



Artigo

## Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí

Jefferson Santana da Silva Carneiro <sup>1,\*</sup>, Antonio Carlos Martins dos Santos <sup>2</sup>, Rodrigo Ribeiro Fidelis <sup>2</sup>, Sabino Pereira da Silva Neto <sup>3</sup>, Antonio Clementino dos Santos <sup>4</sup> e Rubens Ribeiro da Silva <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG; carneirojss@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi, TO; antoniocarlos.uft@hotmail.com; fidelisrr@uft.edu.br; rrs2002@uft.edu.br

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Gurupi, TO; sabino.pereira@ifto.edu.br

<sup>4</sup> Universidade Federal do Tocantins (UFT), Araguaína, TO; clementino@uft.edu.br

\* Autor Correspondente: carneirojss@yahoo.com.br

Recebido: 07/10/2016; Aceito: 17/10/2016

**Resumo:** O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo permite aumentar a precisão do manejo da fertilidade. Nesse sentido objetivou-se caracterizar a variabilidade espacial dos atributos químicos em um Latossolo Vermelho distrófico no cerrado piauiense por meio das ferramentas da geoestatísticas e realizar o manejo da fertilidade do solo por meio da agricultura de precisão. O trabalho foi realizado no município de Gilbués, PI, na safra 2014/2015. Para a realização do estudo foram coletadas 100 amostras de solo na profundidade de 0,00-0,20 m, em grid com malha de 100 x 60 m, nas quais avaliou-se: pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio trocável, acidez potencial, capacidade de trocas de cátions total, a capacidade de trocas de cátions efetiva, soma de bases, saturação por alumínio e saturação por bases. Todas as variáveis apresentaram dependência espacial, indicando que o número de amostra foi suficiente para mapear a área em estudo, utilizando-se técnicas de geoestatística. O uso da geoestatística e a elaboração dos mapas de isolinhas por krigagem permitem a visualização das zonas de manejo da fertilidade do solo onde ocorrem os maiores e menores níveis dos atributos químicos avaliados e a elaboração dos mapas diagnósticos da fertilidade do solo e da recomendação de fertilizantes e corretivos de acordo com a variabilidade dos atributos químicos do solo. A geoestatística pode ser usada como ferramenta para estimar os indicadores de fertilidade do solo, possibilitando orientar o manejo da fertilidade para áreas específicas.

**Palavras-chave:** geoestatística; krigagem; cultivo convencional; agricultura de precisão.

## Diagnosis and management of spatial variability of soil fertility in the savanna of Piauí

**Abstract:** The study of the spatial variability of soil chemical attributes can increase the accuracy of the management of fertility. In this sense aimed to characterize the spatial variability of chemical attributes of an Red Latossol in Piauí Savanna through the geostatistical tools and carry out the management of soil fertility through precision agriculture. The study was conducted in the municipality of Gilbués, PI, in the 2014/2015 crop. For the study were taken from 100 soil samples at a depth of 0.00 to 0.20 m, in grid of 100 x 60 m, in which were evaluated: pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, exchangeable aluminum, acidity potential, capacity of total cation exchange, capacity of effective cation exchange, sum of bases, aluminum saturation and base saturation. All variables spatial correlation, indicating the number of sample sufficient to map the area under study, using geostatistical techniques. The use of geostatistics and the preparation of contour maps by kriging allow viewing of management areas of soil fertility where there are the highest and lowest levels of the chemical attributes evaluated and the development of diagnostic maps of soil fertility and fertilizer recommendation and correctives according to the variability of soil chemical attributes. Geostatistics can be used as a tool to estimate soil fertility indicators, enabling to guide the management of fertility in specific areas.

**Key-words:** geostatistics; kriging; conventional farming; precision agriculture.

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola no cerrado da região nordeste do Brasil, incorporou ao sistema produtivo solos de baixa fertilidade natural (RESENDE et al., 2014), de modo geral ácidos e pobres em cátions básicos, caracterizado principalmente pela baixa disponibilidade de fósforo e reserva insuficiente de potássio (SILVA, 2013; BOTTEGA et al., 2013).

A produtividade agropecuária é influenciada, principalmente, pelos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Portanto é necessário conhecer e quantificar a variação desses atributos, uma vez que os solos por ser sistema dinâmico e aberto, está em constante modificação (DALCHIAVON et al., 2011b; MONTANARI et al., 2015).

A utilização do sistema de cultivo convencional altera os atributos químicos do solo em graus variados, principalmente pelo manejo de corretivos e fertilizantes (NEGREIROS NETO et al., 2014). Nesse sistema as áreas cultivadas são consideradas homogêneas, não levando em conta a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, utilizando uma taxa fixa de fertilizantes e corretivos para toda a área (ZONTA et al., 2014; MATIAS et al., 2015).

Diante do avanço na agricultura começou-se a utilizar as técnicas da agricultura de precisão, na qual as dosagens de corretivos e fertilizantes são aplicadas de forma variável, baseadas no conhecimento da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo (DALCHIAVON et al., 2011a; BOTTEGA et al., 2013).

Os princípios básicos da experimentação agrícola consideram que a variabilidade do solo ocorre de forma inteiramente aleatória (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010; ZONTA et al., 2014). Diante disso as técnicas de análises geoestatísticas destacam-se por considerar que a variabilidade do solo apresenta correlação e dependência espacial, permitindo a identificação e o delineamento das relações espaciais entre os atributos do solo e a produtividade das culturas, uma vez que leva em consideração a distância na qual as amostras foram coletadas no campo (SILVA NETO et al., 2011a; 2011b).

Diante disso o manejo que vise aperfeiçoar as práticas culturais na produção e na conservação do solo, deve levar em consideração informações pontuais de solo e das culturas (LIMA et al., 2014; ZONTA et al., 2014). Com base nesse contexto, objetivou-se caracterizar e diagnosticar a variabilidade espacial dos atributos químicos em um Latossolo Vermelho distrófico no cerrado do Piauí por meio das ferramentas geoestatísticas e realizar o manejo da fertilidade do solo por meio da agricultura de precisão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Fazenda São Pedro do grupo CPM Agrícola na safra 2014/2015. A propriedade está localizada no município de Gilbués no estado do Piauí, cujas coordenadas geográficas de referências são 09°12'36,36" S e 45°21'34,10" W, com altitude média de 574 m. O clima da região é do tipo Aw (Clima Tropical Chuvoso), com temperatura média de 26,5 °C e precipitação anual de 1200 mm, com estação chuvosa nos meses de outubro a abril (LEITE et al., 2015).

