



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA



JOSEANE RODRIGUES SOUSA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR**

CHAPADINHA-MA

2016

JOSEANE RODRIGUES SOUSA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal do Maranhão, Centro de
Ciências Agrárias e Ambientais, para a obtenção do
título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira

CHAPADINHA-MA

2016

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo (a) autor(a). Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Rodrigues Sousa, Joseane.

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR / Joseane Rodrigues Sousa. - 2016.

28 p.

Orientador(a): Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira.

Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2016. 1. Agricultura de precisão. 2. Geoestatística. 3. Manejo do solo.

I. Machado Siqueira, Prof. Dr. Glécio. II. Título.

DEDICO

A Deus, minha família, amigos e professores.

JOSEANE RODRIGUES SOUSA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal do Maranhão, Centro de
Ciências Agrárias e Ambientais, para a obtenção do
título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira (Orientador)
Doutor em Engenharia para o Desenvolvimento Rural
Universidade de Santiago de Compostela – USC

Mayanna Karlla Lima Costa
Mestre em Ciência Animal
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Ana Luiza Privado Martins
Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas
Universidade Federal do Maranhão –UFMA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo seu infinito amor por mim,

Agradeço aos meus pais José da Silva Sousa e Maria das Dores Rodrigues Sousa pelo incentivo e por sonharem junto comigo,

Agradeço aos meus irmãos Gabriela Rodrigues e Daurivane Rodrigues, meus exemplos de pessoa e grandes incentivadores,

Agradeço a toda Turma de Agronomia 2012.1 pela acolhida e apoio nesta etapa tão importante em minha vida,

Agradeço a meus amigos Sem Fronteiras Lauanny Maria, Rhonyele Maciel e Rhaylson por todo o apoio,

Agradeço de forma especial ao professor Glécio Machado Siqueira que me orientou nesse trabalho e por toda sua colaboração em minha formação,

Agradeço imensamente a Mayanna Karlla pela paciência e por todo apoio prestado a mim para que eu concluísse este trabalho,

Enfim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros estatísticos das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m.	17
Tabela 2: Parâmetros estatísticos das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.	18
Tabela 3: Parâmetros de ajuste de semivariograma para as propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m.	20
Tabela 4: Parâmetros de ajuste de semivariograma para as propriedades químicas do solo na profundidade de 0,2-0,4 m.	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa topográfico e esquema de amostragem com 100 pontos	14
Figura 2: Semivariogramas das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).....	21
Figura 3: Semivariogramas das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,2-0,4 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).....	22
Figura 4: Mapas de variabilidade espacial das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).	23
Figura 5: Mapas de variabilidade espacial das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,2-0,4 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).	24

Sumário

.1.0 INTRODUÇÃO	11
2.0 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos.....	13
3.1 Descrição da área experimental.....	14
3.2 Determinações analíticas a serem efetuadas	15
3.2.1 Análise química do solo.....	15
3.3 Análise dos dados.....	15
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
.....	24
5.0 CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS.....	26

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Joseane Rodrigues Sousa (1), Glécio Machado Siqueira (1)

- (1) Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA), BR 222 Km 04 s/n, CEP 65500-000 Chapadinha, MA. E-mail: joseane_rodrigues@outlook.com, gleciosiqueira@hotmail.com

RESUMO

A importância da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para o Brasil, bem como para o estado do Maranhão, é inquestionável, sendo a principal matéria-prima para a produção de etanol, além da sua destinação para a produção do açúcar e alimentação animal. O conhecimento de determinados atributos do solo associados à resposta em parâmetros de produtividade da cana-de-açúcar pode possibilitar aplicação racional, localizada e individualizada dos insumos, com resultados econômicos ambientais garantidos, sendo fundamental para a tomada de decisão mais adequada quanto ao preparo e manejo do solo visando à obtenção de maiores produtividades. Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos em cultura de cana-de-açúcar cultivada na Amazônia Legal. O estudo foi realizado na Usina Itajubara, localizada no município de Coelho Neto (Maranhão), onde foram instalados 100 pontos de amostragem para coleta dos dados químicos de solo e da produtividade da cana-de-açúcar. Os atributos químicos estudados foram: pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), H+Al e Sódio (Na). Os dados foram inicialmente analisados por meio da estatística descritiva para determinação dos principais momentos estatísticos (média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose) e posteriormente analisados por meio de ferramentas de geoestatística, com a construção de semivariogramas e os mapas de isolinhas. Os valores de coeficiente de variação (CV%) mostraram que na primeira camada avaliada apenas os dados de pH obteve um baixo valor de CV (9,1%), os conteúdos de Ca, Mg e H+Al apresentaram valores médios de CV e as demais propriedades apresentaram valores altos. O modelo matemático Gaussiano foi o que melhor se ajustou aos dados que apresentaram dependência espacial, tanto na primeira, como na segunda profundidade, apenas a MO em ambas as camadas foi ajustada com o modelo esférico. Os Valores de alcance foram maiores na profundidade de 10-20, com valor máximo de 130 para a MO, porém esta camada foi a que obteve mais atributos com efeito pepita puro.

