Os resultados foram expressos em micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$).

Para a determinação da emergência em campo, utilizaram-se oito subamostras de 50 sementes para cada ponto amostral georeferenciado, distribuídas em sulcos de 1,0 m de comprimento, profundidade de 2,5 cm e espaçamento entre linhas de 0,50 m. As avaliações foram realizadas aos 14 dias após a semeadura de acordo com Nakagawa (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise da precipitação pluvial pode-se verificar que as maiores precipitações se concentraram nos estádios reprodutivos, que iniciaram a partir da nona semana, que é a fase que a cultura demanda mais água, o que pode ser observado

pela elevada produtividade obtida pela soja. A produtividade média na área foi de 4160 kg.ha⁻¹, com os resultados variando entre 3281 a 4987 kg.ha⁻¹ (Tabela 1).

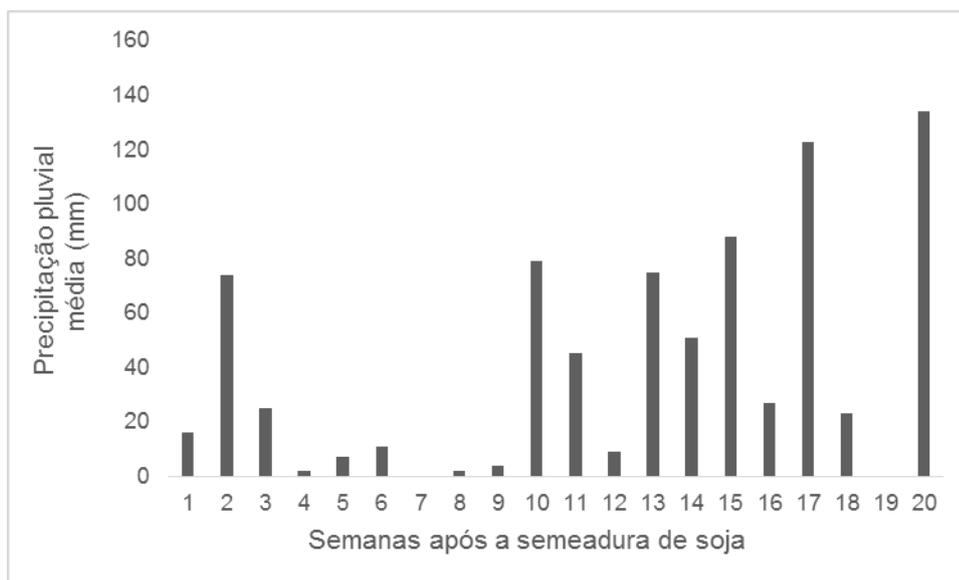


Figura 2. Precipitação pluvial da semeadura até a colheita do campo de produção de sementes de soja, Lavras do Sul, safra 2013/2014. Fonte: INMET (Estação meteorológica de Caçapava do Sul-RS).

As medidas descritivas determinadas para os atributos do solo e da soja estão apresentados na Tabela 1. Entre os atributos do solo destaca-se a alta variabilidade espacial do elemento fósforo, com CV de 102,34%, e a baixa variabilidade do pH com CV de 3,01%.

A classificação dos níveis de fertilidade do solo, de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004), está descrito na Tabela 1. De acordo com os resultados, os teores de Ca, Mg, P, CTC pH7 e S são altos, os teores de K e matéria orgânica são médios, e pH é baixo.

Os valores de germinação variaram de 83 a 95%, com variação de 12 pontos percentuais.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos de atributos do solo e da soja para a safra de 2013/2014, Lavras do Sul.

Variáveis	Classificação*	Valores		Média	CV (%)
		Mínimo	Máximo		
Atributos do solo					
Ca	alto	2,6	14,0	9,2	31,51
Mg	alto	0,8	4,9	3,1	31,56
P	alto	3,6	50,0	14,4	102,34
K	médio	36,0	155,0	79,2	32,66
MO	médio	2,6	5,5	4,2	16,56
CTC _{pH7}	alto	8,1	28,1	19,5	24,27
pH	baixo	4,8	5,5	5,2	3,01
Fe	**	0,1	0,8	0,4	30,04
S	alto	10,4	21,1	16,7	16,45
RP 0-10 (MPa)	baixa***	0,353	1,126	0,664	30,05
RP 11-20 (MPa)	moderada	0,857	2,382	1,405	21,38
RP 21-30 (MPa)	moderada	1,049	2,188	1,357	17,21
RP 31-40 (MPa)	moderada	1,140	2,328	1,654	16,93
Atributos da soja					
Prod. (kg.ha ⁻¹)	-	3281	4987	4160	9,84
NRP	-	0,4	3,7	2,1	33,72
NVP	-	29,3	79,0	46,6	22,39
NSP	-	72,3	209,4	113,3	22,81
Altura (cm)	-	92,8	120,4	104,8	5,86
G (%)	-	83	95	90	3,12
PCG (%)	-	79	91	86	3,54
EA (%)	-	85	93	89	2,70
EC (%)	-	76	100	93	5,54
CE (μS.cm ⁻¹ .g de sementes ⁻¹)	-	65,4	91,2	77,3	7,85

*Segundo a CQFS (2004); **Nível não tóxico; *** Segundo a USDA (1993); RP= resistência à penetração; Prod.= produtividade; NRP= número de ramos por planta; NVP= número de vagens por planta; NSP= número de sementes por planta; G= germinação; PCG= primeira contagem da germinação; EA= envelhecimento acelerado EC= emergência de plântulas em campo CE= condutividade elétrica.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre atributos do solo, atributos da soja, e atributos fisiológicos de qualidade de sementes de soja.

A produtividade não apresentou correlação com os atributos químicos do solo, corroborando com os resultados encontrados por Mattioni et al. (2011) e Mondo et al. (2012). Este resultado pode ser justificado pelo fato de que os níveis de fertilidade do

solo estão em nível satisfatório, ou seja, os nutrientes não foram um fator limitante, como pode ser observado na Tabela 1. A produtividade também não apresentou correlação com a resistência do solo à penetração, provavelmente em função dos valores dessa variável encontrar-se na faixa de baixa a moderada. Os atributos do solo foram insuficientes para explicar a variabilidade espacial da produtividade. Há necessidade de saber mais sobre características físicas como infiltração de água e a capacidade de armazenamento de água no solo. Outros fatores também influenciam a produtividade como fatores bióticos como doenças, pragas e os fatores abióticos como umidade, temperatura.

A análise de correlação linear de Pearson demonstrou reduzidas correlações entre a qualidade fisiológica de sementes e os atributos químicos do solo. Estes resultados também foram observados por Mattioni et al. (2011), Mondo et al. (2012) e Gazolla-Neto et al. (2016). Nesse sentido a germinação e primeira contagem da germinação não apresentaram correlação com os nutrientes do solo. No entanto, o teste de envelhecimento acelerado apresentou correlação positiva com teores de cálcio, matéria orgânica, CTC e ferro. O teste de emergência em campo apresentou correlação positiva inferior a 46% com teores de cálcio, fósforo, matéria orgânica, CTC, enxofre, indicando moderada correlação e negativa com número de ramos por planta e número de sementes por planta. Possivelmente outros fatores abióticos (incidência de chuvas, temperatura, umidade relativa do ar) e bióticos (insetos) tenham influência mais expressiva sobre a qualidade fisiológica do que os atributos químicos e físicos do solo, não havendo deficiência de fertilidade do solo.

Entre os atributos da qualidade de sementes ocorreu correlação entre a germinação e primeira contagem da germinação e envelhecimento acelerado. Entre a germinação e primeira contagem da germinação a correlação alcançou 95,1%, entre germinação e envelhecimento acelerado 56,3% e entre primeira contagem da germinação e envelhecimento acelerado 49,9%.

