

<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n3p344-357>

## Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de agropecuária familiar no Tocantins

### Spatial variability of soil chemical attributes in a family farming system in Tocantins

Wilma Dias SANTANA<sup>1</sup>; Antônio Clementino dos SANTOS<sup>2</sup>; Amanda da Silva REIS<sup>3</sup>  
Rodrigo de Castro TAVARES<sup>4</sup>; Gilson Araújo de FREITAS<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Mestra em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, wilmadsgta@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Ciências - Tecnologias Energéticas e Nucleares (Radioisótopos/Fertilidade do solo), Professor, Universidade Federal do Tocantins, clementino@uft.edu.br

<sup>3</sup> Engenheira Florestal, Universidade Federal do Tocantins, reis@uft.edu.br

<sup>4</sup> Doutor em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Professor, Universidade Federal do Tocantins, rocatavares@uft.edu.br

<sup>5</sup> Autor para correspondência" Doutor em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, departamento de Produção Vegetal, Chácara 69-72 - Rua Badejos, Lote 7, s/n - Jardim Cervilha, Gurupi - TO, 77404-970, freitas@uft.edu.br

Recebido em: 14-01-2019; Aceito em: 12-03-2019

#### Resumo

O monitoramento dos atributos químicos do solo possibilita avaliar a qualidade e a capacidade do mesmo de exercer suas funções dentro de um determinado agroecossistema. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de agricultura familiar, em diferentes usos agrícolas. A área de estudo totalizou 7,91 ha, sob quatro tipos de cobertura do solo: pastagem de braquiária associada a estilosantes, pastagem de andropógon, pomar e mata nativa. A amostragem do solo foi em malha amostral irregular composta por 160 pontos. Coletaram-se amostras deformadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, além de amostras para a determinação da liteira. As variáveis analisadas foram: CO, SB, CTCt, CTC pH 7, pH, Al<sup>3+</sup>, P, H+Al, m, V e liteira. Os dados foram submetidos à análise exploratória e ao estudo geoestatístico. Os sistemas de cultivo reduziram os valores de CO, SB, CTCt, CTC pH 7 e pH do solo, principalmente nas subáreas de pastagens. O pomar apresentou atributos químicos similares às verificadas na área de referência. Os valores, bem como a distribuição espacial das variáveis avaliadas foram influenciados pelo uso do solo.

**Palavras-chave adicionais:** geoestatística; manejo do solo; qualidade química.

#### Abstract

The monitoring of the chemical attributes of the soil makes it possible to evaluate the quality and the capacity of the same to perform its functions within a given agroecosystem. In this sense, the objective was to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes in a family farming system in different agricultural uses. The study area totaled 7.91 ha, under four types of soil cover: brachiaria pasture associated with styles, andropogon pasture, orchard and native forest. The soil sampling was in an irregular sampling mesh composed of 160 points. Deformed samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 cm, as well as samples for litter determination. The analyzed variables were: OC, SB, CEC<sub>t</sub>, CEC<sub>pH 7</sub>, pH, Al<sup>3+</sup>, P, H + Al, m, V and litter. The data were submitted to the exploratory analysis and to the geostatistical study. The cultivation systems reduced the values of OC, SB, CEC<sub>t</sub>, CEC<sub>pH 7</sub> and soil pH, mainly in pasture subareas. The orchard presented chemical attributes similar to those observed in the reference area. The values, as well as the spatial distribution of the evaluated variables were influenced by the soil use.

**Additional keywords:** chemical quality; geostatistics; soil management.

#### Introdução

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do mesmo em manter a sustentabilidade local, dentro dos limites do ecossistema, seja ele manejado, seja natural.

Em razão da heterogeneidade, da dinâmica e da complexidade do ecossistema, ainda não é possível fazer mensuração direta da qualidade do solo (Lima et al., 2016); entretanto, conforme Araújo et al.

(2012), indicadores arbitrados pelo homem permitem que a mesma seja estimada.

O pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), os teores de macro e micronutrientes e os estoques de matéria orgânica estão entre os atributos químicos comumente utilizados como indicadores da qualidade do solo (Araújo et al., 2012). Queiroz (2013) afirmou que a perda da qualidade química é caracterizada pela diminuição dos teores originais de matéria orgânica e de nutrientes para valores abaixo dos considerados críticos para a produtividade agrícola. No entanto,

deve-se considerar que a avaliação de atributos do solo como indicadores de qualidade é bastante complexa devido, dentre outros fatores, à grande diversidade de usos e aos aspectos relacionados à variação dos mesmos no tempo e no espaço (Melloni et al., 2008). Negreiros Neto et al. (2014) e Silva et al. (2015) mostram que os atributos químicos apresentam, normalmente, grande variabilidade espacial.

A variação dos atributos químicos do solo no espaço tende a ocorrer naturalmente, e normalmente é mais acentuada em áreas cultivadas do que em matas nativas. Nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, por exemplo, aumentam a variabilidade de suas frações em sistemas de cultivo, em relação às áreas nativas (Santos et al., 2010), o que pode ser atribuído ao manejo adotado no desenvolver de atividades agropecuárias.

Práticas de cultivo, tais como preparo do solo, rotações de cultura e localização de aplicação de fertilizantes podem diminuir ou aumentar a heterogeneidade dos solos (Vieira et al., 2011). Neste último caso, tende a favorecer o estabelecimento de zonas de manejo. Ressalta-se que, quanto menor a perturbação promovida em um ecossistema, seja via preparo do solo, seja via retirada e/ou substituição da cobertura vegetal, maior é a chance do mesmo de manter características similares às condições de origem e de garantir dessa forma a qualidade química e, consequentemente, a sustentabilidade local (Reichert et al., 2003).

Um agravante do aumento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é a redução dos nutrientes em pontos regionalizados (Santos et al., 2010). Por essa razão, amostragens convencionais, que utilizam a média para caracterizar determinado atributo do solo, podem ser insuficientes para representar toda uma área. Talvez isso explique a grande aceitação da geoestatística em estudos desse âmbito, uma vez que essa ferramenta permite a avaliação de cada ponto amostrado, em que os mesmos serão parte crucial e determinante na conclusão do trabalho.

Nesse sentido, a geoestatística constitui-se de uma ferramenta que permite a detecção da variabilidade existente no ambiente, a análise das características e seus aspectos aleatórios e espaciais, e a criação de imagens que demonstrem a espacialização dos caracteres (Silva Neto et al., 2011). As imagens ou mapas, por sua vez, permitem a detecção de locais que estão com alguma alteração não característica da condição natural e, a partir daí, determinam as condições de causa e efeito, e a restauração do ambiente.

A caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos permite retratar o diagnóstico atual da área e adequar o manejo mais apropriado a cada região dentro do mesmo ambiente, via identificação das zonas específicas de manejo, ao passo que a avaliação das formas de uso do solo permite verificar

se o manejo empregado está adequado à atividade e ao ambiente em questão.

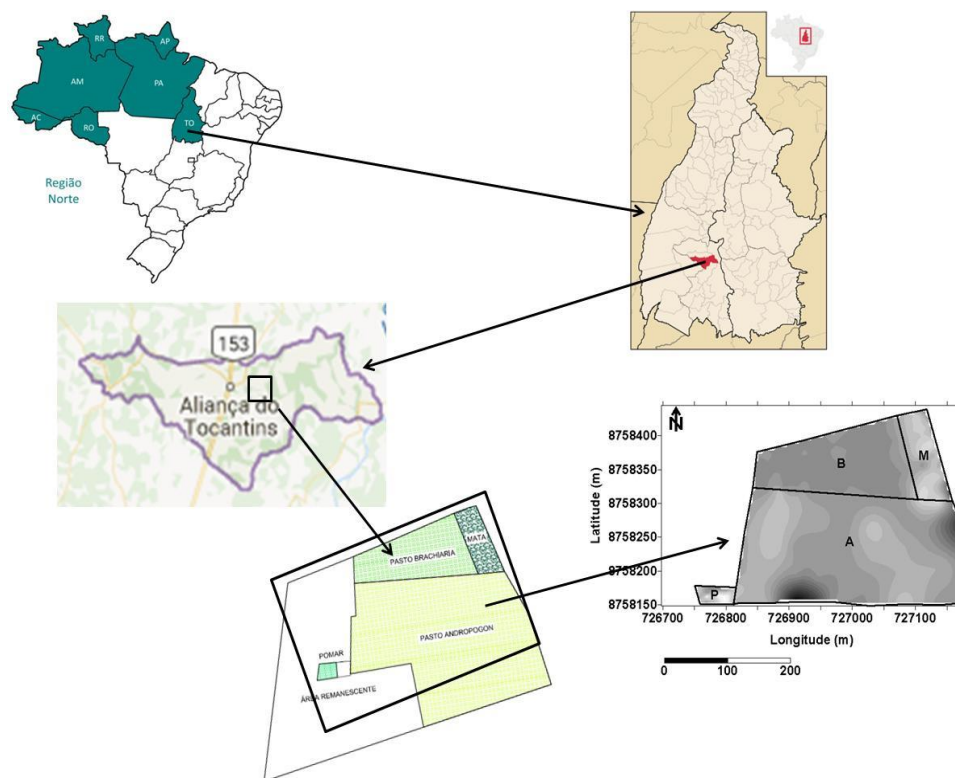
A hipótese é que os usos dos solos, a partir da supressão da mata nativa, reduz os valores dos atributos químicos; os atributos são modificados de maneira diferente em função do uso do solo pelas práticas agrícolas. Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos químicos do solo em sistema de agropecuária familiar sob diferentes usos agrícolas.

