

Análise de variabilidade espacial e temporal em um campo de produção de sementes de soja e trigo

Analysis of spatial and temporal variability in a soybean and wheat seed production field

Marciabela Fernandes Corrêa ¹, Gizele Ingrid Gadotti ², Romário de Mesquita Pinheiro ³, Ariele Paula Nadal ⁴, Luis Osmar Braga Schuch ⁵, Rafael de Oliveira Vergara ⁶

RESUMO

O sistema de manejo integrado de informações e tecnologias, fundamentado nos conceitos de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam nos rendimentos dos cultivos, ainda é pouco esclarecido. Com isso o objetivo deste 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 41 hectares, com uma malha retangular de 100 x 100 m, 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. Produção de sementes. Tecnologia.

ABSTRACT

The system of integrated information and technology management, based on the concept that the variability of space and time influences crop yields, is still unclear in some situations. Thus, the objective of this work was to evaluate the temporal variability of soil nutrients between successive crops of wheat and soybean 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 41 ha, with a rectangular grid of 100 x 100 m, 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.

Keywords: Precision agriculture. Seed production. Technology.

¹ Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes.

E-mail: marciabelafc@yahoo.co.m.br

² Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes, Centro de Engenharias - CENG, Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: gizele.gadotti@ufpel.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9545-6577>

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas

E-mail: romario.ufacpz@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0484-8351>

⁴ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: arielenadal@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5046-6226>

⁵ Professor aposentado do Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: lobs@ufpel.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8869-0250>

⁶ Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes.

E-mail: agrorafaelvergara@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0773-9038>

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão foi definida como uma estratégia de gestão baseada no conhecimento para otimizar a produção de biomassa das culturas de uma perspectiva ecológica e econômica (BARNES et al., 2019). Porém, utilizar novas tecnologias para fornecer a quantidade certa de insumos de forma adequada, a fim de apoiar a produção, proteção e lucratividade de forma correta, necessita compreender os efeitos da variabilidade espacial e temporal que podem afetar negativamente ou positivamente campos de produção de sementes.

As informações sobre os parâmetros físico-químicos do solo desempenham um papel importante na agricultura de precisão. Para examinar a relação entre as propriedades do solo, o mapeamento pedométrico é essencial e tem sido amplamente aplicado em atividades agrícolas (HU et al., 2021), como também no sistema de produção de sementes. 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).

É reconhecido que a variabilidade temporal do rendimento é frequentemente mais forte do que a variabilidade espacial do rendimento, o que pode dificultar as análises em períodos curtos e longos (BLACKMORE et al., 2003, BRAMLEY e HAMILTON, 2004, EGHBALL e POWER, 1995, LAMB et al., 1997). Esta variabilidade temporal deve-se essencialmente a fatores não estáveis, como os padrões climáticos ou o tipo de culturas cultivadas a cada ano (BASSO et al., 2012). Vários autores afirmaram que o número de anos de dados de produção disponíveis para realizar análises temporais de produção era crítico (BAKSHSH et al., 2000, KITCHEN et al., 2005) e alguns até tentaram propor um número mínimo de anos necessários para obter resultados confiáveis (PING e DOBERMANN, 2005).

Dentre as principais ferramentas utilizadas para identificação dos fatores que afetam o desenvolvimento das culturas, está a utilização de mapas de produtividade. Os 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 demonstram variabilidade em ambiente que as plantas podem encontrar na lavoura (MONDO et al., 2012).

E os aspectos da qualidade de sementes também podem ser observadas por análise de variabilidade e espacialidade no campo de produção. Conforme relatado, o objetivo com este 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.

2. MATERIAIS 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 afilhamento (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 georreferenciado, e as demais coletadas em pontos equidistantes, ao redor do referido ponto em um raio de 15 m, de acordo com a Figura 1.

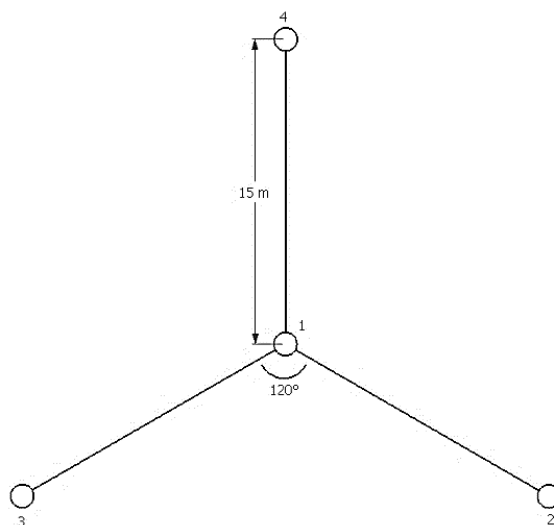


Figura 1. Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção.

