

Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras

RESUMO

As recomendações das adubações químicas muitas vezes são realizadas apenas pela média dos atributos do solo, podendo aumentar a variabilidade espaço-temporal desses atributos e, do rendimento das culturas. Assim, o conhecimento dessa variabilidade pode contribuir para a otimização do manejo agrícola, especialmente com a aplicação de técnicas da agricultura de precisão. O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espaço-temporal de atributos químicos do solo, entre as safras 2013/2014 à 2017/2018. O trabalho foi conduzido em área de cultivo de soja e milho no município de Nova Mutum – MT. Coletaram-se amostras georreferenciadas de solo, espaçadas a cada 3,5 ha, na camada de 0–0,2 m. De posse dos dados, efetuou-se estatística descritiva, ajuste de semivariograma e, interpolação por krigagem ordinária. Ajustou-se o modelo esférico para todos os atributos estudados (potássio, magnésio, matéria orgânica, fósforo, potencial hidrogeniônico e saturação por bases). Verificou-se que apenas a saturação por bases em um ano apresentou fraca dependência espacial. Foram identificadas semelhanças espaciais em alguns mapas, possivelmente devido à textura e a matéria orgânica que contribuem para manutenção de nutrientes no solo. Ocorreu dependência espacial para todos os atributos químicos do solo, nas cinco safras estudadas. Houve semelhanças nos mapas de potássio e matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: Geoestatística. Krigagem ordinária. Taxa Variável.

Rafael Noetzold

rafael_noetzold@hotmail.com
orcid.org/0000-0002-8377-1729
Universidade do Estado de Mato Grosso,
Nova Mutum, Mato Grosso, Brasil.

Lucas Martins da Silva

agrolucasms@gmail.com
orcid.org/0000-0002-7537-3448
Universidade do Estado de Mato Grosso,
Nova Mutum, Mato Grosso, Brasil.

Evandro Luiz Schoninger

schoningerel@unemat.br
orcid.org/0000-0002-2486-9478
Universidade do Estado de Mato Grosso,
Nova Mutum, Mato Grosso, Brasil.

Paulo Capistrano Dias Tomé

paulodiasome@hotmail.com
orcid.org/0000-0001-5713-8690
UNIGEO, Nova Mutum, Mato Grosso,
Brasil.

Marcelo de Carvalho Alves

marcelocarvalhoalves@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3957-328X
Universidade Federal de Lavras, Lavras,
Minas Gerais, Brasil.

INTRODUÇÃO

O solo está distribuído na superfície terrestre de maneira mais homogênea em algumas partes que em outras. Essa situação de heterogeneidade do solo é responsável pela variação espacial e contínua de seus atributos (SIQUEIRA, 2006). Quando uma área é considerada homogênea, a necessidade de utilização dos insumos é considerada pela média. Como consequência, pode ocorrer o desbalanço no uso de fertilizantes, comprometendo o rendimento das lavouras e aumentando o custo de produção (MACHADO et al., 2007).

De acordo com Schadeck e Cardoso (2016), a atividade agrícola brasileira vem crescendo em ritmos cada vez maiores, atendendo a necessidade de aumento da demanda por alimentos devido a fatores, tais como, a elevação da renda de determinadas camadas da população mundial principalmente em países em desenvolvimento, consequentemente, estas pessoas consomem mais alimentos.

Nas últimas décadas tem se observado aumento da produtividade das culturas (CONAB, 2017), e este incremento e fortalecimento do setor agrícola ocorreu devido ao uso cada vez maior da tecnologia, a qual tem como finalidade, agregar praticidade e facilitar a execução de tarefas, sobretudo na agricultura. Com as últimas inovações, novos sistemas de gerenciamento foram desenvolvidos, e como consequência disso, o produtor deve conhecer as novas demandas tecnológicas que atuam no agronegócio e, com apoio técnico decidir quais são viáveis para adoção em sua propriedade.

O sistema agrícola é altamente dinâmico no espaço e no tempo e é influenciado por fatores inerentes à planta, ao solo, ao clima e às ações antrópicas. Aliado a isto, a globalização da economia e a necessidade de competitividade têm levado à otimização, cada vez mais necessária deste sistema (REIS, 2005).

O que tem contribuído para essa otimização é o uso da agricultura de precisão (AP), a qual consiste em um conjunto de princípios e tecnologias aplicadas no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, objetivando aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental (PIERCE e NOWAK, 1999).

As tecnologias da AP são realidades no campo, e extensas áreas agrícolas comerciais no Brasil já estão sendo manejadas com alguma técnica de AP. Atualmente, as tecnologias de amostragem de solo em grades georreferenciadas são as mais utilizadas pelos produtores para mapear os atributos do solo e aplicar corretivos e fertilizantes em taxas variáveis (BERNARDI et al., 2014, p. 19).

Por considerar o solo um meio de importante valor para toda a cadeia produtiva, e que passa por transformações químicas constantes, surge a necessidade de avaliar sua qualidade, tanto para entender a evolução dos níveis de fertilidade, quanto das necessidades que devem ser corrigidas, além de explicar dados de produtividade e refinar práticas de manejo (VARASCHINI, 2012).

Os processos e os atributos do solo que determinam o desempenho e a produtividade das culturas, bem como o impacto da agricultura ao meio ambiente, variam no espaço e no tempo. Por essa razão, o conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção agrícola é o primeiro passo para adoção, com êxito, do sistema de AP (CORÁ et al., 2004). Neste contexto, a ferramenta de análise geoestatística constitui-se no método mais adequado para analisar a variabilidade espacial de atributos do solo (VIEIRA, 2000, p. 1).

Zanão Júnior et al. (2010), observaram que a dependência espacial dos atributos químicos do solo varia conforme o nutriente, a textura do solo e a profundidade de coleta das amostras. Em pesquisa realizada por Richart et al. (2016) foi verificado que os mapas temáticos foram essenciais para o entendimento e avaliações da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo.

