

## INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MANEJOS SOBRE A VARIABILIDADE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO SOB VERTENTE

Leonardo Bernardes Taverny de Oliveira<sup>3</sup>,  
Antônio Clementino dos Santos<sup>2</sup>,  
Josevaldo dos Santos Lima<sup>3</sup>,  
Hugo Mariano de Rodrigues de Oliveira<sup>3</sup>,  
Tiago Barbalho André<sup>1</sup>,  
Octacílio Silveira Junior<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical - PPGCat, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia - EMVZ, Fundação Universidade Federal do Tocantins - UFT, Araguaína, Tocantins, Brasil, [barbalhouft@gmail.com](mailto:barbalhouft@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor Associado I do PPGCat, EMVZ, UFT, [clementino@mail.uft.edu.br](mailto:clementino@mail.uft.edu.br)

<sup>3</sup>Discentes do Curso de Doutorado do PPGCat, EMVZ, UFT, [tavernyzoot@yahoo.com.br](mailto:tavernyzoot@yahoo.com.br), [otaciliosilveira@hotmail.com](mailto:otaciliosilveira@hotmail.com)

### RESUMO

Objetivou com este trabalho, avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, condicionados por diferentes culturas em vertente, para diagnosticar a heterogeneidade da distribuição dos elementos no solo em dois cultivos sob topografia ondulada. Foram analisados os atributos químicos do solo: pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio mais alumínio (H+Al), e saturação por bases (V). Coletou-se amostras em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), em 84 pontos georreferenciados em malha irregular em dois sistemas diferentes de uso de uma topossequência, um com *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu e outro contiguamente localizado cultivado com milho. Os teores médios dos elementos nos sistemas de cultivo foram mais elevados na profundidade de 0-10 cm com aumento nos valores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e V(%) no sistema em cultivo de milho comparado ao capim. No sistema cultivado com milho na profundidade de 0-10 apresentou maiores, efeito pepita e coeficiente de variação. Regiões de vertentes cultivadas com milho apresentaram maior variabilidade espacial dos elementos.

**Termos de indexação:** *Brachiaria brizantha*, *Zea mays*, topossequência, geoestatística

### INFLUENCE OF DIFFERENT MANagements ON THE VARIABILITY OF SOIL PROPERTIES IN TOPOSEQUENCE

#### SUMMARY

The objective of this work to evaluate the spatial variability of soil chemical properties, to better understand the effects of different crops on the ground in order to adapt the use and management aspects. Were analyzed the chemical soil pH, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), hydrogen and aluminum (Al + H) and base saturation (V). Samples were collected at two depths (0-10 and 10-20 cm) in 84 georeferenced points at irregular mesh in two different systems using a toposequence, a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu grass and another located contiguously planted with corn. The average contents of elements in cropping systems were highest at a depth of 0-10 cm with an increase in the amounts of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> and V (%) in the system for cultivation of maize compared to grass. In the system planted with corn at a depth of 0-10 showed larger nugget effect and coefficient of variation in relation to the system planted with grass. In areas of slopes cultivated with corn showed greater spatial variability of the elements.

**Index Terms:** *Brachiaria brizantha*, geostatistics, toposequence, *Zea mays*.

### INTRODUÇÃO

A obtenção do máximo potencial de uso do solo depende exclusivamente de práticas de manejo adaptadas para cada tipo de terreno, podendo imprimir sobre o solo efeitos de permutas constantes sobre os atributos químicos, físicos e biológicos, dada em função da topografia ou da cobertura vegetal.

As interações presentes nos mais diversos sistemas de manejo do solo exercem forte influência sobre a distribuição espacial dos elementos ao longo do gradiente agrícola. No âmbito das interações, a intensidade de ondulação do terreno e a cobertura vegetal apresentam-se como os principais agentes intensificadores da heterogeneidade distributiva dos elementos no solo.

Ainda, as modificações na estrutura da cobertura vegetal expressas pela área de cobertura do solo, podem refletir sobre inúmeras mudanças bióticas e abióticas inerentes ao solo, que podem potencializar os escoamentos superficiais, percolação de água nos horizontes e empobrecimento da fertilidade do solo (Santos et al., 2000).

Na medida em que o ecossistema passa por mudanças em detrimento das ações antrópicas por meio do desmatamento, mobilização e implantação de culturas, o solo torna-se ainda mais heterogêneo, aumentando consideravelmente a variabilidade na distribuição dos atributos químicos (Cavalcante et al., 2007).

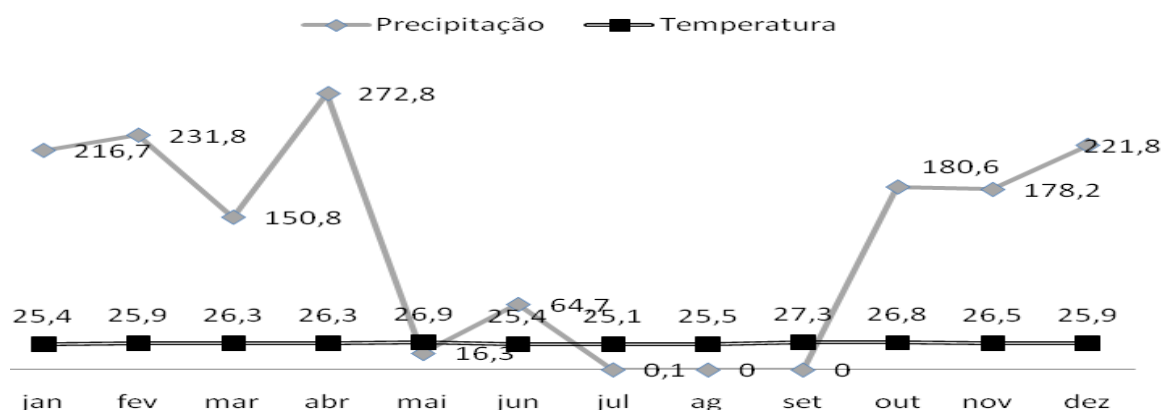
Santos et al. (2000) observaram que o cultivo de palma (*Opuntia ficus-indica*) em morro a baixo com declividade de 4 % aumentam significativamente a perda de solo em relação a vegetação nativa (declividade 9,5 %). Isso prova que mesmo a variabilidade natural do solo, pode ainda ser potencializada em função das práticas de manejo (Souza et al., 1997). Regiões com vertentes são as mais susceptíveis a este tipo de evento, produzindo uma quantidade de sedimentos maior nas posições inferiores do terreno, alterando as propriedades físicas e químicas do solo (Poudel et al., 1999).

Objetivou com este trabalho avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo condicionados por diferentes culturas em vertente, para diagnosticar a heterogeneidade da distribuição dos elementos no solo em dois cultivos sob topografia ondulada.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Araguaína (TO), na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal do Tocantins, localizada nas seguintes coordenadas geográficas, -07° 06' S e -48° 11' O. O relevo apresenta altitudes de 245 e 230 m acima do nível do mar para o topo e pedimento, respectivamente. O clima da região foi classificado segundo Köppen como quente e úmido (AW).

