

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E AGRONÔMICOS DO SOLO EM CAMPO DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE TRIGO

Marciabela Fernandes Corrêa¹; Renan Navroski^{2*}; Aline Duarte Gomes³; Alexandre Gazolla Neto⁴; Arielle Paula Nadal⁵; José Henrique Nunes Flores⁶; Rafael de Oliveira Vergara⁷; Gizele Ingrid Gadotti⁸; Luis Osmar Braga Schuch⁹

SAP 15845 Data envio: 20/12/2016 Data do aceite: 18/07/2017
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, out./dez., p. 500-509, 2017

RESUMO - A necessidade de racionalizar o uso de fertilizantes, outros produtos químicos e recursos financeiros tem gerado, cada vez mais, pesquisas com a finalidade de analisar a variabilidade espacial de atributos do solo em lavouras. O objetivo do trabalho foi avaliar a organização espacial dos atributos agronômicos e químicos do solo em uma área de produção de sementes de trigo com 11 hectares. A amostragem foi realizada coletando-se quatro sub-amostras de solo para análise química e 10 para compactação, usando-se um grid de 100 x 100 m. Foi realizada a análise descritiva e geoestatística para caracterizar as amostras e identificar a dependência espacial dos atributos estudados. A partir dos resultados obtidos foram elaborados mapas através do “Sistema Agropecuário CR-Campeiro 7”. A organização espacial dos atributos avaliados foi heterogênea. Os atributos químicos e físicos do solo apresentaram variabilidade espacial baixa ou moderada e dependência espacial moderada. O uso de técnicas de mapas temáticas podem ser usadas para otimizar áreas de produção de sementes de trigo.

Palavras-chave: agricultura de precisão, geoestatística, *Triticum aestivum* L.

SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL AND AGRONOMIC ATTRIBUTES OF SOIL IN WHEAT SEED PRODUCTION FIELD

ABSTRACT - The need to rationalize the use of fertilizers and other chemicals, and financial resources has generated, increasingly, research in order to describe the spatial variability of soil properties in crops. This study aimed to study the spatial organization of soil properties in a wheat seed production field in an area of 11 ha. We collected four soil subsamples for chemical analysis and 10 samples for soil compression, using a 100 x 100 m grid. Descriptive and geostatistical analysis were performed to characterize the samples and identify the spatial dependence of the studied attributes. From the results obtained maps were drawn by “Agricultural System CR-Campeiro 7” software. The spatial organization of the evaluated attributes was heterogeneous. The chemical and physical attributes of the soil presented low or moderate spatial variability and moderate spatial dependence. The use of thematic map techniques can be used to optimize areas of wheat seed production.

Key words: precision agriculture, geostatistics, *Triticum aestivum* L.

INTRODUÇÃO

A utilização de técnicas de agricultura de precisão, bem como seu emprego no manejo localizado da fertilidade do solo, vem sendo amplamente utilizado. Conforme Luz et al. (2014) a agricultura de precisão pode ser definida como uma filosofia de gestão aliada ao uso de

um sistema global de posicionamento (GPS) como ferramenta de trabalho, afim de vincular todas as informações relacionadas a produção à sua localização geográfica.

Os mapas de distribuição espacial das características do solo mostram a grande variabilidade de

¹Engenheira Agrônoma, Dra. em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, campus Universitário s/n, CEP 96010-610, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: marciabelafc@yahoo.com.br. *Autor para correspondência

²Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Agronomia, UFPel

³Engenheira Agrícola, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant 989, CEP 96010-020, Porto, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

⁴Professor, Dr. em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, campus Frederico Westphalen, Av. Assis Brasil 709, CEP 98400-000, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil

⁵Graduanda em Agronomia, UFPel

⁶Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Laboratório de Hidráulica, Departamento de Engenharia, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

⁷Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciência e Tecnologia de Sementes, UFPel

⁸Professora Adjunta, Dra. em Ciência e Tecnologia de Sementes, UFPel, Centro de Engenharias

⁹Professor Titular, Dr. em Agronomia, UFPel

ambiente que as plantas podem encontrar em uma lavoura (AMADO et al., 2006). Assim, a análise da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associado à aplicação de fertilizantes com taxa variada, pode reduzir consideravelmente os erros de aplicação e maximizar os recursos da produção, ocasionando em aumento de produtividade e lucratividade.

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo ocorre em diferentes níveis, estando relacionada a fatores, tais como: clima, relevo, ação de organismos, tempo, variação do material de origem nos processos genéticos de formação do solo (CORRÊA et al., 2009). Associados a estes fatores, o manejo do solo e da cultura são importantes condicionadores da variabilidade dos atributos químicos do solo. Neste contexto, solos pertencentes à mesma classe taxonômica podem apresentar variação em seus atributos químicos, mesmo sendo considerados como homogêneos (CAVALCANTE et al., 2007).

A resistência do solo a penetração ou compactação do solo é um atributo do solo amplamente estudado pela sua grande influência na produtividade das culturas. A resistência a penetração atua de duas maneiras, direta e indireta, a direta está relacionada a barreira física causada pela compactação, a qual exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, pois quanto maior o grau de compactação, menor será o crescimento das raízes e a produtividade das culturas, já a indireta tem a ver com a influência da compactação em fatores relacionados a disponibilidade de nutrientes e principalmente de água para a cultura (FREDDI et al., 2006). A compactação pode limitar a adsorção dos nutrientes no solo, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, e por consequência

limitar a absorção de nutrientes pelas plantas (GROHMANN; QUEIROZ NETO, 1966).