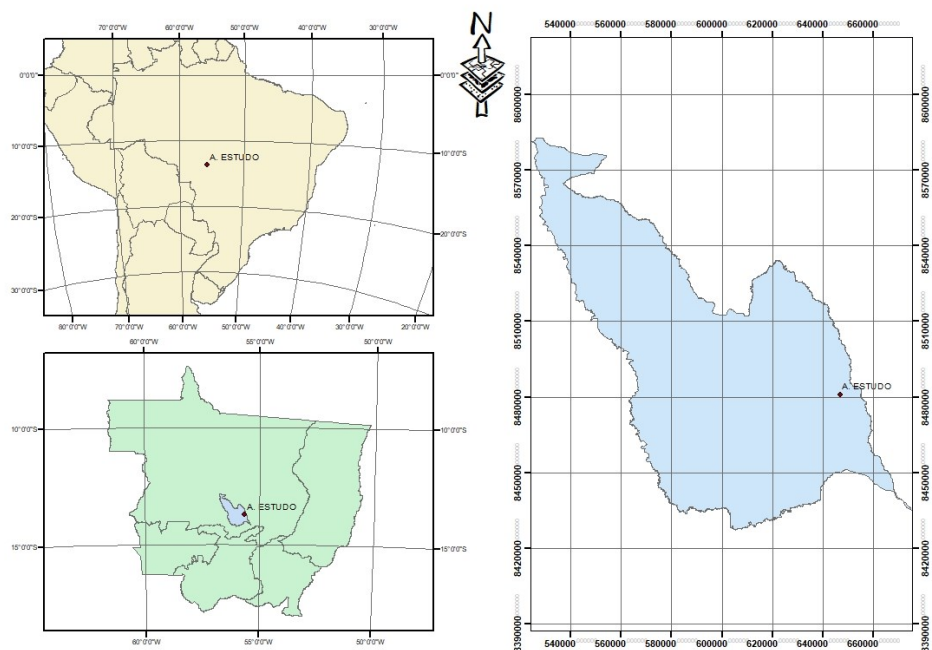
Em estudos realizados por Rachid Junior et al. (2006), em área de pesquisa, em Cascavel – PR, foi possível verificar que a área estudada apresentou variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e, que o gerenciamento localizado de nutrientes diminuiu os gastos com fertilizantes, aumentando, assim, a lucratividade da área, visto que provavelmente algumas regiões da área não necessitavam de quantidades elevadas de nutrientes, o que consequentemente contribuiu para o uso racional dos recursos, resultando em menor impacto ambiental.

Pelo exposto, este estudo de caso tem como objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal dos atributos químicos do solo, utilizando-se de metodologia baseada em geostatística, em área agrícola no município de Nova Mutum-MT nas safras de 2013/2014 à 2017/2018

MÉTODOS

O trabalho foi realizado em propriedade agrícola no município de Nova Mutum – MT, com altitude média de 472 m (Figura 1). O clima predominante dessa região, segundo a classificação de Köppen é o Aw, tropical úmido com inverno seco. O solo da área pertence à classe dos Latossolos (SANTOS et al., 2013) e possui textura argilosa.

Figura 1 - Localização geográfica do talhão amostral no município de Nova Mutum, MT - Brasil



Fonte: Autoria própria (2017).

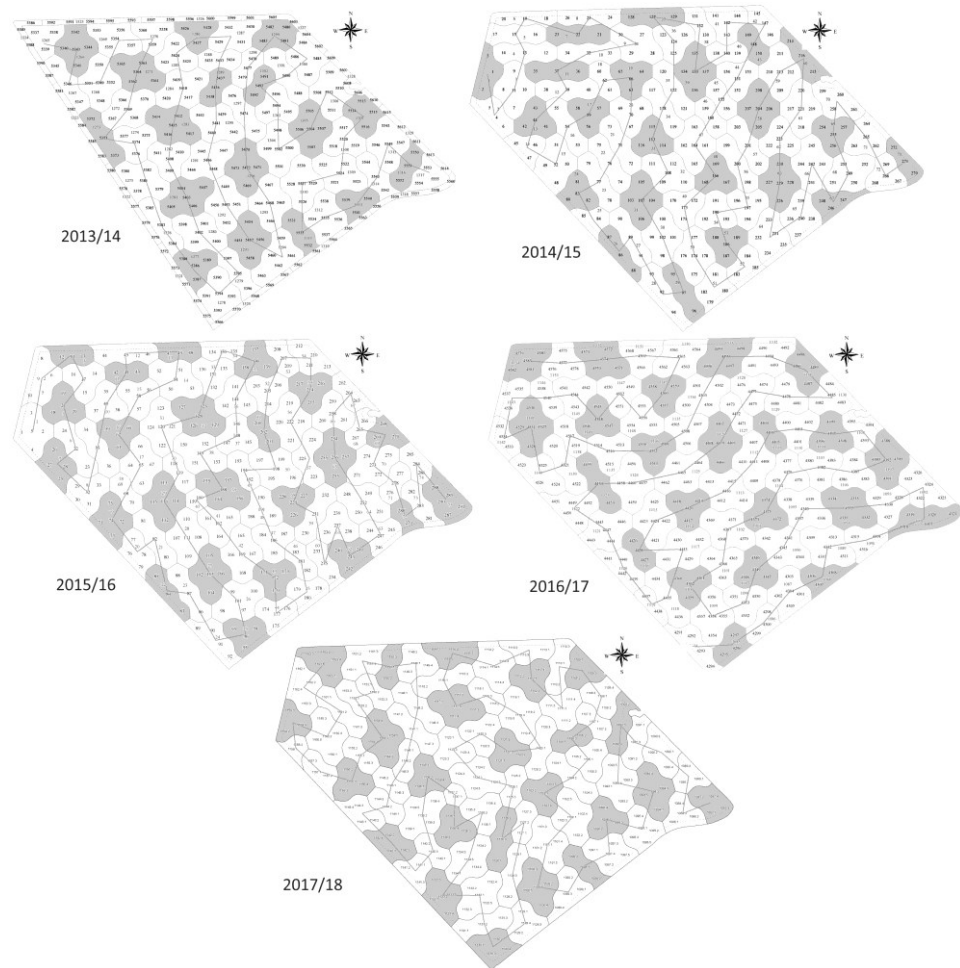
O talhão da área comercial é manejado mecanicamente para produção sucessiva de soja (safra) e milho (safrinha) há 13 anos, e desde a safra 2002/03 o manejo da fertilidade do solo vem sendo realizada utilizando técnicas de agricultura de precisão, com aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes. Aplicaram-se no talhão ao longo do tempo calcário, gesso, monoamônio fosfato (MAP), superfosfato simples e cloreto de potássio à taxas variáveis.