Os dados climatológicos de precipitação pluviométrica mensal (mm) e temperatura média (°C) foram coletados na Estação Climatológica principal de Araguaína, localizada na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus da Universidade Federal do Tocantins e são apresentados na figura 1.



**Figura 1.** Precipitação mensal (mm) e temperatura média (°C) nos meses de janeiro a dezembro de 2010. Estação Climatológica Principal de Araguaína. EMVZ – UFT- Araguaína-TO

O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico na porção superior (Topo), Neossolo Litólico Eutrófico, no terço superior da encosta (ombro), Neossolo Litólico Eutrófico no terço médio da encosta (meia-encosta) e Neossolo Quartzarênico Hidromórfico no terço inferior (pedimento), o solo foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Os resultados da análise descritora dos solos da área avaliada estão na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores da análise química e física inicial de descrição do solo nas quatro posições da topossequência

pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P(Mel.)	M.O.	Arg.	Silt.	Areia	V
CaCl <sub>2</sub>		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				mgdm <sup>-3</sup>		-----%-----			
Topo											
4,3	1,9	2,4	0,8	5,7	0,33	0,7	23,5	3,2	5,6	89,9	43
Ombro											
4,0	3,0	4,7	4,9	7,6	1,40	0,8	21,2	3,7	11,2	77,8	56
Encosta superior											
4,3	2,6	3,4	1,0	5,2	0,22	0,7	26,5	2,8	7,2	82,7	54
Pedimento											
4,4	1,9	2,4	0,3	5,0	0,16	0,8	37,7	3,1	5,9	88,7	46

Mel: extração em mehlich-1.

O solo da área foi preparado de forma convencional, consistindo de correção do solo com aplicação de calcário dolomítico (1,5 t ha<sup>-1</sup>); adubação fosfatada em fundação (superfosfato simples) com adição de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incorporado e adubação potássica (cloreto de potássio) em superfície com adição de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O dividido em duas vezes durante o ciclo do milho, em linha, e uma única dose para área de capim-braquiária, à lanço, e adubação nitrogenada (uréia) aplicando 50 kg ha<sup>-1</sup> para ambas culturas.

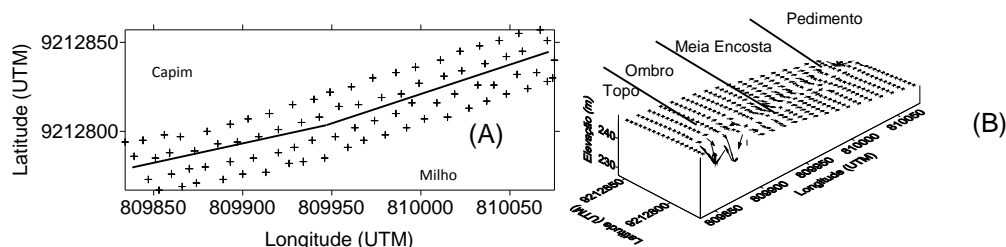
A área foi dividida em quatro segmentos: Topo (planalto), ombro (terço superior da encosta), meia encosta (terço médio da encosta) e pedimento (terço inferior da encosta) (Figura 2). O topo é delimitado pela concavidade de inclinação de 4 %, onde se inicia o ombro. A área de implantação do experimento inicia-se com uma área de topo com 23 metros lineares de terreno plano com declividade de 1% e profundidade efetiva de 1,50 m, na posição de ombro um declive de 8 % e profundidade efetiva de 17 cm na porção média do terreno, na posição de meia encosta superior, correspondente a 10% de declive e 70 cm de profundidade efetiva, no terço inferior da encosta a declividade foi 4% e profundidade efetiva de 1,85 m. A região de topo foi submetida a inúmeros cultivos de culturas anuais durante dez anos, às posições subsequentes da topossequência eram cultivadas com pastagem de capim braquiária durante o mesmo período.

A área útil experimental apresenta um total de 12.000 m<sup>2</sup>, (40 x 300 m). Subdividida em duas áreas adjacentes, em que uma plantou-se o capim *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu, e a segunda com milho (*Zea mays*) cv. Robusto.

Ambas as áreas foram semeadas manualmente no mês de dezembro de 2009. O milho foi plantado com espaçamento entre covas de 20 cm e 80 cm entre linhas, no mesmo período a área de pasto foi semeada a lanço. Passados 30 dias do final do ciclo do milho (definido segundo ponto de silagem aos 66 dias de cultivo) e do primeiro do capim (30 dias), foi realizada a coleta do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, A coleta foi procedida em malha irregular ao longo do declive, perfazendo um total de 42 pontos georreferenciados na área de milho e 42 na área de capim.

Após a coleta do solo as amostras foram encaminhadas para o laboratório de solo do curso de Zootecnia da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, onde foram secas a sombra, peneiradas em malha de 2,0 mm (terra fina seca ao ar). O pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> foi determinado potenciométricamente em peagâmetro. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis foram extraídos com solução de KCl a mol L<sup>-1</sup> e determinados pelo método complexiométrico com emprego de EDTA 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. Os valores de fósforo e potássio disponível foram extraídos pela solução de Mehlich-1, o P foi

determinado por colorimetria em espectrofotômetro e  $K^+$  em fotômetro de chama por fotocolorimetria. A acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e determinada por titulação com  $NaOH 0,025 \text{ M}$ . Com base nos valores dos elementos analisados, foi determinada a saturação do solo (V %) (Embrapa, 1999).



**Figura 2.** Localização georreferenciada dos pontos em malha irregular, da área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e milho (*Zea mays*) cv. Robusto (A). Topografia do terreno em estudo como mapa vetorial, vetores indicando a direção do deflúvio e o sentido da linha de amostragem côncava ao centro (B)

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo foi determinada através da análise exploratória dos dados determinando média, mediana, desvio-padrão, coeficientes de curtose, assimetria e de variação. O teste de normalidade das variáveis foi realizado para verificar a distribuição normal dos dados através do teste de Shapiro-Wilk. A dependência espacial foi determinada através da geoestatística pela interpretação e ajuste dos componentes variográficos confeccionados pelo software GS+ 5.1. Segundo Zimback et al. (2001) o grau de dependência espacial (GDE) possui razões de classificação, em que  $< 25 \%$  indica dependência espacial fraca, moderada entre  $25$  a  $75 \%$  e forte  $> 75 \%$ . O grau de dependência espacial é obtido pela relação efeito pepita/patamar.

Os modelos de semivariância ajustados foram utilizados para elaboração dos mapas de isolinhas utilizando a técnica da Krigagem.