## Material e métodos

O estudo foi realizado no Projeto de Assentamento Arlindo – Chácara Três Poderes, município de Aliança do Tocantins. O local apresenta altitude média de 280 m e está situado na localização de 11° 13' 30" S de latitude e 48° 55' 20" W de longitude. O índice pluviométrico anual é de 1.617 mm, com as chuvas concentradas no período de outubro a abril, clima do tipo tropical (Aw), classificação segundo Köppen, e Geiger. O relevo apresenta leves ondulações e pouca declividade. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2014), o solo local foi classificado como Plintossolo Pétrico.

O local em estudo esteve há 16 anos sob uso agrícola. Foram diagnosticados quatro tipos de uso, ou cobertura do solo no mesmo: pastagem de braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) associada a estilosantes (*Stylosanthes spp.*) (B), pastagem de andropogon (*Andropogon gayanus*) (A), pomar (P) e mata nativa (M). Vale ressaltar que nas subáreas de pastagens é realizado o pastejo rotacionado com lotação de 1,9 animal por hectare. A subárea de mata nativa foi considerada como a referência, e a partir dela foi possível inferir se o outro tipo de uso modificou a condição do solo. A localização, bem como os tipos de uso do solo constantes na área estudada são mostrados na Figura 1.

A pastagem de braquiária associada a estilosantes apresenta 2,11 ha e seis anos de implantação, contados até à data da amostragem geoestatística. Nessa subárea, havia capim-napier (*Pennisetum purpureum*) destinado à alimentação bovina. O manejo do solo para plantio da braquiária consistiu na correção do solo com quatro toneladas de calcário dolomítico, aração e gradagem. Para a implantação da pastagem, foram aplicados 750 kg do formulado 5:25:15. Após a implantação da cultura até à data da amostragem, não foram feitas correções de acidez, adubação de reposição de nutrientes, nem revolvimento do solo. A renovação da pastagem a cada ano deu-se naturalmente, e a retirada das plantas infestantes foi realizada por meio de roço manual.



**Figura 1** - Localização da Chácara Três Poderes, em Aliança do Tocantins, e seus respectivos usos. Legenda: pastagem de braquiária consorciada com estilosante (B); mata nativa (M); pomar (P); e pastagem de andropógon (A). *Location of Chácara Three Powers in the Tocantins Alliance and their respective uses. Legend: Brachiaria pasture intercropped with styling (B); native forest (M); orchard (P); and andropogon pasture (A).*

A pastagem de andropógon apresenta 5,01 ha de área e 20 anos de implantação, contados até a data da amostragem geoestatística. O manejo aplicado a essa subárea foi queima, seguida do plantio do capim- andropógon e roço manual da vegetação de porte médio, sempre que se fez necessário. O estabelecimento e a renovação da pastagem a cada ano deram-se naturalmente. Não foi realizado em nenhum momento correção de acidez, adubação, nem revolvimento do solo.

O pomar possui 0,12 ha. Uma parte da subárea tem 14 anos de implantação e a outra foi plantada há dois anos, contados até à data da amostragem geoestatística. As espécies que compõem essa subárea são: caju (*Anacardium occidentale* L.); manga (*Mangifera indica* L.) e Jamelão (*Syzygium cumini*). Nessa subárea, não foram realizadas correção do solo nem adubação mineral. Capinas manuais foram realizadas no intuito de fazer a retirada de plantas infestantes, tanto na fase de implantação das culturas como nos tratamentos culturais pós-plantio. As plantas foram submetidas a podas de manutenção sempre que necessário. Vale ressaltar que a subárea pomar é local de descanso da criação bovina e, por essa razão, pode apresentar zonas específicas com quantidade expressiva de esterco bovino.

A subárea de mata nativa apresenta 0,67 ha e representa a condição natural do solo.

O perímetro das subáreas estudadas totaliza 7,91 ha na qual foi distribuída malha amostral irregular composta por 160 pontos. Desse total, dividiram-se 40 pontos amostrais por uso de solo (pastagem de andropógon, pastagem de braquiária, mata nativa e pomar), de modo a se buscar a representatividade do ambiente. Foram coletadas três amostras simples para formar uma composta por cada ponto amostrado, tanto de 0-10 cm como de 10-20 cm de profundidade. No final da amostragem, obtiveram-se 320 amostras compostas (160 pontos de 0-10 e 160 pontos de 10-20 cm de profundidade), onde cada uma das mesmas foi submetida à determinação da composição química. As amostras foram secas à sombra e passadas em peneira de 2 mm para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As coordenadas de cada ponto amostrado foram obtidas através de GPS (GPS Garmin Etrex 10).

As amostras de solo e da liteira foram coletadas entre os meses de julho e agosto do ano de 2016. Para a coleta da liteira considerou-se uma área de 0,25 x 0,25 m, que pôde ser obtida com o auxílio de um quadro de madeira com tais dimensões. A amostra da liteira foi coletada ao lado dos pontos de amostragem do solo, o que resultou em um total de 160 pontos amostrais de liteira.

Procederam-se as análises laboratoriais. Foram mensurados os valores de potássio trocável ( $K^+$ ) e fósforo disponível (P) extraídos em solução Mehlich 1 e quantificados em fotometria de chama e espectrofotometria respectivamente, cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e alumínio ( $Al^{3+}$ ) trocáveis extraídos com KCl 1 mol  $L^{-1}$  e quantificados via titulação, acidez potencial (H+Al) extraída em solução de acetato de cálcio a 0,5 mol  $L^{-1}$  pH= 7,00 e também quantificado via titulação, Matéria orgânica (MO) do solo quantificada pelo método da mufla, pH em  $CaCl_2$  0,01 mol  $L^{-1}$  e liteira,. Para a obtenção do carbono orgânico (CO) do solo dividiu-se os valores de MO por 1,724, conforme Ribeiro et al. (1999).

A determinação do pH em  $CaCl_2$  foi realizada segundo o método descrito pela Embrapa (1997).

Para a determinação da liteira, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, durante 72 horas. Após a secagem, procedeu-se à pesagem do material em balança de precisão eletrônica (0,01 g), obtendo-se dessa forma os valores para liteira, em gramas (g).

O teor de MO foi determinado pelo método da mufla (Goldin, 1987), com adaptações. Em um primeiro momento, os cadinhos foram secos em estufa a 60° C, por uma hora, para a obtenção da tara. Posteriormente, as amostras (5 g de solo) foram secas em estufa a 110 °C, por 3 horas, no intuito de eliminar toda a água presente nos resíduos. Após a obtenção do peso das amostras secas a 110 °C, os cadinhos de cerâmica com as amostras foram acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados a uma temperatura de 550 °C, por uma hora, contada após a estabilização do equipamento. Posteriormente, o conjunto (cadinho+resíduos) foi levado para dessecador, e aí permaneceu até que as amostras atingissem temperatura ambiente, para que pudessem ser pesadas. O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 110 a 550 °C, conforme a equação (1):

$$MO(\%) = \frac{P - (T - C)}{P} \times 100 \quad (1)$$

Em que: P é o peso da amostra (g) depois de aquecida a 110 °C; C é a tara do cadinho (g), e T é o peso da cinza + cadinho (g).

Os demais atributos ( $K^+$ , P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e H+Al) foram analisados segundo a metodologia de Ribeiro & Defelipo (1997). Com os valores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e H+Al, foram estimados a soma de bases (SB), a capacidade efetiva de troca de cátions (CTCt), a capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC pH 7), a saturação por alumínio (m) e a saturação por bases (V).

Inicialmente, os valores foram submetidos à análise exploratória, para verificar se esses ocor-

riam de maneira aleatória ou agregada, calculando-se a média, a mediana, a moda e os coeficientes de assimetria, curtose e variação. Foram adotados os limites do coeficiente de variação (CV) classificados em baixo ( $CV < 12\%$ ), médio ( $12 < CV < 60\%$ ) e alto ( $CV > 60\%$ ), propostos por Warrick & Nielsen (1980). A hipótese de normalidade dos dados foi verificada com o teste de Shapiro & Wilk (1965), a 1 e 5% de probabilidade, com o auxílio do programa SISVAR, versão 5.3 (Build 77).