As coletas das amostras de solo para quantificação dos atributos químicos foram realizadas em um talhão, com área de 225,50 ha na safra 2013/14, e posteriormente houve

um redimensionamento de área para 267,14 nas safras 2014/15 e 2015/16, e atualmente o talhão possui 267,21 ha.

Para coletar as amostras de solo foram utilizados pontos amostrais georreferenciados a partir de grades de amostragem customizadas, partindo do princípio do método de coleta de amostragem direcionada, em que foram levadas em consideração o índice de vegetação, dados de rendimento das culturas, dados altimétricos e físicos. Cada amostra composta apresentou média de 3,5 ha, e foi representada por 3 a 5 subamostras (Figura 2).

Figura 2 – Grades amostrais utilizadas para coletas de solo da área com seus respectivos caminhamentos, referentes às safras de 2013/14 a 2017/18



Fonte: Adaptada de Unigeo (2017).

Todas as coletas do solo foram realizadas após a colheita da soja, na camada de 0 - 0,20 m de solo. Para essas coletas utilizou-se o perfurador BT45 da marca Stihl, adaptado a um trado do tipo caneco no seu mandril, o qual foi fixado em grade acoplada em motocicleta. Utilizou-se o receptor de GPS Garmin GPSMap 78S configurado em datum SIRGAS2000 e fuso 21, seguro em suporte no guidão da moto. Cada grade de amostragem do talhão foi inserida no receptor GPS por meio de arquivo GTM, e o mapa do grid apresentou o trajeto sugerido para efetuar o caminhamento com maior agilidade (Figura 2).

As amostras de solo coletadas foram enviadas para laboratório de análise de solo idôneo, em que foram efetuadas as seguintes análises: potencial hidrogeniônico (pH),

alumínio (Al), hidrogênio (H), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e matéria orgânica (MO).

Para obtenção dos resultados de P (mg dm^{-3}), K, Ca, Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) realizou-se o método de extração por resina. A matéria orgânica (g kg^{-1}) foi obtida por oxidação com dicromato de sódio. A leitura do pH foi efetuada em cloreto de cálcio (CaCl_2). Esses métodos de análise de solo são descritos por Raij et al. (2001). Com os dados de Ca, Mg, K, Al e H calculou-se a saturação por bases (V) em %.

Após a tabulação dos dados de atributos do solo, foi realizada a análise descritiva, e em seguida, a geoestatística. Esta última, foi utilizada para estudar a dependência espacial e visualizar a variabilidade dos atributos químicos.

Primeiramente foi realizado o ajuste de semivariograma por meio do semivariograma experimental com o estimador clássico, de acordo com Burrough e McDonnell (1998) (Equação 1).

$$\gamma(h) = 1/2N(h) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i)Z(x_i+h)]^2, \quad (1)$$

em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimada e $N(h)$ é o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ e, separados pela distância h .

Esse ajuste de semivariograma teórico foi realizado com o modelo esférico, ajustado ao método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). Verificou-se também o grau de dependência espacial (GDE) dos atributos do solo, conforme a metodologia proposta por Cambardella et al. (1994), que consideram a dependência espacial forte (< 25); moderada ($25 \geq \text{GDE} < 75$) e fraca ($\text{GDE} \geq 75$) (Equação 2).

$$\text{CDE} = (c_0/c_0+c_1) \times 100, \quad (2)$$

em que c_0 é o efeito pepita e c_0+c_1 é o patamar.

Em seguida efetuou-se interpolação por krigagem ordinária. Todas as análises geoestatísticas foram efetuadas no software R com a utilização do pacote geoR (DIGGLE e RIBEIRO JUNIOR, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o pH apresentou a menor amplitude e o K a maior amplitude dos dados e, conseqüentemente verificou-se menores coeficientes de variação (CV) para pH e maiores para K e P (Tabela 1). Quando se analisam as amplitudes entre os valores mínimos e máximos, pode-se ter uma noção da variabilidade dos dados (ZANÃO JÚNIOR et al., 2007). De modo semelhante, Souza (1992) também observou correlação proporcional entre esta amplitude e os respectivos CV.

Zanão Júnior et al. (2007) estudaram a variabilidade espacial do pH em Latossolo Vermelho sob semeadura direta, e também obtiveram valores baixos de amplitude. É importante destacar que o conhecimento do pH é essencial para obter informações a respeito da disponibilidade dos nutrientes. Valores de pH em CaCl_2 entre 5,5 a 6,5, apresentam a faixa com melhor disponibilidade para maioria dos nutrientes (MALAVOLTA, 1980), pois o pH é considerado como um indicador da fertilidade do solo e pode contribuir para a melhor compreensão do efeito da interferência antrópica no solo (VICENTE e ARAUJO, 2013).

Os menores valores de CV para os nutrientes foram observados nas análises da safra 2016/2017, exceto para o P. Silva et al. (2003) também observaram maior valor de CV para P disponível, enquanto que pH, MO, Ca Mg e V%, apresentaram CV considerados baixos (2,6 a 14,7%).