Tendo em vista a importância da cultura de inverno no sistema de produção de soja, e a atual situação da cultura do trigo, toda prática de manejo, que por ventura venha a minimizar custos ao mesmo tempo em que promova incremento na produção e qualidade do produto, passam a apresentar grande importância.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a organização espacial dos atributos agrônomicos e químicos do solo em uma área de produção de sementes de trigo com 11 hectares e estabelecer uma correlação entre estes atributos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um campo de produção de sementes de trigo comercial na empresa Granello Sementes no município de Lavras do Sul, RS, Brasil (latitude 30° 43' 18,6" S, longitude 53° 56' 44,4" W), em uma área de 11 hectares (ha) na safra 2013/2013.

Com base no mapa de contorno da área, foram distribuídos pontos de monitoramento espacializados de 100 x 100 m, caracterizando um ponto amostral central por hectare, utilizando software "Sistema Agropecuario CR - Campeiro 7" (GIOTTO et al., 2007). A partir do ponto central, foram definidos três subpontos distribuídos num raio de 15 m, com um ângulo entre eles de 120° (Figura 1), cada amostra enviada ao laboratório foi composta de três subpontos. Os pontos amostrais centrais foram definidos com base na metodologia de amostragem sistemática, seguindo uma malha regular de amostragem, cujos pontos são demarcados, numa rota de caminhada pré-definida e com base no contorno do campo de produção (MATTIONI et al., 2011).

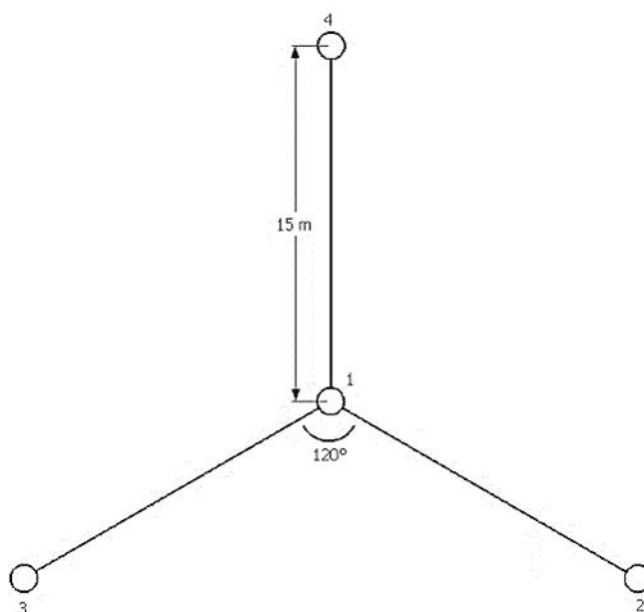


FIGURA 1 - Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção, safra 2013/2013.

Foi empregada a semeadura direta na palha da cultivar TBio Mestre, no dia 14 de junho de 2013, utilizando uma semeadora equipada com sulcador tipo facão e sistema de distribuição de sementes tipo disco perfurado. A adubação de base consistiu em uma dose fixa de 280 kg ha⁻¹ de fertilizante N-P-K com formulação 5-20-20. A adubação nitrogenada foi fracionada em duas aplicações, utilizando-se uréia: durante o estágio de afilhamento (85 kg ha⁻¹) e emborrachamento (190 kg ha⁻¹). Foi realizada adubação com cloreto de potássio durante o alongamento (100 kg ha⁻¹).

Para a determinação dos atributos químicos do solo foi realizada a coleta de 15 subamostras próximas ao ponto georreferenciado. As amostras foram coletadas com trado calador na camada 0-10 cm e de 10-20 cm de profundidade, conforme indicações da CQFS-RS/SC (2016), e posteriormente enviadas para análise em laboratório cadastrado a Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do RS e de SC - ROLAS.

Os atributos químicos do solo analisados foram: teores de fósforo disponível (P), potássio trocável (K), cálcio trocável (Ca), magnésio trocável (Mg), potencial hidrogeniônico (pH), saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions (CTC) e teor de matéria orgânica (M.O.).

A análise granulométrica do solo foi realizada através de amostras deformadas, coletadas em conjunto com as amostras para realização das análises químicas. Para determinação das parcelas de areia, silte e argila, utilizou-se a metodologia do hidrômetro, baseada na Lei de Stokes.

A resistência do solo a penetração foi determinada a partir de quatro repetições, uma no ponto central e as outras nos subpontos. Foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf, com angulação do cone de 30°, na camada de 0-40 cm. Serão apresentadas duas profundidades, sendo 0-10 e 10-20 cm, respectivamente RP2, RP10, RP20, RP30 e RP40. O penetrômetro fornece o número de impactos, o qual, foi transformado em resistência dinâmica (MPa) por meio da equação 1, proposta por Stolf (1991).

$$RP = (5.6 + 6.89 \times N) \times 0.098 \quad \text{Equação 1}$$

Onde: RP: resistência a penetração (MPa); e N: número de impactos (dm⁻¹).

A umidade gravimétrica foi obtida a partir da coleta de quatro subamostras deformadas por ponto de amostragem na camada de 0-20 cm, sendo acondicionadas em cápsulas de alumínio. As amostras foram secas à temperatura de 105 °C (± 5 °C) durante 24 h. Os resultados foram calculados de acordo com Embrapa (1997). A umidade gravimétrica foi obtida pela equação 2.

$$U = \frac{(mu - ms)}{ms} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: U: umidade gravimétrica do solo (%); mu: massa do solo úmido (g); e ms: massa do solo seco em estufa (g).