A variabilidade espacial das variáveis analisadas foi avaliada com o auxílio da ferramenta geoestatística. Realizou-se, em primeiro momento, o ajuste dos dados ao semivariograma experimental de acordo com a teoria das variáveis regionalizadas, com o auxílio do programa GS+ v. 7.0 (Build 17). Os semivariogramas foram ajustados a modelos matemáticos teóricos – esféricos, exponenciais e gaussianos – para a definição dos valores do efeito pepita ( $C_0$ ), do alcance (A) e do patamar ( $C + C_0$ ). Realizou-se a seleção dos modelos com base na menor Soma de Quadrados dos Resíduos (SQR) e melhores  $R^2$  (coeficiente de determinação espacial) e Grau de Dependência Espacial (GDE). O GDE das variáveis químicas foi determinado em função da equação (2):

$$GDE(\%) = \frac{C}{(C_0 + C)} \times 100 \quad (2)$$

Em que: GDE é o grau de dependência espacial;  $C_0$  é o efeito pepita; C é a contribuição (patamar – efeito pepita), e  $C_0 + C$  é o patamar.

Com o resultado da equação (2), o GDE foi classificado em: dependência espacial fraca ( $GDE \leq 25\%$ ), dependência espacial moderada ( $25\% < GDE \leq 75\%$ ) e dependência espacial forte ( $GDE > 75\%$ ) (Zimback, 2001).

Foram calculados semivariogramas para quatro direções, com intervalos de 45° (0; 45; 90 e 135°) para presença de anisotropia. Em nenhum dos casos, foi evidenciada anisotropia no conjunto dos dados. Logo, foram assumidos semivariogramas com 90° isotrópicos.

Em segundo momento, após o ajuste dos semivariogramas, os dados foram submetidos à construção de mapas por meio do método de krigagem, considerando a distância e a variância entre pontos vizinhos para a geração de valores em locais não amostrados. O resultado do diagnóstico foi expresso sob a forma de mapas de isolinhas, e a maneira de localizar uma isolinha entre dois pontos foi determinada pela interpolação dos dados, por meio de krigagem ordinária (Landim, 2006). O programa Surfer v. 8.0 foi utilizado para a manipulação e a visualização da distribuição espacial, por meio da construção dos mapas de isolinhas das variáveis, de acordo com as coordenadas geográficas. A análise e os mapas foram feitos tratando-se a área levantada como um todo, sem a divisão em piquetes. A divisão visualizada no mapa serve apenas para a orientação e a distinção dos tipos de uso do solo.

## Resultados e discussão

Os parâmetros de ajuste dos semivariogramas que representam as variáveis avaliadas aos 0-10 e 10-20 cm de profundidade são apresentados na Tabela 2.

O alcance oscilou de 39 a 511 m na camada de 0-10 cm e de 10 a 511 m na camada de 10-20 cm de profundidade. De acordo com Lima et al. (2014), os valores para alcance correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável.

**Tabela 2** - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos valores das variáveis avaliadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. *Models and estimated parameters of the semivariograms adjusted to the variables values evaluated at depths of 0-10 and 10-20 cm, respectively.*

Atributo	Modelo	Parâmetro					
		C <sub>0</sub> <sup>1</sup>	C <sub>0</sub> +C <sup>2</sup>	GDE(%) <sup>3</sup>	Classe	A <sup>4</sup> (m)	R <sup>2*</sup>
0-10 cm							
CO	expon	37,30	102,5	64	moderada	51,0	0,712
pH	expon	0,046	0,627	92,7	forte	511,0	0,909
Liteira <sup>5</sup>	gauss	1	2965,0	100,0	forte	48,0	0,888
P	expon	0,269	2,205	87,8	forte	511,0	0,693
Al <sup>3+</sup>	expon	0,0001	0,0003	54,7	moderada	184,0	0,520
H+Al	spheric	0,0007	0,0075	90,9	forte	39,0	0,630
SB	spheric	2,3	13,39	82,8	forte	209,30	0,960
CTCt	spheric	2,28	13,32	82,9	forte	209,2	0,960
CTCpH7	spheric	2,23	13,67	83,7	forte	209,6	0,960
m (%)	gauss	0,01	4,695	99,8	forte	71,0	0,721
V (%)	spheric	0,01	20,48	100,0	forte	142,8	0,862
10-20 cm							
CO	expon	3,400	53,20	93,6	forte	10,0	0,206
pH	expon	0,02	0,907	97,8	forte	511,0	0,984
P	gauss	0,122	2,007	93,9	forte	511,0	0,859
Al <sup>3+</sup>	expon	0,00007	0,0003	78,1	forte	59,0	0,772
H+Al	expon	0,00064	0,004	83,5	forte	17,0	0,547
SB	spheric	1,57	9,149	82,8	forte	412,30	0,963
CTCt	spheric	1,57	9,149	82,8	forte	417,70	0,963
CTCpH7	spheric	1,59	9,189	82,7	forte	411,0	0,963
m (%)	gauss	0,01	8,54	99,9	forte	77,0	0,765
V (%)	gauss	1,00	55,57	98,2	forte	95,0	0,961

(<sup>1</sup>)C<sub>0</sub>: Efeito pepita; (<sup>2</sup>)C<sub>0</sub>+C: Patamar (<sup>3</sup>)GDE: Grau de dependência espacial; (<sup>4</sup>)A: Alcance; (<sup>5</sup>) R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; CO: Carbono orgânico (g kg<sup>-1</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); Liteira (g) (<sup>5</sup>)quantidade de liteira em uma área de 0,25 x 0,25 m; P: Fósforo (mg dm<sup>-3</sup>); Al<sup>3+</sup>: Alumínio trocável, H+Al: Acidez potencial, SB: Soma de bases, CTC pH 7: Capacidade de troca de cátions a pH 7, CTCt: Capacidade efetiva de troca de cátions (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio. (<sup>1</sup>)C<sub>0</sub>: *Nugget effect*; (<sup>2</sup>)C<sub>0</sub> + C: *Portion*; (<sup>3</sup>)GDE: *Degree of spatial dependence*; (<sup>4</sup>)A: *Reach*; (<sup>5</sup>) R<sup>2</sup>: *Coefficient of determination*; CO: *Organic Carbon (g kg<sup>-1</sup>)*; pH (CaCl<sub>2</sub>); *Litter (g)* (<sup>5</sup>)*amount of litter in an area of 0.25 x 0.25 m*; P: *Phosphorus (mg dm<sup>-3</sup>)*; Al<sup>3+</sup>: *exchangeable aluminum*, H + Al: *Potential acidity*, SB: *Base sum*, CTC pH 7: *Cation exchange capacity at pH 7*, CTCt: *Effective cation exchange capacity (cmolc dm<sup>-3</sup>)* V: *Base saturation*; m: *Aluminum saturation*.

O alcance, ou ainda a distância máxima na qual cada variável está espacialmente correlacionada (Carneiro et al., 2016), foi comparado para as variáveis avaliadas. As variáveis que apresentaram menor e maior alcance na profundidade de 0-10 cm foram H+Al (39 m), P e pH (511 m), respectivamente. Os valores de alcance para P e pH foram mantidos na profundidade de 10-20 cm, enquanto para as demais variáveis observaram-se alterações, os quais ora aumentaram, ora diminuíram. Tais resultados mostram que a variabilidade espacial constatada na camada de 0-10 cm, exceto para P e pH, divergiu da camada de 10-20 cm de profundidade. Cavalcante et al. (2007), em estudo da variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos, também constataram alterações nos valores de alcance dos atributos avaliados, da profundidade de 0-10 para a de 10-20 cm.

No geral, os valores de alcance verificados neste estudo foram bem diversificados. Isto pode ser resultado tanto dos diferentes usos de solo constantes na área, como das características e particularidades de cada variável frente aos mesmos.

O pH apresenta a particularidade de ser mensurado em uma escala pequena de valores e ser uma função logarítmica, o que comumente o impossibilita de apresentar elevada variabilidade (Neves Neto et al., 2013). Esse fator faz com que normalmente sejam constatados elevados valores de alcance para o mesmo, conforme pode ser observado nas duas profundidades. No entanto, cabe ressaltar que a continuidade espacial verificada no valor de alcance para pH (511 m) pode não ter sido maior em razão de alterações nos valores do mesmo, devido aos diferentes manejos

do solo. Silveira Júnior et al. (2014) também constataram elevado valor de alcance para pH (809,20 e 810,8 m, profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente) em estudo da distribuição espacial de atributos químicos do solo, em áreas sob diferentes usos agrícolas.