O estudo foi realizado em uma área de cultivo comercial da Fazenda São Pedro com sob cultivo convencional. A área foi cultivada com arroz na safra 2011/2012 e soja nas safras 2012/2013 e 2013/2014. A correção do solo foi realizada com a aplicação de 3 toneladas de calcário calcítico em cada safra. Na última safra, além da correção foi realizado a incorporação de 1 tonelada de gesso agrícola. A aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de MAP e 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl foi realizada em cada safra.

O solo estudado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2013), com teores médios de 342 g kg<sup>-1</sup> de areia, 58 g kg<sup>-1</sup> de silte e 600 g kg<sup>-1</sup> de argila. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,20 m, em um grid de malha regular de 100 m x 60 m em uma área de 46,05 hectares com pontos distanciados perpendicularmente entre si. No total foram coletadas 100 amostras, com cada ponto georreferenciado, como forma de demarcar a área de estudo e elaborar os mapas de fertilidade do solo por meio de ferramentas geoestatísticas.

Na avaliação das características químicas do solo foram determinados: pH em H<sub>2</sub>O, P e K<sup>+</sup> disponíveis (Mehlich<sup>-1</sup>), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) e acidez potencial (H+Al) (Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>), (EMBRAPA, 2011). Com os valores obtidos nas análises do solo, calculou-se a capacidade de trocas de cátions total e efetiva (CTC<sub>T</sub> e CTC<sub>e</sub>) a pH 7,0, soma de bases (SB), porcentagem de saturação por alumínio (m%) e porcentagem de saturação por bases (V%).

Para a análise estatística dos dados, inicialmente realizou-se estudo exploratório, onde calculou-se as medidas de localização (média, mediana, mínimo e máximo), de variabilidade (coeficiente de variação) e de tendência central (assimetria e curtose) para verificar a normalidade dos atributos avaliados. A hipótese de normalidade dos

dados foi verificada com o teste de Shapiro & Wilk (1965) a nível de 5% de probabilidade. Para a análise do coeficiente de variação (CV), usou-se a classificação de Warrick & Nielsen (1980), com variabilidade baixa para valores < 12%, média para valores entre 12% < CV < 60% e alta para valores > 60%.

Para determinar a variabilidade espacial considerou-se a teoria das variáveis regionalizadas, a qual dispõe de diferentes métodos de análise de variação espacial, e uma delas é o semivariograma. Os semivariogramas foram obtidos e ajustados aos modelos experimentais linear, esférico, exponencial e gaussiano. Por meio destes modelos foi realizada a predição de cada atributo em zonas não amostradas por meio de interpolações mediante o uso da krigagem, representados em mapas de contorno. Foi realizado ainda o mapeamento das classes de diagnóstico da fertilidade do solo e posteriormente os mapas de recomendação de corretivos e fertilizantes segundo Ribeiro et al. (1999) para a cultura do milho.

A escolha dos modelos teóricos de semivariogramas foi efetivada observando-se a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O ajuste do modelo de semivariograma escalonado possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ), alcance ( $A_0$ ) e o grau de dependência espacial (GDE).

A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar conforme a equação 1.

$$GDE = \left[ \frac{C_0}{C_0 + C_1} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde: GDE = grau de dependência espacial;  $C_0$  = efeito pepita;  $C_1$  = variância estrutural;  $C_0 + C_1$  = patamar. A interpretação do grau de dependência espacial para escolha do modelo foi de acordo com a seguinte classificação: GDE < 20%, considerada dependência espacial muito baixa; 20% ≤ GDE < 40%, considerada dependência espacial baixa; 40% ≤ GDE < 60%, considerada dependência espacial média; 60% ≤ GDE < 80%, considerada dependência espacial alta; 80% ≤ GDE < 100%, considerada dependência espacial muito alta segundo a classificação utilizada por Dalchiavon et al. (2012).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos valores dos atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico na área avaliada possibilitou verificar que, em geral, os valores médios encontram-se na maioria adequados, exceto pH  $H_2O$ , acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V%) (RIBEIRO et al., 1999).

Os valores de média e mediana da maioria dos atributos químicos do Latossolo Vermelho estão próximos, evidenciando que estes apresentam ou se aproximam da distribuição normal, sendo comprovado pelo teste de normalidade de Shapiro & Wilk (1965). A ausência de normalidade em alguns dos atributos químicos do solo deve-se, provavelmente à variação natural que ocorre no processo de formação do solo. Embora a área tenha sido manejada, a variação natural continua a aparecer, uma vez que a adubação e a correção da acidez é realizada a taxa fixa, considerando média de aplicação na área total.

A variabilidade dos atributos químicos pode ser classificada em função do seu coeficiente de variação (CV). Na área estudada os CVs foram altos (CV > 60%) para os valores de  $Al^{3+}$  e m%, baixos para pH e CTC<sub>T</sub> e médios para os demais atributos químicos (Tabela 1). As variações dos atributos químicos do solo são consequências de complexas interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, provocadas pelas adubações e calagens sucessivas e irregulares com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BOTTEGA et al., 2013).

O atributo pH apresentou coeficiente de assimetria negativa (-0,562) (Tabela 1). Os demais atributos químicos do solo apresentaram distribuição assimétrica positiva. O coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria. Se o valor encontrado para esse coeficiente for zero, a distribuição é simétrica; se positivo, a distribuição é assimétrica à direita; e se negativo, é assimétrica à esquerda (ZANÃO JUNIOR et al., 2010). A maioria dos atributos apresentaram coeficientes de assimetria positivos, sendo o maior valor observado para m% (0,887).

Os coeficientes de curtose também podem ser utilizados para avaliar se os dados seguem distribuição normal, que deve ser preferencialmente nulos e pode ser aceitos valores entre +2 e -2 (NEGREIROS NETO et al. (2014). Observa-se na Tabela 1 que os valores de coeficientes de curtose ( $C_k$ ) dos atributos avaliados apresentaram-se dentro dos limites considerados como aceitáveis (-2 <  $C_k$  < +2), exceto o atributo  $K^+$  (2,427).