Com relação aos atributos do solo, o teor de cálcio apresentou forte correlação positiva com o teor de magnésio, ferro e com matéria orgânica e CTC, e correlação negativa com resistência à penetração em todas as camadas. A CTC se correlacionou positivamente com os teores de cálcio, magnésio e fósforo e matéria orgânica, o que pode ser observado também através dos mapas de distribuição espacial (Figura 2).

O número de sementes por planta apresentou correlação positiva com o número de ramos e número de vagens por planta, pois quanto maior o número de ramificações,

maior será o número de vagens e conseqüentemente maior o número de sementes por planta.

A análise geoestatística mostrou que os atributos químicos do solo Mg, S, Fe, atributos físicos do solo como, resistência à penetração nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm e atributos da cultura da soja, como produtividade, altura de planta, número de ramos, número de vagens, número de sementes por planta, rendimento por planta, primeira contagem da germinação e germinação não apresentaram dependência espacial, que é denominado efeito pepita puro. Significa dizer que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição ao acaso, possivelmente pelos dados apresentarem baixa variabilidade espacial, como pode ser verificado pelos baixos valores de coeficiente de variação.

Os valores de efeito pepita e do patamar apresentaram ampla faixa de valores, de 0,005 a 541,02, e de 0,027 a 656,20, respectivamente, sendo o potássio o elemento que apresentou maior valor. O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica 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).

O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas das variáveis Ca, pH, V (%), índice SMP, matéria orgânica, P, K e envelhecimento acelerado foi o esférico. Para as variáveis CTC pH 7, emergência em campo e condutividade elétrica o melhor ajuste foi obtido com o modelo gaussiano.

O alcance da dependência espacial é um atributo importante no estudo dos semivariogramas haja vista que representa a distância máxima em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (CHAVES e FARIAS, 2009) ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que com aqueles localizados fora desta área. De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, o alcance variou de 118m a 518m, tendo o cálcio apresentado maior alcance. Este alto alcance do cálcio pode ser atribuído segundo Souza et al. (2004), ao manejo do solo adotado através da calagem ou adubação, o que pode ter contribuído para aumentar o alcance caracterizando uma continuidade maior na distribuição desta variável.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados dos atributos do solo e da soja.

Variáveis	Modelo	(C0)	(C0+C1)	Alcance (m)	E (%)	IDE (%)
Ca	Esférico	2,146	9,61	518	22,34	77,66
pH	Esférico	0,009	0,027	420	33,08	66,92
V (%)	Esférico	34,69	58,31	446	59,49	40,51
MO	Esférico	0,201	0,500	516	40,11	59,89
P	Esférico	63,06	202,10	442	31,20	68,80
K	Esférico	541,02	656,20	371	82,45	17,55
CTC pH 7	Gaussiano	0,929	22,97	118	4,05	95,95
EA	Esférico	2,24	5,87	224	38,13	61,87
EC	Gaussiano	11,07	26,05	356	42,50	57,50
CE	Gaussiano	18,70	36,10	335	51,80	48,20
RP 0-10			efeito pepita puro			
RP 11-20			efeito pepita puro			
RP 21-30			efeito pepita puro			
RP 31-40			efeito pepita puro			
Mg			efeito pepita puro			
S			efeito pepita puro			
Fe			efeito pepita puro			
Prod.			efeito pepita puro			
Altura			efeito pepita puro			
NRP			efeito pepita puro			
NVP			efeito pepita puro			
NSP			efeito pepita puro			
PCG			efeito pepita puro			
G			efeito pepita puro			

Efeito pepita: C0; Patamar: C0+C1; Índice de dependência espacial: IDE; Coeficiente de efeito pepita: E (%); G: Germinação; PCG: Primeira contagem da germinação; Envelhecimento acelerado: EA; Emergência em campo: EC; Condutividade elétrica: CE; Saturação por bases: V (%); NRP: número de ramos; NVP: número de vagens por planta; NSP: número de sementes por planta.

Os mapas de distribuição mostram semelhanças entre os mapas do teor de fósforo, matéria orgânica, cálcio e CTC pH7. Observa-se uma significativa amplitude nos valores de nutrientes do solo. Esta grande amplitude revela os problemas que podem ocorrer caso se use a média dos valores para o manejo da fertilidade. Em alguns locais da área, a aplicação de fertilizante será inferior à dose necessária; em outros, a aplicação será condizente com as necessidades e, em outros, poderá haver aplicação excessiva.

Quanto à qualidade fisiológica, os resultados demonstram que há similaridade entre os mapas de emergência em campo, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica. De acordo com a Figura 2, a região no mapa que apresentou maior emergência, apresentou menor condutividade elétrica, o que significa dizer que a

semente produzida nesta região possui maior qualidade fisiológica. Segundo Marcos Filho (2005), as sementes mais vigorosas, ou menos deterioradas, são aquelas que apresentam maior velocidade de reestabelecimento da integridade das membranas celulares durante a embebição e conseqüentemente liberam menores quantidades de solutos para o meio exterior.

Os resultados expostos na Tabela 3, mostram que ocorreu correlação significativa entre a emergência em campo e a condutividade elétrica, ou seja o teste de condutividade elétrica poderia ser utilizado para estimar o potencial de emergência em campo. Além de ser um teste rápido, apresentando os resultados em 24 horas. Dessa forma o produtor de sementes poderá realizar uma amostragem prévia no campo de produção para realização do teste de condutividade elétrica e realizar a colheita diferenciada de acordo com o mapa de condutividade elétrica da área.

Portanto, os mapas de distribuição espacial da qualidade fisiológica podem ser uma ferramenta para a colheita diferenciada de sementes de maior qualidade, podendo inclusive serem utilizados em programas de produção de sementes de alta qualidade.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos do solo, atributos da soja, e atributos fisiológicos de qualidade de sementes.