Palavras-chave: Geoestatística. Agricultura de precisão. Manejo do solo.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL CULTIVATED WITH SUGARCANE

ABSTRACT

The importance of the sugarcane (*Saccharum* spp.) for Brazil, as well as for the state of Maranhão, is unquestionable, being the main raw material for the ethanol production, in addition to its destination for the sugar production and animal feed. The knowledge of determined soil attributes associated to the response in parameters of productivity of sugarcane may enable rational application, localized and individualized of supplies, with environmental economic results guaranteed, being fundamental for the decision making more suitable such the soil preparation and management aiming at obtaining high yields. Therefore, the purpose of this study is to characterize the spatial variability of chemical attributes on sugarcane cultivated in the legal Amazon. The study was carried out in the Itajubara plant located in the municipality of Coelho Neto (Maranhão), where were installed 100 sampling points for collecting the soil chemical data and the sugarcane productivity. The chemical attributes studied were: pH, organic matter (OM), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), H+Al, sodium (Na). The data were initially analyzed through descriptive statistics for the determination of the main statistical moments (mean, variance, standard deviation, coefficient of variation, asymmetry and kurtosis and subsequently analyzed through geostatistics tools, with the construction of semivariograms and the soil maps. The values of coefficient of variation (CV%) showed that in the first layer evaluated only the data of pH obtained a low value of CV (9,1%) the contents of Ca, Mg e H+Al presented medium values of CV and the other properties presented high values. The mathematical model of Gaussiano was the best that adjusted itself to the data that presented spatial dependency, both in the first, and in the second depth, only the OM on both layers were adjusted with the spherical model. The values of range were higher in the depth of 10-20, with maximum values of 130 to the OM, but this layer was the one that obtained more attributes with effect pure nugget.

Key words: Geostatistics. Precision agriculture. Soil management

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente o país com maior potencial de produção de cana-de-açúcar, sendo responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo, com aproximadamente 33% de todo o montante produzido no mundo, devendo alcançar taxa média de aumento da produção de 3,25%, até 2018/19, e colher 47,3 milhões de toneladas do produto, o que corresponde a um acréscimo de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008 (MAPA, 2014).

Apesar da importância da cana-de-açúcar para a economia do país, atualmente assiste-se a um extenso debate sobre as vantagens e desvantagens da expansão da produção de etanol no Brasil (Macedo, 2005), uma vez que apesar do uso de etanol como combustível ser defendido por reduzir as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, os métodos e processos de produção utilizados especialmente na etapa agrícola como a queima da palhada e utilização inadequada de fertilizantes, são responsáveis por impactos ambientais potenciais, causados a qualidade do ar, do clima e da água (Galdos, et al., 2013). Sendo assim, a indústria de produção do etanol no Brasil tem atraído o interesse de cientistas, produtores e governadores do mundo inteiro.

Na região de transição entre a amazônica e o cerrado, a manutenção da fertilidade dos solos tem sido o maior desafio dos que se dedicam à implantação de sistemas agrícolas sustentáveis, sendo que a compreensão correta da dinâmica do uso da terra na Amazônia brasileira é um passo importante para uma melhor adequação dos sistemas de manejo, principalmente de monocultivos, como a cana-de-açúcar.

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas e promover maior sustentabilidade é a agricultura de precisão (AP), que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (Siqueira et al., 2015).

Em casos de cultivos altamente tecnificados, como de cana-de-açúcar, é fundamental ter o conhecimento da variabilidade espacial de atributos de solo e planta, o que pode contribuir para redução dos custos de produção.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo torna-se fundamental para otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes e reduzir a degradação ambiental provocada pelo excesso destes, melhorando dessa maneira o controle do

sistema de produção das culturas, uma vez que pequenas alterações podem levar a grandes diferenças de produtividade (Silva et al., 2007; Artur et al., 2014).

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo com cultura de cana-de-açúcar cultivada na Amazônia Legal.

2.2 Específicos

- ✓ Caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo [pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), H+Al e Sódio (Na)] do solo.

- ✓ Determinar correlações lineares e espaciais entre os atributos químicos do solo.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

A área de estudo está localizada na Usina Itajubara no município de Coelho Neto, localizado na Mesorregião do Leste Maranhense e na microrregião de Coelho Neto. A área de estudo possui aproximadamente 6,85 ha, irrigada por meio de pivot linear nos períodos de precipitação escassa, cujas coordenadas geográficas são: 04° 15' 25" S e 43° 00' 46" O. O solo da área de estudo é um Latossolo Vermelho, cultivado com cana-de-açúcar desde 1980 com colheita manual, em setembro de 2014 a área foi renovada e agricultada com a cultivar RB92579, sendo a colheita realizada com queima da cana-de-açúcar.

Foram instalados 100 pontos de amostragem distribuídos aleatoriamente para coleta dos dados de solo (atributos biológicos, físicos e químicos) e da produtividade da cana-de-açúcar, sendo as amostras de solo coletadas em duas camadas 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade (Figura 1).