A população inicial de plantas (PI), foi realizada aos 21 dias após a semeadura, sendo efetuada a contagem de plantas viáveis de 4 m² ha⁻¹, respeitando os pontos de monitoramento central e seus respectivos subpontos amostrais.

O índice de clorofila foi determinado através de medidor portátil de clorofila ClorofiLOG CFL1030 (Falker), as leituras foram realizadas na última folha totalmente expandida, em 15 plantas distribuídas em torno do ponto georreferenciado. As avaliações foram realizadas em 26 de agosto de 2013 e 13 de setembro de 2013, ou seja, 73 e 91 dias após a semeadura, respectivamente, denominando-se Clor.Tot.1 e Clor.Tot.2.

Os resultados foram submetidos à análise de estatística descritiva, correlação linear de Pearson e análise geostatística. A estatística descritiva e a correlação linear de Pearson foram geradas através do software estatístico R. Para a correlação linear de Pearson utilizou-se o critério proposto por Dancey e Reidy (2005), valores abaixo de 0,3 positivos ou negativos indicam baixa correlação, valores 0,3 e 0,7 positivos ou negativos indicam correlação moderada e valores acima de 0,7 positivos ou negativos indicam forte correlação. O método geostatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, empregando raio máximo de pesquisa de 100 m. A elaboração dos modelos digitais (mapas) foi realizada por meio do software "Sistema Agropecuário CR - Campeiro 7" (GIOTTO et al., 2007).

Para a classificação da variabilidade destes atributos foi utilizada a descrição de variabilidade proposta por Wilding e Dress (1983), que, para tal, considera o coeficiente de variação (CV) dos atributos, onde definem como baixa variabilidade os atributos com valor de CV inferior a 15%, variabilidade moderada quando o CV está entre 15 e 35% e alta variabilidade quando o CV está acima de 35%.

Calculou-se o grau de dependência espacial (GDE), onde: C0 é o efeito pepita e C0 + C o patamar. Neste sentido, os semivariogramas que apresentam GDE menor ou igual a 25% têm forte dependência espacial, a dependência é moderada quando esta relação variar de 25 a 75% e fraca quando esse valor for superior a 75% de acordo com classificação proposta por Zimback (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentada a estatística descritiva dos atributos do solo. E nas Figuras 2 e 3 estão apresentados os mapas temáticos da variabilidade espacial dos atributos estudados. Os atributos químicos do solo foram classificados, os que apresentaram baixa variabilidade espacial são a matéria orgânica, o pH, a saturação por bases, os valores de resistência a penetração, tanto na profundidade de 0 a 10 cm, quanto de 10 a 20 cm, a umidade do solo, a população inicial de plantas, a CTC efetiva e os teores de clorofila total. Com moderada variabilidade espacial classificaram-se o potássio, o cálcio, o magnésio e o fósforo.

Os valores de P tiveram uma média de 4,92 mg dm⁻³, o que, segundo CQFS-RS/SC (2004), classifica-se como baixo, apresentando regiões dentro da área com teor de 2,0 mg dm⁻³, outras regiões com até 6,0 mg dm⁻³. A partir destes dados pode-se observar a heterogeneidade deste elemento na área, o que poderia gerar um despendimento irracional de recursos quando da aplicação de fertilizantes tomando como base os valores médios. Este elemento foi classificado com média variabilidade espacial. Mattioni et al. (2013) e Rachid Júnior (2006), estudando variabilidade de atributos do solo em outras culturas, encontraram valores de CV muito próximos. Neste sentido, a relação do P com o pH do solo, em solos ácidos há uma diminuição na disponibilidade deste nutriente, o que pode explicar seu baixo teor neste solo, assim levando em consideração o relevo da região, e a provável ocorrência de erosão e acúmulo de matéria orgânica nos pontos de menor altitude, e este maior teor de matéria orgânica conferindo maior acidez nestes pontos, é possível dizer que esta variabilidade pode ser ocasionada pelas características de relevo da região, havendo assim, necessidade de manejo de adubação de fósforo em taxa

variável nos campos de produção da região, afim de minimizar tal disparidade entre os pontos.

O K apresentou valores médios de 103,82 mg dm⁻³, indicando um teor alto deste elemento no solo (CQFS-SC/RS, 2016). No presente experimento, os teores de K apresentaram variabilidade espacial média. O alto teor de K encontrado neste solo pode ser explicado pela gênese do solo da região, o qual é formado por rochas derivadas de granitos, que são naturalmente ricas em potássio (PORCHER; LOPES, 2000).

O teor de matéria orgânica é o principal indicador de disponibilidade de nitrogênio. Pois, quanto maior seu teor, melhores são as características físico-químicas do solo em termos de armazenamento de nutrientes, sobretudo, de nitrogênio e fósforo (WIETHOLTER, 2011). Na área do presente estudo, o teor médio de M.O. foi de 3,26%, sendo classificado como médio, segundo a CQFS-RS/SC (2016), entretanto, apresentou valores de 2,7% a 3,7%. Este atributo apresentou baixa variabilidade espacial, corroborando com os resultados encontrados por Bottega et al. (2013) e Sana et al. (2014).

TABELA 1. Estatística descritiva dos atributos químicos e agronômicos do solo, em um campo de produção de sementes de trigo, Lavras do Sul, RS, safra 2013/2013.