Os modelos foram selecionados e ajustados levando em consideração o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a soma dos quadrados totais (SQR) e o critério da validação cruzada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises estatísticas descritivas encontram-se na Tabela 2. Os valores de curtose, e coeficiente de variação para o potássio foram os mais elevados nos dois sistemas de uso para ambas as profundidades, com exceção do sistema capim na camada de 0-10 cm e fósforo no sistema de uso em milho na camada de 0-10 cm. Em virtude da menor atividade antrópica no sistema cultivado com capim, os atributos químicos são mantidos mais estáveis. Juntamente com o  $Al^{3+}$ , o  $K^+$  apresenta certo distanciamento entre média e mediana para os dois sistemas em ambas as profundidades. Tanto o coeficiente de variação quanto o distanciamento da média expresso pelos valores de máximo e mínimo são mais acentuados nos dois elementos.

Com exceção dos valores de V (%) e P nos sistemas de capim e milho, os coeficientes de variação são considerados elevados, exceto fósforo na cultura anual de 0-10 cm. Souza et al. (1998) trabalharam com quatro sistemas de manejo diferentes, encontraram valores de CV entre 26 e 61 % em duas profundidades para P e K, entretanto as menores variações foram encontradas no sistema cultivado em pastagem, o resultado do autor assemelham com o presente trabalho, CV variando entre 22 e 64 % (Tabela. 2). Na pastagem é encontrada menor amplitude de valores que no sistema milho, revelando que há menor variabilidade neste tipo de sistema.

O alumínio apresenta distribuição de dados mais acentuados em ambos os sistemas e profundidades, tais como os valores de máximo e mínimo, mesmo que tenham ocorrido oscilações nos valores dos atributos químicos do solo de forma que tenha deletariado o padrão de distribuição para assimétrica, em todos os sistemas de manejo e profundidades.

O distanciamento dos valores médios e medianos são curtos, mostrando que valores atípicos não dominam a distribuição. Mello et al., (2006) encontraram efeitos semelhantes nas variáveis Ca, Mg e K em dois solos diferentes.

A assimetria apresenta maior sensibilidade a valores extremos do que a média e mediana (Isaaks & Srivastava, 1989), dessa forma o alongamento da calda nas distribuições foi em virtude de valor subitamente mais elevado nas posições de ombro.

Embora as discrepâncias dos valores de máximo e de mínimo tenham alterado a assimetria e os atributos, Ca, Mg, Al, K e pH não apresentaram distribuição normal, os dados não perdem sua veracidade, pois segundo Cavalcante et al. (2007), a normalidade não é uma exigência da geoestatística. Os mesmos autores não encontraram normalidade na distribuição dos valores dos atributos V (%), Ca e Mg, corroborando também com o trabalho de Carvalho et al. (2002). Os atributos químicos com exceção do pH mostram variação maior que os atributos físicos e biológicos.

O coeficiente de variação para P, V (%) e pH em todas as profundidades nos sistemas de manejo, com exceção do P na profundidade de 0-10 para o sistema cultivado com milho, foram os mais baixos. Cavalcante et al., (2007) também encontraram valores CV acima de 30 % para as variáveis K, Ca e Mg (Tabela 2.) As estimativas de coeficiente de variação dependem da estabilidade dos dados que compõe a média, qualquer processo que provoque desordem na série de dados pode alterar a veracidade da mesma e refletir sobre as médias usadas para interpolação, além de ser um dos indicativos de variabilidade dos valores amostrais.

O K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> apresentaram grande heterogeneidade na série representada pelo elevado coeficiente de variação, que pode ser atribuído aos fatores de formação do solo, principalmente o relevo, que pode refletir em discrepantes diferenças na distribuição dos teores de cada elemento.

**Tabela 2.** Valores da estatística descritiva das variáveis químicas do solo das duas áreas de manejo, área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e milho cv. Robusto nas profundidades 0-10 e 10-20 cm

Variáveis	Méd	Med.	Max.	Mín.	DP.	Ass.	Curt.	CV
<b>Capim (0-10 cm)</b>								
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,55	3,0	5,70	0,61	1,03	0,87	4,40	39
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,98	3,5	5,76	1,11	1,33	0,48	2,50	46
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,47	4,8	8,72	0,00	1,97	1,87	6,13	134
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,46	0,5	1,66	0,11	0,33	0,95	2,81	71
P(mg dm <sup>-3</sup> )	0,83	0,7	1,06	0,64	0,08	0,50	0,59	9,6
V(%) <sup>N</sup>	48,1	44	65,5	30,3	7,71	-0,18	2,56	16
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,43	4,3	5,07	3,89	0,28	0,59	1,35	13
<b>Capim (10-20 cm)</b>								
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,87	1,4	4,26	0,67	0,71	0,45	3,06	37
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,67	4,4	7,60	0,80	1,51	1,53	5,46	57
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,75	4,1	6,60	0,00	1,92	1,28	3,41	109
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,2	2,83	0,04	0,49	2,96	11,98	148
P(mg dm <sup>-3</sup> )	0,74	0,6	0,90	0,63	0,06	0,48	2,62	8,10
V(%) <sup>N</sup>	42,0	44	71,16	20,3	10,11	0,33	3,58	24
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,24	4,2	4,68	3,81	0,24	2,32	6,53	5,67
<b>Milho (0-10 cm)</b>								
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,87	2,56	5,7	1,28	1,17	0,90	3,28	43
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,85	5,46	13,5	1,12	2,83	1,02	3,50	60
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,03	4,14	8,0	0,10	2,42	1,08	2,74	119
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,34	1,21	1,0	0,10	0,22	1,22	2,51	64
P(mg dm <sup>-3</sup> )	0,27	0,78	0,9	0,08	0,20	2,04	5,16	74
V(%) <sup>N</sup>	56,16	50,06	71,2	39,59	9,07	-0,2	1,95	16
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,26	3,95	4,7	3,74	0,27	1,57	3,48	9,48
<b>Milho (10-20 cm)</b>								
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,17	1,32	5,7	0,78	1,08	1,92	5,07	49
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,41	6,66	12,6	1,62	2,68	1,36	4,27	61
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,47	5,77	10,1	0,18	2,64	1,26	3,52	106
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,32	0,39	1,3	0,09	0,27	1,57	3,48	84
P(mg dm <sup>-3</sup> )	0,79	0,69	1,6	0,56	0,18	6,24	40,02	22
V(%) <sup>N</sup>	52,5	51,43	65	35,20	7,70	-0,37	2,46	14
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,12	3,85	4,9	3,74	0,28	2,04	5,16	6,79

Méd: média, Med: mediana, Max: valores máximos, Mín: valores mínimos, DP: desvio padrão, CV: coeficiente variação (%) N: indica normalidade na distribuição da variável.