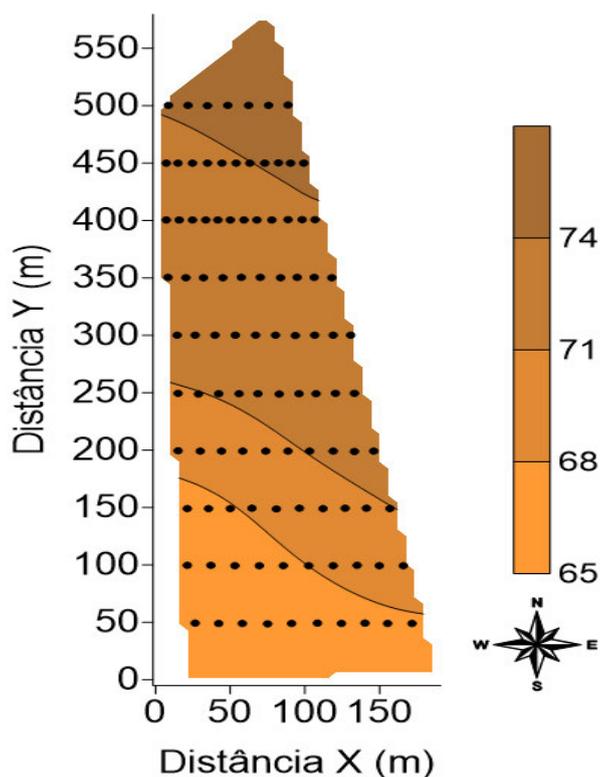


Figura 1: Mapa topográfico e esquema de amostragem com 100 pontos

As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão. Os dados foram inicialmente analisados por meio da estatística descritiva para determinação dos principais momentos estatísticos (média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose). E em seguida foram analisados por meio de ferramentas de

geoestatística no Laboratório de Agricultura de Precisão da UFMA, onde foram determinadas as correlações espaciais e uso de técnicas de interpolação por krigagem, sem tendência e com variância mínima. Os mapas de variabilidade espacial foram construídos por meio do software Surfer 11.0 no Laboratório de Agricultura de Precisão da UFMA e depois sobrepostos por meio de ferramentas de SIG – Sistemas de Informações Geográficas no Laboratório de Engenharia Rural da USC, utilizando o software ArcGis.

3.2 Determinações analíticas a serem efetuadas

3.2.1 Análise química do solo

Após a coleta do solo da área, as amostras foram secas em estufa a 105 °C durante 24 h e peneiradas em malha de 2 mm, para a determinação das propriedades químicas do solo. As propriedades (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na) foram determinadas no Laboratório de Física e Química do Solo da Universidade Estadual do Maranhão- UEMA. A matéria orgânica (MO, g dm⁻³) será determinada por oxidação úmida e leitura colorimétrica. O pH será determinado em solução de 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂. A acidez potencial (H+Al) será estimada por meio de valores de pH de uma suspensão de solo em solução-tampão (RAIJ et al., 2001).

3.3 Análise dos dados

Para verificar a variabilidade espacial das variáveis, os resultados foram analisados através de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas, descritos por Vieira (2000), partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e calculados: valor mínimo, valor máximo, média, desvio padrão, e os coeficientes de variação (CV), assimetria e curtose. O CV foi classificado segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixo ($CV \leq 12$), moderado ($12 < CV < 62$) e alto ($CV \geq 62$). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KOLMOGOROV & SMIRNOV, 1933) a 1 % de significância utilizado o programa SURFER® versão 11.0.

Os resultados do trabalho foram expressos em forma de mapas de variabilidade espacial com o método de interpolação por krigagem, que segundo Vieira et al. (1991), garante que a construção dos mapas seja a melhor possível, pois as estimativas são feitas sem tendência e com variância mínima. O programa SURFER foi utilizado para manipulação e visualização da distribuição espacial, através da construção de mapas de isolinhas das variáveis em função da coordenada geográfica.

Modelos matemáticos foram ajustados aos semivariogramas, os quais permitiram visualizar a estrutura de variação espacial das variáveis. Os critérios e procedimentos para ajuste do modelo do semivariograma foram feitos conforme Vieira et al. (2000). Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os parâmetros do semivariograma: a) efeito pepita (C_0), que é o valor de γ quando $h=0$; b) alcance da dependência espacial (a), que é a distância em que $\gamma(h)$ permanece aproximadamente constante, após aumentar com o aumento de h ; c) patamar (C_0+C_1) que é o valor de $\gamma(h)$ a partir do alcance e que se aproxima da variância dos dados, se ela existir. Uma maneira bastante ilustrativa e eficiente de expressar a dependência espacial com apenas um parâmetro foi utilizando o grau de dependência espacial (GD), que é a proporção da variância estrutural (C_1) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros referentes à análise descritiva dos dados para cada atributo químico (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na) amostrados na camada 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m de profundidade do solo estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Os valores de média e mediana da maioria dos atributos químicos do solo em ambas as profundidades avaliadas estão próximos, sugerindo que os mesmos apresentam ou se aproximam da distribuição normal, portanto, medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (Cambardella et al., 1994). Os valores de coeficiente de variação (CV%) mostraram que na primeira camada avaliada apenas os dados de pH obteve um baixo valor de CV (9,1%), os conteúdos de Ca, Mg e H+Al apresentaram valores médios de CV e as demais propriedades apresentaram valores altos de acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980). Na segunda camada apenas os valores de P apresentaram um alto valor de CV de 201%, ficando as demais propriedades com valores médios.

Tabela 1: Parâmetros estatísticos das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m.