O carbono orgânico (CO) apresentou baixo valor de alcance em superfície (51 m), o qual reduziu em profundidade (10 m). A variação contínua evidenciada nos baixos valores de alcance do CO, provavelmente, tem início dentro de cada subárea e acontece de forma independente do uso do solo, porém pode intensificar-se entre um uso e outro. Tal heterogeneidade dentro da própria subárea de uso do solo pode estar relacionada às variações naturais que acontecem no processo de acúmulo do CO. Para uma mesma atividade agrícola e biomassa vegetal, o teor de CO pode variar de acordo com a quantidade e a qualidade do material aportado e a influência de diversos fatores sobre a microbiota do solo (Costa et al., 2009).

A variável liteira também apresentou baixo valor de alcance (48 m), o que prevê uma variação contínua da mesma que se inicia dentro de cada subárea de uso do solo e intensifica-se entre um uso e outro, de forma a ocorrer entre esses ambientes uma variação gradual.

As variáveis alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), saturação por alumínio e H+Al apresentaram baixo valor de alcance nas duas profundidades avaliadas, exceto o  $Al^{3+}$  a 0-10 cm, o qual apresentou 184 m de alcance. Tal resultado evidencia certa homogeneidade na distribuição espacial do  $Al^{3+}$  em superfície, que pode estar relacionada à baixa concentração natural do mesmo no solo estudado.

Já a variação contínua constatada nos valores de alcance para H+Al (39 m a 0-10 cm e 17 m a 10-20 cm) pode estar relacionada à heterogeneidade espacial verificada para CO, em razão da correlação positiva existente entre esses dois atributos químicos (Ebeling, 2006). Assim como constatado para CO, notou-se baixo valor de alcance para H+Al em superfície, o qual se reduziu em profundidade, dando a ideia de que a variação do H+Al se iniciou dentro de cada subárea de uso de solo e intensificou-se da primeira para a segunda profundidade.

O baixo valor de alcance verificado para saturação por alumínio evidencia a descontinuidade espacial constatada para a mesma. Apesar dos baixos valores verificados para essa variável (Tabela 1), foram constatadas variações ou ainda diferentes zonas de manejo, os quais refletiram em mudanças abruptas de um ambiente a outro e culminou em baixos valores de alcance.

Por sua vez, o elevado valor de alcance verificado para o P (511 m), nas duas profundidades, sugere continuidade espacial na distribuição do

mesmo ao longo de toda a área estudada e pouca relação com os diferentes usos de solo. Apesar da baixa mobilidade do P no solo, a qual normalmente resulta em concentrações variadas do nutriente quando se considera a distribuição espacial, nota-se que tal fator não interferiu de forma significativa no comportamento do mesmo. Provavelmente, a ausência de práticas de manejo voltadas para o suprimento de P no pomar e nas pastagens de braquiária e andropogon, associada à baixa disponibilidade natural do elemento no solo (mata nativa) podem ser a causa do elevado valor do alcance.

As variáveis Soma de Bases (SB), Capacidade efetiva de Troca de Cátions (CTCt), Capacidade de Troca de Cátions a pH 7 (CTC pH 7 ou CTC total) e saturação por bases (V) apresentaram elevados valores de alcance nas duas profundidades. Isso mostra certa continuidade espacial, a qual possivelmente foi interrompida em razão da transição entre áreas de mata, pastagens e pomar. No caso específico da SB, provavelmente os diferentes usos promovem extrações desiguais das bases do perfil do solo, que pode ser resultado das diferentes exigências de cada cultura e de perdas ou de complexação.

A SB é uma variável química comum a CTCt e a CTC pH 7. Talvez, por essa razão, tenham sido observados valores de alcance similares para essas três variáveis (SB, CTCt e CTC pH 7), tanto na camada de 0-10 cm como na de 10-20 cm de profundidade. Os valores de  $Al^{3+}$  e H+Al verificados ao longo de toda a área foram baixos (Tabela 1); por essa razão, provavelmente, os mesmos não promoveram alterações significativas no alcance para CTCt e CTC pH7, respectivamente. Dessa forma, possivelmente, a continuidade espacial evidenciada no alcance para CTCt e CTC pH7 deve-se, em sua maior parte, a SB.

As relações entre efeito pepita ( $C_0$ ) e patamar ( $C_0 + C$ ) demonstraram predominância de grau de dependência espacial (GDE) forte nas duas profundidades. Segundo classificação proposta por Zimback (2001), somente o CO e o  $Al^{3+}$  apresentaram GDE moderado na profundidade de 0-10 cm. Isto se dá, provavelmente, em função da ocorrência de valores discrepantes de CO e  $Al^{3+}$  em zonas específicas, os quais resultam em mudanças abruptas e, conseqüentemente, enfraquecem a dependência espacial. De acordo com Cavalcante et al. (2011), quando constatadas classes de GDE forte e moderada, significa que a distribuição das variáveis estudadas no espaço não acontece de maneira aleatória.

O  $C_0$  representa a variância não explicada, normalmente oriunda de erros de medições ou de variações não detectadas na escala de amostragem. As variáveis apresentaram  $C_0$  inferior a 23% em superfície (0-10 cm) e em subsuperfície



(10-20 cm), exceto o CO e  $Al^{3+}$  (0-10 cm). Tal resultado mostra que mais de 77% da variação da maioria das variáveis são explicados pela dependência espacial observada nos valores de GDE acima de 75%, e é dependente do tipo de uso do solo. Já os maiores valores de  $C_0$  verificados para CO e  $Al^{3+}$  em superfície indicam menor dependência espacial e que, provavelmente, estas variáveis variam de forma mais independente no uso do solo.

A maioria das variáveis ajustou-se ao modelo exponencial e esférico nas duas profundidades, em concordância com Neves Neto et al. (2013), que indicaram os mesmos modelos como os mais comuns aos atributos do solo. Os resultados da presente pesquisa são semelhantes aos constatados por Cavalcante et al. (2007), em estudo da variabilidade espacial de atributos químicos do solo, sob diferentes usos e manejos, no qual se verificou que os modelos que melhor se ajustaram aos atributos químicos avaliados foram o exponencial e o esférico, tanto a 0-10 como a 10-20 cm de profundidade.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) informa sobre a qualidade de ajuste do modelo do semivariograma. Dessa forma, por terem sido verificados valores de  $R^2$  próximos de 1 para a maioria das variáveis, nas duas profundidades, exceto  $Al^{3+}$  e H+Al (0-10 cm) e CO e H+Al (10-20 cm), pressupõe-se que os modelos escolhidos representam bem o conjunto de dados.

A constatação da dependência espacial (GDE forte e moderado) para todas as variáveis analisadas demonstra que a distância de amostragem foi suficiente para exibir toda a variância dos dados.

A partir dos modelos obtidos nos semivariogramas ajustados para cada variável, estimaram-se valores em locais não amostrados por meio do método de interpolação geoestatístico de Krigagem ordinária. Deste modo, foi possível construir mapas de isolinhas com os valores estimados, o que permitiu a visualização dos arranjos de distribuição espacial e, ao mesmo tempo, a identificação de zonas de concentração (Figuras 2 a 6).

Com base nos valores verificados para as variáveis CO, pH, P,  $Al^{3+}$ , H+Al, SB, CTCt, CTC pH 7, saturação por alumínio e V (Figuras 2 a 5), foi possível definir classes de fertilidade do solo nas duas profundidades (Ribeiro et al., 1999).

As classes de fertilidade para CO variaram entre médias, boas e muito boas ao longo de toda a área estudada, nas duas profundidades (Figuras 2 a, b). Nota-se que os sistemas de cultivo reduziram os teores de CO nas duas profundidades, principal-