Os resultados da análise geoestatística estão expressos na Tabela 3. Em todas as profundidades e sistemas de cultivo foi observada dependência espacial, oscilando entre forte e moderada nos atributos (dependência espacial > 75 % e 75 - 25, respectivamente) nas duas profundidades em ambos os sistemas. A determinação do grau de dependência espacial é dada em função da relação do efeito pepita e o patamar do semivariograma (Trangmar et al., 1985). Sendo o

efeito pepita a variabilidade não estruturada, ou seja, a variabilidade não encontrada pela análise, o reflexo do elevado efeito pepita é a variação dos atributos do solo atribuídos aos fatores extrínsecos, tais como fenômenos ambientais que podem ser acentuados em uma escala de amostragem. Os valores de dependência espacial das variáveis químicas, corroboram com os valores encontrados por Cavalcante et al. (2007), estas variáveis apresentaram grau de dependência espacial de moderado a forte, mostrando que ocorre consistente continuidade na estrutura de distribuição dessas variáveis.

Os modelos não transitivos, ou seja, que não possuem, patamar crescem continuamente (Isaaks & Srivastava, 1989) o que restringe a não existência de um alcance máximo limitado pelo patamar, ou seja, todos os pontos continuam apresentando dependência. Os valores de Ca (0-10, capim), pH (10-20, milho) apresentaram dependência espacial de forte a moderado.

Com exceção do Ca na profundidade de 10-20 cm no sistema cultivado com milho, os atributos V, pH e P apresentaram alcances maiores, este efeito torna-se ainda mais evidente na profundidade de 10-20 cm para as outras propriedades químicas do solo. Alcance elevado é o reflexo da homogeneidade de determinado fator em relação ao ambiente.

**Tabela 3.** Geoestatística dos valores das variáveis químicas do solo nas duas áreas de manejo, área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e milho cv. Robusto nas profundidades 0-10 e 10-20 cm

Variáveis	Mod.	C <sub>0</sub>	Patam.	A <sub>0</sub>	GDE(%)	R <sup>2</sup>	GDE
<b>Capim (0-10 cm)</b>							
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Lin	1,165	1,165	59,29	99	0,433	Forte
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Exp	0,908	3,82	440	77	0,94	Forte
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,010	4,58	60,7	98	0,97	Forte
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Gau	0,025	0,148	67,5	83	0,99	Forte
P(mg dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,001	0,0083	20,3	87	0,86	Forte
V(%) <sup>N</sup>	Exp	4,00	58,62	16,2	94	0,85	Forte
pH (CaCl <sub>2</sub> )	Esf	0,047	0,096	59,2	51	0,81	Mod
<b>Capim (10-20 cm)</b>							
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,682	0,453	20,8	77	0,43	Forte
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Exp	0,0010	3,012	98,2	99	0,94	Forte
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Gau	0,260	5,529	71,2	98	0,97	Forte
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Exp	0,001	0,380	89,7	97	0,88	Forte
P(mg dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,0004804	0,0034	20,5	98	0,86	Forte
V(%) <sup>N</sup>	Exp	38,6	145,20	93,9	74	0,85	Forte
pH (CaCl <sub>2</sub> )	Gau	0,001	0,056	18,7	99	0,81	Forte
<b>Milho (0-10 cm)</b>							
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,682	2,67	140,6	75	0,93	Forte
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,09	12,21	94,7	99	0,99	Forte
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	1,060	12,01	105,8	92	0,91	Forte
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,013	0,109	122,9	88	0,87	Forte
P(mg dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,017	0,130	193,1	87	0,86	Forte
V(%) <sup>N</sup>	Exp	10,10	80,27	12,2	88	0,87	Forte
pH (CaCl <sub>2</sub> )	Lin	0,021	0,09	67,4	77	0,77	Forte
<b>Milho (10-20 cm)</b>							
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Gau	0,682	2,67	140,64	75	0,93	Mod.
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf	0,09	12,21	94,7	99	0,99	Forte
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Gau	1,060	12,01	105,82	92	0,99	Forte
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Gau	0,0134	0,109	122,9	99	0,99	Forte
P(mg dm <sup>-3</sup> )	Gau	0,0177	0,130	193,13	87	0,98	Forte
V(%) <sup>N</sup>	Gau	10,1	80,27	12,1	88	0,26	Forte
pH (CaCl <sub>2</sub> )	Esf	0,021	0,09	67,4	77	0,95	Forte

Mod: Modelos: Lin: linear, Exp: exponencial, Esf: esférico, Gau: gaussiano. Patam: patamar, A<sub>0</sub>: alcance, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação, C/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: grau de dependência espacial, C<sub>0</sub>: efeito pepita, GDE: classificação do grau de dependência espacial, segundo a classificação de Cambardela et al. (1994), Mod: moderado. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e K<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>); P (mg dm<sup>-3</sup>).

O alcance indica a distância máxima na qual os pontos correlacionados são semelhantes, comparando os alcances nos dois sistemas, verifica-se que na área cultivada com milho o alcance foi ligeiramente maior que na área cultivada com

capim-braquiária. Dentre os atributos avaliados Ca, Mg, Al e K são os que apresentaram os menores alcances em todos os sistemas de manejo e profundidades.

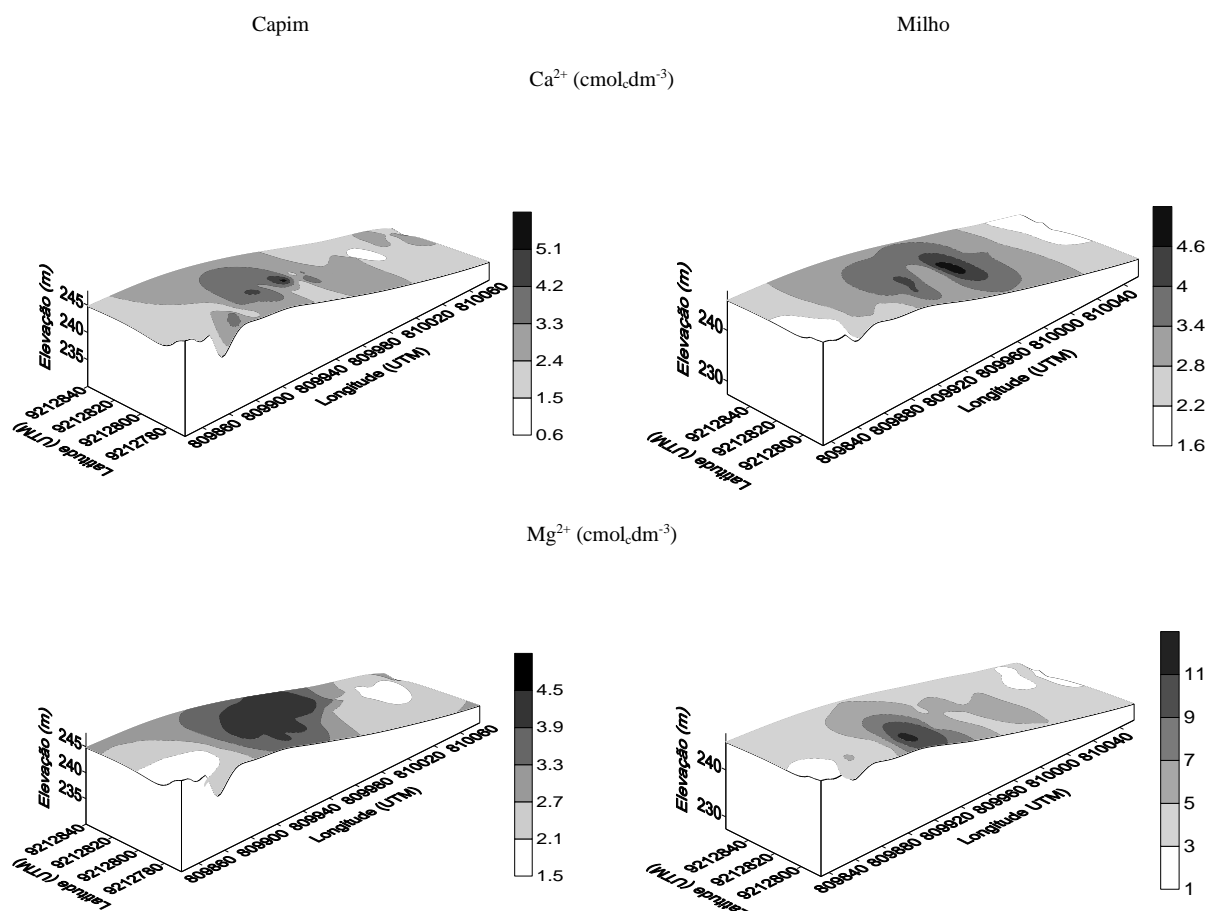
O ajuste dos modelos variográficos é dado em função da averiguação do conjunto entre o coeficiente de determinação, validação cruzada e soma dos quadrados totais, visto que, segundo Cambardella et al. (1994) este último é o fator que apresenta melhor proposta de ajuste. Com exceção dos atributos Ca, Al, V e pH na profundidade de 0-10 cm no sistema com capim o restante apresenta  $R^2$  com ajustes acima dos 80%, entretanto suas validações cruzadas determinaram coeficientes entre 50 e 75%.