Atributo	Média	Desvio Padrão	Variância	Assimetria	Curtose	CV (%)
P (mg dm ⁻³)	4,93	1,65	2,72	0,57	-0,52	33,44
K (mg dm ⁻³)	103,82	20,43	417,56	-0,26	-1,80	19,68
Ca (cmol _c dm ⁻³)	7,77	1,46	2,13	-0,76	1,38	18,78
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,78	0,52	0,27	-0,28	-0,24	18,66
pH smp	4,92	0,13	0,02	-0,41	-1,04	2,54
Saturação por bases (V%)	56,18	6,27	39,36	-1,46	2,75	11,16
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	11,74	1,73	3,01	-0,81	0,41	14,77
M.O. (%)	3,26	0,30	0,09	-0,75	-0,75	9,31
Areia (%)	35,72	6,01	36,11	1,10	-0,51	16,82
Silte (%)	27,92	4,08	16,65	-1,10	-0,42	14,61
Argila (%)	36,35	2,61	6,79	-0,85	1,30	7,16
RP 0-10 cm (MPa)	1,46	0,10	0,01	-0,48	0,53	11,03
RP 10-20 cm (MPa)	1,17	0,03	0,00	-0,48	-1,29	2,59
Umidade 0-20 cm (%)	12,88	1,25	1,56	0,10	-0,58	7,25
Clorofila total 1 (ICF*)	41,33	1,85	3,44	-0,84	0,80	4,48
Clorofila total 2 (ICF*)	52,40	4,63	21,41	0,34	-1,06	8,83
População inicial (plantas m ⁻²)	128,83	11,85	140,46	-0,31	-0,77	9,20

*Índice de Clorofila Falker.

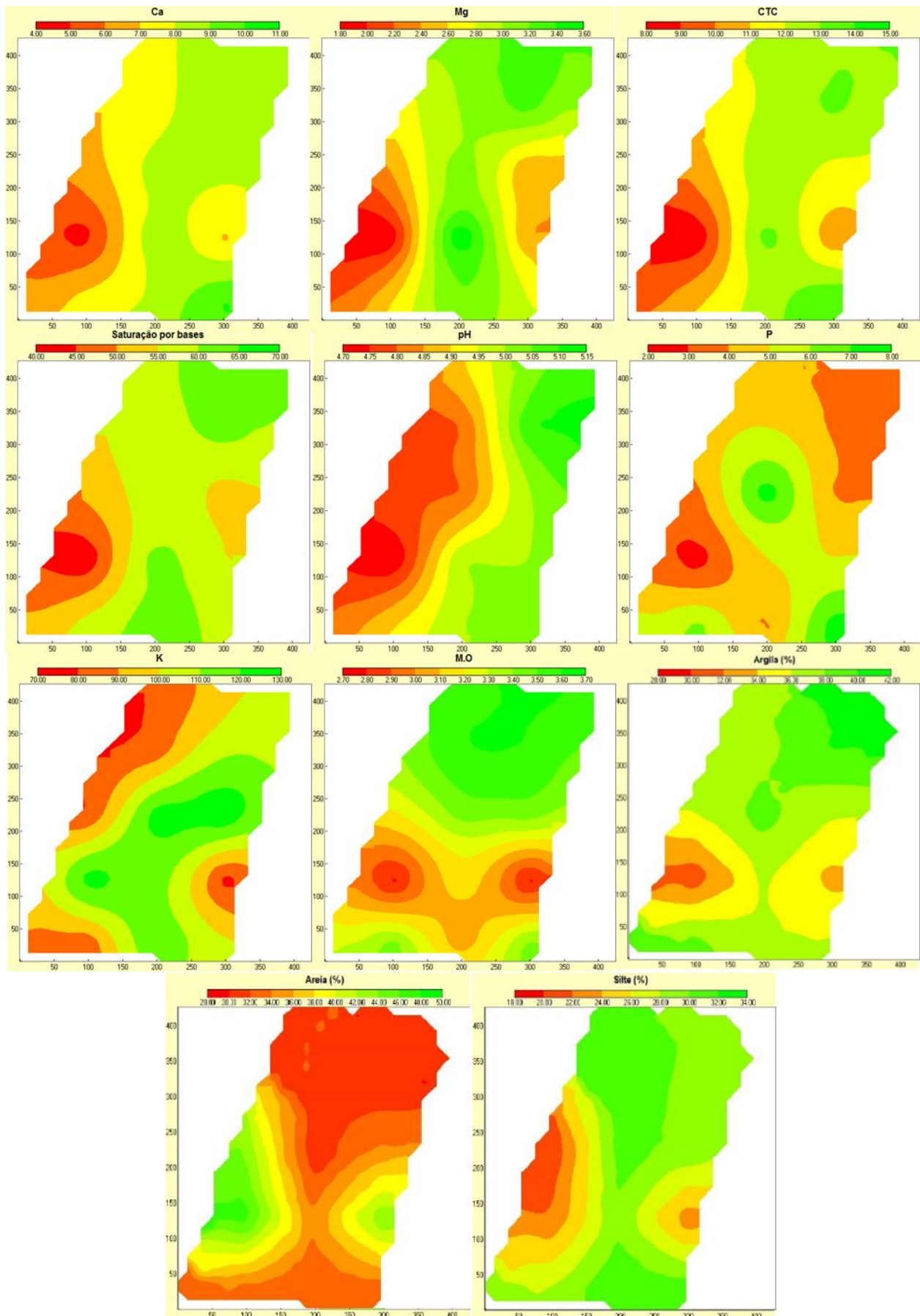


FIGURA 2 - Modelos temáticos da organização espacial dos atributos químicos do solo em um campo de produção de sementes de trigo, Lavras do Sul, RS, safra 2013/2013.