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 et al., 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 0,50 m. 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.

3. RESULTADOS

No período experimental, a precipitação pluvial acumulada durante o ciclo da cultura do trigo foi de 531 mm (Figura 2), a precipitação pluvial acumulada durante o ciclo da cultura da soja foi de 795 mm, resultando em uma precipitação média de 5,7 mm 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).

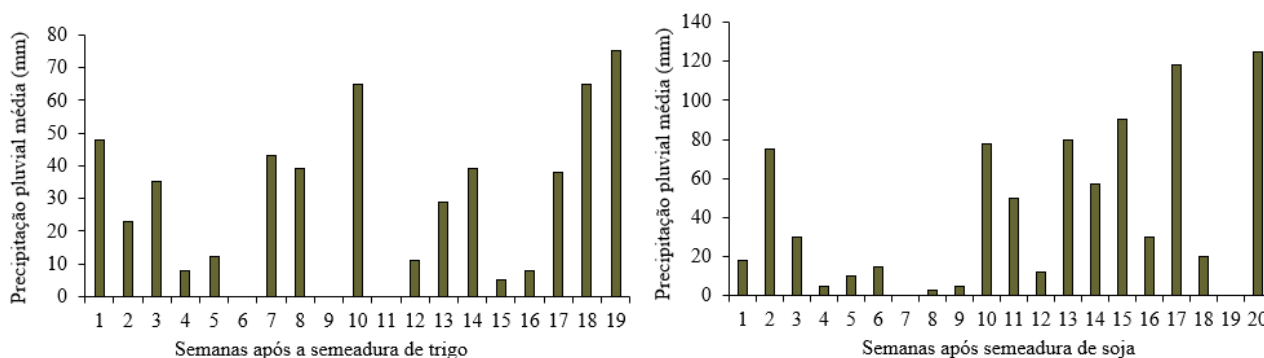


Figura 2. Precipitação pluvial durante o cultivo do trigo e da soja. Fonte: INMET (Estação meteorológica de Caçapava do Sul-RS).

Conforme demonstrado na Tabela 1, não foi observado 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 das culturas.

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)

Na Figura 3, pode ser observado que o teor de fósforo apresentou distribuição semelhante entre as duas safras, isto podendo ser explicado pelo fato de o 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.