Através da análise da krigagem, são definidos os mapas temáticos de isolinhas com estratificações nos mais diversos tons de cinzas.

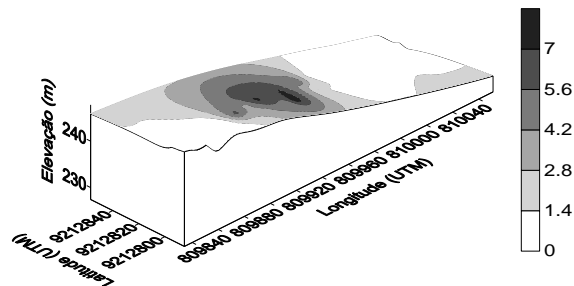
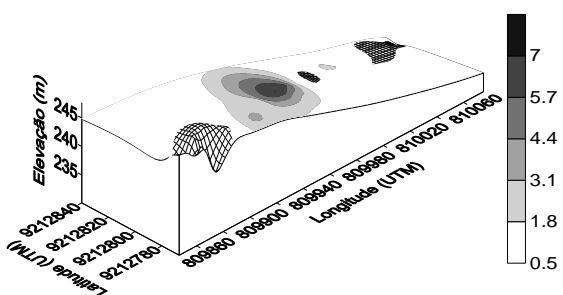
Nas Figuras 3 e 4 estão os mapas temáticos de isolinhas dos atributos químicos no solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm nos sistemas cultivados com capim e milho respectivamente. Com exceção da posição de ombro observou-se que na profundidade de 10-20 cm nos dois sistemas apresenta menor concentração no teor de elementos, fato reportado por Souza & Alves (2003).

No sistema cultivado com milho e pastagem na profundidade de 10-20 cm o cálcio e magnésio apresentaram menor variação na distribuição dos teores em todo terreno. Já o potássio teve concentrações entre 2,1 a 0,7  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$  no ombro e baixas concentrações no pedimento e topo (2,1 e 0,06  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) (Figura 3).

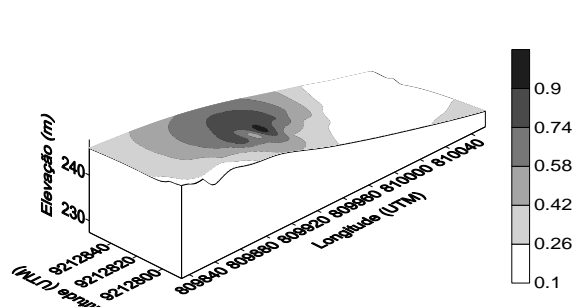
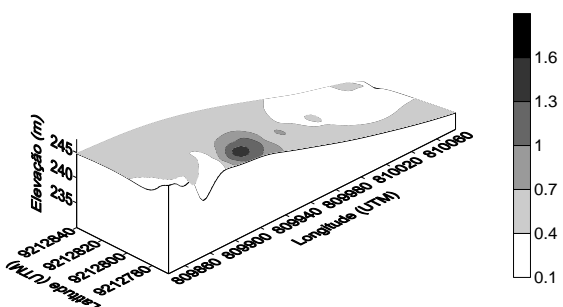
Embora haja maior concentração de bases na posição de ombro, a saturação por bases (V %) mostrou elevada continuidade na distribuição espacial principalmente para o milho em ambas as profundidades (410 m de alcance) e distribuição uniforme, provavelmente por ser uma variável dependente de vários elementos para sua determinação.



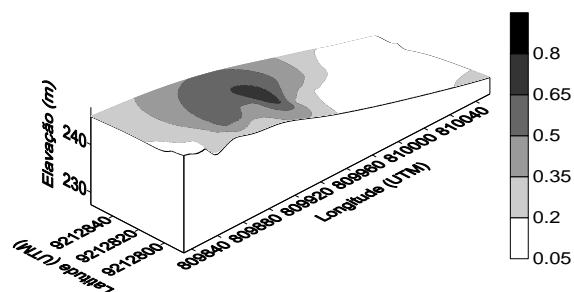
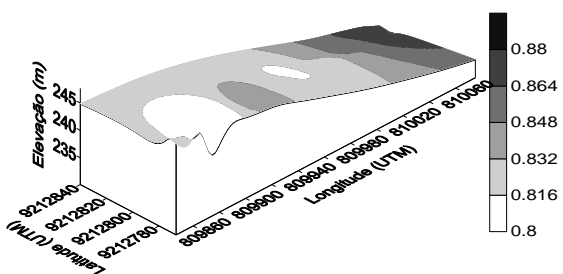
Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)