**Tabela 1-** Estatística descritiva dos atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico no cerrado Piauiense, Gilbués, Piauí (2016)

Atributo Químico	Média(**)	Mediana	Valor		Coeficientes			Teste W <sup>(1)</sup>
			Mínimo	Máximo	CV <sup>(2)</sup>	Cs <sup>(3)</sup>	Ck <sup>(4)</sup>	
pH H <sub>2</sub> O	4,400	4,420	3,820	4,790	4,319	-0,562	0,141	0,976*
P (mg dm <sup>-3</sup> )	14,269	13,467	3,443	35,330	46,513	0,797	0,310	0,949 <sup>ns</sup>
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	206,145	203,012	96,144	472,012	30,048	0,832	2,427	0,955 <sup>ns</sup>
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,284	3,215	1,750	5,190	18,109	0,245	0,567	0,988*
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,224	1,158	0,073	3,375	57,992	0,460	-0,301	0,966 <sup>ns</sup>
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,295	0,280	0,000	0,920	77,725	0,490	-0,392	0,936 <sup>ns</sup>
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,866	8,795	5,734	12,375	17,242	0,089	-0,463	0,989*
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,033	4,966	2,336	5,341	17,901	0,302	0,602	0,979*
CTC <sub>(T)</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	13,899	13,786	9,986	17,615	10,544	0,052	0,240	0,993*
CTC <sub>c</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,337	5,296	3,046	7,767	14,543	0,262	0,569	0,988*
V (%)	36,461	36,650	17,941	54,924	18,415	0,161	0,295	0,991*
m (%)	5,883	5,164	0,000	23,311	83,328	0,887	0,821	0,920 <sup>ns</sup>

P: fósforo; K<sup>+</sup>: potássio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC<sub>T</sub>: capacidade de troca catiônica total; CTC<sub>c</sub>: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio. <sup>(1)</sup>W: teste de normalidade de Shapiro & Wilk; <sup>(2)</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>(3)</sup>Cs: coeficiente de assimetria; <sup>(4)</sup>Ck: coeficiente de curtose; \*significativo ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk à 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup>não significativo ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk à 5% de probabilidade.

Os parâmetros de ajuste dos semivariogramas foram determinados pelas ferramentas geoestatísticas para avaliar a dependência espacial dos atributos químicos e os alcances da autocorrelação espacial, foi comparada para os diferentes atributos avaliados. No estudo dos semivariogramas o alcance é um parâmetro importante, que indica a distância máxima em que o atributo está correlacionado espacialmente, delimitando a extensão da correlação espacial entre as amostras (DALCHIAVON et al., 2012).

Diferentes valores de alcance foram encontrados para os atributos químicos avaliados. Na Tabela 2 pode-se observar que os valores do alcance obtidos variaram de 23,32 (Mg<sup>2+</sup>) a 351,04 m (K<sup>+</sup>), os quais correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada (LIMA et al., 2014; RESENDE et al., 2014). Os valores de alcance são influenciados pelas práticas agrônômicas, principalmente pela aplicação de corretivos e fertilizantes, uma vez que o objetivo é realizar a homogeneização da área de cultivo. Quanto mais homogênea é a área de cultivo, maior será o raio de correlação espacial dos atributos avaliados, ou seja, maior será o alcance. A adoção da agricultura de precisão tratando de forma pontual cada necessidade tende a uniformizar a fertilidade do solo, diminuindo da variabilidade espacial e aumentando o alcance geoestatístico.

Os modelos exponencial e gaussiano foram os que melhor se ajustaram aos semivariogramas experimentais dos atributos químicos, com exceção do pH<sub>H2O</sub>, que apresentou melhor ajuste ao modelo esférico.

**Tabela 2-** Componentes da semivariância e Grau de Dependência Espacial (GDE) dos atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico no cerrado Piauiense, Gilbués, Piauí (2016)

Atributo Químico	Semivariância			Alcance (A <sub>0</sub> )	R <sup>2</sup> ( <sup>2</sup> )	Modelo <sup>(3)</sup>	GDE <sup>(1)</sup> (%)	Classe*
	(C <sub>0</sub> ) <sup>(a)</sup>	(C <sub>1</sub> ) <sup>(b)</sup>	(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> ) <sup>(c)</sup>					
pH H <sub>2</sub> O	0,0016	0,0346	0,0362	141,20	0,868	Esf.	95,58	MA
P <sup>(4)</sup>	8,3000	42,500	50,800	89,50	0,998	Exp.	83,66	MA
K <sup>+</sup> <sup>(4)</sup>	2230,0	2231,0	4461,0	351,04	0,939	Exp.	50,01	ME
Ca <sup>2+</sup> <sup>(5)</sup>	0,2480	0,1300	0,3780	108,23	0,802	Exp.	87,96	MA
Mg <sup>2+</sup> <sup>(5)</sup>	0,0479	0,4581	0,5060	23,32	0,932	Gau.	90,53	MA
Al <sup>3+</sup> <sup>(5)</sup>	0,0061	0,0047	0,0507	60,00	0,810	Exp.	34,39	BA
H+Al <sup>(5)</sup>	0,7020	1,6680	2,3700	56,20	0,987	Exp.	70,38	AL
SB <sup>(5)</sup>	0,1390	0,714	0,8530	46,80	0,957	Exp.	83,71	MA
CTC <sub>(T)</sub> <sup>(5)</sup>	0,6010	1,3920	1,9930	60,50	0,929	Gau.	69,84	AL
CTC <sub>c</sub> <sup>(5)</sup>	0,1090	0,5510	0,6600	59,70	0,994	Gau.	83,49	MA
V (%)	8,7000	38,377	47,770	69,30	0,972	Gau.	81,52	MA
m (%)	9,7100	15,540	25,250	75,70	0,902	Exp.	61,54	AL