	Mg	P	K	MO	CTC _{pH7}	Fe	S	RP 0-10	RP 11-20	RP 21-30	RP 31-40	Prod.	NRP	NVP	NSP	Altura	G	PCG	EA	EC	CE	
Ca	0,899**	0,577**	-0,203 ^{NS}	0,882**	0,975**	0,662**	-0,066 ^{NS}	-0,533**	-0,531**	-0,433**	-0,312*	0,053 ^{NS}	-0,124 ^{NS}	0,034 ^{NS}	0,101 ^{NS}	0,266 ^{NS}	0,078 ^{NS}	0,129 ^{NS}	0,357*	0,347*	0,024 ^{NS}	
Mg		0,316*	-0,138 ^{NS}	0,772**	0,852**	0,597**	0,167 ^{NS}	-0,504**	-0,555**	-0,422**	-0,196 ^{NS}	-0,035 ^{NS}	-0,162 ^{NS}	-0,05 ^{NS}	0,016 ^{NS}	0,216 ^{NS}	0,065 ^{NS}	0,095 ^{NS}	-0,261 ^{NS}	-0,177 ^{NS}	-0,094 ^{NS}	
P			-0,201 ^{NS}	0,518**	0,607**	0,396*	-0,458**	-0,206 ^{NS}	-0,026 ^{NS}	0,040 ^{NS}	0,026 ^{NS}	0,148 ^{NS}	0,101 ^{NS}	0,119 ^{NS}	0,206 ^{NS}	0,246 ^{NS}	0,080 ^{NS}	0,112 ^{NS}	-0,292 ^{NS}	0,344*	0,267 ^{NS}	
K				-0,207 ^{NS}	-0,182 ^{NS}	-0,355*	0,086 ^{NS}	0,465**	0,273 ^{NS}	0,228 ^{NS}	0,143 ^{NS}	-0,012 ^{NS}	0,006 ^{NS}	-0,059 ^{NS}	-0,119 ^{NS}	-0,018 ^{NS}	0,086 ^{NS}	0,061 ^{NS}	0,128 ^{NS}	0,188 ^{NS}	-0,091 ^{NS}	
MO					0,864**	0,571**	-0,129 ^{NS}	-0,576**	-0,535**	-0,434**	-0,303 ^{NS}	-0,085 ^{NS}	-0,066 ^{NS}	-0,009 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,213 ^{NS}	0,068 ^{NS}	0,103 ^{NS}	0,378*	0,436**	0,064 ^{NS}	
CTC _{pH7}						0,688**	-0,044 ^{NS}	-0,511**	-0,480**	-0,409**	-0,288 ^{NS}	0,024 ^{NS}	-0,101 ^{NS}	0,032 ^{NS}	0,085 ^{NS}	0,267 ^{NS}	0,029 ^{NS}	0,078 ^{NS}	0,401**	0,355*	0,034 ^{NS}	
Fe							0,109 ^{NS}	-0,643**	-0,622**	-0,619**	-0,477**	0,055 ^{NS}	-0,227 ^{NS}	0,010 ^{NS}	0,029 ^{NS}	0,394*	-0,009 ^{NS}	0,035 ^{NS}	0,380*	-0,199 ^{NS}	-0,081 ^{NS}	
S								-0,003 ^{NS}	-0,122 ^{NS}	-0,222 ^{NS}	-0,143 ^{NS}	-0,155 ^{NS}	-0,147 ^{NS}	-0,066 ^{NS}	-0,157 ^{NS}	0,114 ^{NS}	-0,075 ^{NS}	-0,057 ^{NS}	0,167 ^{NS}	0,467**	-0,571**	
RP 0-10									0,761**	0,679**	0,530**	0,146 ^{NS}	0,092 ^{NS}	-0,037 ^{NS}	-0,044 ^{NS}	-0,184 ^{NS}	-0,143 ^{NS}	-0,207 ^{NS}	0,271 ^{NS}	0,261 ^{NS}	0,020 ^{NS}	
RP 11-20										0,872**	0,607**	-0,116 ^{NS}	0,327*	0,007 ^{NS}	-0,004 ^{NS}	-0,314*	0,035 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,244 ^{NS}	0,143 ^{NS}	0,109 ^{NS}	
RP 21-30											0,769**	0,084 ^{NS}	0,248 ^{NS}	-0,152 ^{NS}	-0,129 ^{NS}	-0,372*	-0,048 ^{NS}	-0,080 ^{NS}	0,162 ^{NS}	0,137 ^{NS}	0,166 ^{NS}	
RP 31-40												-0,178 ^{NS}	0,183 ^{NS}	-0,130 ^{NS}	-0,104 ^{NS}	-0,320*	-0,052 ^{NS}	-0,129 ^{NS}	0,054 ^{NS}	0,181 ^{NS}	0,119 ^{NS}	
Prod.													0,006 ^{NS}	0,059 ^{NS}	0,090 ^{NS}	0,027 ^{NS}	-0,278 ^{NS}	-0,286 ^{NS}	-0,176 ^{NS}	-0,217 ^{NS}	0,309*	
NRP														0,783**	0,751**	-0,318*	0,260 ^{NS}	0,166 ^{NS}	0,221 ^{NS}	-0,359*	0,124 ^{NS}	
NVP															0,963**	-0,029 ^{NS}	0,222 ^{NS}	0,156 ^{NS}	0,194 ^{NS}	-0,290 ^{NS}	0,013 ^{NS}	
NSP																0,049 ^{NS}	0,186 ^{NS}	0,126 ^{NS}	0,199 ^{NS}	-0,334*	0,079 ^{NS}	
Altura																	-0,017 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,080 ^{NS}	0,165 ^{NS}	-0,068 ^{NS}	
G (%)																		0,951**	0,563**	0,112 ^{NS}	-0,234 ^{NS}	
PCG (%)																			0,499**	0,115 ^{NS}	-0,197 ^{NS}	
EA (%)																				0,405**	-0,184 ^{NS}	
EC (%)																						-0,603**

RP: Resistência do solo a penetração; Prod.: Produtividade; NRP: número de ramos; NVP: número de vagens por planta; NSP: número de sementes por planta; G: Germinação; PCG: Primeira contagem da germinação; EA: Envelhecimento acelerado; EC: Emergência em campo; CE: Condutividade elétrica.

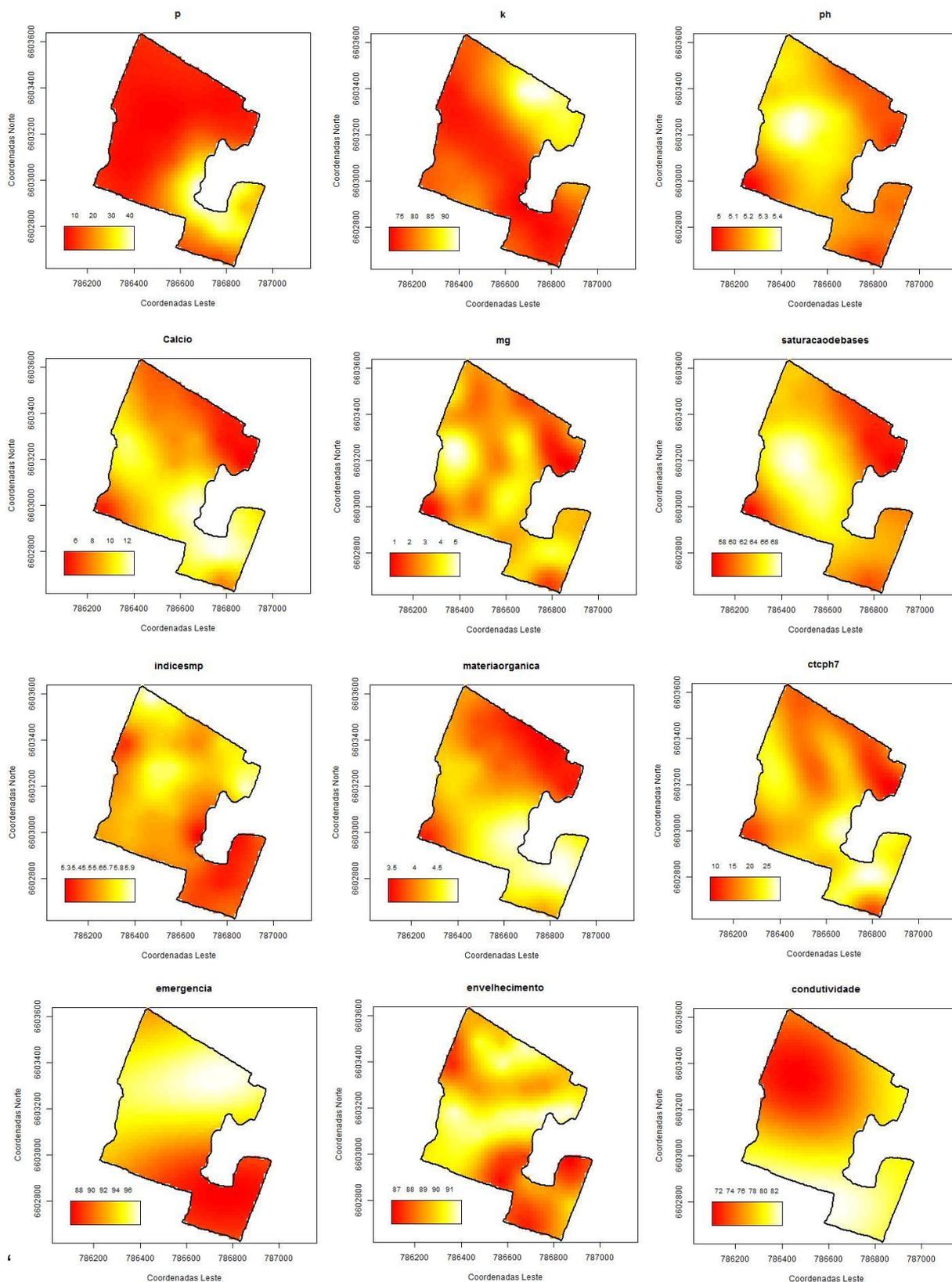


Figura 3. Mapas de distribuição espacial das propriedades químicas do solo, emergência, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica, safra 2013/2014, Lavras do Sul, RS.