Variável	Uni.	N	Mín.	Máx.	Média	Variância	CV	Assimetria	Kurtose	D
M.O	g dm ⁻³	99	3.40	146.60	16.01	367.54	119.72	4.71	25.667	0.32Ln
pH		99	3.80	6.35	5.23	0.23	9.10	-0.047	-0.068	0.047n
P	mg dm ⁻³	99	3.40	146.60	17.78	395.47	111.85	3.996	20.284	0.237Ln
K		99	0.62	34.62	4.97	11.02	66.75	7.405	66.033	0.263Ln
Ca		99	7.00	41.00	18.06	54.51	40.88	1.157	1.036	0.145n
Mg		99	0.00	42.00	12.84	45.97	52.81	1.071	3.274	0.159n
H+Al	mmol _c dm ⁻³	99	7.58	78.60	18.51	76.87	47.37	3.471	21.764	0.129n
Na		99	1.70	66.52	8.05	40.91	79.46	7.943	72.738	0.279

N: número de medidas; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo; CV: coeficiente de variação (%); D: desvio máxima em relação a distribuição de frequência normal por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 1 %; n: distribuição de frequência normal; Ln: distribuição de frequência lognormal.

Tabela 2: Parâmetros estatísticos das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.

Variável	Uni.	N	Min.	Máx.	Média	Variância	CV	Assimetria	Kurtose	D
M.O	g dm ⁻³	99	4.8	25.7	10.67	13.31	34.18	1.579	3.427	0.161n
pH		99	4.38	6.53	5.36	0.27	9.65	0.142	-0.72	0.066n
P	mg dm ⁻³	99	3.7	495.3	25.68	2674.03	201.35	7.9	70.883	0.335Ln
K		99	1.67	25.59	4.60	6.11	53.73	6.327	53.415	0.195Ln
Ca		99	8	37	18.94	43.75	34.92	0.622	-0.185	0.113n
Mg		99	0	41	12.93	38.15	47.77	1.785	6.351	0.142n
H+Al	mmol _c dm ⁻³	99	9.26	54.36	19.86	33.65	29.21	2.756	12.872	0.156n
Na		99	4.04	38.04	7.69	12.45	45.91	6.603	56.468	0.214Ln

N: número de medidas; Mfn.: valor mínimo; Máx.: valor máximo; CV: coeficiente de variação (%); D: desvio máxima em relação a distribuição de frequência normal por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 1 %; n: distribuição de frequência normal; Ln: distribuição de frequência lognormal.

No trabalho de Souza et al. (2004) os menores valores de CV foram observados para o pH e a matéria orgânica pela distribuição mais uniforme na área avaliando profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho em semeadura direta. Grego et al. (2010) também observaram os menores valores do CV para o pH e MO e os maiores valores para o K e P na mesma área de estudo na profundidade de 0-20, semelhante ao observado neste experimento.

Nas camadas de 0-10 e 10-20 cm os conteúdos de P e K apresentaram distribuição de frequência log normal (Ln) por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 1 % (D, Tabela 1 e 2), acompanhados de Na, porém apenas na camada 10-20, as demais propriedades estudadas (MO, pH, P, K, Ca, H+Al) apresentaram distribuição de frequência normal (n), Para Isaaks & Srivastava (1989) e Cressie (1991) os dados não precisam de distribuição de frequência normal para utilizá-los na geoestatística, basta não apresentar valores extremos de assimetria para não errar na estimativa do ponto amostral.

O valor médio do conteúdo de matéria orgânica (MO, g dm⁻³) no solo da área de estudo foi de 16 e 10 g dm⁻³ para a 1^o e 2^o profundidade, respectivamente. Estes valores são considerados baixos do ponto de vista de qualidade do solo, porém, normalmente quando comparado os teores de MO em solo com cultivo e uma mata, por exemplo, os valores serão sempre maiores na mata, por conta do aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica estabilizada devido ao desequilíbrio ocasionado pelo cultivo, neste caso a cana-de-açúcar. Lema (1998) descreve a matéria orgânica

como um fator de qualidade do solo que contribui indiretamente para sua fertilidade. Fuentes Yagüe (2002) reporta que um dos fatores mais importante na avaliação da matéria orgânica, além do seu teor, é a velocidade com que a mesma se transforma e reage no solo.

O valor médio de pH nas duas profundidades foi de 5,3%, valor considerado de baixa acidez, segundo a classificação de RAIJ et al. (1997) para o pH em CaCl₂. Em ambas profundidades o pH teve um baixo valor de variância com 0,23 e 0,27 para 1° e 2° camadas, respectivamente. De acordo com os mapas de variabilidade espacial (Figuras 4 e 5), os maiores valores de pH estão concentrados na camada inferior da área de estudo, para as duas profundidades.

Nas tabelas 4 e 5 estão descritos os parâmetros de ajuste de semivariogramas dos atributos químicos do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm do solo, respectivamente.

O grau de dependência espacial (GD, %) demonstra que a maioria das propriedades apresentaram um moderado grau de dependência espacial entre as amostras, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994).

O modelo matemático Gaussiano foi o que melhor se ajustou aos dados que apresentarão dependência espacial, tanto na primeira, como na segunda profundidade, apenas a MO em ambas as camadas foi ajustada com o modelo esférico. Carvalho et al. (2002), Carvalho et al. (2003), Montanari et al. (2005), Ortiz (2005) e Siqueira et al. (2008) relatam que o modelo esférico é o que melhor se ajusta as propriedades de solo e planta.