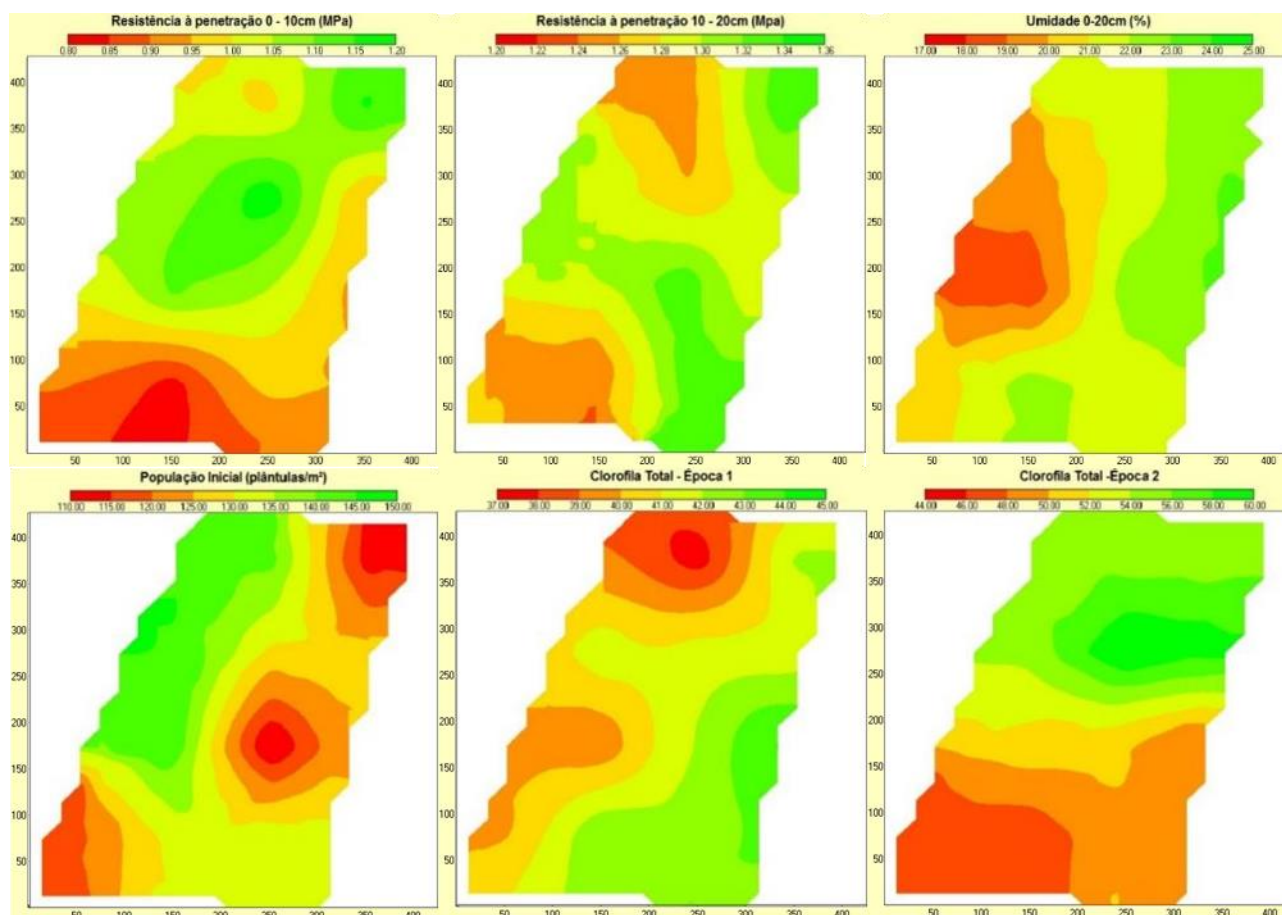


FIGURA 3 - Modelos temáticos da organização espacial dos atributos agrônômicos em um campo de produção de sementes de trigo, Lavras do Sul, RS, safra 2013/2014.

O pH do solo apresenta-se como muito baixo, em grande parte da área, as principais causas químicas da geração de acidez no solo são: a água da chuva, a decomposição de materiais orgânicos, a adição de fertilizantes nitrogenados e a lixiviação e exportação pelas culturas de reação básica (WIETHÖLER, 2011). Nesse caso há necessidade de aplicação de calcário, pois o pH em toda área está abaixo de 5,5 e a saturação de bases foi menor que 65% (CQFS-RS/SC, 2016). Nolla et al. (2005), trabalhando com trigo em sistema de semeadura direta por cinco anos seguidos, encontraram alta correlação entre produtividade, matéria seca e comprimento do sistema radicular de plantas de trigo com a acidez do solo, neste caso, índices de pH menores que 6,0 ocasionaram em decréscimo na produção da cultura. Quanto a variabilidade espacial, o pH foi o atributo que apresentou menor valor, corroborando com os resultados encontrados por Mattioni et al. (2013), Gazolla-Neto et al. (2015; 2016), ambos os autores na cultura da soja. Esta baixa variabilidade espacial está ligada ao fato do pH ser dependente, principalmente, de características intrínsecas do solo, ou seja, de características relacionadas aos processos de formação do solo, sendo estes praticamente homogêneos.