CONCLUSÕES

Na área de cultivo de soja, a qualidade fisiológica das sementes apresenta reduzida correlação com os atributos químicos e físicos do solo, para solos com satisfatórios níveis de fertilidade.

A produtividade não apresenta correlação com os atributos químicos do solo e resistência do solo à penetração em campo de produção de semente de soja.

Os mapas de distribuição espacial da qualidade fisiológica podem ser utilizados no gerenciamento da colheita de sementes, sendo a emergência em campo e a condutividade elétrica, os melhores parâmetros para essa avaliação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA: SDA, 2009. 395 p.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.211-218, 2009.

CQFS. **Manual de adubação e de 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. 10° Ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

GAZOLLA-NETO, A.; CORRÊA, M.F.; VERGARA, R. DE O.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Spatial distribution of the chemical properties of the soil and of soybean yield in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.2, p.325-333, 2016.

INAMASU, R.. Estratégia de implantação, gestão e funcionamento da Rede Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p.31-40.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. WinStat - Sistema de Análise Estatística para Windows. Universidade Federal de Pelotas, RS. 2007.

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

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.; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L. DE; MOTOMIYA, A. V. DE 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.

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.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. URL <http://www.R-project.org/>.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.34, p.1763-1771, 2004.

USDA. **Soil survey manual**. Washington: DC: Soil Survey Division Staff, 1993. 437p.

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

WILDING, L. P.; DRESS, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-166.

ARTIGO III

Variabilidade espacial e temporal em um campo de produção de sementes

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade temporal de nutrientes do solo entre safras sucessivas de cultivos de trigo e soja, e a distribuição espacial do rendimento das duas culturas relacionando com a espacialização dos nutrientes do solo. Realizaram-se amostragens de solo em pontos georreferenciados em uma área de 41ha, com uma malha retangular de 100x100m, para determinação da fertilidade do solo. Foram avaliados também a produtividade e a qualidade fisiológica de sementes de trigo e soja. Os testes realizados foram germinação, primeira contagem da germinação, envelhecimento acelerado, emergência em campo e condutividade elétrica. Os resultados foram submetidos às análises de estatística descritiva e geoestatística. Os resultados demonstram variabilidade espacial entre a produtividade de trigo e os teores de fósforo e cálcio, e temporal no teor de potássio, entre os cultivos de trigo e soja. A avaliação temporal resultou em uma espacialização da qualidade fisiológica das sementes, indicando uma zona mais propícia para a produção de sementes de alta qualidade, de ambos os cultivos.

Palavras chave: agricultura de precisão; distribuição espacial; geoestatística; *Glycine max* (L.) Merrill; *Triticum aestivum* L.

Spatial and temporal variability in a field of seed production

Abstract: The objective of this work was to evaluate the temporal variability of soil nutrients between successive wheat and soybean seed crops and to evaluate the spatial variability of the yield of the two crops related to the spatial variability of soil nutrients. Soil samples were collected at georeferenced points in an area of 41ha, with a rectangular grid of 100x100m, to determine soil fertility. The productivity and physiological quality of wheat and soybean seeds were also evaluated. The tests carried out were germination, first counting of germination, accelerated aging, field emergence and electrical conductivity. The results were submitted to descriptive and geostatistical statistics analyzes. The spatial distribution of productivity is related to the spatial distribution of phosphorus and calcium content. Potassium content presents temporal variability between wheat and soybean cultivation. The temporal evaluation resulted in a spatialization of the physiological quality of the seeds, indicating a more favorable zone for the production of high quality seeds of both crops.

Key words: precision agriculture; spatial distribution; geostatistics; *Glycine max* (L.) Merrill; *Triticum aestivum* L.

INTRODUÇÃO

O mapeamento da produtividade e da fertilidade do solo proporcionado pelas ferramentas da agricultura de precisão (AP), destaca-se como alternativa moderna para gerenciar a variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando práticas de manejo (MILANI et al., 2006).

O sistema plantio direto é uma das mais eficientes estratégias para melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola. No entanto, esta melhoria não se manifesta de forma homogênea em toda a área. Em uma mesma lavoura é possível encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas tenham sido aplicadas uniformemente (AMADO et al., 2005).

Dentre as principais ferramentas utilizadas para identificação dos fatores que afetam o desenvolvimento das culturas, está a utilização de mapas de produtividade. Tais mapas são utilizados na agricultura de precisão (AP) como alternativa moderna visando a gerenciar a variabilidade espacial e temporal de lavouras orientando práticas de manejo (MOLIN e RABELO, 2011).

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. Dessa forma, é importante identificar a ocorrência da variabilidade espacial da qualidade fisiológica das sementes no campo de produção no momento da colheita.

De acordo com Delouche (1980), para a obtenção de sementes de alta qualidade, é indispensável uma fertilização mineral adequada. Uma planta bem nutrida apresenta melhor condição para produzir sementes em quantidade e qualidade, proporcionando assim nutrientes para a formação do eixo embrionário e dos órgãos de armazenamento, influenciando a capacidade de germinação de uma plântula normal.

O objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade temporal de nutrientes do solo entre safras sucessivas de cultivos de trigo e soja, e a distribuição espacial

da produtividade das duas culturas relacionando com a espacialização dos nutrientes do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um campo de produção comercial de sementes na empresa Granello Sementes no município de Lavras do Sul - RS (latitude 30° 43' 18,6" S, longitude 53° 56' 44,4" W), em uma área de 41 hectares. O sistema de produção se caracteriza pela sucessão das seguintes culturas: safra de inverno (2012) – pastagem de azevém; safra de verão (2012/2013) – cultura da soja; safra de inverno (2013) – cultura do trigo; safra de verão (2013/2014) – cultura da soja. O presente estudo avaliou as culturas do trigo (2013) e soja (2013/2014) em sucessão, ambos em sistema de semeadura direta na palha.

Os dados de precipitação pluvial são oriundos da estação meteorológica de Caçapava do Sul - RS, sendo apresentados em precipitação semanal.

A semeadura de trigo, cultivar TBio Pioneiro, ocorreu em junho de 2013. Na adubação de base foram utilizados 280 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20 de NPK. A adubação nitrogenada foi fracionada em duas aplicações: durante o estágio de afilamento (90 kg ha⁻¹ de uréia) e alongamento (190 kg ha⁻¹ de uréia). Ainda no alongamento foi realizada adubação com cloreto de potássio (100 kg ha⁻¹).

Foi realizado um mapa de contorno da área, e elaborado um grid de amostragem, sendo os pontos amostrais espacializados de 100 x 100 metros, caracterizando um ponto por hectare.