Os valores de alcance na profundidade de 0-10 cm tiveram uma variação de 35 a 85, o menor valor foi observado para o K e o maior para o pH, enquanto na profundidade de 10-20, esta variação foi de 33 a 130, sendo o menor observado para o Na e o maior para a MO. De acordo com Trangmar et al. (1985) o alcance é um parâmetro do semivariograma de extrema importância na interpolação dos pontos por krigagem, pois define o raio dos pontos na interpolação e o menor erro na estimativa dos dados são obtidos com valores altos de alcance. Foi observado efeito pepita puro na profundidade 10-20 para os atributos pH, P, Mg e H+Al.

Tabela 3: Parâmetros de ajuste de semivariograma para as propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m.

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	GD (%)
MO	Esférico	1,5	470	75	0,32
pH	Gaussiano	0,055	0,16	85	25
P	Gaussiano	32	530	76	5,7
K	Gaussiano	0,06	13	35	0,46
Ca	Gaussiano	18	27	69	40
Mg	Gaussiano	22	28	42	44
H+Al	Gaussiano	14	50	65	21,8
Na	Gaussiano	1,5	3,8	65	3,8

C₀: efeito pepita; C₁: variância estrutural; a: alcance; GD: grau de dependência espacial.

Tabela 4: Parâmetros de ajuste de semivariograma para as propriedades químicas do solo na profundidade de 0,2-0,4 m.

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	GD (%)
MO	Esférico	0,001	35,00	130,00	13,51
pH			Efeito pepita puro		
P			Efeito pepita puro		
K	Gaussiano	13,6	25	66	35,23
Ca	Gaussiano	11	40	120,00	21,56
Mg			Efeito pepita puro		
H+Al			Efeito pepita puro		
Na	Gaussiano	1,5	12	33	11,11

C₀: efeito pepita; C₁: variância estrutural; a: alcance; GD: grau de dependência espacial.

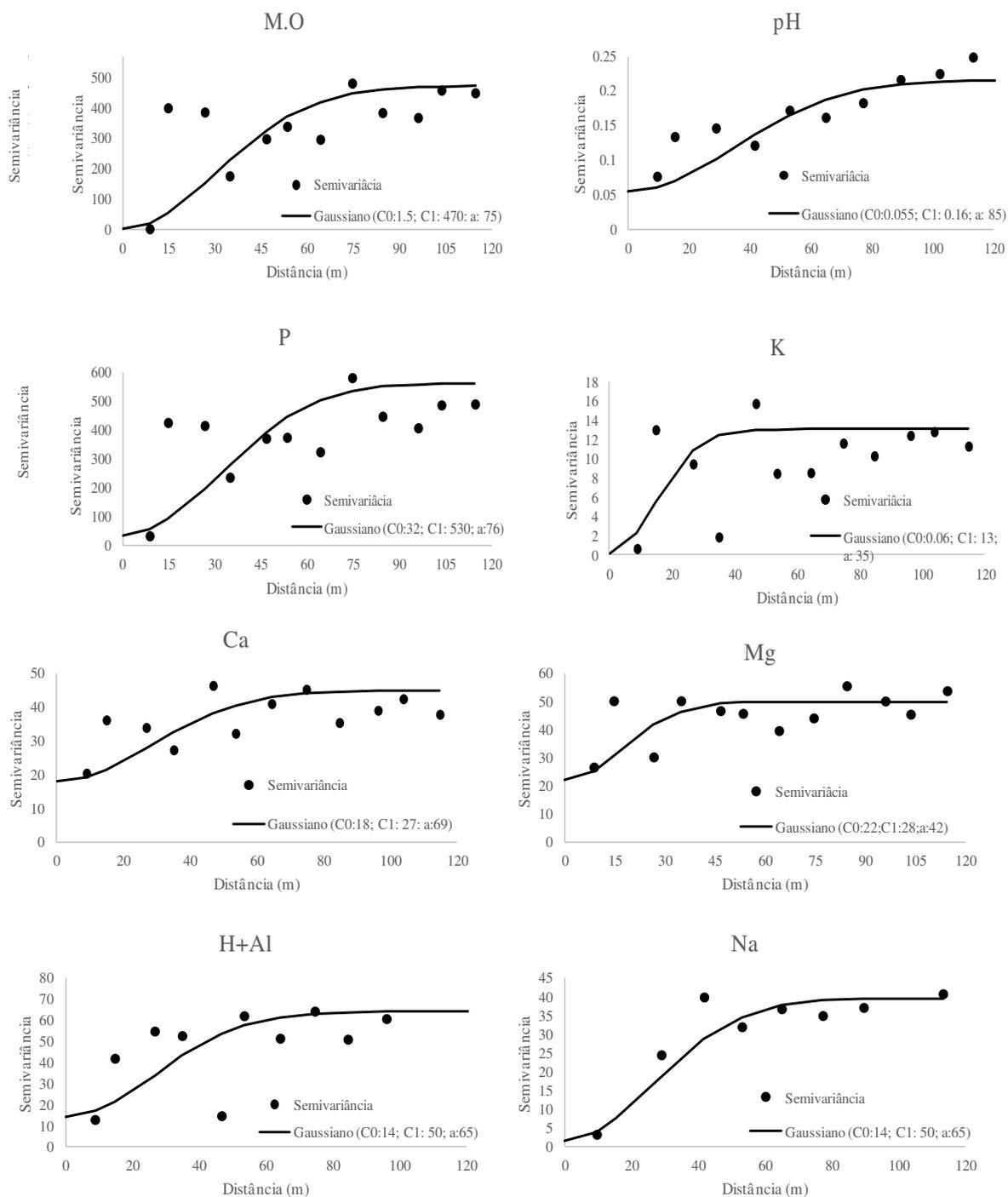


Figura 2: Semivariogramas das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).