O alto valor de CV para o P é provavelmente devido aos efeitos residuais de adubações anteriores, além desse nutriente ser pouco móvel no solo. A forma de adubação ocorreu na linha de semeadura, enquanto a correção da acidez do solo, bem como a deposição dos restos culturais na colheita, foi realizada a lanço, consequentemente dificultando a homogeneização do P. Segundo Silva et al. (2003), mesmo as aplicações a lanço, seguidas de revolvimento do solo para incorporação do calcário, geram variabilidade no solo.

Salienta-se também que o Al esteve ausente na maioria dos pontos amostrais dos cinco anos estudados, devido ao fato do pH do solo estar próximo ao adequado. Assim o Al não foi limitante para o crescimento das raízes e do desenvolvimento das plantas de soja e milho.

Tabela 1 – Análise descritiva dos seguintes atributos: K, Mg (mmol_c dm⁻³), MO, P, (mg dm⁻³), pH (CaCl₂) e V (%)

Safra	Atributo	pH	MO	P	K	Mg	V%
2013/2014	Média	5,578	32,745	27,040	2,128	7,211	64,338
	Máximo	6,1	50,0	51,0	3,5	11,0	78,0
	Mínimo	5,2	18,0	13,0	1,1	5,0	53,0
	Desvio padrão	0,189	6,015	8,667	0,488	1,447	5,441
	CV%	3,388	18,371	32,054	22,916	20,062	8,457
2014/2015	Média	5,134	27,034	20,659	0,887	5,975	51,863
	Máximo	5,6	37,0	37,0	1,4	10,0	69,0
	Mínimo	4,8	20,0	11,0	0,4	3,0	42,0
	Desvio padrão	0,162	4,051	6,289	0,209	1,560	5,665
	CV%	3,162	14,986	30,443	23,507	26,116	10,923
2015/2016	Média	4,996	29,977	18,361	1,531	4,968	50,933
	Máximo	5,8	46,0	32,0	2,8	9,0	75,7
	Mínimo	4,3	20,0	10,0	0,5	3,0	28,8
	Desvio padrão	0,332	5,749	5,278	0,474	1,649	9,081
	CV%	6,654	19,177	28,745	30,975	33,196	17,828
2016/2017	Média	5,658	29,472	23,208	2,033	15,134	73,751
	Máximo	5,9	40,0	41,0	2,9	21,0	85,0
	Mínimo	5,3	21,0	11,0	1,4	9,0	61,0
	Desvio padrão	0,143	4,351	7,211	0,344	2,791	4,561
	CV%	2,527	14,765	31,069	16,941	18,444	6,184
2017/2018	Média	5,766	24,922	16,619	1,796	11,197	65,125
	Máximo	6,2	32,0	24,0	3,0	18,0	83,9
	Mínimo	5,2	19,0	10,0	0,9	3,0	46,8
	Desvio padrão	0,232	2,850	3,538	0,449	3,090	7,359
	CV%	4,031	11,437	21,290	24,987	27,595	11,300

Fonte: Autoria própria (2017).

A estatística descritiva é uma ferramenta importante para o conhecimento inicial da variabilidade dos atributos do solo, porém, não é possível diagnosticar a localização espacial desses atributos. Assim é necessário utilizar ferramentas da geoestatística para obter a variabilidade espacial dos atributos em estudo.

Observou-se dependência espacial para todos os atributos químicos do solo estudados (Tabela 2), ou seja, a quantidade de um nutriente em determinada coordenada geográfica influencia na quantidade de suas proximidades.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas dos atributos químicos do solo referentes as safras 2013/14 a 2017/18

2013/14				
atributos	efeito pepita	patamar	alcance	GDE
K	0,000	0,210	445,697	Forte
Mg	0,780	2,166	637,523	Moderada
MO	15,286	38,001	696,990	Moderada
P	0,000	73,089	272,250	Forte
pH	0,000	0,023	245,390	Forte
V%	9,757	48,529	2224,928	Forte
2014/15				
K	0,000	0,043	520,496	Forte
Mg	0,474	2,532	599,630	Forte
MO	4,623	19,353	777,861	Forte
P	12,214	41,221	820,980	Moderada
pH	0,008	0,026	250,000	Moderada
V%	8,782	38,805	878,254	Forte
2015/16				
K	0,000	0,232	262,150	Forte
Mg	0,321	2,229	500,863	Forte
MO	7,896	15,914	304,508	Moderada
P	13,813	28,493	799,409	Moderada
pH	0,000	0,068	277,535	Forte
V%	0,000	86,227	332,939	Forte
2016/17				
K	0,053	0,129	695,011	Moderada
Mg	4,880	8,351	608,023	Moderada
MO	0,000	19,346	345,011	Forte
P	18,332	56,172	275,751	Moderada
pH	0,000	0,018	267,448	Forte
V%	16,866	21,784	687,802	Fraca
2017/18				
K	0,118	0,217	520,000	Forte
Mg	3,407	9,919	519,809	Moderada
MO	4,471	7,118	627,989	Moderada
P	6,744	12,553	417,999	Moderada
pH	0,016	0,055	430,001	Moderada
V%	34,068	55,966	667,069	Moderada

Fonte: Autoria própria (2017).

Os semivariogramas apresentaram valores de efeito pepita considerados baixos, sendo que na maioria das safras, os maiores valores foram observados pelo P. Resultados semelhantes foram encontrados por Leão et al. (2007), os quais salientaram que esse comportamento é explicado pela sua baixa mobilidade no solo, e também pelo fato desse nutriente mover-se no solo por difusão, o que lhe acarreta pouca mobilidade, contribuindo para formação de padrão agregado característico.

Com base nos parâmetros dos semivariogramas e de acordo com o critério de Cambardella et al. (1994), observou-se que 50% dos atributos apresentaram grau de dependência espacial (GDE) forte e 46,67% moderada (Tabela 2). Esses resultados demonstram que os semivariogramas explicam a maior parte da variância desses atributos do solo (MACHADO et al., 2007).