Os teores de Mg e Ca encontram-se altos, segundo a classificação da CQFS-RS/SC (2016). O alto teor de Ca encontrado pode estar relacionado com o alto teor de matéria orgânica e CTC elevada. Segundo Ziglio et

al. (1999), a liberação de ânions orgânicos hidrossolúveis durante a mineralização dos resíduos vegetais é provavelmente a causa da mobilização do Ca no solo, além do Ca possuir cargas positivas, o que facilita sua mobilização em solos com CTC alta. Os elementos Ca e Mg apresentaram moderada variabilidade espacial.

A saturação por bases e a CTC apresentaram baixa e moderada-baixa variabilidade espacial, respectivamente. A CTC é o número total de cátions trocáveis que um solo pode reter, sabendo-se que a maioria dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas é de cátions e em zonas com maior CTC ocorre maior disponibilização de nutrientes do solo, o que influencia positivamente na produtividade da cultura. De acordo com Mattioni et al. (2013), em lavouras destinadas a produção de sementes, além do potencial incremento na produtividade, o maior nível de CTC ocasiona a produção de sementes com qualidade fisiológica superior.

Os atributos que influenciam a compactação do solo são textura, densidade e umidade do solo (DALCHIAVON et al., 2011; MARASCA et al., 2011). A umidade apresentou baixa variabilidade espacial, assim como a resistência mecânica à penetração. Deste modo, as diferenças encontradas nas demais variáveis estudadas podem não estar relacionadas a tal atributo.

A população inicial de plantas e clorofila total nas épocas 1 e 2 apresentaram variabilidade espacial baixa. O

índice de clorofila vem sendo cada vez mais estudado com a finalidade de se estimar indiretamente o teor de nitrogênio no solo, afim de se estabelecer metodologias para aplicação de fertilizantes nitrogenados em taxa variável de acordo com as necessidades das plantas e não com a disponibilidade média do elemento no solo (SORATTO et al., 2004; RAMBO et al., 2011).

Na Tabela 1 observa-se que a resistência a penetração (RP) apresentou valores de pressão, com média de 1,01 MPa na camada de 0-10 cm e 1,29 MPa na camada de 10-20 cm, valores estes não prejudiciais ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tais valores devem estar relacionados ao manejo da área, esta que está sob sistema de plantio direto consolidado. Outra informação importante relaciona-se aos valores de coeficiente de variação e desvio-padrão, pode-se observar que, na camada mais profunda tais valores diminuem, demonstrando que em camadas mais superficiais a variabilidade do grau de compactação é maior. Bottega et al. (2011) atribuem as variações nos valores de compactação ao tráfego de máquinas agrícolas na área, estando o solo com umidade acima da faixa friável, ou seja, superior à recomendada para operações mecanizadas, sejam elas de plantio, manejo ou colheita de culturas.

A resistência do solo à penetração é uma medida indireta da compactação, que conseqüentemente possibilita estimar a redução da porosidade total, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Dessa forma, o conhecimento da variabilidade espacial existente na área torna-se

importante, pois, possibilita um manejo mais racional da cultura, otimizando a aplicação de insumos na lavoura.

Estão expostos na Tabela 2, os parâmetros do semivariograma dos dados. Segundo Cambardella et al. (1994), o efeito pepita indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada. A razão entre efeito pepita e o patamar indica o grau de dependência espacial, quanto maior for este valor, maior o grau de dependência espacial, conseqüentemente, maior será a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa e variabilidade espacial, assim, maior será a confiança que se pode ter na estimativa.

A análise do GDE mostrou ocorrência de dependência espacial moderada para todas as variáveis em estudo, segundo classificação de Zimback (2001).

Quanto ao alcance (a), parâmetro que indica a distância, dentro da qual, as amostras apresentam-se espacialmente correlacionadas, tendo em vista o raio máximo de pesquisa utilizado. Em relação ao modelo, todos os atributos se ajustaram ao modelo esférico.

Na tabela 3 está apresentada a correlação linear de Pearson dos atributos estudados, onde, para a área em questão, os elementos P e K não apresentaram correlação significativa com nenhum atributo estudado. Por sua vez, o Ca apresentou alta correlação positiva com Mg, pH, saturação por bases, CTC e silte e alta correlação negativa com o teor de areia. A saturação por bases apresentou alta correlação positiva com a CTC, o teor de silte e argila, e alta correlação negativa com o teor de areia.

TABELA 2. Coeficientes geoestatísticos dos atributos químicos e agrônômicos do solo, em um campo de produção de sementes de trigo, Lavras do Sul, RS, safra 2013/2013.

Atributo	1C_0	C1 + C ₀	Alcance	$C_0 / C1 + C_0$	R ²	RQEM
P (mg dm ⁻³)	1,540	2,710	200	57,03	0,90	3,43
K (mg dm ⁻³)	242,25	417,56	200	58,02	0,98	545,21
Ca (cmol dm ⁻³)	0,955	2,130	300	44,80	0,97	2,23
Mg (mg dm ⁻³)	0,180	0,269	200	66,76	0,97	0,30
pH (smp)	0,006	0,015	300	39,97	1,00	0,01
Saturação de bases V (%)	21,99	39,36	200	55,86	0,99	41,10
CTC efetiva (cmol dm ⁻³)	1,547	3,006	200	51,47	0,98	3,28
M.O. (%)	0,038	0,092	300	42,01	0,99	0,10
Areia (%)	18,492	36,11	200	51,21	0,99	36,99
Silte (%)	8,447	16,65	200	50,73	0,98	17,06
Argila (%)	3,308	6,78	300	48,73	0,99	7,99
RP 0-10 cm (MPa)	0,006	0,012	400	47,81	0,98	0,012
RP 10-20 cm (MPa)	0,0006	0,001	200	51,47	0,99	0,001
Umidade 0-20 cm (%)	1,665	3,469	400	48,01	0,99	3,89
Clorofila total - 1 (ICF)	1,665	3,468	400	48,01	0,99	3,89
Clorofila total - 2 (ICF)	6,672	21,310	200	31,31	0,99	23,21
População inicial (plantas m ⁻²)	80,02	143,09	200	55,92	1,00	160,26