Para a determinação dos atributos, foi realizada a coleta de quatro sub-amostras, sendo uma no ponto georeferenciado, e as demais coletadas em pontos equidistantes, ao redor do referido ponto em um raio de 15m, de acordo com a Figura 1.

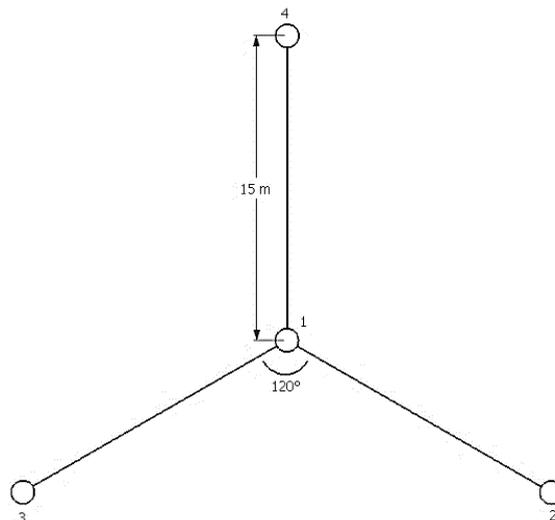


Figura 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção.

Os pontos de amostragem centrais foram definidos com base no método de amostragem sistemática, seguindo uma grade regular de amostragem, sendo os pontos marcados ao longo de um percurso predefinido, e com base nos contornos do campo (MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2011).

Para a determinação da produtividade, foram coletadas espigas em um metro quadrado em cada ponto georreferenciado, mais três sub-amostras, conforme Figura 1. Estas foram colhidas e trilhadas, sendo a umidade corrigida para 13% e expressa em kg ha^{-1} .

Paralelamente à colheita do trigo, amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 – 10 cm, conforme indicado pela CQFS (RS/SC, 2004). Para a determinação dos atributos de solo foi realizada a análise química do solo no Laboratório de Análise de Solos localizado na Universidade Federal de Pelotas. A avaliação dos atributos do solo (matéria orgânica (MO), fósforo, potássio, cálcio, magnésio, saturação de bases (V%), pH, CTC pH7, enxofre, areia e argila) foi realizada de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Logo após a colheita do trigo, no dia 3 de novembro, foi realizada a semeadura de soja, cultivar NS 5160 IPRO, utilizando uma semeadora-adubadora de plantio direto, equipada com sulcador tipo facão. A máquina foi regulada para distribuir 15 sementes por metro linear e espaçamento entre linhas

de 0,50m. A adubação de base consistiu em uma dose fixa de 160 kg.ha⁻¹ de adubo NPK da formulação 2-20-20.

Posteriormente à colheita da soja, foi realizada nova coleta de solo conforme padrão descrito anteriormente.

Os modelos digitais foram elaborados através do pacote geoR do software estatístico R (2014). A krigagem foi o método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais.

A variabilidade espacial foi analisada adotando o critério de classificação para o coeficiente de variação (CV) proposto por Wilding e Dress (1983), onde definem como baixa variabilidade os atributos com valor de CV inferior a 15%, variabilidade moderada para CV entre 15 e 35% e alta variabilidade para o CV acima de 35%.

Os resultados que não obtiveram dependência espacial foram apresentados em mapas, nos quais os pontos amostrados foram classificados em quatro níveis de cores para melhor visualização. Sendo que a ordem de cores: vermelha, amarela, verde e azul, indica valores decrescentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período experimental, a precipitação pluvial acumulada durante o ciclo da cultura do trigo foi de 531mm (Figura 2), resultando em uma precipitação média de 4mm dia⁻¹, quantidade suficiente para atender a demanda de evapotranspiração, para a maioria dos estádios fenológicos da cultura, sendo a necessidade de água da cultura do trigo durante o ciclo de 450 a 600 mm, dependendo do clima e duração do ciclo (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

A precipitação pluvial acumulada durante o ciclo da cultura da soja foi de 795mm, resultando em uma precipitação média de 5,7mm dia⁻¹, valor suficiente para atender a demanda da cultura, visto que a necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Observa-se que durante o ciclo da cultura do trigo a precipitação foi melhor distribuída do que durante o cultivo da soja (Figura 2).

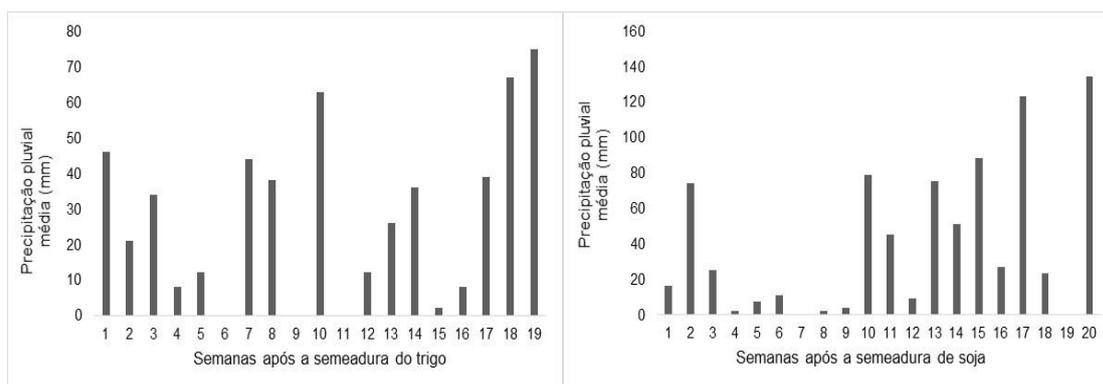


Figura 2. Precipitação pluvial durante o cultivo do trigo e da soja. Fonte: INMET (Estação meteorológica de Caçapava do Sul-RS).

De acordo com a Tabela 1, não ocorreu variação expressiva dos atributos do solo entre a safra de trigo e soja, com exceção do potássio. Os demais nutrientes mantiveram-se em nível médio ou alto, embora os coeficientes de variação indiquem variabilidade espacial moderada à alta. O fósforo apresentou a maior variabilidade espacial e o pH a menor nas duas avaliações, corroborando com os resultados encontrados por Amado et al. (2009).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos de atributos do solo analisados na safra de trigo (T) e soja (S).

Variáveis	Valores		Média	Classificação*	CV (%)
	Mínimo	Máximo			
Ca - T	3,8	16,5	10,4	Alto	22,97
Ca - S	2,6	14,0	9,2	Alto	31,51
Mg - T	1,1	5,7	3,7	Alto	24,99
Mg - S	0,8	4,9	3,1	Alto	31,56
P - T	4,1	50,7	16,8	Alto	97,79
P - S	3,6	50,0	14,4	Alto	102,34
K - T	63,0	197,0	96,3	Alto	28,46
K - S	36,0	155,0	79,2	Médio	32,66
MO - T	1,9	4,2	3,1	Médio	15,86
MO - S	2,6	5,5	4,2	Médio	16,56
CTC pH7 -T	2,1	34,7	22,1	Alto	26,01
CTC pH7 -S	8,1	28,1	19,5	Alto	24,27
pH - T	4,8	5,5	5,2	Baixo	2,56
pH - S	4,8	5,5	5,2	Baixo	3,01
S - T	13,1	30,7	18,6	Alto	24,17
S - S	10,4	21,1	16,7	Alto	16,45
V (%) - T	43,0	75,0	64,6	-	8,04
V (%) - S	42,0	74,0	63,3	-	11,90

*Segundo a CQFS (2004); ** Segundo a USDA (1993)

Em valores absolutos, os teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, enxofre, CTC pH7 e saturação por bases diminuíram após o cultivo da soja (safra 2013/2014) em relação à safra de trigo (safra 2013).