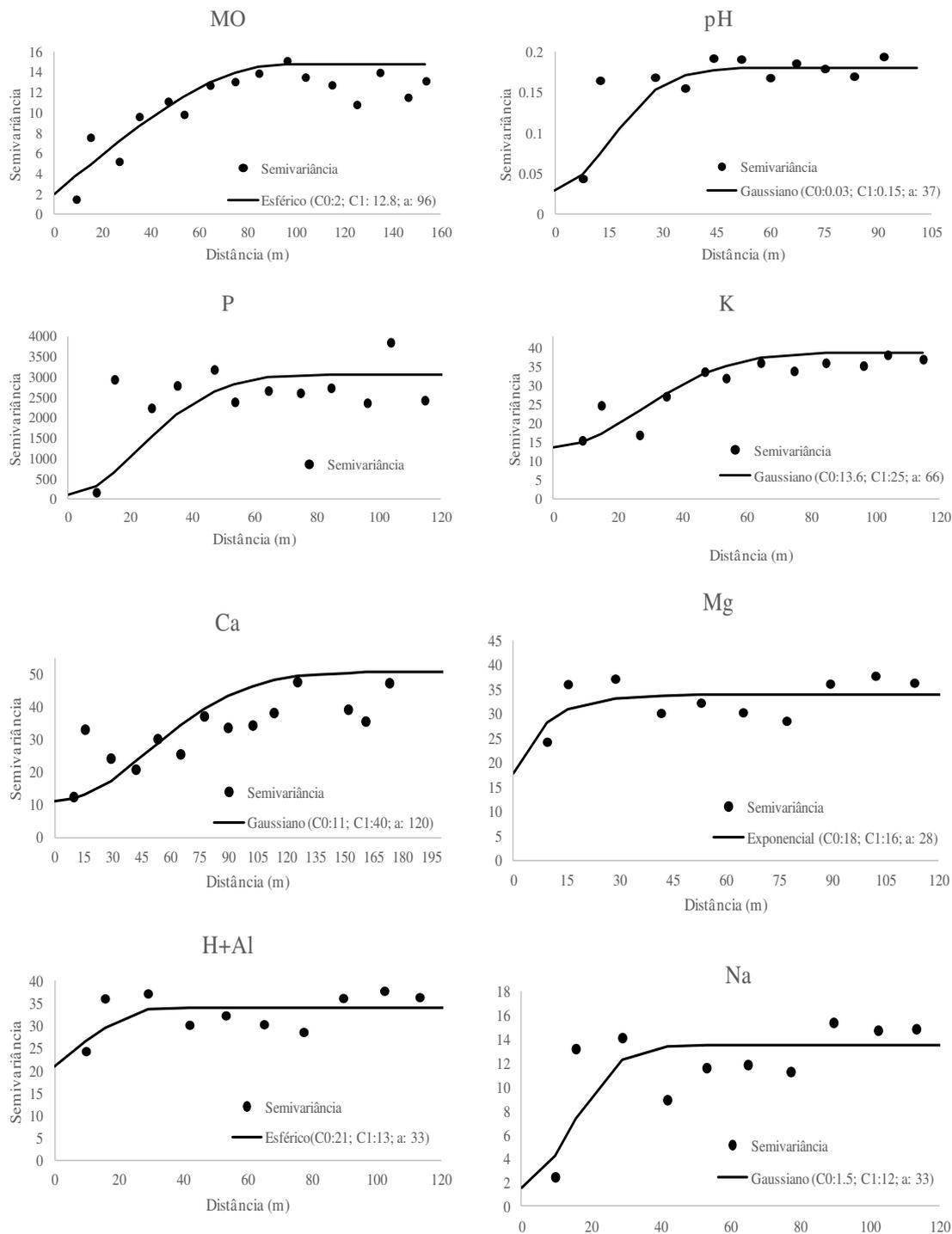


Figura 3: Semivariogramas das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,2-0,4 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).