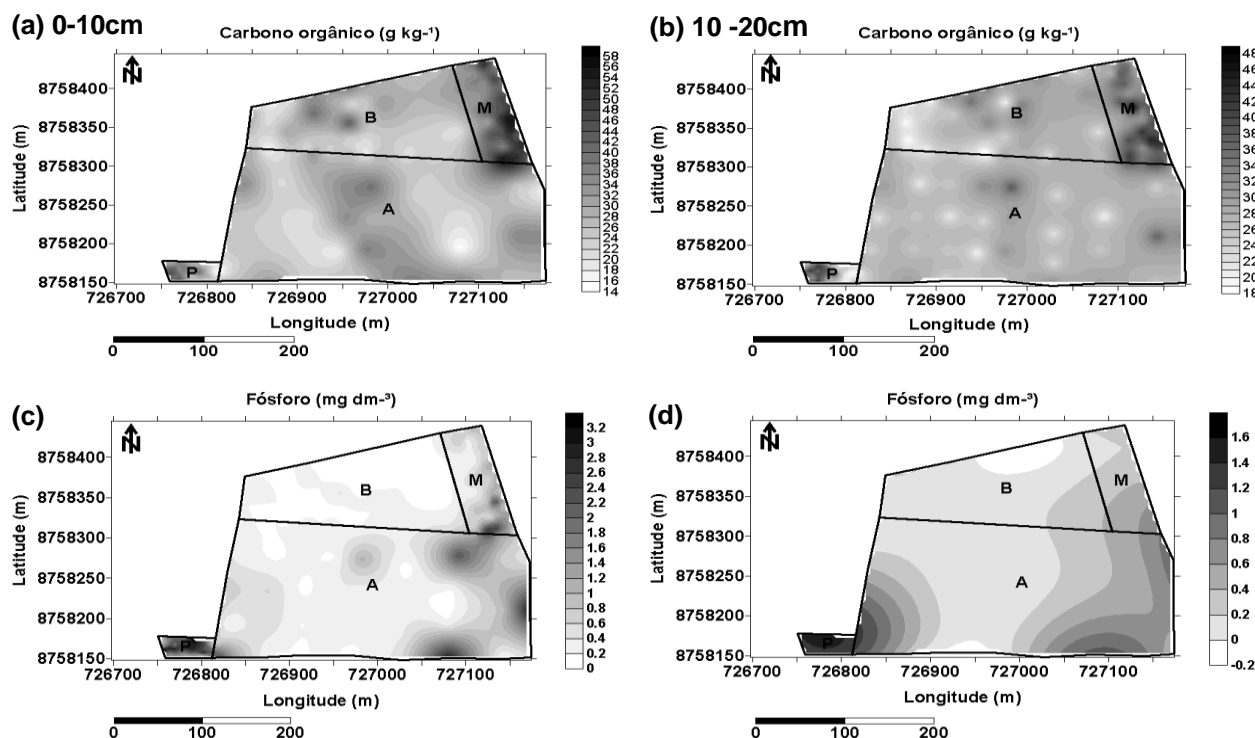
mente nas pastagens. A baixa fertilidade conferida a zonas específicas das subáreas de andropógon e braquiária pode estar contribuindo para a redução nos teores de CO, já que os baixos valores de CO coincidiram com os baixos valores de SB e de P (Figuras 3 a, b; 2 c, d). Segundo Assad et al. (2013), a fertilidade do solo desempenha papel fundamental no acúmulo de CO em pastagens, ou seja, o acúmulo de material orgânico depende da produção de biomassa, que é um resultado do estado de fertilidade do solo das pastagens.

A análise dos mapas permite visualizar a variação contínua do CO que se inicia dentro de cada subárea de uso do solo, e intensifica-se entre um uso e outro, e também da profundidade de 0-10 cm para a de 10-20 cm (Figuras 2 a, b). Notou-se, ainda, redução nos valores dessa variável em profundidade, o que concorda com o observado por Neves et al. (2009), que constataram redução nos teores de CO com o aumento da profundidade em estudo de Latossolo Vermelho sob diferentes usos e cobertura de solo.

A área de estudo apresentou disponibilidade de P classificada como muito baixa nas duas profundidades avaliadas (Figuras 2 c, d). A mata nativa (referência) evidenciou a baixa disponibilidade natural do nutriente, que é característico da maioria dos solos brasileiros (Silva et al., 2015), inclusive do cerrado sob condição natural (Sana et al., 2014).

Nota-se, mediante visualização dos mapas da distribuição espacial do P, que a maior parte da subárea de braquiária (B) possui baixo valor de P, que pode ser pelo baixo pH e pelo elevado teor de alumínio (Barcelos et al., 2011). Observa-se, ainda, certa continuidade na espacialização do P ao longo de toda a área, a qual pode ter sido quebrada em razão de mudanças abruptas nos teores desse nutriente em zonas específicas das subáreas de mata, pomar e andropógon, tanto a 0-10 cm como a 10-20 cm de profundidade. Os valores mais elevados para P coincidem com os altos teores de CO (Figuras 2 a, b), o que mostra, segundo Ourives et al. (2010), a relação direta entre matéria orgânica e fósforo no solo. Ainda, segundo Tirloni et al. (2009), o aumento no teor de CO do solo pode promover a redução da formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção na superfície dos óxidos de ferro e de alumínio e, conseqüentemente, aumentar a disponibilidade do fósforo.

As variáveis SB, CTCt e CTC pH7 apresentaram grande amplitude de variação das classes de fertilidade (Figura 3). Tal resultado evidencia a presença de zonas específicas de manejo, que pode ser resultado dos diferentes usos de solo.



**Figura 2** - Mapa de distribuição espacial dos atributos carbono orgânico (a e b) e fósforo (c e d), respectivamente para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nas áreas de pastagem de braquiária (B), mata nativa (M), pomar (P) e pastagem de andropógon (A). *Spatial distribution map of organic carbon attributes (a and b) and phosphorus (c and d), respectively for depths of 0-10 and 10-20 cm, in pasture areas of Brachiaria (B), native forest (M), orchard (P) and andropogon pasture (A).*

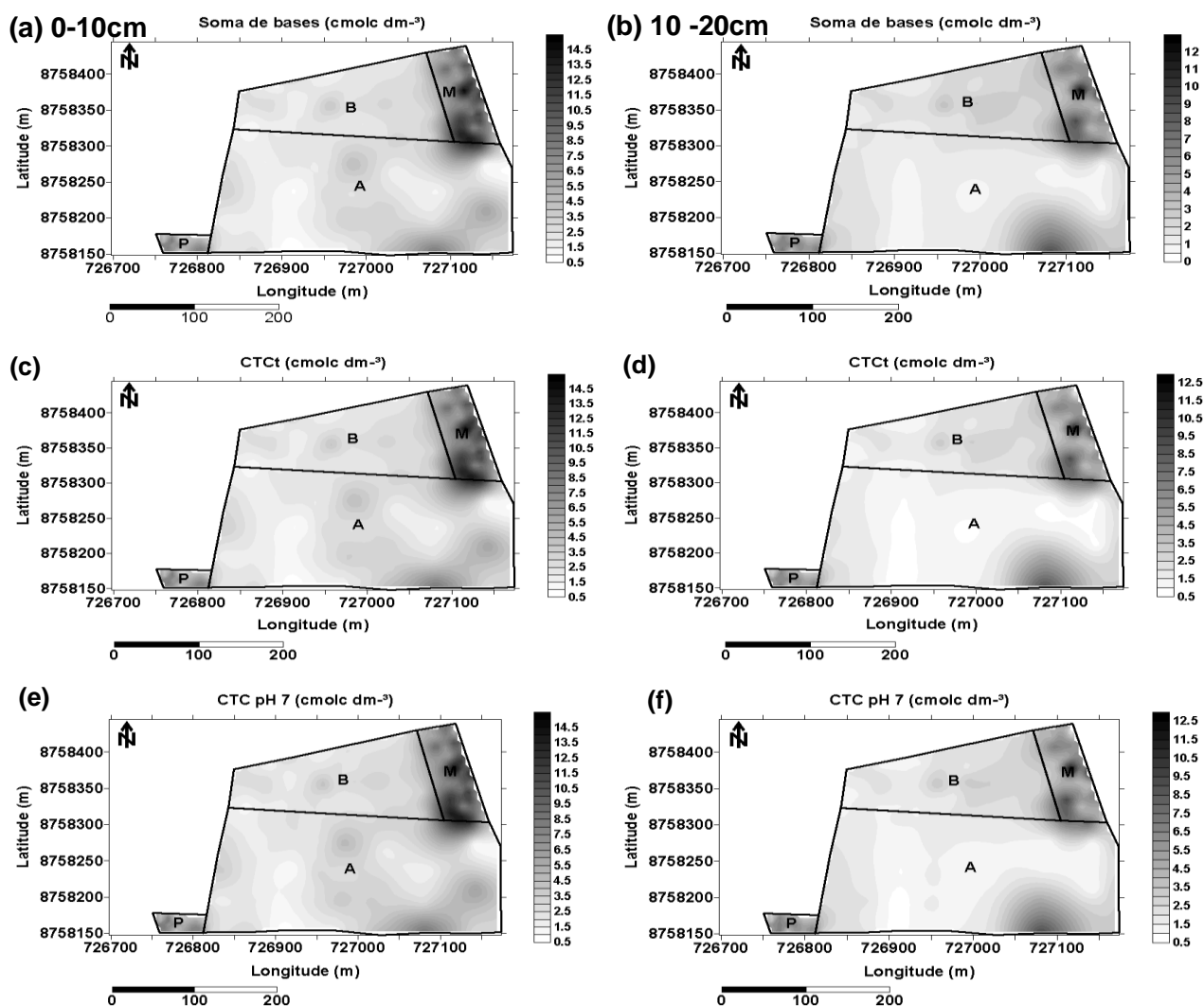
Os mapas da distribuição espacial da SB (Figuras 3 a, b) permitem visualizar que os valores mais elevados para a mesma se concentraram nas subáreas de mata e pomar, nas duas profundidades, o que reflete a forte relação com o manejo. Evidenciou-se que a conversão da mata nativa para sistemas de cultivo promoveu redução nos valores de SB, a qual foi mais acentuada em zonas específicas das subáreas de pastagens. Provavelmente, as perdas e/ou a complexação, bem como a extração das bases do perfil do solo via culturas foram mais intensas nas pastagens. E por se tratar de pastagens baseadas apenas na extração da fertilidade do solo, nas quais não se faz correção do solo e adubação de reposição de bases, provavelmente, os nutrientes advindos da decomposição de resíduos vegetais não foram suficientes para manter o reservatório do solo. Vale ressaltar que a textura do solo, em sua maior parte arenosa, pode ter facilitado a lixiviação das bases.