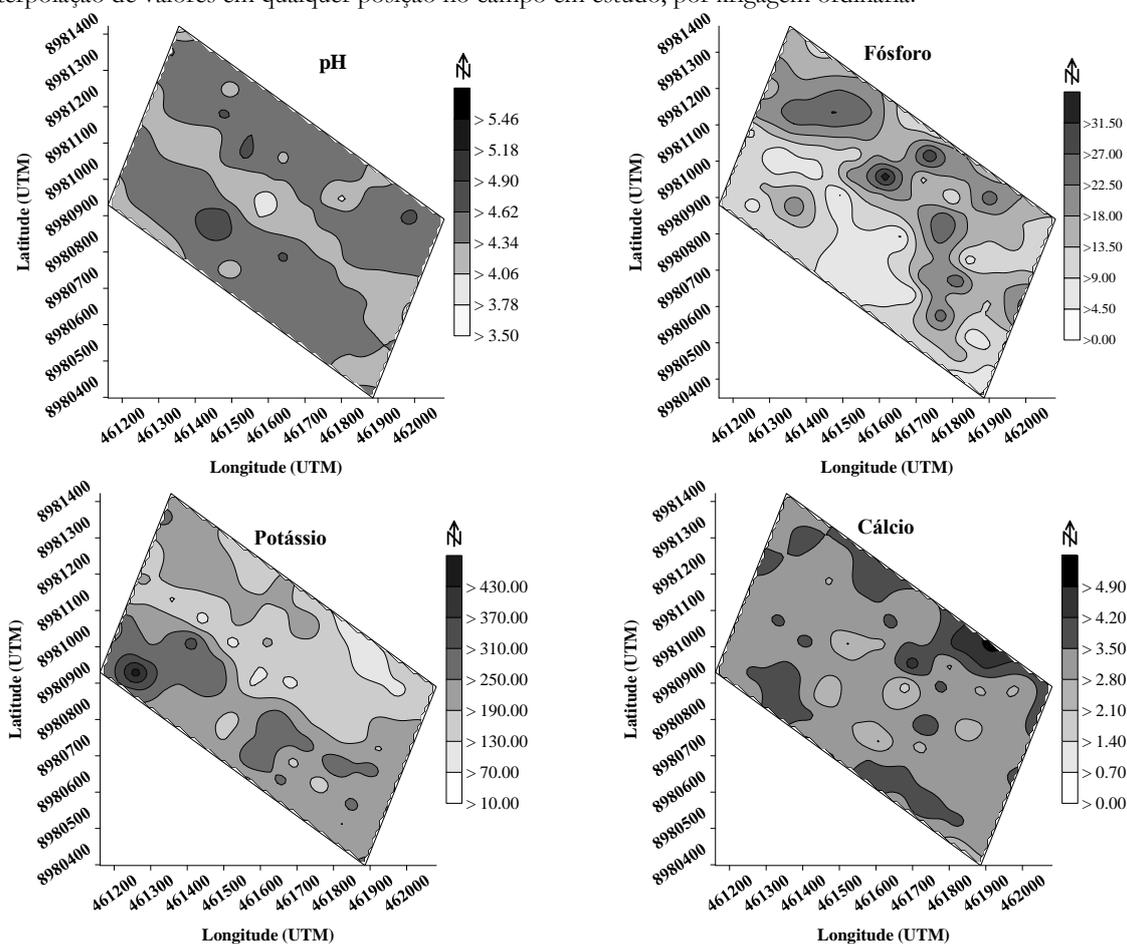
P: fósforo; K<sup>+</sup>: potássio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC<sub>T</sub>: capacidade de troca catiônica total; CTC<sub>c</sub>: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio. <sup>(1)</sup>GDE: Grau de dependência espacial – (C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>))\*100; \*Classes: MB: Muito Baixo; BA: Baixo; ME: Médio; AL: Alto; MA: Muito Alto; <sup>(2)</sup>R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; <sup>(3)</sup>Modelos experimentais: Esf: esférico; Gau: gaussiano; Exp: exponencial; Epp: efeito pepita puro. <sup>(4)</sup>Dados em mg dm<sup>-3</sup>; <sup>(5)</sup>Dados em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; <sup>(a)</sup>C<sub>0</sub>: Efeito pepita; <sup>(b)</sup>C<sub>1</sub>: Contribuição; <sup>(c)</sup>C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>: patamar.

A principal diferença entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance (DRUCK et al., 2004). Os parâmetros ( $C_0$ ) e ( $C_0 + C_1$ ) para o modelo exponencial são determinados da mesma maneira que para o esférico. O atributo que apresentou melhor ajuste ao semivariograma foi o fósforo (P) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,998.