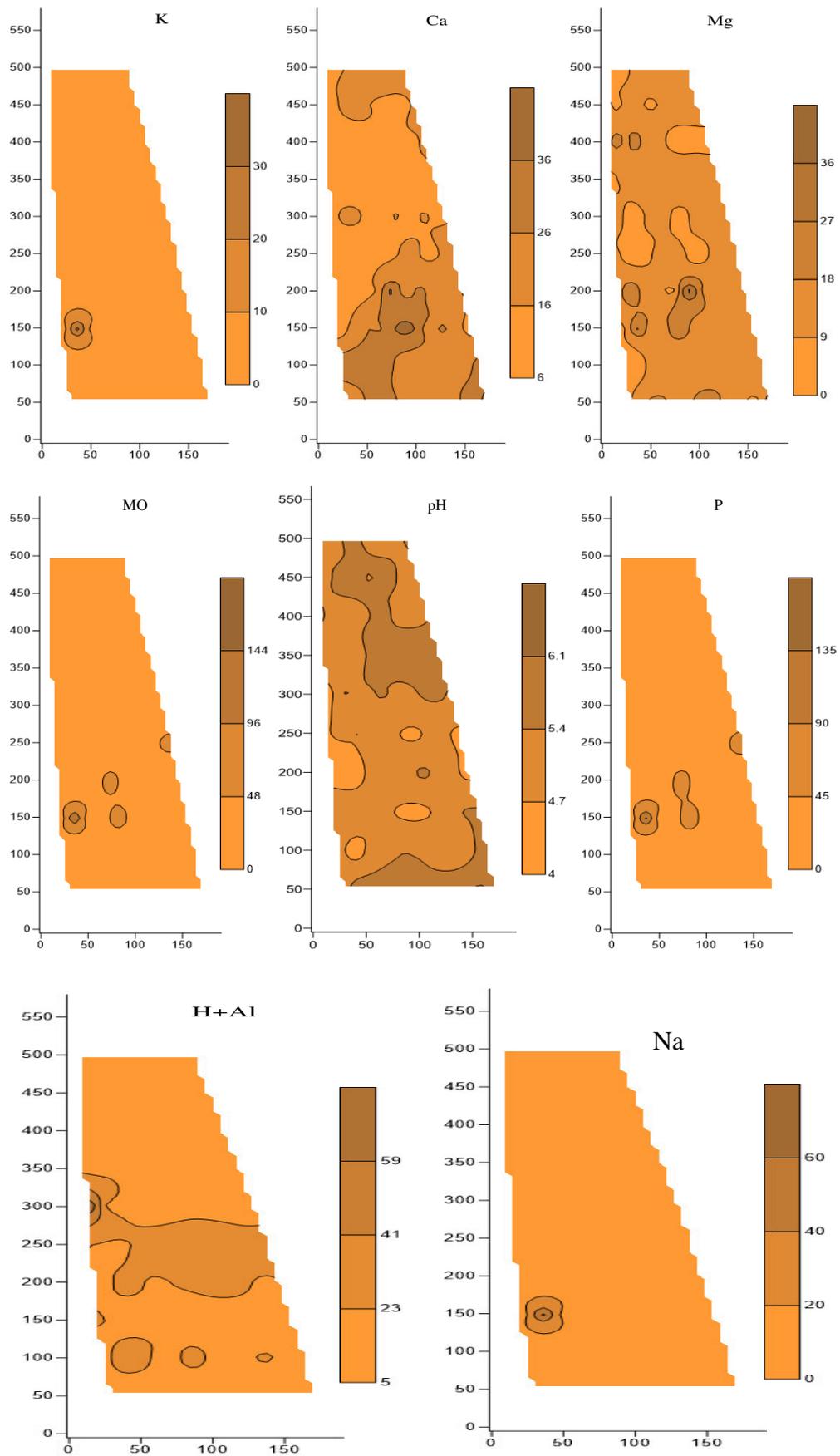


Figura 4: Mapas de variabilidade espacial das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,0-0,2 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).