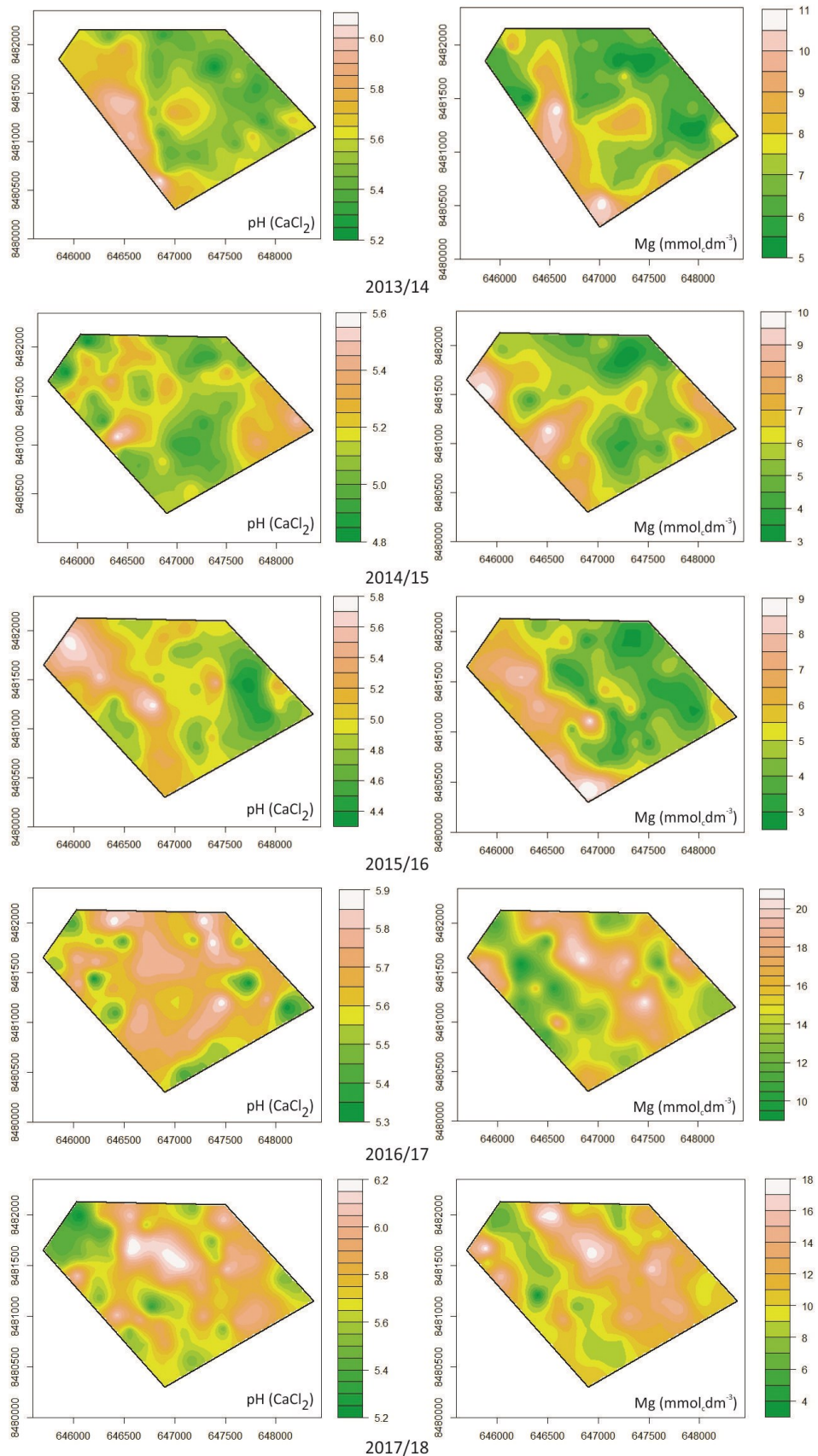
Verificou-se que nas cinco amostragens, o pH apresentou valores de alcance com comportamento suave crescente (Tabela 2). O seu conhecimento é essencial, pois segundo Lemos Filho et al. (2008), o alcance representa a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, sendo que a partir desta distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório.

Seu conhecimento é de extrema importância à agricultura de precisão, pois os programas computacionais o utilizam para monitorar o maquinário agrícola quanto a aplicação de insumos com taxas variáveis (DALCHIAVON et al., 2011). De acordo com Motomiya et al., (2011), o valor de alcance também é referência para o planejamento de coleta de solo, pois contribui para definir os procedimentos da confecção da malha de amostragem.

Após o ajuste dos semivariogramas, os mesmos foram utilizados para estimar valores em locais não amostrados por meio da krigagem ordinária, permitindo observar a variabilidade espacial dos atributos do solo (Figuras 3 a 5).