De acordo com a Figura 3, observa-se que o teor de fósforo apresentou distribuição semelhante entre as duas safras, isto podendo ser explicado pelo fato do elemento fósforo apresentar baixa mobilidade no solo. Normalmente, o fósforo permanece muito próximo do local onde é depositado o fertilizante, uma vez que é pouco transportado no perfil pelo fluxo de água.

O fósforo concentrou-se nas regiões de cota mais baixa da lavoura, devido à lixiviação superficial deste elemento proporcionado por enxurradas. Ao analisar as precipitações pluviais, observaram-se maiores do que 40mm dia^{-1} durante o ciclo da soja, o que caracteriza a enxurrada. Observa-se a alta variabilidade horizontal do teor de fósforo, o que pode ser comprovado pelo coeficiente de variação que se situou em torno de 100% (Tabela 1).

Na Tabela 1, observa-se que ocorreu redução do teor de potássio no solo, o que pode ser visualizado pelo mapa de distribuição espacial (Figura 3).

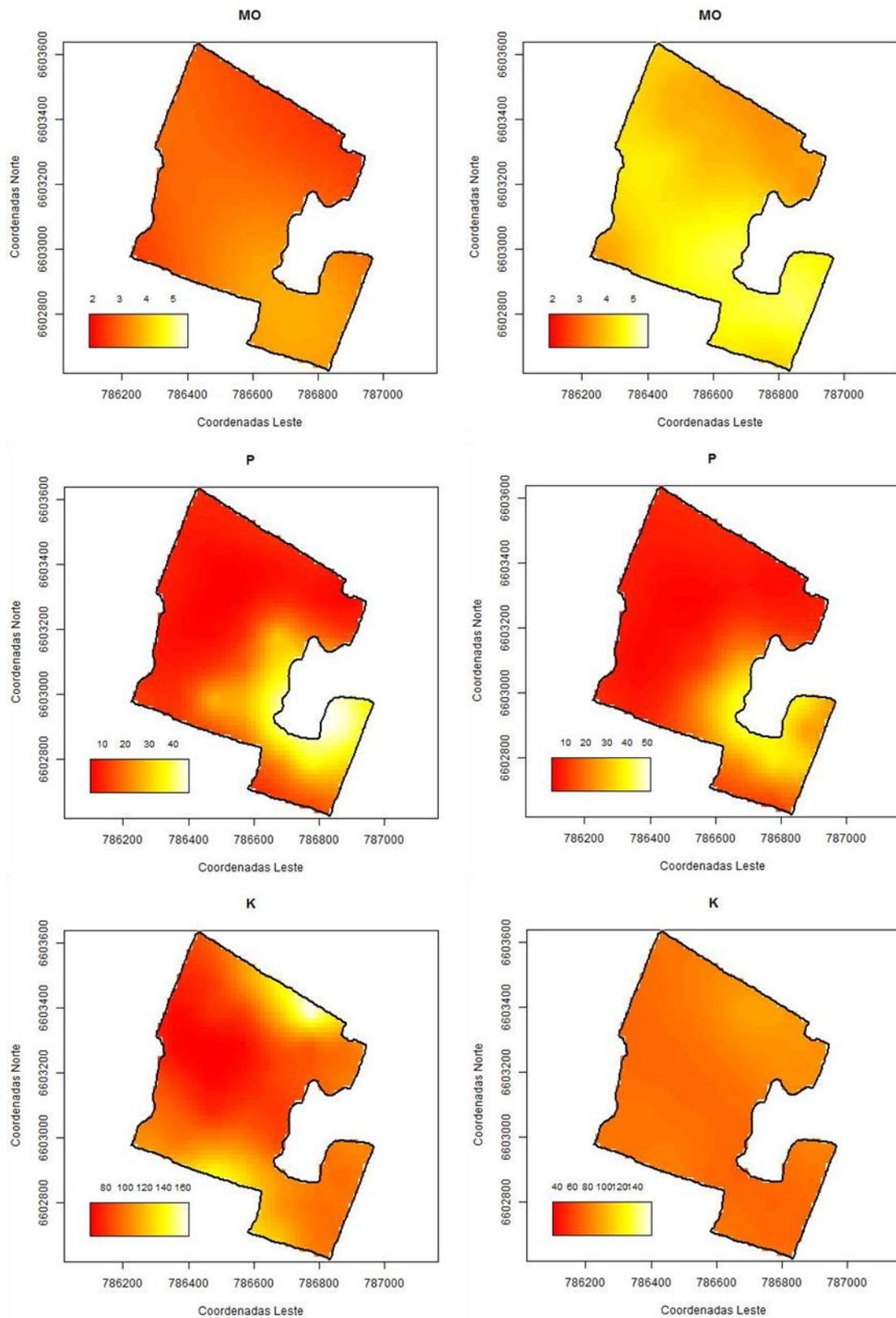


Figura 3. Mapas de distribuição espacial da matéria orgânica (MO), fósforo (P) e potássio (K) avaliados durante a safra de 2013 (trigo) à esquerda e 2013/2014 (soja) à direita. Lavras do Sul, RS.

A área em estudo se caracteriza por um sistema de plantio direto em fase inicial, ou seja pela existência de maior variabilidade horizontal. Estes resultados concordam com Anghinoni e Salet (1998), os quais relatam que o cultivo sucessivo de culturas com diferentes espaçamentos, que muitas vezes possuem fileira de semeadura não coincidente, como soja e trigo, induz a que a variabilidade horizontal seja maior na fase inicial e diminua com o tempo de adoção do sistema.