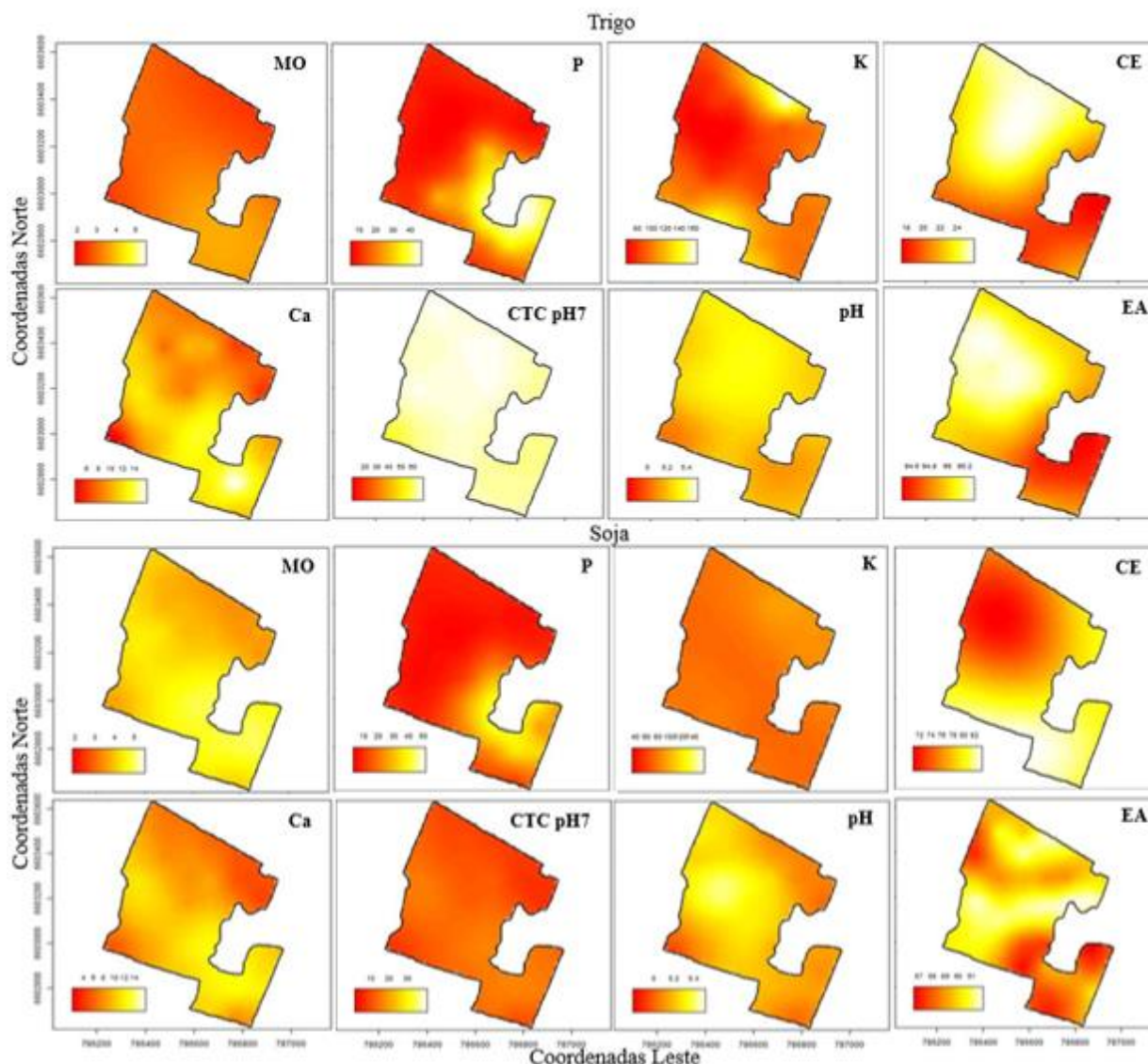


Figura 3. Mapas de distribuição espacial de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca), CTC pH 7, pH e envelhecimento acelerado (EA) avaliados durante a safra de 2013 para o trigo e a soja 2013/2014. Lavras do Sul, RS.

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 40 mm 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). Observa-se que ocorreu redução do teor de potássio no solo, o que pode ser visualizado pelo mapa de distribuição espacial (Figura 3).

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

A análise geoestatística para trigo apresentou dependência espacial, porém para a soja não houve dependência espacial (Figura 4).