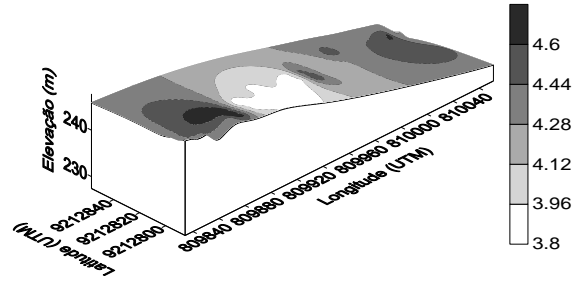
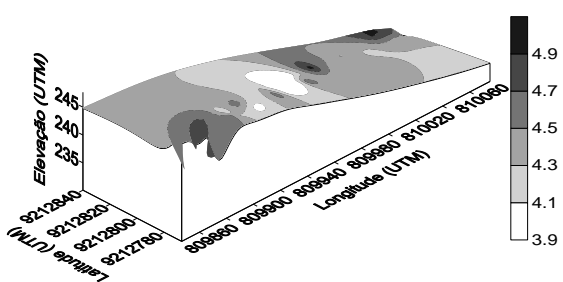
K<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)



P mg dm<sup>-3</sup>)



pH



V (%)

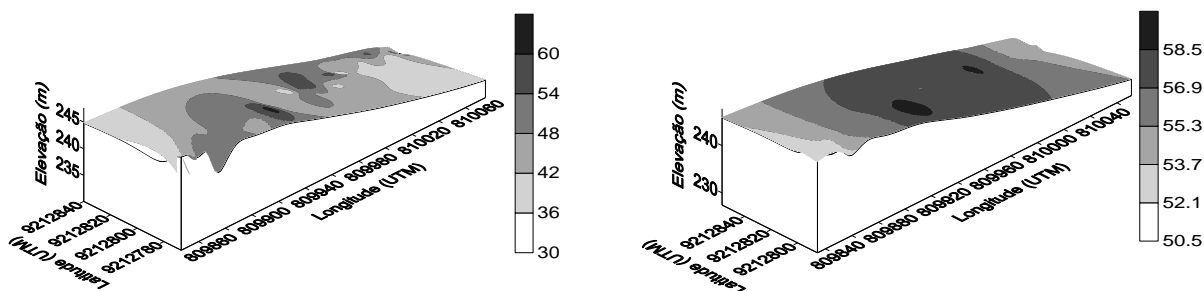
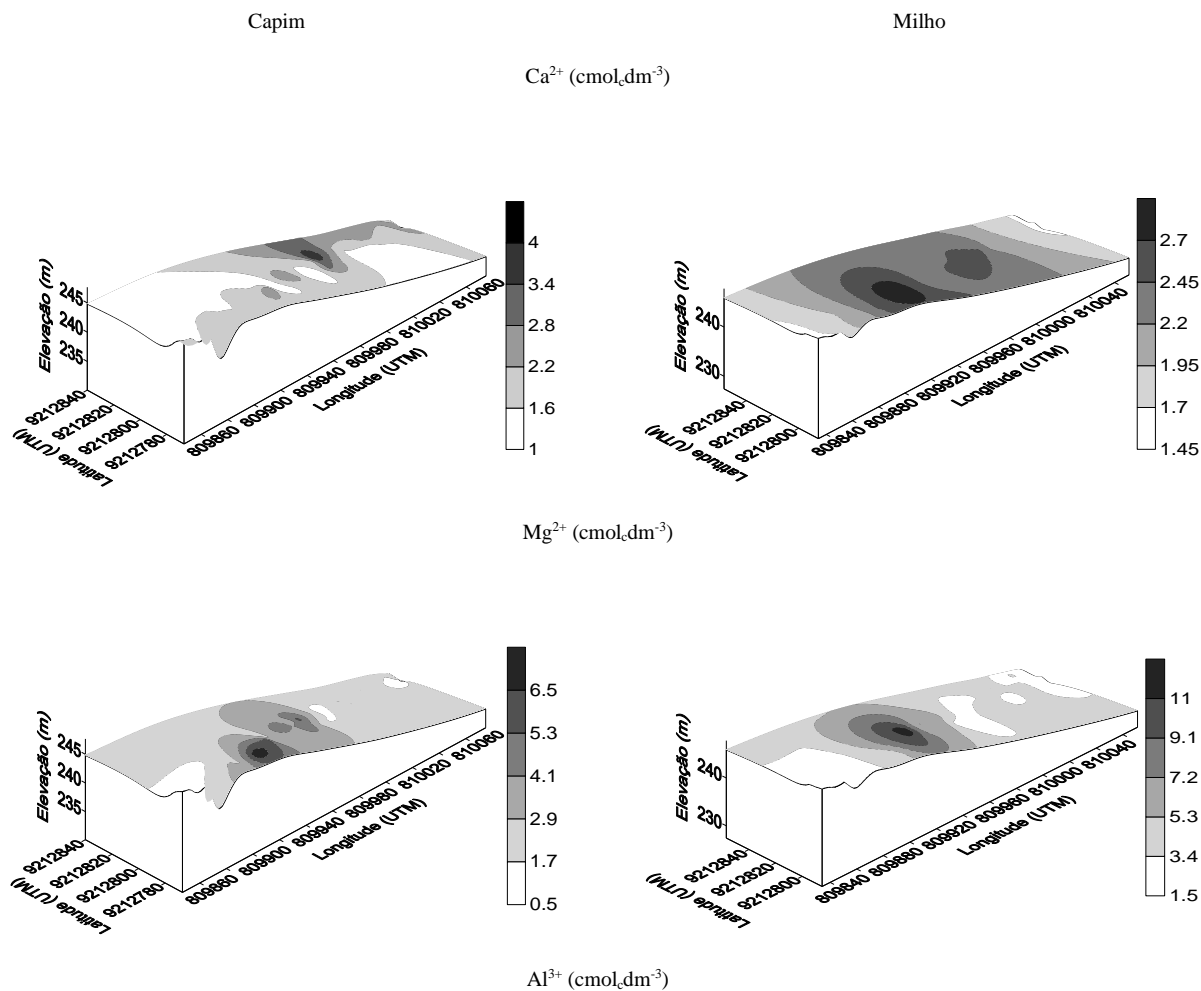
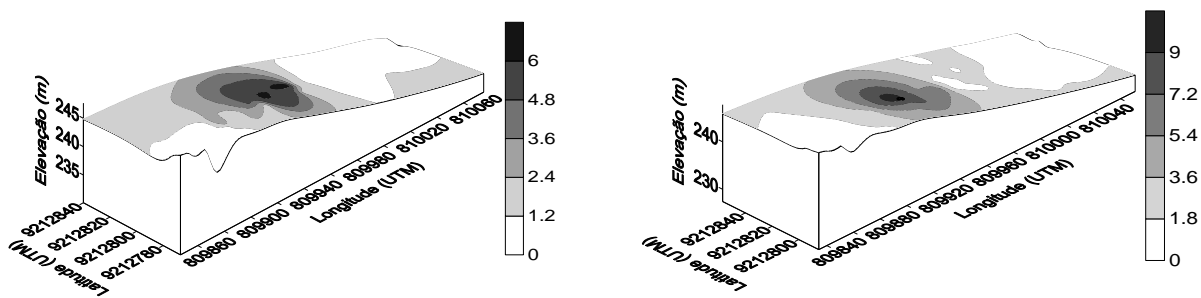
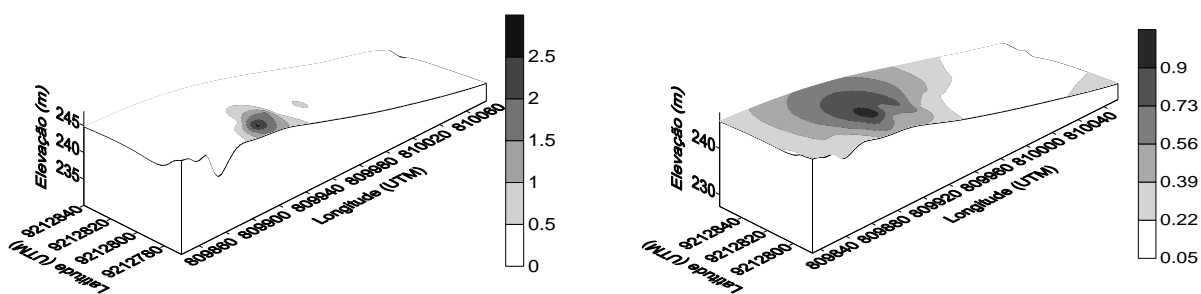