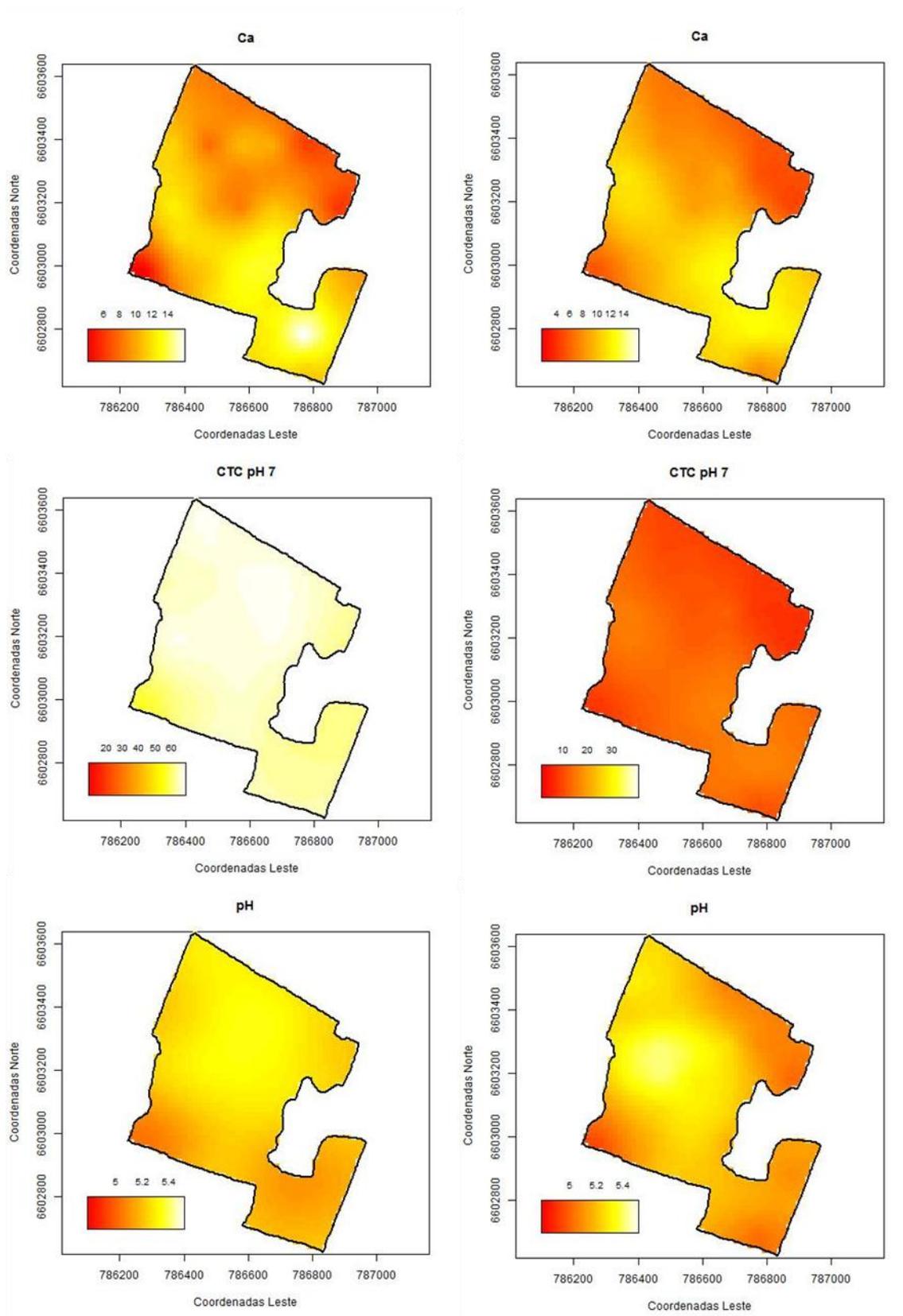


Figura 4. Mapas de distribuição espacial do cálcio (Ca), CTC pH 7 e pH avaliados durante à safra de 2013 (trigo) a esquerda e 2013/2014 (soja) à direita. Lavras do Sul, RS.

A análise geoestatística revelou que a produtividade de trigo apresentou dependência espacial, porém a produtividade de soja não apresentou dependência espacial (Figura 5). Discordando dos resultados encontrados para a cultura da soja por Mattioni, Schuch e Villela (2011), Mondo *et al.* (2012) e Gazolla *et al.* (2016).

Para as variáveis que não apresentaram dependência espacial, estas foram apresentadas em mapas, sendo que os dados observados foram distribuídos em quatro níveis para cada variável (Figura 5), exceto a produtividade de trigo que houve dependência mas para melhor visualização foi apresentado semelhante à da soja. De acordo com a Figura 5, observa-se que a produtividade de trigo foi maior na zona sul do talhão, já a produtividade de soja está distribuída de forma aleatória, justificado pela não dependência espacial do atributo.

Os mapas (Figura 5) de germinação de trigo e soja também estão distribuídos de forma aleatória, a germinação de trigo foi superior a 92% e a germinação de soja foi superior a 85%, todos acima do preconizado no padrão de comercialização de sementes dessas espécies. A primeira contagem da germinação (PCG) de trigo foi superior na zona norte do talhão e a PCG de soja foi superior na zona central do talhão. A emergência em campo (EC) em trigo está distribuída de forma aleatória, e a EC em soja foi superior na zona norte do talhão. Portanto, os atributos que não apresentaram dependência espacial não se visualiza uma organização espacial no talhão.

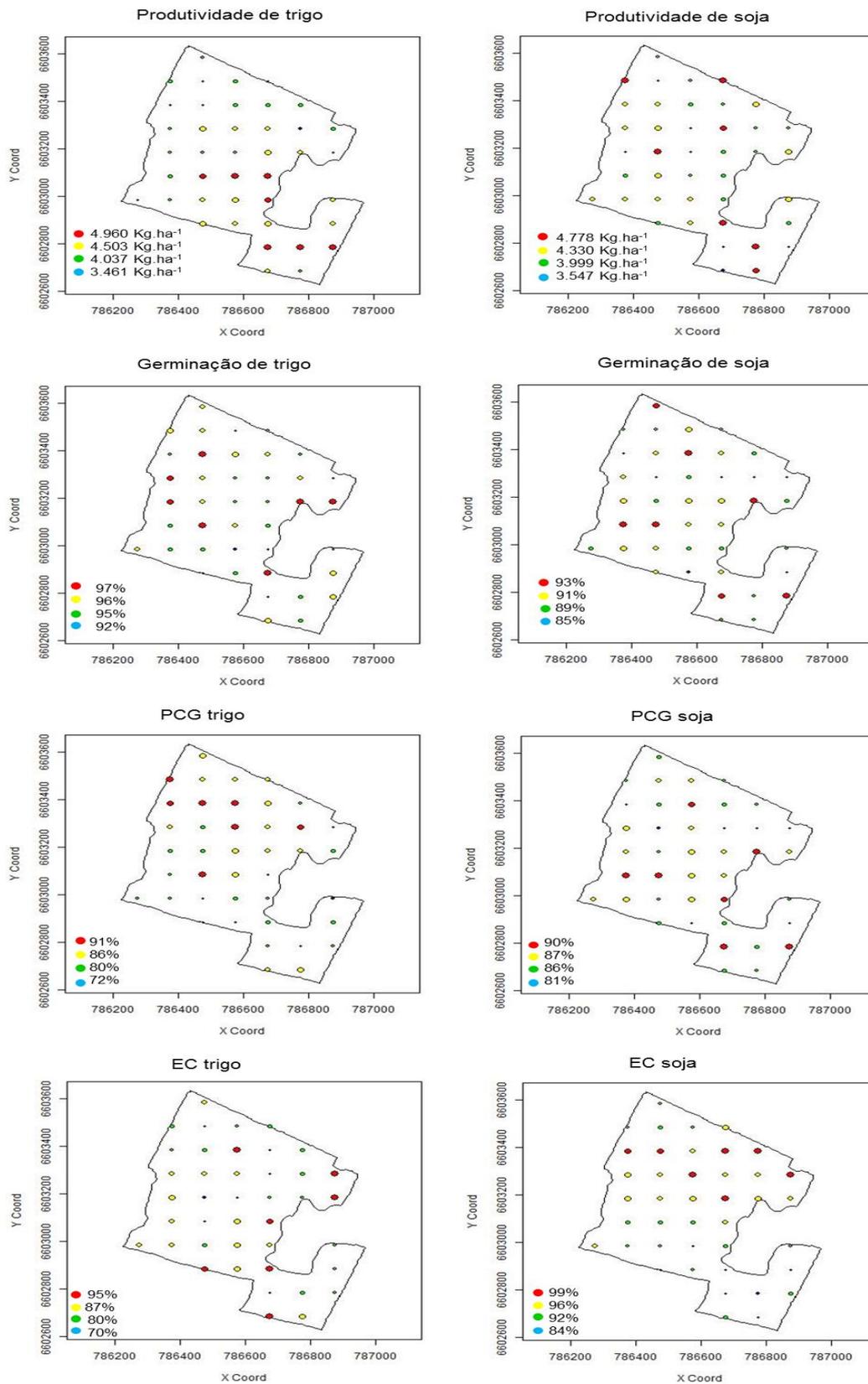


Figura 5. Mapas de dispersão de produtividade e variáveis de qualidade fisiológica de sementes de trigo e soja. PCG – Primeira contagem de germinação e EC – Emergência a campo

A análise geoestatística da qualidade fisiológica de sementes de soja revelou que a germinação e primeira contagem da germinação não apresentaram dependência espacial, corroborando com estudo realizado por Mondo *et al.* (2012), em que não encontraram dependência espacial para a primeira contagem da germinação de sementes de soja.