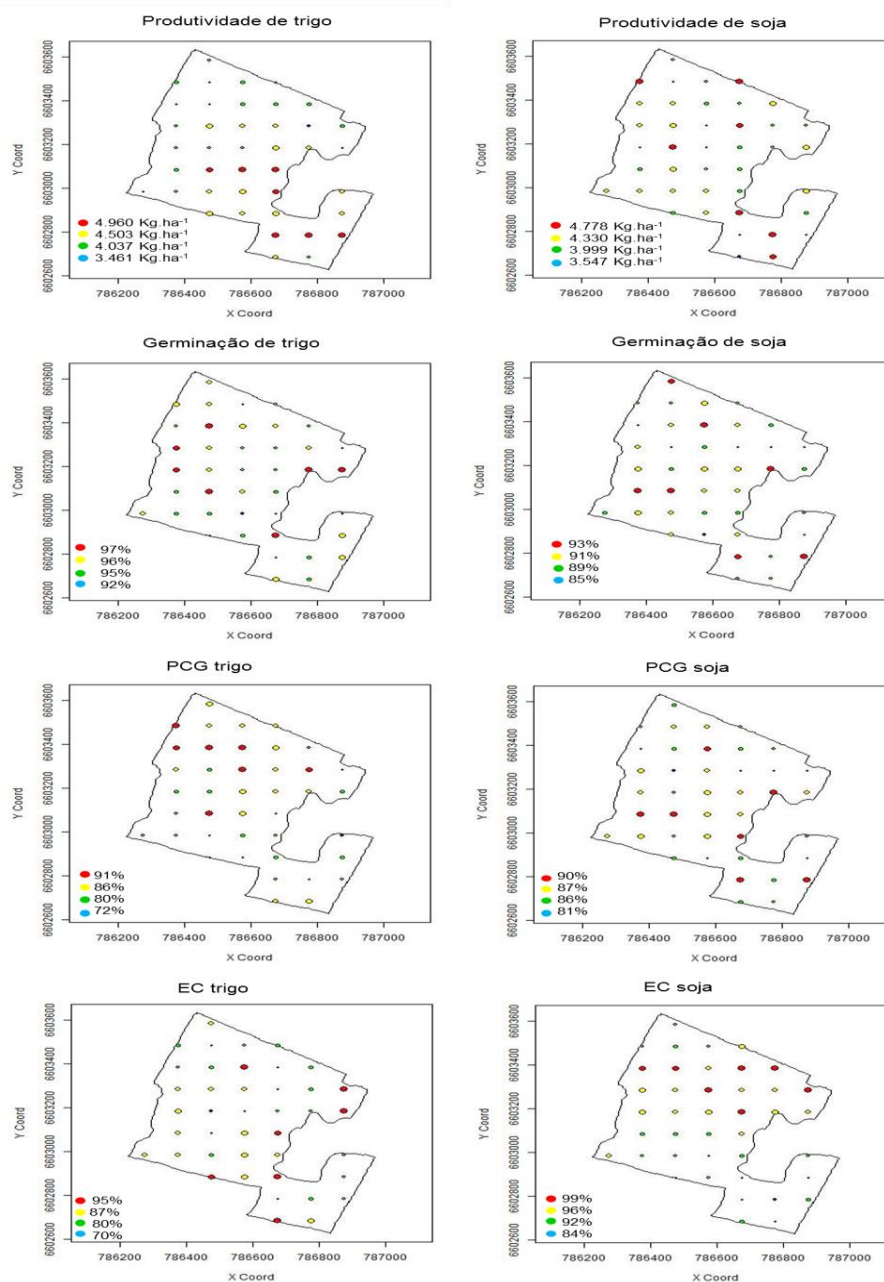


Figura 4. Mapas de dispersão de produtividade e variáveis de qualidade fisiológica de sementes de trigo e soja. PCG – Primeira contagem de germinação e EC – Emergência a campo.

Os mapas 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 visualizam uma organização espacial no talhão.

4. DISCUSSÃO

Sabendo-se que a necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, a sua exigência máxima é maior que para o trigo. O resultado em uma precipitação média de 4 mm dia⁻¹, quantidade suficiente para atender a demanda de evapotranspiração, para a maioria dos estádios fenológicos da cultura, sendo a necessidade de água para a cultura do trigo durante o ciclo é de 450 a 600 mm, dependendo do clima e duração do ciclo (DOORENBOS; KASSAM, 1979) e isso também pode estar em função da cultivar. Esses aspectos de exigências em água para o bom desenvolvimento da cultura podem afetar diretamente o resultado final da produção e por isso deve ser considerado como fatores importante no rendimento e desenvolvimento da cultura e não somente, questões nutricionais de solo.

O rendimento das culturas é resultado da interação entre características genéticas das plantas, propriedades do solo, manejo do campo e condições climáticas. Em um ambiente tropical ou mediterrâneo, a variação no rendimento de trigo é causada principalmente pelo padrão climático, caracterizado por baixa e irregular distribuição das chuvas e altas temperaturas durante o estágio de 'enchimento de grãos' (BASSO et al., 2010, TROCCOLI et al., 2000).

Uma variabilidade substancial pode ser detectada dentro do campo para algumas variáveis entre os nutrientes estudados, como mostra no coeficiente de variação (CV). Uma variabilidade extremamente alta foi perceptível para fósforo em ambas as culturas, para trigo 97,79% e soja 102,34%. De acordo com Diacono et al. (2012), a variabilidade espacial e temporal das propriedades do solo pode afetar o crescimento do trigo, a produtividade e a qualidade dos grãos e/ou das sementes em escala dentro do campo de

produção. Isso não somente para o trigo como também para a soja. A magnitude e a estrutura dessa variabilidade dentro do campo podem sugerir a adequação do gerenciamento específico do local (MZUKU et al., 2005, GODWIN e Miller, 2003).