Figura 3. Mapas de isolinhas das propriedades químicas do solo na profundidade de 0-10 cm em área cultivada com capim-braquiária (gráficos à esquerda) e área cultivada com milho (gráficos à direita). Posição do terreno, Longitudes entre 809840 e 809920 representa o topo, 809920 e 809940 o ombro, 809940 e 810020 meia encosta e representando o pedimento 810020 e 810040 UTM. Escala de 1:50.

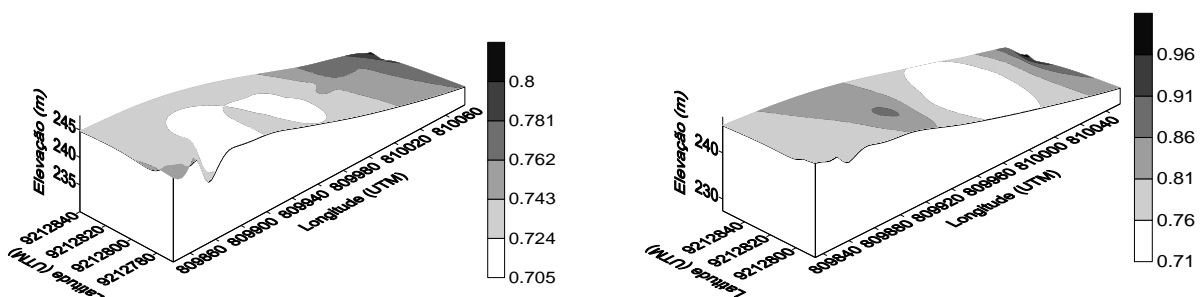




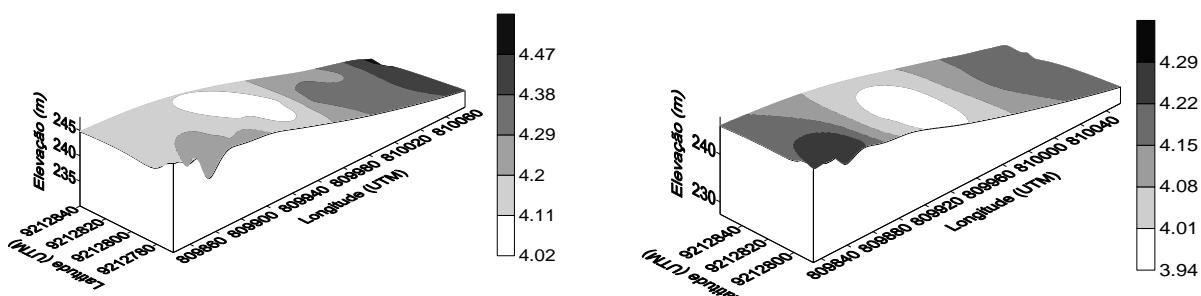
$K^+$  (cmol.dm<sup>-3</sup>)



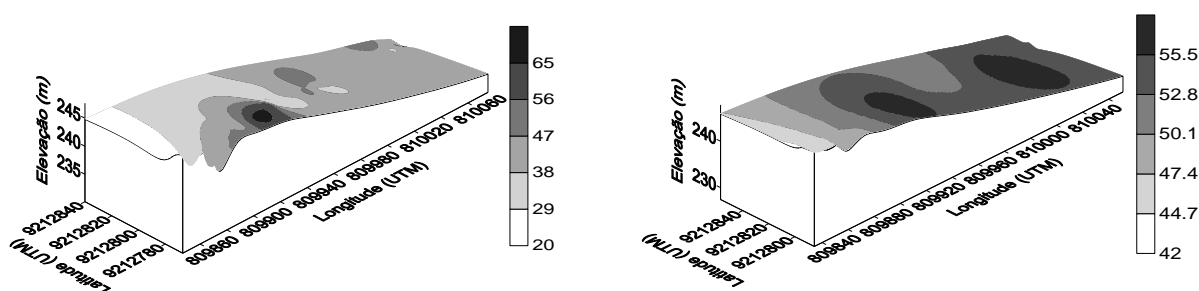
P (mg dm<sup>-3</sup>)



pH



V (%)



**Figura 4.** Mapas de isolinhas das propriedades químicas do solo na profundidade de 10-20 cm em área cultivada com capim-braquiária (gráficos à esquerda) e área cultivada com milho (gráficos à direita). Posição do terreno, Longitudes entre 809840 e 809920 representa o topo, 809920 e 809940 o ombro, 809940 e 810020 meia encosta e representando o pedimento 810020 e 810040 UTM. Escala de 1:50.

Os valores médios dos elementos  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $V$  (%), na profundidade de 10-20 cm, nos dois sistemas, expressaram valores muito próximos da profundidade de 0-10 cm em seus respectivos sistemas, apresentando valores de máximo, com elevada distância em relação à média (Tabela. 2). Este fenômeno intrínseco ao solo ocorre em função da profundidade do mesmo, ou seja, nas posições de ombro do terreno o horizonte agrícola está próximo de 17 cm, o que aumenta substancialmente as chances de coletar material de origem em estágio de intemperização avançado, além também do preparo convencional do solo, visto que, neste tipo de preparo a camada arada atinge cerca de 20 cm de profundidade.

Na profundidade de 0-10 cm no sistema com capim, foram detectados menores efeitos pepitas para os atributos químicos em relação à mesma profundidade no sistema com milho. Esta elevada variabilidade para o segundo sistema, pode ser explicada pela maior exposição do solo pelo dossel da forrageira anual fortalecendo a perda de nutrientes por lixiviação e deflúvio (Leão et al., 2010). O tamanho do raio da autocorrelação da distância dos valores das amostras está em função da distância da amostragem, (Leão et al., 2010) sugere-se assim um maior adensamento na malha, para diminuir a variação dos valores.