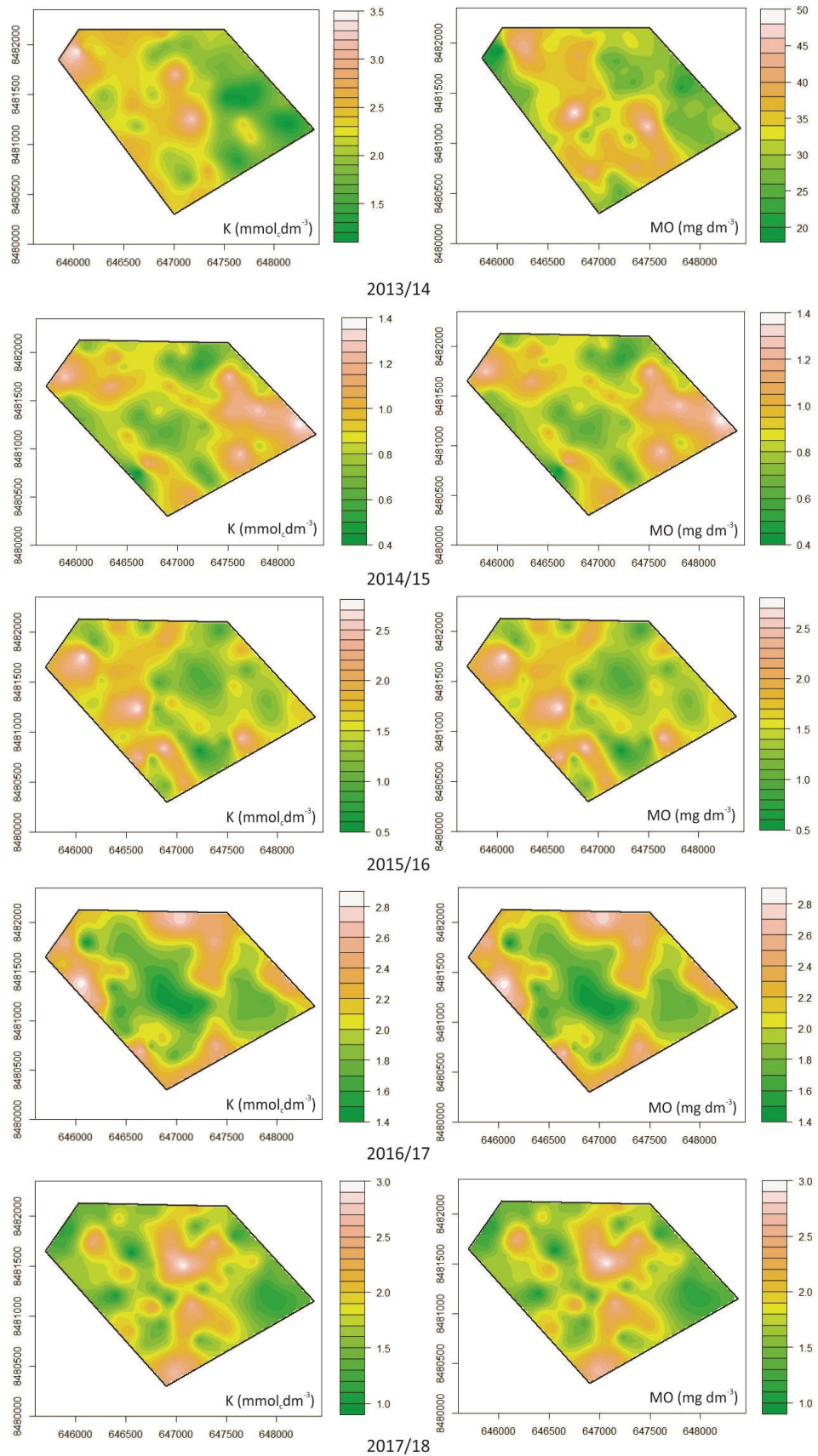
Com bases nas adubações realizadas em taxa fixa e variável e nas médias das produtividades de grãos de soja e milho, as quais de acordo com a Conab (2017) foram acima da média estadual, possivelmente essas produtividades explicam a variabilidade espacial dos atributos do solo. Segundo Wilda (2014), a produtividade de soja e milho é um dos fatores que podem explicar as oscilações de disponibilidade de nutrientes no solo, em função das taxas de exportação desses nutrientes, os quais variam com os níveis de produtividade em locais distintos do talhão.

Figura 3 – Mapas de krigagem referente aos atributos do solo: pH e Mg das safras 2013/2014 a 2017/2018



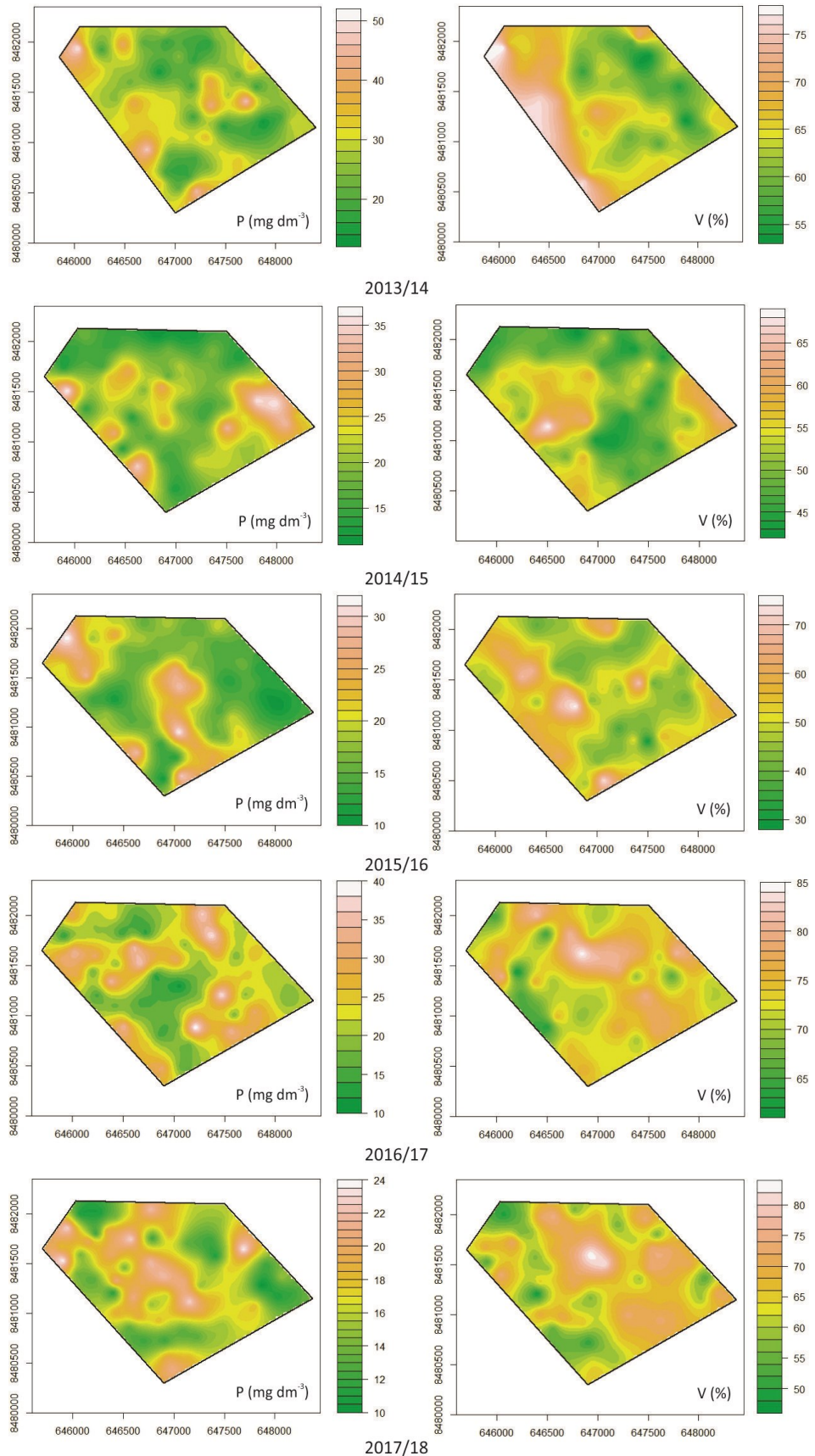
Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 4 – Mapas de krigagem referente aos atributos do solo: K e MO e das safras 2013/2014 a 2017/2018