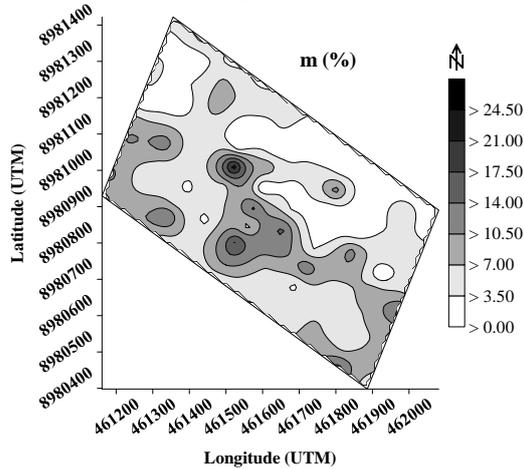
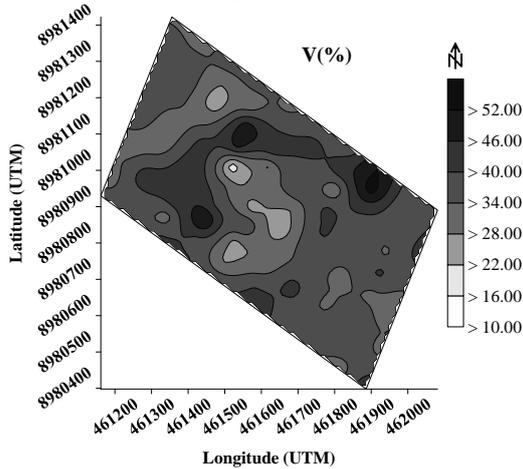
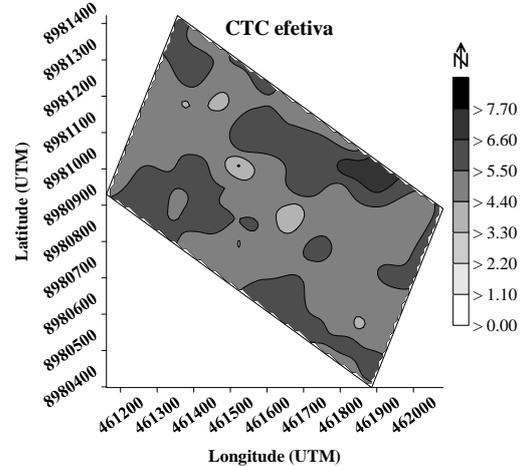
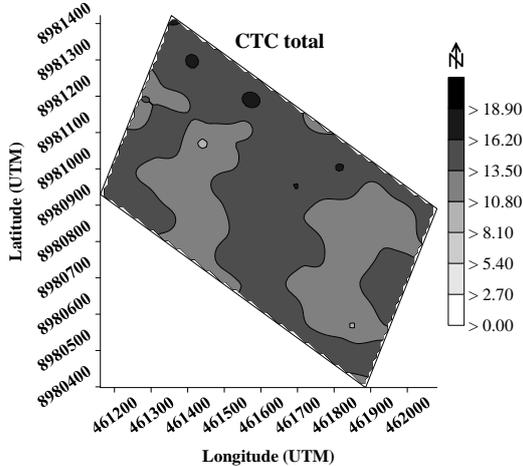
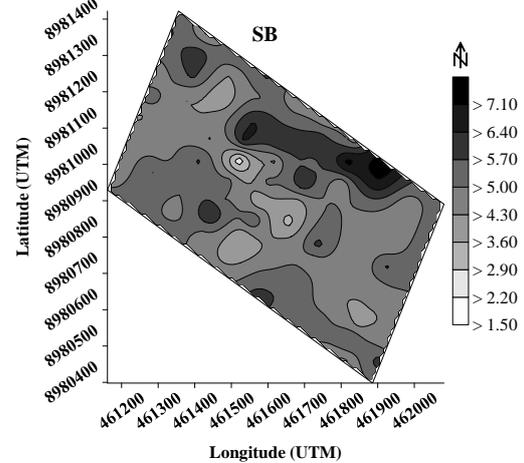
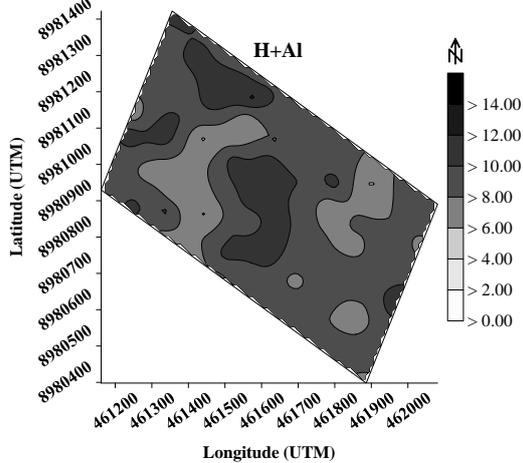
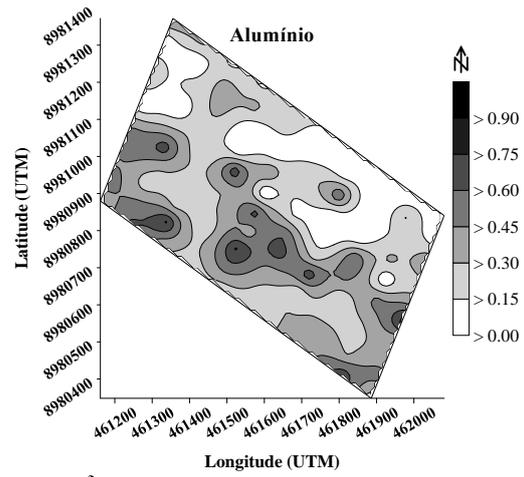
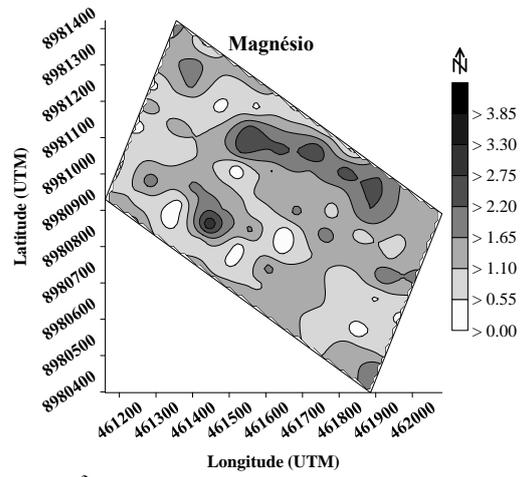
Efetuada por meio dos semivariogramas experimentais a análise geoestatística permitiu detectar diferentes escalas de variabilidade espacial, que é entendida como a tendência a que o valor de uma varável associada a determinada localização assemelhe-se mais ao valor de suas amostras vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral.

Os modelos ajustados pelos semivariogramas nas análises dos atributos químicos do solo apresentaram dependência espacial (Tabela 2), ou seja, a distribuição desses atributos no espaço não é aleatória. As relações entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0 + C_1$ ) demonstram predominância de grau de dependência espacial (GDE) muito alta seguida de alta para a maioria dos atributos químicos, exceto  $K^+$  com GDE classificado como médio e  $Al^{3+}$  classificado como baixo GDE.

A partir do ajuste dos semivariogramas, foi possível elaborar os mapas de isolinhas (Figura 1) com a interpolação de valores em qualquer posição no campo em estudo, por krigagem ordinária.



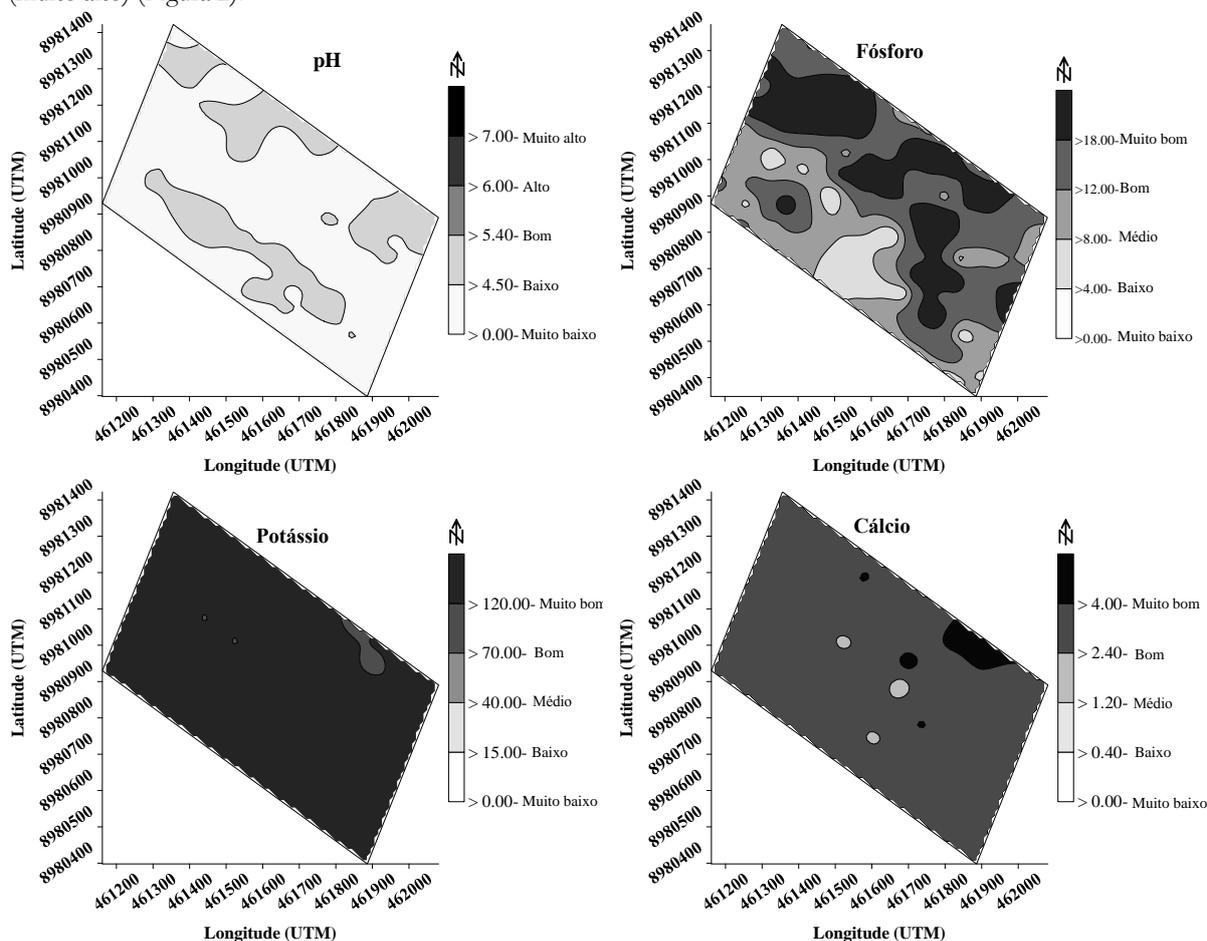
**Figura 1:** Mapas da distribuição espacial da fertilidade do Latossolo Vermelho distrófico no cerrado Piauiense, Gilbués, Piauí (2014). H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC<sub>T</sub>: capacidade de troca catiônica total; CTCe: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio (continua...)