A análise dos mapas diagnósticos da CTCt e CTC pH 7 permite observar que a espacialização evidenciada para as mesmas se deve, em sua maior parte, a SB, em razão da similaridade constatada na distribuição espacial das três variáveis, nas duas profundidades avaliadas (Figuras 3 c, d; 3 e, f). Notou-se, também, similaridade na distribuição espacial da SB, CTCt, CTC pH 7 e CO, na profundidade de 0-10 cm. As zonas com valores mais elevados para SB, CTCt e CTC pH 7, dentro de cada subárea de uso do solo coincidiram

com altos teores de CO. Provavelmente, o elevado acúmulo de CO na subárea de pomar explique os melhores valores para SB, quando comparado às pastagens. O CO contribui para a melhoria da CTC, principalmente em solos tropicais (Raj, 2011), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas via lixiviação (Portugal et al., 2010). Freitas et al. (2013) verificaram correlação significativa entre CTC total e teor de matéria orgânica. Portugal et al. (2010) constataram maiores valores de CTC total em sistemas de manejo que mantiveram e/ou aumentaram o teor de matéria orgânica do solo.

Conforme classificação agrônômica proposta por Ribeiro et al. (1999), as classes de fertilidade para pH variaram entre muito baixa, baixa e boa nas duas profundidades (Figuras 4 a, b). O baixo valor de pH na mata nativa indica possível acidez natural do solo, que também é evidenciada nas subáreas de braquiária e andropógon. A intensificação da acidez em zonas específicas das pastagens deve-se provavelmente, à remoção de bases (Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) da superfície dos colóides do solo, a qual se dá via extração das culturas ou das perdas via lixiviação facilitada pela textura arenosa do solo. A ausência de manejos periódicos voltados para correção de acidez, bem como a inexistência de adubação de reposição de bases também podem ter contribuído para o resultado. Isso é corroborado pelos baixos valores de SB em zonas específicas das subáreas de braquiária e andropógon.

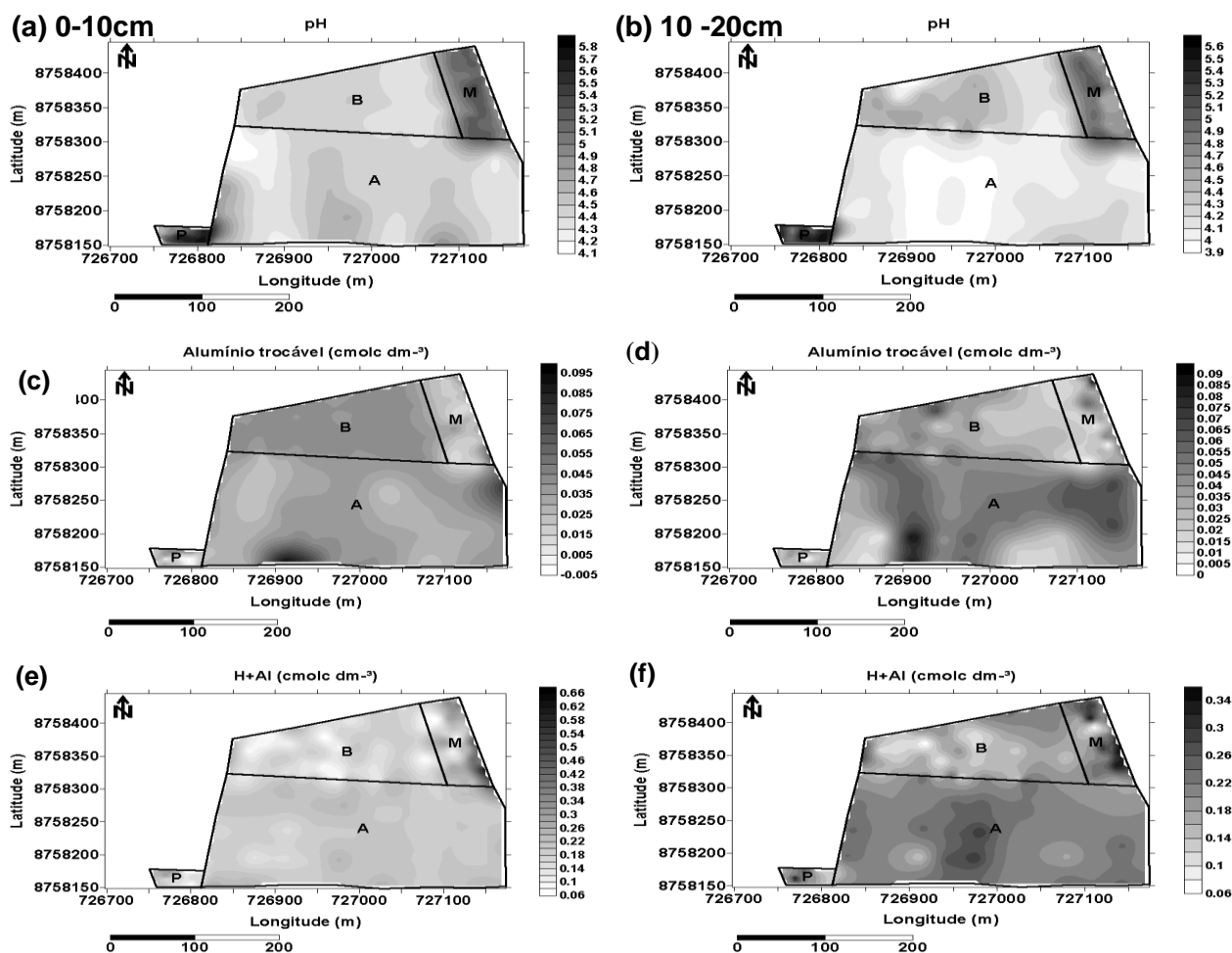




**Figura 3** - Mapa de distribuição espacial dos atributos soma de bases (a e b), CTCt (c e d), CTC PH 7 (e e f), respectivamente, para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas de pastagem de braquiária (B), mata nativa (M), pomar (P) e pastagem de andropógon (A). *Spatial distribution map of the sum of bases attributes (a and b), CTCt (c and d), CTC PH 7 (e and f), respectively for depths of 0-10 cm and 10-20 cm, in the pasture areas of (B), native forest (M), orchard (P) and andropogon pasture (A).*

A visualização do mapa da distribuição espacial do pH (Figuras 4 a, b) mostra que a continuidade espacial constatada nos valores de alcance (511 m) é, em sua maioria, atribuída às subáreas de pastagem. Observou-se influência do uso do solo nesse atributo, já que a subárea de pomar e de mata apresentou valores de pH acima de 5, enquanto nas demais só se verificou valores inferiores. Segundo classes de interpretação de fertilidade propostas por Ribeiro et al. (1999) e, conforme a classificação agrônômica, faixas de pH situadas entre 5,5 e 6,0 indicam pH adequado (bom) ao cultivo da maioria das culturas. Somente a subárea de pomar apresentou locais com valores de pH dentro da faixa considerada adequada, o que pode ser atribuído ao aporte de material orgânico e

à deposição contínua de esterco bovino na área. Tais fatores podem ter resultado no maior acúmulo de CO e na adição de cátions ao solo. Os elevados valores de CO verificados no pomar podem ter influenciado na capacidade de tamponamento do solo e ter estabilizado os valores de pH em zonas específicas da área (Embrapa, 2010), enquanto a adição de materiais orgânicos pode ter contribuído na anulação das cargas positivas da matriz mineral do solo pela adsorção específica de ânions orgânicos, o que resultou em menor acidificação. Os valores adequados de pH verificados em alguns locais do pomar indicam que o manejo promoveu melhorias, já que a área de referência (mata) apresentou classe inadequada para o mesmo.



**Figura 4** - Mapa de distribuição espacial dos atributos pH (a e b), alumínio trocável (c e d), H + Al (e e f), respectivamente, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nas áreas de pastagem de braquiária (B), mata nativa (M), pomar (P) e pastagem de andropógon (A). *Spatial distribution map of pH attributes (a and b), exchangeable aluminum (c and d), H + Al (e and f), respectively for depths of 0-10 and 10-20 cm, in the areas of brachiaria pasture (B), native forest (M), orchard (P) and andropogon pasture (A).*

As variáveis  $Al^{3+}$  (Figuras 4 c, d) e H+Al (Figuras 4 e, f) apresentaram valores classificados como muito baixos, conforme classes de interpretação de fertilidade para o complexo de troca catiônica propostas por Ribeiro et al. (1999). A classificação indica que nenhuma das subáreas apresenta problemas de toxidez por alumínio, enquanto os baixos valores de H+Al evidenciam o baixo potencial das mesmas para liberar  $H^+$  e apresentar problemas de toxidez por alumínio, tanto em superfície (0-10 cm) como em subsuperfície (10-20 cm).