Todavia, os testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica de soja apresentaram dependência espacial, e seus respectivos mapas de variabilidade espacial estão apresentados na Figura 6. Visualiza-se nesses mapas a mesma tendência espacial de maior qualidade fisiológica das sementes de soja, na zona norte do talhão.

O resultado da análise geoestatística da qualidade fisiológica de sementes de trigo mostrou que a germinação e emergência em campo não apresentaram dependência espacial. Resultado oposto foi encontrado para os testes de envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e primeira contagem da germinação. Somente, envelhecimento acelerado e primeira contagem de germinação indicam um organização espacial de qualidade fisiológica para trigo, também na zona norte do talhão (Figura 6).

Os mapas de variabilidade espacial podem ser uma ferramenta importante na tomada de decisão para o planejamento da produção de sementes de alta qualidade.

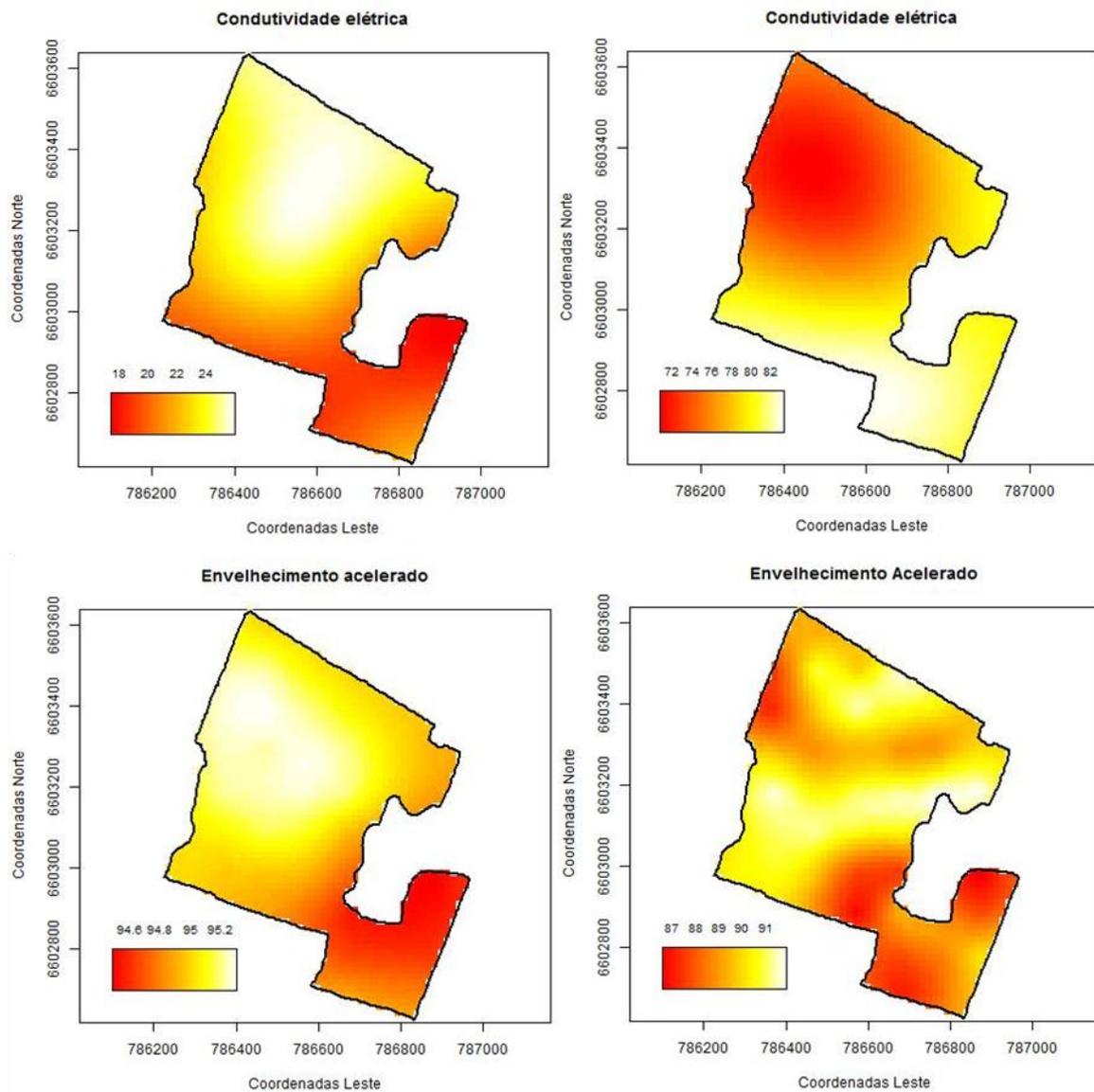


Figura 6. Mapas de variabilidade espacial da condutividade elétrica e envelhecimento acelerado de sementes de trigo à esquerda e soja à direita.

CONCLUSÕES

A distribuição espacial da produtividade de trigo apresenta relação com as de fósforo e cálcio.

O teor de potássio apresenta variabilidade temporal entre os cultivos de trigo e soja utilizados em sucessão.

A avaliação temporal resultou em uma espacialização da qualidade fisiológica das sementes, indicando uma zona mais propícia para a produção de sementes de alta qualidade, de ambos os cultivos.

REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.89, p.34-42, 2005.

AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.

ANGHINONI, I; SALET, L.R. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Núcleo Regional Sul/SBCS, 1998. P.27-52.

CQFS. **Manual de adubação e de 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. 10º Ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

DELOUCHE, J.C. Environmental effects on seed development and seed quality. **HortScience**, v.15, p.775-780, 1980.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)

GAZOLLA-NETO, A.; CORRÊA, M.F.; VERGARA, R. DE O.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Spatial distribution of the chemical properties of the soil and of soybean yield in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.2, p.325-333, 2016.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**: manual do usuário. Santa Maria: UFSM. Centro de Ciências Rurais. Departamento de Engenharia Rural. Laboratório de Geomática, 2007, 319 p.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. DE G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.1234-1244, 2014.

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.

MILANI, L.; SOUZA, E.G. de; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.591-598, 2006.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.90-101, 2011.

MONDO, V. H. V.; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L. DE; MOTOMIYA, A. V. DE 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.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. URL <http://www.R-project.org/>.

WILDING, L. P.; DRESS, L. R. Spatial variability and pedology and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-166.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os atributos químicos do solo possuem grande variabilidade espacial e temporal. Esta variabilidade pode ser atribuída a fatores intrínsecos e extrínsecos, ou seja, fatores pedogenéticos e fatores relacionados ao seu manejo. Além disso, a variabilidade constatada no solo pode ter correlação com a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes produzidas, uma vez que os nutrientes desempenham funções específicas na planta e nos seus processos metabólicos, que podem ser afetadas pelo teor e disponibilidade destes no solo.

Considerando um campo de produção de sementes de trigo georreferenciado, constatou-se que os valores do alcance da dependência espacial dos atributos do solo variaram entre 400 a 600m e os atributos da semente variaram entre 200 a 500m. Na produção de sementes de soja, os valores variaram entre 118 e 518m para os atributos do solo, e para os atributos da semente variaram entre 224 e 356m. Dessa forma o grid de um ponto por hectare e uma malha de amostragem georreferenciada com espaçamento de 100 metros apresenta eficiência na avaliação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e dos atributos da semente.

Os mapas de variabilidade espacial podem ser utilizados como ferramenta no gerenciamento da produção de sementes de alta qualidade. Também podem ser utilizados no monitoramento da qualidade de sementes de soja na pré-colheita pelo teste de condutividade elétrica.