Portanto, ao se constatar essas variações nos atributos de classificação dos componentes do solo observa-se um solo com propriedades de distribuição heterogênea dos nutrientes ou pouca disponibilidade no solo, onde pode-se identificar locais com maior, moderado e baixo teor de nutrientes, que poderá afetar o rendimento de grãos e da qualidade fisiológica de sementes.

O coeficiente de variação elevado pode caracterizar a classificação dos atributos do solo como um fator de escassez dos nutrientes ou vice-versa, embora se tenha uma heterogeneidade do aspecto nutricional no campo de produção, a tendência é que haja perda de vários nutrientes com o passar do tempo, sendo assim necessário a intervenção específica em locais de baixa fertilização. A variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a magnitude do coeficiente de variação (FREDDI et al., 2006).

No entanto, sabe-se que a variabilidade espacial do rendimento da cultura é afetada por propriedades heterogêneas do solo dentro de um campo sob as mesmas condições de manejo (XU et al., 2019, MAESTRINI; BASSO, 2018). E assim determinar áreas homogêneas relativamente uniformes dentro do campo, pode orientar o manejo agrícola para melhorar a produtividade e a eficiência dos insumos (BREUNIG et al., 2020).

O fósforo pode ser explicado pela variação do terreno, onde houve concentração em regiões de cota mais baixa da lavoura, no qual à lixiviação superficial deste elemento foi proporcionado por enxurradas. E isso também pode acontecer para qualquer outro elemento, dependendo das condições que são conduzidas as atividades no campo.

Após análise geoestatística constatou-se que a produtividade de trigo apresentou dependência espacial, porém a produtividade de soja não apresentou dependência espacial. Em outros estudos como soja os resultados encontrados por Mattioni, et al. (2011), Mondo et al. (2012) e Gazolla et al. (2016), demonstraram-se dependentes. O que demonstra que o campo de produção de sementes espacialmente possui diferenças nos aspectos nutricionais, nivelamentos de área e distribuição de matéria orgânica. E para análise da qualidade fisiológica de sementes de soja demonstrou 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 primeira contagem da germinação de sementes de soja.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição espacial da produtividade de trigo neste estudo apresentou relação com os nutrientes fósforo e cálcio.

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

A avaliação temporal demonstrou espacialização da qualidade fisiológica das sementes, indicando que pode haver zona mais propícia para a produção de sementes de alta qualidade, em 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. Doi. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800006>.

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400008>.

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.

BARNES, A.; DE SOTO, I.; EORY, V. BECK, B.; BALAFOUTIS, A.; SÁNCHEZ, B. Influencing factors and incentives on the intention to adopt precision agricultural technologies within arable farming systems. **Environmental Science and Policy**, v. 93, p. 66-74, 2019. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.12.014.

BASSO, B.; FIORENTINO, C.; CAMMARANO, D.; CAFIERO, G.; DARDANEL, J. Analysis of rainfall distribution on spatial and temporal patterns of wheat yield in Mediterranean environment. **European Journal of Agronomy**, 41, p. 52-65, 2012. DOI: 10.1016/j.eja.2012.03.007.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; S. FOUNTAS. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six Years. **Biosystems Engineering**, v. 84, p. 455-466, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00038-2).

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. Understanding variability in winegrape production systems. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 10, p. 32-45, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00006.x>.

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.

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

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.

EGHBALL, B.; POWER, J. F. Fractal description of temporal yield variability of 10 crops in the United States. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 152-156, 1995. Doi: <https://doi.org/10.2134 /agronj1995.00021962008700020003x>.

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. Doi: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160038>.

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. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020>.

HU, L.; PREMASUDHA, B.G.; PANNEERSELVAM, S.; BASAVARAJA, P. K. Pedometric mapping for soil fertility management – A case study. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 2, p. 128-135, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.12.008>.

LAMB, J. A.; DOWDY, R. H.; ANDERSON, J. L.; REHM, G. W. Spatial and temporal stability of corn grain yields. **Journal of production agriculture**, v. 10, p. 410-414, 1997.

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/>.

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.

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.