Os mapas da distribuição espacial do  $Al^{3+}$  (Figuras 4 c, d) mostram certa continuidade na espacialização do mesmo em superfície (0-10 cm), a qual não é verificada em subsuperfície (10-20 cm). Nota-se que, embora classificados como muito baixos, os maiores valores para  $Al^{3+}$  coincidiram com os mais baixos valores de pH, em zonas específicas das pastagens, nas duas profundidades. Provavelmente, a solubilidade do alumínio aumentou com a redução do pH. Andrade (2011) relata

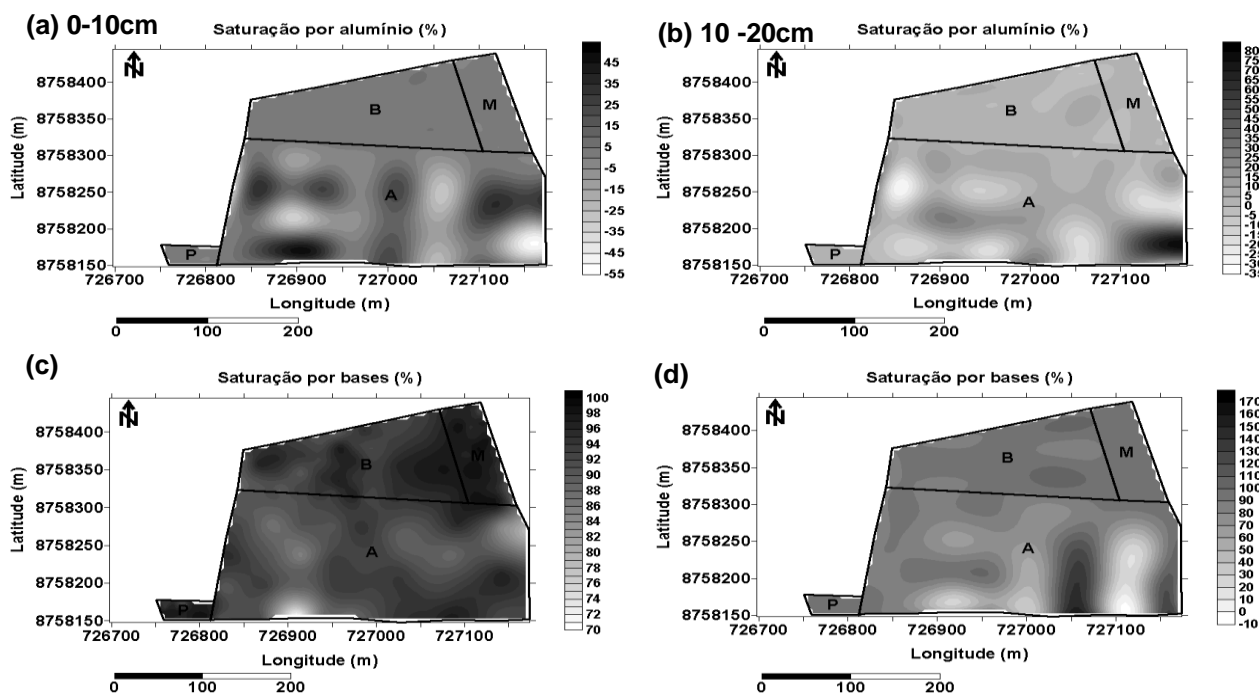
que a elevação do pH faz com que formas trocáveis de Al se transformem em  $Al(OH)_3$  (forma insolúvel), o que reduz sua atividade.

A espacialização do H+Al (Figuras 4 e, f) mostra variação contínua do mesmo, que pode estar relacionada à heterogeneidade espacial verificada para CO nas duas profundidades (Figuras 2 a, b). Observou-se similaridade nos mapas de distribuição espacial, que pode ser consequência da correlação positiva existente entre H+Al e CO (Ebeling, 2006). O  $H^+$  associa-se às cargas negativas dos colóides orgânicos por meio de ligações covalentes e é prontamente quantificado na determinação da acidez potencial. Observou-se que as zonas com valores mais elevados para H+Al coincidiram com os maiores teores de CO do solo, e que a intensificação da variação do CO em subsuperfície (10-20 cm) também foi evidenciada no mapa do H+Al (Figura 4 f).

Os valores para saturação por alumínio (Figuras 5 a, b) foram classificados como muito

baixos e baixos, conforme Ribeiro et al. (1999). Tal constatação mostra que a maior parte da CTct,

independentemente do uso do solo, está ocupada por cátions essenciais, como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ .



**Figura 5** - Mapa de distribuição espacial dos atributos saturação por alumínio (a e b) e saturação por bases (c e d), respectivamente, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nas áreas de pastagem de braquiária (B), mata nativa (M), pomar (P) e pastagem de andropógon (A). *Spatial Distribution Map of the saturation attributes by aluminum (a and b) and saturation by bases (c and d), respectively for depths of 0-10 and 10-20 cm, in the areas of pasture of Brachiaria (B), native forest (M), orchard (P) and andropogon pasture (A).*

Os mapas da distribuição espacial da saturação por alumínio mostram que a descontinuidade espacial evidenciada nos valores de alcance, nas duas profundidades, deve-se em sua maior parte, à subárea pastagem de andropógon. A pastagem de andropógon apresentou os maiores valores e variação espacial mais acentuada para saturação por alumínio, que é acompanhada por valores baixos de pH e CTct. Talvez o fato de essa subárea ser um sistema baseado apenas na extração da reserva nutricional do solo, aliado ao monocultivo, tenha resultado na elevação dos valores de saturação por alumínio, que provavelmente refletiu em mudança abrupta de um ambiente a outro.

O mapa de distribuição espacial da liteira (Figura 6) evidencia que os valores variaram em função da cobertura vegetal. Na subárea de andropógon, concentraram-se os valores mais elevados e a variabilidade espacial mais acentuada, a qual se deve, provavelmente, a variações nutricionais (P e SB). Já a variação entre ambientes pode ser atribuída à época de amostragem (Julho e Agosto), a qual coincidiu com altas temperaturas e baixa umidade no solo. As gramíneas alcançam o estágio de senescência mais rápido, sob tais condições, do que espécies de médio e grande portes, como as verificadas nas subáreas de mata e pomar. O sistema radicular destas últimas

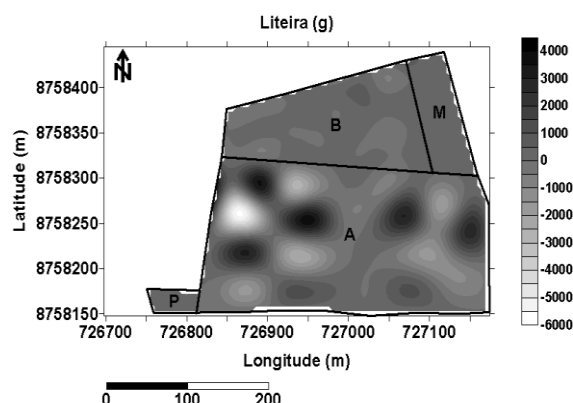
caracteriza-se como pivotante, de forma que elas conseguem maior área de exploração de água e nutrientes do solo e, assim, retardam o processo de senescência, refletindo em menor quantidade de liteira quando comparado às gramíneas.

Os resultados discutidos mediante análise das tabelas e mapas mostraram que a substituição da mata nativa por sistemas de produção promoveu alterações químicas no solo. Observou-se, que dentre as subáreas, o pomar é o sistema mais próximo das características de um ecossistema natural (mata nativa) e até sobressaiu-se a ela, ao promover valores de pH maiores. A diversidade de plantas nessa subárea e a deposição contínua de esterco bovino podem ser os principais fatores responsáveis pelos bons resultados.

Já as subáreas de andropógon e braquiária evidenciaram alterações químicas acentuadas quando comparadas com a referência. Possivelmente, essas pastagens estão em início de processo de degradação. O processo de degradação do solo pode ser avaliado de diversas maneiras, dentre as quais se pode citar a diminuição do teor de matéria orgânica do solo ou dos constituintes da mesma (Santos et al., 2010). Associada à perda da matéria orgânica ocorre, conseqüentemente, a perda dos nutrientes e a redução do pH do solo. Portugal et al. (2010) afirmam que o declínio no teor de matéria orgânica após a conversão das matas

nativas em sistemas agrícolas, pode estar associado a processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica, ao aumento da

erosão do solo e às menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados, comparados às áreas de matas nativas.