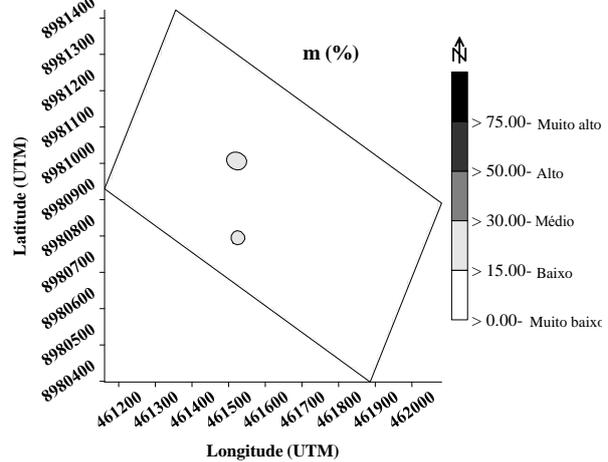
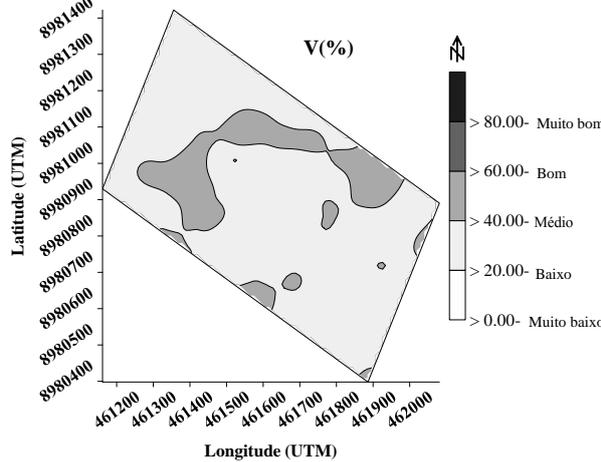
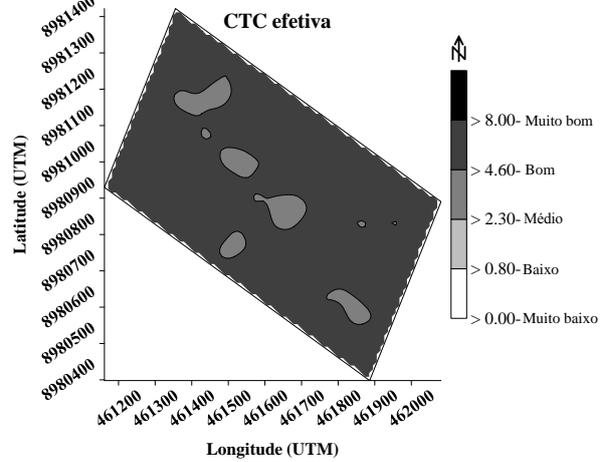
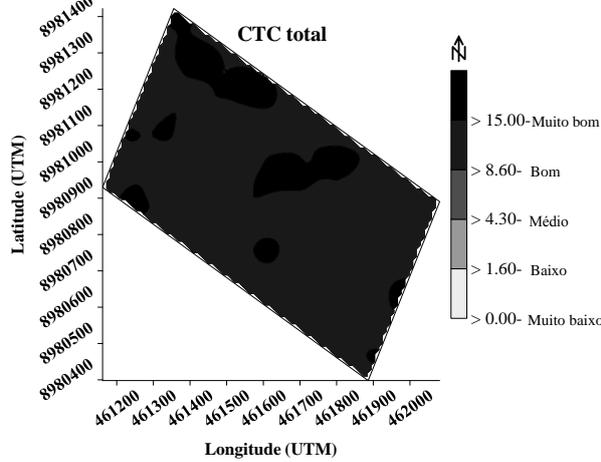
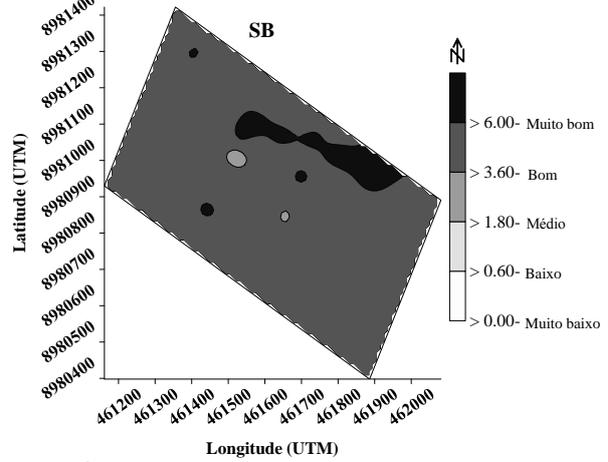
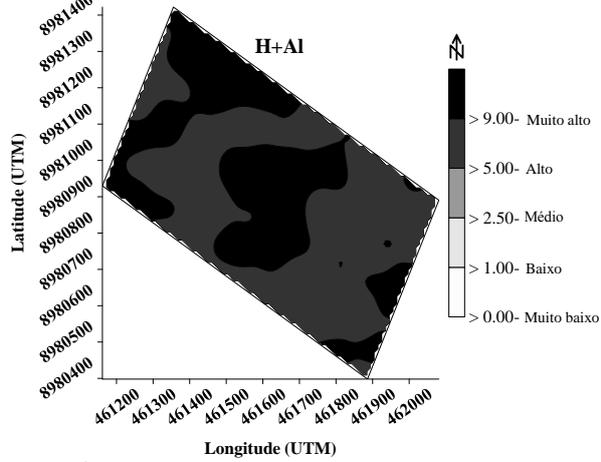
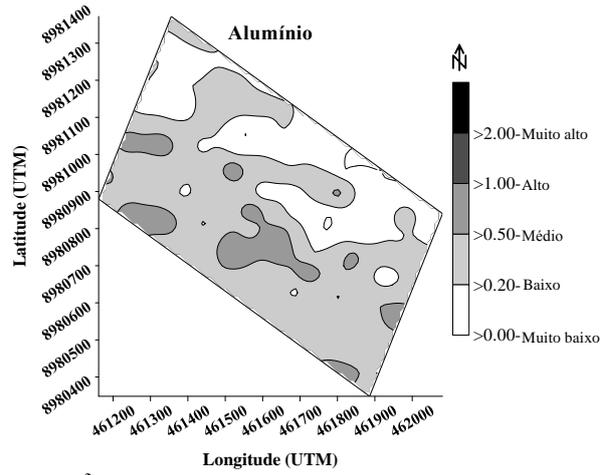
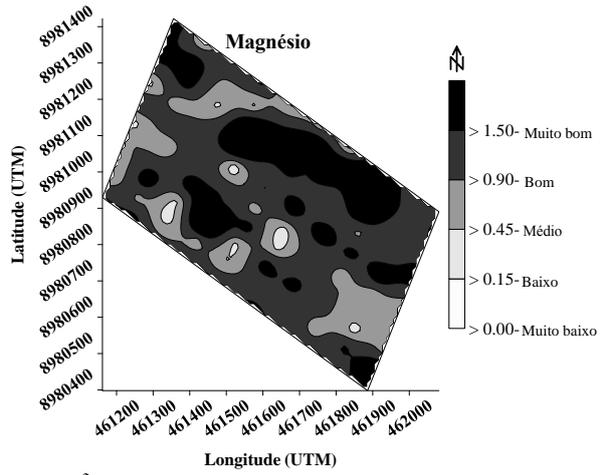
Os mapas de distribuição obtidos por meio da interpolação dos dados, pelo método da krigagem ordinária, são fundamentais na avaliação da fertilidade do solo, o que permite a visualização zonas de especificas de manejo, as quais são informações importantes para o aumento da precisão na agricultura, e possibilita a aplicação de insumos com taxas variadas, visando à homogeneização da fertilidade do solo, minimizando as chamadas manchas de fertilidade do solo.