Em que: P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; ¹CO: efeito pepita; C1 + CO: patamar; GDE: grau de dependência espacial; RQEM: erro médio quadrático; R²: coeficiente de determinação.

TABELA 3. Correlação Linear de Pearson dos atributos da planta, atributos agronômicos e químicos do solo em campo de produção de sementes de trigo na safra 2013/2013.

	P	K	Ca	Mg	pH	V %	CTCe	MO
P	1							
K	-0,166 ^{NS}	1						
Ca	0,594*	0,146 ^{NS}	1					
Mg	0,337*	0,127 ^{NS}	0,740**	1				
pH	0,075 ^{NS}	0,037 ^{NS}	0,704**	0,514*	1			
V %	0,419*	-0,053 ^{NS}	0,815**	0,922**	0,684*	1		
CTCe	0,538*	0,179 ^{NS}	0,967**	0,859**	0,610*	0,859**	1	
M.O.	0,444*	0,000 ^{NS}	0,656*	0,478*	0,209 ^{NS}	0,493*	0,663*	1
Areia	-0,514*	-0,223 ^{NS}	-0,833**	-0,769**	-0,458*	-0,808**	-0,856**	-0,819**
Silte	0,467*	0,380*	0,794**	0,705**	0,434*	0,728**	0,821**	0,656*
Argila	0,455*	-0,082 ^{NS}	0,677*	0,670*	0,376*	0,723**	0,688*	0,860**
RP 0-10	-0,289 ^{NS}	0,532*	-0,158 ^{NS}	0,151 ^{NS}	-0,208 ^{NS}	-0,127 ^{NS}	-0,024 ^{NS}	-0,135 ^{NS}
RP 10-20	0,184 ^{NS}	0,480*	0,311*	0,214 ^{NS}	0,251 ^{NS}	0,095 ^{NS}	0,258 ^{NS}	0,255 ^{NS}
Um. 0-20	0,668*	-0,337*	0,383*	0,350*	0,332*	0,517*	0,312*	0,071 ^{NS}
Cl. Tot. 1	0,402*	0,151 ^{NS}	0,624*	0,306*	0,540*	0,414*	0,509*	0,226 ^{NS}
Cl. Tot. 2	-0,093 ^{NS}	0,456*	0,066 ^{NS}	0,105 ^{NS}	-0,220 ^{NS}	-0,056 ^{NS}	0,144 ^{NS}	0,444*
População inicial	-0,220 ^{NS}	-0,149 ^{NS}	-0,596*	-0,574*	-0,795**	-0,574*	-0,552*	-0,115 ^{NS}

Em que: P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{NS}: não significativo.

Na Tabela 3, notou-se correlação negativa entre teor de areia e os teores de Ca, Mg, matéria orgânica e a CTC. Também na Figura 2, nos modelos temáticos fica evidente a relação existente entre os teores de areia e nutrientes no solo, assim, é possível dizer que solos que apresentam maior teor de areia tendem a apresentar menor disponibilidade de nutrientes, o que porventura tende a responder em menores produtividades. Neste sentido, na

Tabela 4, observou-se correlação negativa entre o teor de areia e clorofila, em estudo realizado por Theago et al. (2014) concluíram correlação significativa entre teor de clorofila e produção na cultura do trigo, assim maiores teores de clorofila ocasionam em maiores produtividades. No presente trabalho a correlação existente entre areia e clorofila pode indicar que em pontos com maiores teores de areia tendem a apresentar menores produtividades.

TABELA 4. Correlação Linear de Pearson dos atributos da planta, atributos agronômicos e físicos do solo em campo de produção de sementes de trigo na safra 2013/2013. (Continuação da Tabela 3).

	Areia	Silte	Argila	RP 0-10	RP 10-20	Um. 0-20	Cl. Tot. 1	Cl. Tot. 2	P. I.
Areia	1								
Silte	-0,937**	1							
Argila	-0,838**	0,596*	1						
RP 0-10	0,113 ^{NS}	-0,122 ^{NS}	-0,070 ^{NS}	1					
RP 10-20	-0,311*	0,260 ^{NS}	0,310*	0,143 ^{NS}	1				
Um. 0-20	-0,369*	0,361*	0,287 ^{NS}	-0,552*	0,219 ^{NS}	1			
Cl. Tot. 1	-0,376*	0,297 ^{NS}	0,401*	-0,293 ^{NS}	0,571*	0,402*	1		
Cl. Tot. 2	-0,242 ^{NS}	0,153 ^{NS}	0,320*	0,650*	0,019 ^{NS}	-0,662*	-0,267 ^{NS}	1	
População inicial	0,364*	-0,348*	-0,296 ^{NS}	-0,087 ^{NS}	-0,529*	-0,416*	-0,408*	0,147 ^{NS}	1

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

Campos de produção de sementes demandam alto investimento, devido ao seu alto retorno econômico e a alta exigência em qualidade de seu produto final. Com isso, infere-se que esses campos possuem pouca variabilidade devido ao alto investimento em fertilizantes e

qualidade genética, e nesse em específico, pois está sobre um sistema de produção sobre palhada. No entanto, este trabalho demonstra que mesmo com altos investimentos ainda há variabilidade espacial moderada em alguns atributos.