Observa-se que as maiores concentrações de  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ , em ambas as profundidades e nos dois sistemas de uso localizam-se na posição de ombro. A declividade é vista como fator de formação do ecossistema solo (Silva et al., 2007) podendo provocar mudanças drásticas nas características genéticas do mesmo, tendendo a haver pedons diferentes em uma mesma vertente. A posição de ombro representa uma profundidade de 17 a 25 cm o que estreita a área de contato lítico em decomposição com o horizonte agrícola. Desta forma leva-se a crer que a topografia juntamente com a ação de fenômenos abióticos tais como as chuvas, estão associados a variabilidade da distribuição dos atributos químicos no solo (Leão et al., 2010).

Menor concentração de cálcio e magnésio (ambos não ultrapassa  $2,2 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) é evidenciada no topo e pedimento, principalmente no sistema cultivado com milho na profundidade de 0-10 cm. Nos topos e pedimentos onde o solo é mais profundo ocorre maior lixiviação de bases (Mello et al., 2006).

Neossolos naturalmente apresentam baixa concentração de alumínio (Al), porém a proximidade da rocha em processo de intemperização pode alterar esses valores, a concentração do teor de Al na posição de ombro é muito superior às demais posições do terreno, variando entre 7 e  $4,2 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$  na profundidade de 0-10, em ambos sistemas atingindo valores de  $9 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$  na profundidade de 10-20 cm.

Embora seja elevada diferença nos valores do potássio, esse nutriente apresenta grande continuidade espacial, principalmente para área cultivada com capim. Resultado semelhante foi encontrado por Faria et al. (2010) que verificaram que o potássio não apresenta elevada variação entre os sistemas de uso, mas sim a posição do terreno e profundidade. Apesar da elevada mobilidade deste elemento (Mello et al., 2006), sua distribuição no terreno pode limitar-

se a forte lixiviação potencializada em função do solo arenoso nas posições de topo e pedimento e da baixa permeabilidade da rocha no ombro nessa posição os nutrientes acumulam-se com maior intensidade, potencializando os efeitos de variabilidade.

Os prótons de  $H^+$  tem relação direta com acidez do solo, seu excesso abaixa o pH. Ainda a elevada acidez do solo aumenta a dissociação do alumínio preso aos argilominerais que, são mais facilmente liberados à solução do solo, este elemento é altamente tóxico às plantas, limitando a produção e desenvolvimento das raízes. Este atributo pode ter seus valores alterados sensivelmente em função do alumínio. Nos locais onde a profundidade efetiva não ultrapassa os 20 cm de profundidade, o pH do solo varia entre 4,3 e 3,9, ou seja, o solo apresenta-se mais ácido que nas posições de menor elevação, onde o pH variou entre 4,9 e 4,3, provavelmente o excesso de alumínio contribuiu na queda do pH. Poudel et al. (1999) também encontrou efeito semelhante avaliando as características químicas de solos em declives vulcânicos, onde os valores do pH nas elevações mais baixas variaram entre 5,2 e 6,3. Este efeito deve-se a incorporação de material erodido das posições mais elevadas carregadas pelos deflúvios e maior distância da superfície do solo de materiais em intemperização.

Martins Filho et al. (2009) quantificou no material erodido em tratamentos com 0 e 50% de cobertura vegetal e encontrou  $0,44 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $0,09 \text{ kg ha}^{-1}$  de fósforo, respectivamente. O fato é que o milho propicia menor proteção ao solo contra o embate das gotas de chuva, e associado ao declive, proporciona maior desagregação e facilidade de carreamento do elemento pelo deflúvio e forma estratificações de nutrientes depositados nas posições inferiores. Apesar de apresentar certo acúmulo da posição de pedimento, o fósforo não apresenta grande heterogeneidade entre as posições, o mesmo apresentou maior uniformidade ao longo do terreno, principalmente na profundidade de 0-10 cm no sistema capim, variando entre 0,8 e  $0,88 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura. 3), entretanto no sistema cultivado com milho na mesma profundidade, os valores variaram entre 0,05 e  $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ , maior variabilidade que no cultivo de capim.

## CONCLUSÃO

O comportamento espacial dos atributos químicos do solo está diretamente relacionado com o cultivo da forrageira. O sistema cultivado com forrageira anual em topossequência na profundidade de 0-10 cm, condiciona maior variabilidade espacial dos atributos Ca, Mg, Al e K em relação a área cultivada com forrageira perene, logo deve-se definir uma malha com intervalos entre pontos mais curtos, aumentando assim o número de pontos de amostragem em culturas anuais.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado e doutorado.

Ao Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (Pronex), pelo financiamento de parte da pesquisa.

## LITERATURA CITADA

- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *R. Bras. Eng. Agr. e Ambiental*, 5:124-130, 2001.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M. & VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesq. Agrop. Brasileira*, 37:1351-1159, 2002.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. & PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1329-1339, 2007.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes, 1 ed. Brasília, DF. 1999. 256 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2 ed. 2006. 306 p.

OLIVEIRA, LBT; SANTOS, AC; LIMA, JS; OLIVEIRA, HMR; ANDRÉ, TB; SILVEIRA JÚNIOR, O. INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MANEJOS SOBRE A VARIABILIDADE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO SOB VERTENTE. *Amazon Soil – I Encontro de Ciência do Solo da Amazônia Oriental*, p. 117-129.

- FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C. SANTOS, T. M.; BATISTELA-FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do rio Araguaia, estado do Tocantins. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:517-524, 2010.
- FOSTER, G. R. 1982. Modeling the erosion process. In: Haan, Jhonson & Brakensiek (eds.). *Hydrology modeling of small watersheds*. Monograph n. (5), American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. 1. ed. New York, Oxford University Press, 1989. 561 p.
- LEÃO, M. G. A.; MARQUES JUNIOR, J. SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citros. *R. Ci. Agrotécnica*, 34:121-131, 2010.
- MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; SANCHEZ, B. R. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. *R. Eng. Agrícola*, 29:8-18, 2009.
- MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. *R. Bras. Eng. Agr. Ambiental*, 10:294-305, 2006.
- OLIVET- LAUQUET, G.; GRUAU, G.; DIA, A.; RJOU, C. JAFFREZIC, A.; HENIN, O. Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. *W. Research*, 35:943-952, 2001.
- POUDEL, D. D. & WEST, L. T. Soil development and fertility characteristics of a volcanic slope in Mindanao the Philippines. *Soil Sc. Soc. Am. Journal*, 63:1258-1273, 1999.
- SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. & SRIMIVASAN, V. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *R. Bras. Eng. Agr. Ambiental*, 4:92-96, 2000.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso da vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *R. Bras. Eng. Agr. Ambiental*, 11:108-114, 2007.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:77-86, 1998.
- SOUZA, Z. M. & ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, v.27:133-139, 2003.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K. & UEHARA, G. Applications of geostatistic to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 38:35-94, 1985.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001, 114f. Tese (Livre-Docência em levantamento do solo e ftopedologia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.