Seguindo o método de recomendação da agricultura convencional com base nos valores médios dos atributos químicos (Tabela 1) onde a recomendação dos corretivos e fertilizantes são extrapolados para toda área, classificou-se os atributos como alto para acidez potencial (H+Al), muito bom para potássio (K<sup>+</sup>), bons ou adequados para fósforo (P), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica total (CTC<sub>T</sub>) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe), baixos para saturação por bases (V%) e alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) e muito baixos para os atributos pH e saturação por alumínio (m%).

Uma análise mais detalhada dos mapas da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade permitiu a elaboração dos mapas diagnósticos da fertilidade do solo tomando como base a classificação de Ribeiro et al. (1999) identificando as zonas onde os atributos estão muito baixos, baixo, médio, bom (alto) ou muito bom (muito alto) (Figura 2).



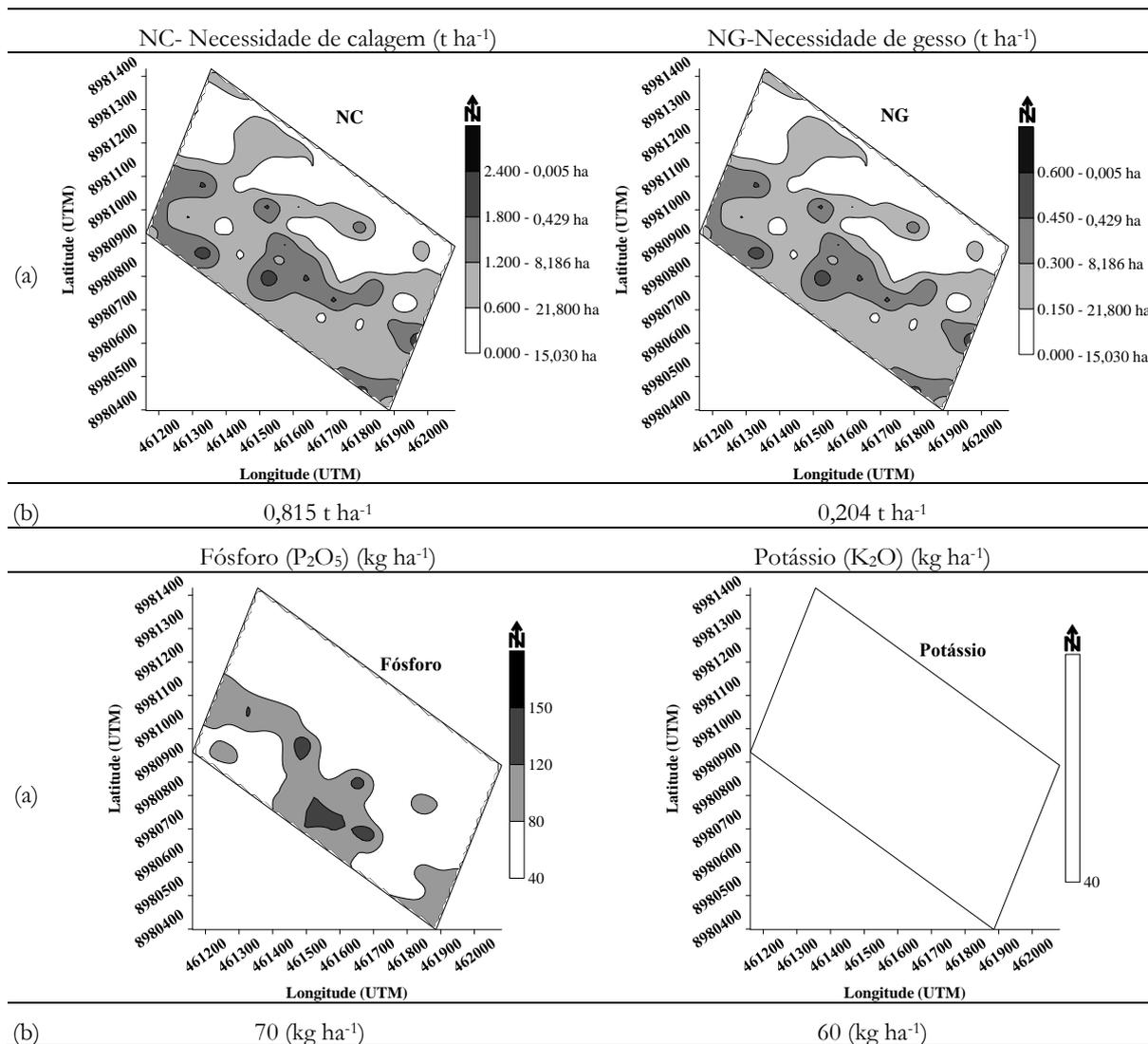
**Figura 2:** Mapas diagnósticos das classes de fertilidade do Latossolo Vermelho distrófico no cerrado Piauiense, Gilbués, Piauí (2014). H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC<sub>T</sub>: capacidade de troca catiônica total; CTCe: capacidade de troca catiônica efetiva; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio (continua...)