Uma outra maneira de se expressar a relação entre as variabilidades espaciais dos atributos são os mapas temáticos. Os mapas são o principal meio comercial de se expressar a variabilidade espacial. O número de empresas especializadas em agricultura de precisão tem crescido nos últimos anos, principalmente pela busca, por parte dos produtores, por maiores produtividades e correção de áreas ou talhões problemáticos em suas lavouras. A correlação destes atributos pode ser confirmada através da análise visual dos mapas temáticos de distribuição dos atributos (Figuras 2 e 3).

De acordo com a análise dos mapas, observa-se semelhança na distribuição espacial do Ca, Mg, saturação por bases e CTC, isso se deve ao fato de que o cálcio tem grande relação com o magnésio e por sua vez estes fazem parte do cálculo da saturação por bases, e a saturação por bases, somada ao teor de alumínio constitui a CTC efetiva do solo. Resultados semelhantes de correlação entre estes atributos foram obtidos por Kramer et al. (2014).

Outra relação importante é destacada nos mapas de areia, silte, argila e MO, nota-se que os teores de MO são muito menores onde há altos teores de areia, mesmo sendo uma área com semeadura direta consolidada, são visíveis os efeitos da baixa capacidade de retenção de MO na areia.

Assim, demonstra-se que os mapas temáticos são uma ferramenta de grande auxílio a ser utilizada para otimizar campos de produção de sementes.

CONCLUSÕES

A organização espacial dos atributos agronômicos e químicos do solo em uma área de produção de sementes de trigo é heterogênea. Os atributos químicos e físicos do solo de um campo de produção de sementes apresentam variabilidade espacial baixa ou moderada e dependência espacial moderada. O uso de técnicas de mapas temáticas podem ser usadas para otimizar áreas de produção de sementes de trigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C.; BELLÉ, G.L.; DELLAMEA, R.B.C.; PES, L.Z.; FULBER, R.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, R.B.; LEMAINSKI, C.L. Projeto Aquarius Cotrijal: polo de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v.91, n.1, p.39-47, 2006.
- BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.deA.; QUEIROZ, D.M.de; SOUZA, C.M.A.de; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.de; PINTO, F.deA.deC.; SOUZA, C.M.A.de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.1-9, jan-mar. 2013.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.de; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1329-1339, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.
- CORRÊA, A.N.; TAVARES, M.H.F.; URIBE-OPAZO, M.A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p.81-94, 2009.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.8-19, 2011.
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- FREDDI, O.S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.113-121, 2006.
- GAZOLLA-NETO, A.; CORRÊA, M.F.; GOMES, A.D.; GADOTTI, G.I.; VILLELA, F.A. Spatial distribution of physiological quality of soybean seed production field. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.119-127, 2015.
- GAZOLLA-NETO, A.; CORRÊA, M.F.; VERGARA, R.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.; SULZBACH, L. **A agricultura de precisão com o sistema CR campeiro 7**. Manual do Usuário, 2007.
- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P.de. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.25, n.2, p.421-431, 1966.
- KRAMER, L.F.M.; MÜLLER, M.M.L.; TORMENTA, C.A.; GENÚ, A.M.; MICHALOVICS, L.; VICENSI, M. Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.38, p.1190-9, 2014.
- LUZ, M.L.G.S.; LUZ, C.A.S.; GADOTTI, G.I. **Agricultura de precisão**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 2014. 268p.
- MARASCA, I.; OLIVEIRA, C.A.A.; GUIMARÃES, E.C.; CUNHA, J.P.A.R.; ASSIS, R.L.; PERIN, A.; MENEZES, L.A.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.239-246, 2011.
- 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**, Londrina, v.33, n.4, p.608-615, 2011.
- MATTIONI, N.; SCHUCH, L.; VILLELA, F.; ZEN, H.; MERTZ, L. Fertilidade do solo na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. Recife, v.8, n.4, p.656-661, 2013.
- NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J.A.; AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Indicadores para a tomada de decisão de calagem no sistema plantio direto. **Current Agricultural Science and Technology**, v.11, n.4, 2005.
- RACHID JÚNIOR, A.; URIBE-OPAZO, M.A.; DE SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo e da produtividade da soja num sistema de agricultura de precisão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.3, p.156-169, 2006.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A.A.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.390-397, 2011.
- SANA, R.S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z.N.; HOLZSCHUH, M.J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.994-1002, 2014.
- SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; EITELWEIN, M.T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, R.F.da; DA ROS, C.O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.510-515, 2013.

Variabilidade espacial dos atributos...

CORRÊA, M. F. et al. (2017)

- SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O. Chlorophyll content and grain yield of common bean as affected by nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.895-901, 2004.
- THEAGO, E.Q.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; ANDREOTTI, M.; MEGDA, M.M.; BENETT, C.G.S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio influenciando teores de clorofila e produtividade do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.6, p.1826-1835, 2014.
- WIETHOLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R.da (Ed.). **Trigo no Brasil**: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. cap.6, p.135-184.
- 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.
- ZIGLIO, C.M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.42, n.2, 1999.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2001.