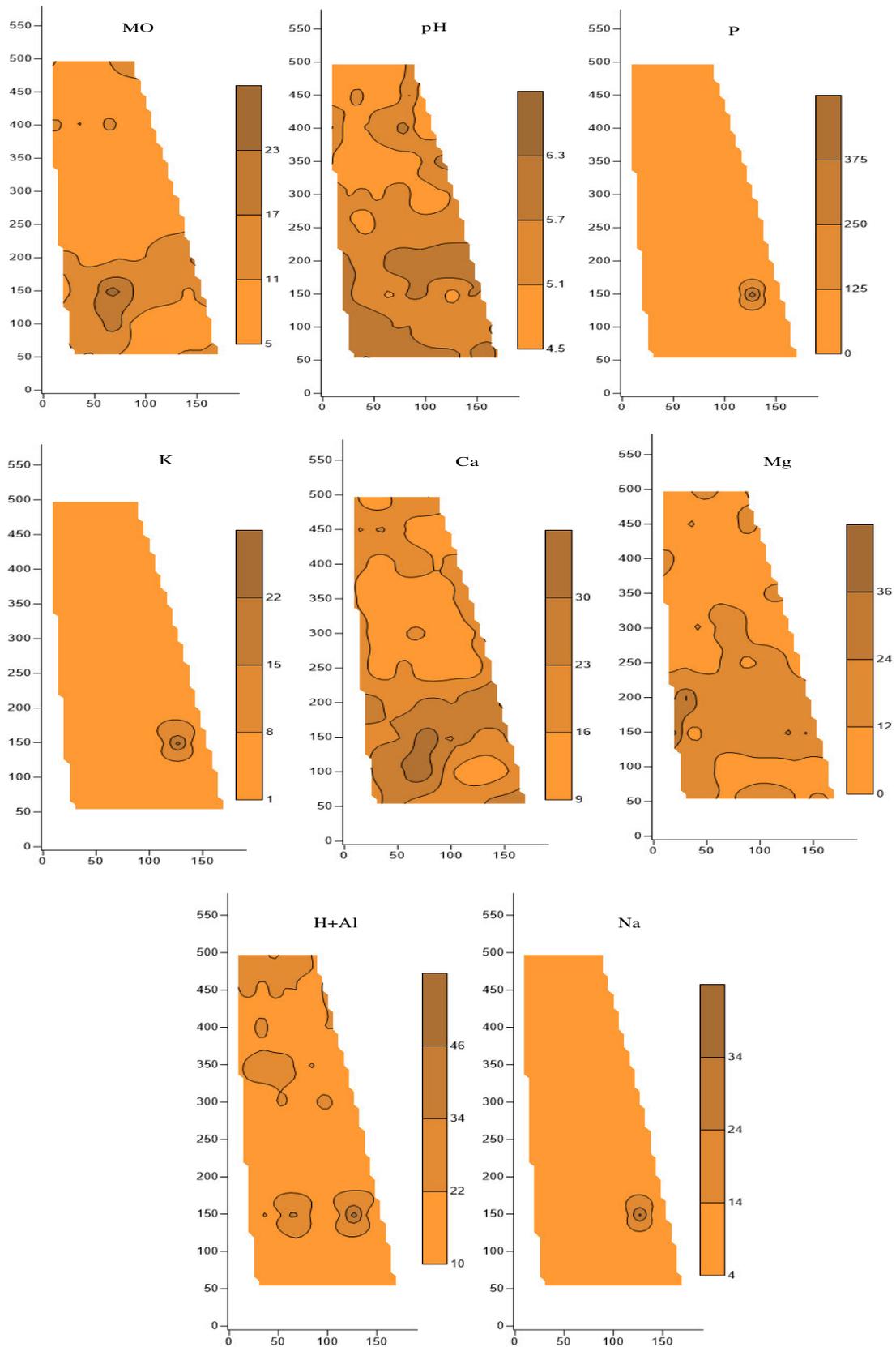


Figura 5: Mapas de variabilidade espacial das propriedades químicas do solo na profundidade de 0,2-0,4 m (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H+Al e Na).

5.0 CONCLUSÕES

Os valores de coeficiente de variação (CV%) mostraram que na primeira camada avaliada apenas os dados de pH obtiveram um baixo valor de CV (9,1%), os conteúdos de Ca, Mg e H+Al apresentaram valores médios de CV e as demais propriedades apresentaram valores altos.

O modelo matemático Gaussiano foi o que melhor se ajustou aos dados que apresentarão dependência espacial, tanto na primeira, como na segunda profundidade, apenas a MO em ambas as camadas foi ajustada com o modelo esférico.

Os Valores de alcance foram maiores na profundidade de 10-20, com valor máximo de 130 para a MO, porém esta camada foi a que obteve mais atributos com efeito pepita puro.

REFERÊNCIAS

- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.18, n.2, p.141–149, 2014.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F. & KONOPA, A.E. (1994) Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science of América Journal*, Madison, v.47, p.1501-1511.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F. & KONOPA, A.E. (1994) Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science of América Journal*, Madison, v.47, p.1501-1511.
- CARVALHO, J.R.P; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. (2002) Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(8):1151-1159.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. (2003) Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 27: 695-703.
- CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York, John Wiley, 1991. 920p.
- DEMATTE, J. A. M., GALDOS, M. V., GUIMARÃES, R., GENÚ, A.M.; NANNI, M.R., ZULLO, JR., J. Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7 data. *International Journal of Remote Sensing*, London, 8:3813-3829, 2007
- FUENTES YAGÜE, J.L. (2002). *Manual práctico sobre utilización de suelos y fertilizantes*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Ediciones Mundi prensa. España. 159 p.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A. Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (variety IACSP93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes. *Bragantia*, Campinas, v. 69, suppl., p. 107-119, 2010.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University, 1989. 561p

- LEMA, M.L. (1998). El análisis de suelos como herramienta de diagnóstico para el abonado racional. Estación Fitopatológica do Areeiro, Serviço Agrário, Diputación Provincial de Pontevedra. 4p. (Deposito Legal: PO-215/98).
- MACEDO, I. C. et al. Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: UNICA, 2005.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. (2005) Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40(1):69-77.
- ORTIZ, J.L. (2005) Geoestatística. Disponível na Internet no endereço www.gpsglobal.com.br/Artigos/Geoestat.html (Acessado em 20 de dezembro de 2005).
- RAIJ, B. Van, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solo tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p, 2001.
- RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café. *Ciência Rural*, Santa Maria, n.37, p.401-407, 2007.
- SIQUEIRA, G. M., VIEIRA, S.R.; CAMARGO, M.B.P. (2008a) Variabilidade espacial do armazenamento e da perda média diária de água pelo solo no sistema de semeadura direta em Campinas, SP. *Bragantia*, 67(1): 213-223.
- SIQUEIRA, G.M, SILVA E.F.F, DAFONTE, J.D. Spatial distribution of soil apparent electrical conductivity measured by electromagnetic induction and sugarcane yield. *Bragantia*, 74:215-223, 2015.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, 34:1763-1771, 2004.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in agronomy**, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (ed.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: *Sociedade Brasileira de Ciência do solo*, v.1, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S.R., LOMBARDI NETO, F., BURROWS, I.T. Mapeamento da chuva máxima provável para o Estado de São Paulo. *Rev.Bras. Cienc. Solo*, 15, 93-8, 1991.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press.