Os resultados observados, em especial para os valores médios dos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio podem ser explicados pelo sistema de manejo intensivo adotado na área ao longo dos 3 anos de cultivo, que foram aplicados 9 toneladas de calcário calcítico por hectare e uma tonelada de gesso agrícola na última safra, além das elevadas adubações.

Os mapas da distribuição espacial e diagnósticos da fertilidade do solo (Figuras 1 e 2) possibilitam manejo adequado da área e indicam áreas prioritárias de manejo, ou seja, aquelas que possuem deficiências nutricionais que podem vir a impossibilitar o alcance de grandes produções agrícolas. A elaboração de mapas de variabilidade espacial é de grande importância para a agricultura de precisão, uma vez que de posse desses mapas é possível realizar um planejamento e manejo de forma homogênea da fertilidade do solo, visando a padronização dos níveis de fertilidade da área a ser trabalhada.

Os mapas de recomendação de corretivos e fertilizantes (Figura 3) foram realizados de acordo com as exigências da cultura do milho que seria implantado na safra 2014/2015.



**Figura 3:** Mapas da variabilidade espacial da recomendação de fertilizantes e corretivos do Latossolo Vermelho distrófico no cerrado Piauiense, Gilbués, Piauí (2014). (a) taxa variada; (b) recomendação pela média; Recomendação realizada para a cultura do milho; NC: Necessidade de Calagem; QC: Quantidade de calcário; NG: Necessidade de Gesso; QG: Quantidade de gesso; NC=QC (SC:100%; PF: 20 cm; PRNT:100); NG=QG (SC:100%; PF: 20 cm).

Os mapas de recomendação de corretivos e fertilizantes (Figura 3) mostram que quando realizado a aplicação de forma variável de acordo com as necessidades específicas, ocorrem zonas com maior e menor exigência desses insumos. Daí a importância da adoção da agricultura de precisão no processo de gerenciamento da fertilidade do solo na produção agrícola. A aplicação pontual dos insumos além de homogeneizar a fertilidade do solo permite uma economia com aquisição dos insumos, uma vez que há um melhor controle na distribuição.

A recomendação a taxa variada por meio do mapeamento das áreas com uso de ferramentas geoestatísticas, é o princípio para aumentar a produtividade das culturas e melhorar a eficiência do manejo do solo, além de promover uma economia na quantidade de insumos aplicados.

#### 4. CONCLUSÕES

O conhecimento da variabilidade espacial com o uso de ferramentas geoestatísticas permite a adoção de técnicas que visem padronizar os valores médios dos indicadores da fertilidade do solo.

A recomendação realizada baseada na variabilidade espacial do solo reduz a quantidade de corretivos e fertilizantes aplicados.

É necessária a adoção de práticas coordenadas pelo zoneamento do manejo da fertilidade do solo de forma a promover a construção da fertilidade nas zonas de menor disponibilidade.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fazenda São Pedro, à Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi e ao Grupo NERO – Núcleo de Estudos em Resíduos Orgânicos pela parceria na execução do trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.1-9, 2013.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p. 453-461, 2012.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v. 70, n.4, p.908-916, 2011a.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.8-19, 2011b.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Análise espacial de dados geográficos**. Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília. 2004, 209 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011, 230 p.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2013, 353p.
- LETTE, L.F.C.; FERREIRA, J.S.; VELOSO, M.E.C.; MOUSINHO, F.E.P.; ROCHA JUNIOR, A.F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.394-401, 2015.
- LIMA, G.C.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, M.S.; CURI, N.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 5, p.517-526, 2014.
- MATIAS, S.S.R.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; ANDRADE, F.R.; BAPTISTEL, A.C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.9, n.1, p.17-26, 2015.
- MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L.H.; CORREA, A.R.; OLIVEIRA, I.S.; QUEIROZ, H.A.; TOMAZ, P.K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.385-396, 2015.
- NEGREIROS NETO, J.V.; SANTOS, A.C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D.J.A.T.; DARONCH, D.J.; DOTTO, M.A.; ARAÚJO, A.S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.1, p.193-204, 2014.
- RESENDE, J.M.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; DANTAS, J.S.; SIQUEIRA, D.S.; TEIXEIRA, D.B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1077-1090, 2014.

- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999, 359 p.
- SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B. An analyze of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, n. 3/4, p.591-611, 1965.
- SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LEITE, R.L.L.; DIM, V.P.; CRUZ, R.S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D.N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.2, p.541-552, 2011a.
- SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; SILVA, J.E.C. Variabilidade espacial da fertilidade de neossolo quartzarênico em função da substituição do cerrado por pastagem. **Engenharia na Agricultura**, v.19, n.4, p. 334-347, 2011b.
- SILVA, J.M. Análise espacial de atributos físicos em um Latossolo cultivado em plantio direto. **Engenharia Ambiental**, v.10, n.3, p. 27 -38, 2013.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., (Ed.) Applications of soil physics. New York: Academic Press. p. p. 319-344, 1980.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; CARVALHO-ZANÃO, M.P.; GUIMARÃES, E.D. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.429-438, 2010.
- ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFETTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.595-602, 2014.

**UNEMAT**  
Universidade do Estado de Mato Grosso



Universidade do Estado de Mato Grosso

Campus I - Rod. MT 208, KM 147 - Jardim Tropical - Fone: +55(66) 3521-2041

Revista de Ciências Agroambientais (ISSN 1677-6062)