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 5 – Mapas de krigagem referente aos atributos do solo: P e V (%) das safras 2013/2014 a 2017/2018



Ao longo do tempo o manejo da fertilidade do solo pode oscilar devido as práticas relacionadas a adubação de manutenção e reposição (RESENDE, 2013), sendo que essas adubações devem seguir em conformidade aos resultados da análise de solo, da exigência das culturas, da produtividade desejada e do potencial de ciclagem de nutrientes no sistema.

Não foi possível elaborar mapas de produtividade, porém, por meio da análise visual da lavoura, notou-se que as áreas que apresentaram melhores médias de produtividade de soja, como o porte de planta favorável e com maiores cargas produtivas, coincidiram com áreas que nos mapas apresentaram maiores teores de nutrientes. Resultados esses que corroboram com os obtidos por Dellamea (2008), em que os atributos químicos do solo correlacionaram com os resultados de produtividade.

Observou-se correlação visual na espacialização entre MO e K, pois apresentaram aspecto de distribuição espacial semelhante, onde nas regiões com maiores teores de MO, também ocorreu os maiores níveis de K (Figuras 3 a 5). Isso ocorreu provavelmente por influência do teor de argila da área, pois estudos evidenciaram que solos com maiores teores de argila aumentaram a disponibilidade de alguns elementos químicos, como Ca, K e Mg (RAIJ, 2011). Também porque, a MO interfere na dinâmica de suprimento de nutrientes às plantas e na manutenção de seus níveis ótimos no solo, seja por elevar a CTC do solo, reduzindo as perdas por lixiviação, seja por reduzir as perdas por erosão ao promover a agregação do solo (BURLE et al., 1997).

É possível observar melhor homogeneidade no mapa de Mg e V% da safra 2016/2017 em relação à safra anterior, estando isso possivelmente relacionado ao fato de que na safra 2015/2016 foi efetuada aplicação de calcário dolomítico em taxa variável, com intuito de elevar a V% para 70% e equilibrar a relação Ca/Mg para beneficiar especialmente a cultura do milho.

O efeito benéfico do aumento na saturação por base na produção de milho e soja, ocorre devido ao suprimento adequado de Ca, Mg, melhor pH, e ao balanço apropriado entre os diferentes cátions básicos (FAGERIA et al., 1999).

Foi verificada concordância entre os mapas de V% e pH tanto do ponto espacial quanto temporal. Esses resultados são semelhantes aos observados por Wilda (2014), o qual enfatiza que isso ocorre devido à relação direta entre esses dois atributos.

Observou-se melhoria na média e melhor distribuição espacial do teor de P na área, provavelmente pelo manejo de aplicação à taxa variável de superfosfato simples na safra 2015/2016. Verificou-se que houve redução das áreas com teores ao nível crítico (8 mg dm^{-3}) (Figuras 3 a 5). Dellamea (2008), também observou melhoras na diminuição de subáreas com teores abaixo dos níveis de suficiência, decorrentes de três anos do manejo de taxa variável.

A variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo pode ser influenciada por fatores intrínsecos, tais como material de origem textura e, fatores extrínsecos, relacionadas geralmente com as práticas de manejo, como adubação e calagem (CARVALHO et al., 2003). Segundo Cambardella et al. (1994), as variáveis que apresentaram forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, enquanto as que apresentaram fraca dependência foram influenciadas por propriedades extrínsecas. Corá e Beraldo (2006) observaram aumento da continuidade espacial dos atributos depois de realizar a calagem e a fosfatagem em taxa variada.

Os pesquisadores Walters e Goesch (1998) também relataram a importância de se conhecer a variação temporal e espacial dos nutrientes, para que seja feita aplicação de fertilizantes a taxa variável, a fim de torná-la mais eficiente, visando a diminuição da heterogeneidade dos atributos químicos do solo. Para Reetz Jr. (2010, p. 201), a eficiência no uso de fertilizantes concilia fatores agrônômicos e econômicos e, baixo impacto ambiental.

Ressalta-se que para obtenção da acurácia dos mapas é necessário levar em consideração a dependência espacial dos atributos estudados. Informações verificadas por Corá e Beraldo (2006), apontam que existem profissionais que trabalham com a agricultura de precisão sendo simples usuários dos programas computacionais e, na maioria das vezes, não têm conhecimentos científicos necessários sobre o que está envolvido no processo de elaboração dos mapas pelos programas, não questionando, portanto, a precisão dos mesmos. Luz e Otto (2010, p.461) enfatizam que para a obtenção de avanços na aplicação de corretivos e fertilizantes é indispensável a qualificação dos recursos humanos em nível acadêmico e o constante treinamento dos operadores em nível de campo.