**Figura 6** - Mapa de distribuição espacial do atributo liteira, nas áreas de pastagem de braquiária (B), mata nativa (M), pomar (P) e pastagem de andropógon (A). *Map of spatial distribution of the litter attribute, in the areas of pasture of Brachiaria (B), native forest (M), orchard (P) and andropogon pasture (A).*

Ressalta-se que as subáreas de braquiária e andropógon apresentam quantidade expressiva de cupinzeiros, o que é mais um sinal de que as mesmas podem estar em início de processo de degradação. Aquino et al. (2008) citam a presença de cupinzeiros como sinal de degradação em pastagens. Já para Valério (2006), o número de ninhos de termitas (cupins) tende a aumentar em áreas menos sujeitas à mecanização; dessa forma, pastagens mais velhas normalmente apresentam infestações mais elevadas, sem necessariamente estar em processo de perda de qualidade. Mediante as contradições, não fica claro se o surgimento dos ninhos é consequência da degradação ou ainda se esse é apenas um fenômeno natural induzido pela falta de controle do próprio inseto (Lima et al., 2011).

O presente estudo mostrou a eficiência e a viabilidade da utilização do mapeamento da variabilidade espacial no sistema solo-planta. A construção dos mapas de isolinhas forneceu diagnóstico e pôde auxiliar na visualização mais eficiente da condição química da área.

Em razão da necessidade de cultivar e visto o fato de que não há como cultivar sem interferir de alguma maneira no ecossistema natural, cabe ao produtor decidir se essa interferência será mais ou menos drástica, por meio de estratégias de manejo. A subárea de pomar, bem como suas características químicas, mostrou que é possível produzir sem degradar o sistema.

## Conclusões

A conversão da mata nativa para subáreas de cultivo promove redução nos valores de carbono orgânico, soma de bases, CTC efetiva, CTC total e pH do solo, nas duas profundidades. As reduções mais acentuadas para essas variáveis são constatadas nas subáreas de pastagem.

Dentre os usos do solo, o pomar é o sistema que consegue manter características químicas similares às verificadas na área de referência (mata nativa) e também contribui para a melhoria dos valores de pH nas duas profundidades.

O pomar e as pastagens de braquiária e andropógon indicam a necessidade de se desenvolver estratégia de manejo para suprimento de fósforo, com vistas a garantir teores ideais do nutriente no solo e, conseqüentemente, a obtenção de resultados mais satisfatórios de produção.

Os valores verificados para carbono orgânico, pH, liteira, fósforo, alumínio trocável, acidez potencial, soma de bases, CTC efetiva, CTC total, saturação por bases e saturação por alumínio, bem como a distribuição espacial dessas variáveis, são influenciados diferentemente pelos diversos usos de solo.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de suporte financeiro à pesquisa, e à Universidade Federal do Tocantins pelo apoio concedido.

## Referências

- Andrade MW (2011) Fontes e doses de N, P, K e métodos de enxertia na produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). UFRSA (Tese de doutorado em Fitotecnia).
- Aquino AM, Correia MEF, Alves MV (2008) Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: Moreira FMS, Siqueira JO, Brussaard L (ed) Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros, UFLA. p.143-170.

- Araújo EA, Ker JC, Neves JCL, Lani JL (2012) Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* 5(1):187-196.
- Assad ED, Pinto HS, Martins SC, Groppo JD, Salgado PR, Evangelista B, Vasconcellos E, Sano EE, Pavão E, Luna R, Camargo PB, Martinelli LA (2013) Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences* 10(10):6141-6160.
- Barcelos AF, Lima JA, Pereira JP, Guimarães PTG, Evangelista AR, Gonçalves CCM (2011) Adubação de capins do gênero *Brachiaria*. EPAMIG. 84p.
- Carneiro JSS, Santos ACM, Fidelis RR, Silva Neto SP, Santos AC, Silva RR (2016) Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. *Revista de Ciências Agroambientais* 14(2):10-21.
- Cavalcante EGS, Alves MC, Souza ZM, Pereira GT (2007) Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31(6):1329-1339.
- Cavalcante EGS, Alves MC, Souza ZM, Pereira GT (2011) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 15(3):237-243.
- Costa OV, Cantarutti RB, Fontes LEF, Costa LM, Nacif PGS, Faria JC (2009) Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33(5-7):1137-1145.
- Ebeling AG (2006) Caracterização analítica da acidez em organossolos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 88p.
- Embrapa (1997) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq). Manual de métodos de análise de solo 2° ed. rev. e atual., Rio de Janeiro. 212p.
- Embrapa (2006) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos 2° ed., Brasília. 306p.
- Embrapa (2010) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Monitoramento por Satélite. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais 1° ed., Campinas. 26p.
- Embrapa (2014) Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 4° ed., Brasília. 376p.
- Freitas L, Casagrande JC, Oliveira IA, Moreti TCF, Carmo DAB (2013) Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *Enciclopédia Biosfera* 9(17):362-374.
- Goldin A (1987) Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 18(10):1111-1116.
- Landim PMB (2006) Sobre geoestatística e mapas. *Terra e Didática* 2(1):19-33.
- Lima GC, Silva MLN, Freitas DAF, Cândido BM, Curi N, Oliveira MS (2016) Spatialization of soil quality index in the Sub-Basin of Posses, Extrema, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 20(1):78-84.
- Lima GC, Silva MLN, Oliveira MS, Curi N, Silva MA, Oliveira AH (2014) Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 18(5):517-526.
- Lima SS, Alves BJR, Aquino AM, Mercante FM, Pinheiro EFM, Selenobaldo Sant'Anna SAC, Urquiaga S, Boddey RM (2011) Relação entre a presença de cupinzeiros e a degradação de pastagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46(12):1699-1706.
- Melloni R, Melloni EGP, Alvarenga MIN, Vieira FBM (2008) Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(6):2461-2470.
- Negreiros Neto JV, Santos AC, Guarnieri A, Souza DJAT, Daronch DJ, Dotto MA, Araújo AS (2014) Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias* 35(1):193-204.
- Neves CMN, Silva MLN, Curi N, Macedo RLG, Moreira FMS, D'andrea AF (2009) Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia* 33(1):105-112.
- Neves Neto DN, Santos AC, Santos PM, Melo JC, Santos JS (2013) Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(9):995-1004.

- Portugal AF, Vinhas Costa ODA, Marciano Costa L (2010) Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34(2):575-585.
- Queiroz AF (2013) Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova - BA para fins de uso, manejo e conservação. UFERSA (Dissertação de mestrado em Ciência do Solo).
- Raij BV (2011) Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. International Plant Nutrition Institute. 420p.
- Reichert JM, Reinert DJ, Braida JA (2003) Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente* 27:68.
- Ribeiro AC, Defelipo BV (1997) Análise química do solo. 2ª ed. Universidade federal de Viçosa. 26p.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VVH (1999) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 360p.
- Sana RS, Anghinoni I, Brandão ZN, Holzschuc MJ (2014) Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18(10):994-1002.
- Santos AC, Salcedo IH, Candeias ALB (2010) Variabilidade espacial da fertilidade do solo sob vegetação nativa e uso agropecuário: estudo de caso na microbacia vaca - PB. *Revista Brasileira de Cartografia* 2(62):119 - 124.
- Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC, Shimizu SH (2013) Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6º ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 100p.
- Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analyze of variance test for normality: complete samples. *Biometrika* 52(3/4):591-611.
- Silva ENS, Montanari R, Panosso AR, Correa AR, Tomaz PK, Ferraudo AS (2015) Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39(2):598-607.
- Silva GF, Santos D, Silva AP, Souza JM (2015) Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. *Revista Caatinga* 28(3):25-35.
- Silva Neto SP, Santos AC, Lima Leite RL, Dim VP, Cruz RS, Pedrico A, Neves Neto DN (2011) Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Ciências Agrárias* 32(2):541-552.
- Silveira Junior O, Santos AC, Santos PM, Rocha JML, Alexandrino E (2014) Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas sob diferentes usos agrícolas. *Engenharia na agricultura* 22(5):442-455.
- Tirloni C, Vitorino ACT, Novelino JO, Tirloni D, Coimbra DS (2009) Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. *Ciência Agrotecnológica* 33(4):977-984.
- Valério JR (2006) Cupins-de-monticulo em pastagens. Embrapa Gado de Corte. 33p.
- Vieira SR, Dechen SCF, Siqueira GM, Dufranc G (2011) Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. *Bragantia* 70(1):185-195.
- Warrick AW, Nielsen DR (1980) Spatial variability of soil physical proprieties in the field. In: Hillel D (ed) *Applications of soil physics*, Academic Press. p.319-344.
- Zimback CRL (2001) Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Universidade Estadual Paulista (Tese de doutorado em livre docência em Ciências Agrônomicas).