CONCLUSÕES

Por meio de ajuste de semivariogramas e interpolação por krigagem ordinária foi possível visualizar a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo.

Ocorre dependência espacial para potássio, magnésio, matéria orgânica, fósforo, potencial hidrogeniônico e saturação por bases, nas cinco safras estudadas.

Há semelhanças nos mapas de potássio e matéria orgânica.

O manejo adotado pelo agricultor pode alterar os atributos químicos, físicos e biológicos, principalmente na camada superficial do solo, sendo que, a adoção de práticas que contribuem para o aumento de matéria orgânica do solo, é desejável para obtenção de disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente haverá aumento e, menor variação da produtividade das culturas agrícolas.

Futuras pesquisas são necessárias com intuito de correlacionar no espaço e no tempo a disponibilidade de nutrientes com a produtividade das culturas agrícolas.

Spatial and temporal variability of soil chemical attributes during five growing seasons

ABSTRACT

The chemical fertilizers recommendations are often performed only by the average soil attributes, which can increase the spatiotemporal variability of these attributes and crop yield. Thus, the knowledge of this variability can contribute to improve the agricultural management, especially using the precision agriculture techniques. This study aimed to evaluate the spatiotemporal variability of soil chemical attributes between the seasons 2013/2014 to 2017/2018. The work was conducted in soybean and corn cultivation area in Nova Mutum, State of Mato Grosso, Brazil. Geo-referenced samples of soil, spaced every 3.5 ha, were collected at a depth of 0-0.2 m. Data were submitted to descriptive statistics, semivariogram adjustment and ordinary interpolation. The spherical model was adjusted for all attributes studied (potassium, magnesium, organic matter, phosphorus, hydrogenation potential and base saturation). Only the saturation by bases in one year presented weak spatial dependence. Spatial similarities have been identified in some maps, possibly due to the texture and organic matter that contribute to the maintenance of nutrients in the soil. Spatial dependence occurred for all soil chemical attributes in the five harvests studied. There were similarities in the maps of potassium and organic matter.

KEYWORDS: Geostatistics. Ordinary kriging. Variable Rate.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. 596p. il.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant Soil**, v.190, p.309-316. 1997.

BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. 2nd Edition. New York: Oxford University Press, 1998. 333p.

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

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 695-703. 2003.

CONAB. Séries históricas. Disponível em: <
https://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos> Acesso em 05/07/2017.

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

CORÁ, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 374-387, 2006.

DALCHIAVON, F. C. et al. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 8-19, 2011.

DELLAMEA, R. B. C. Eficiência da adubação à taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 161 p.

DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JR, P.J. **Model-based Geostatistics**. New York, Springer, 2007, 228p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa CNPAF, 1999. 294 p.

LEÃO, A. B. et al. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, p. 01-06, 2007.

LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. 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, P. H. de C.; OTTO, R. Otimização na aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Orgs.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v. 1, p. 421-462. 2010.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p. 591-99, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; VIEIRA, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 996-1003, 2011.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agronomy**, v. 67, p.1-85, 1999.

RACHID JUNIOR, A.; URIBE M. A.; OPAZO M. A. U.; 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**, v.14, n.3, p.156-169, 2006.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420 p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

REETZ JR., H. F. Precision farming as an instrument best management practices. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Orgs.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v. 1, p. 201-214. 2010.

REIS, L. R. Utilização da condutividade elétrica para estabelecimento de zonas de manejo em um latossolo amarelo-escuro. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 71p.

RESENDE, A. V. Manejo da adubação para produção de grãos em solos de fertilidade construída. 2013. Disponível em: <http://cbcs2013.hospedagemdesites.ws/palestras/S15b_Alvaro%20Resende.pdf>. Acesso em: 01 julho. 2017.

RICHART, A.; PICCIN, A. L.; KONOPATZKI, M. R. S.; KAEFER, K. A. C.; MORATELLI, G.; KAEFER, J. E.; ECCO, M. Análise espaço-temporal de atributos químicos do solo influenciados pela aplicação de calcário de cloreto de potássio em taxa variável. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, p. 391-400, 2016.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.il.

SCHADECK F. A.; CARDOSO C. D. V. Fertilidade de solo e viabilidade técnica – econômica da agricultura de precisão na região das Missões – RS. **Revista Brasileira de Geomática**, v.4, n.3, p.134-145, 2016. <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v4n3.5455>.

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

VARASCHINI A. D. C. Avaliação da fertilidade do solo na Agricultura de precisão. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2012. 55p.

VICENTE, G.C.P.; ARAUJO, F.F. Uso de indicadores microbiológicos e da fertilidade do solo em áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.137-146, 2013.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.

(Orgs.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54. 2000.

WALTERS, D. T.; GOESCH, J. E. Temporal and spatial variation in soil nitrate acquisition by Maize as influenced by nitrate depth distribution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul-Minnesota. **Proceedings...** St. Paul: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p. 41-54.

WILDA, L. R. M. Amostragem georreferenciada e aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes: dinâmica da fertilidade do solo em lavouras de grãos no cerrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. 84p.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Revista Ciência Rural**. v. 37, p. 1000-1007, 2007.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; PEREIRA, J. M. A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob Sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 389-400, 2010.

Recebido: 29 mar. 2018

Aprovado: 06 dez. 2018

DOI: 10.3895/rbgeo.v6n4.8102

Como citar: NOETZOLD, R.; SILVA, L. M.; SCHONINGER, E. L.; TOMÉ, P. C. D.; ALVES, M. C..

Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 328-345, out/dez. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Rafael Noetzold

Avenida das Arapongas, 1384 N, CEP 78450-000, Nova Mutum, Mato Grosso, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

