



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos

JÔNATAS MILAN COELHO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM
LATOSSOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES SOB O CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR**

**ILHA SOLTEIRA – SP
Novembro/2022**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos

JÔNATAS MILAN COELHO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM
LATOSSOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES SOB O CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanari

**ILHA SOLTEIRA – SP
Novembro/2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Coelho, Jônatas Milan.

C672v Variabilidade espacial de atributos de um latossolo vermelho em diferentes profundidades sob o cultivo de cana-de-açúcar / Jônatas Milan Coelho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
21 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Rafael Montanari

Inclui bibliografia

1. Agricultura de precisão. 2. Saccharum officinarum. 3. Geoestatística. 4. Manejo do Solo. 5. Semivariograma.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de um latossolo em diferentes profundidades sob o cultivo de cana-de-açúcar

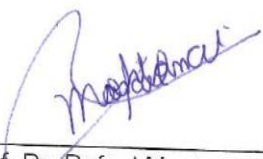
ALUNO: Jônatas Milan Coelho

RA: 1810 50 234

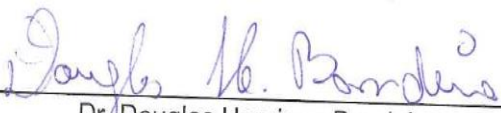
ORIENTADOR: Rafael Montanari

Aprovado ☒ - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 8,0

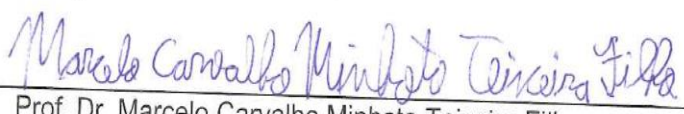
Comissão Examinadora:



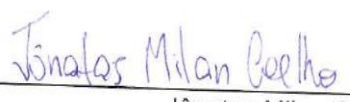
Prof. Dr. Rafael Montanari
Presidente (Orientador)



Dr. Douglas Henrique Bandeira



Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho



Jônatas Milan Coelho

Ilha Solteira, 10 de novembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Ofereço meus agradecimentos aos meus pais, Valmir e Maria, e à minha avó, Dalva, por me concederem suporte durante toda a minha vida, e também, durante a graduação. Sem minha família nada seria possível.

Agradeço ao Prof. Dr. Rafael Montanari por me orientar e compartilhar conhecimentos durante os projetos da equipe. Agradeço também aos companheiros do grupo de pesquisa e colegas de classe que me apoiaram durante o curso.

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é cultivada em mais de 100 países em diferentes continentes, no entanto, apenas 10 países concentram 80% da produção mundial. Assim, a geoestatística é ferramenta fundamental com alta eficiência de mapeamento de características de solos, facilitando o uso de recursos naturais e o manejo do solo. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico em diferentes profundidades sob o cultivo de cana de açúcar. Deste modo, foram coletadas amostras de solo para análise dos atributos químicos e físicos em profundidades de 0,0-0,25, 0,25-0,50 e 0,8-1,0 m, dentro de uma grade de 124 pontos georreferenciados. A análise de dados foi realizada com base nas técnicas estatísticas e geoestatísticas. Os atributos dos pares Argila₂ x K₂, Argila₂ x Al₂, Argila₃ x P₃, Argila₃ x K₃, e Argila₃ x MO₃ apresentaram correlação positiva para as camadas 0,25-0,50 m e 0,80-1,00 m. As camadas de 0,25-0,50 e 0,80-1,00 m de profundidade, são as que apresentaram maiores variabilidades dos atributos químicos, após serem analisadas pelo coeficiente de variação. Os alcances variaram de 1100 m a 5600 m, e, considerando a média dos atributos químicos, o solo apresenta baixa disponibilidade de nutrientes e fertilidade.

PALAVRAS-CHAVES

Agricultura de precisão, *Saccharum officinarum*, geoestatística, manejo do solo, semivariograma.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum*) is cultivated in more than 100 countries on different continents, however, only 10 countries concentrate 80% of world production. Therefore, geostatistics is a fundamental tool with high efficiency for mapping soil characteristics, facilitating the use of natural resources and soil management. This study aims to evaluate the spatial variability of chemical and physical attributes of an Red Oxisol at different depths under sugarcane cultivation. For that, soil samples were collected for analysis of chemical and physical attributes at depths of 0,0-0,25, 0,25-0,50 and 0,8-1,0 meters within a grid of 124 georeferenced points. Regarding data analysis, it was performed based on statistical and geostatistical techniques. The attributes of the pairs Clay₂ x K₂, Clay₂ x Al₂, Clay₃ x P₃, Clay₃ x K₃, and Clay₃ x MO₃ showed a positive correlation for layers 0,25-0,50 meters and 0,80-1,00 meters. The layers of 0,25-0,50 and 0,80-1,00 meters of depth are the ones that presented the greatest variability of the chemical attributes after being analyzed by the coefficient of variation. Ranges go from 1100 to 5600 meters, and, considering the average of the chemical attributes, the soil has low nutrient availability and fertility.

KEY-WORDS

Precision agriculture, *Saccharum officinarum*, geostatistics, soil management, semivariogram.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da área estudada e respectivos locais de amostragem (.) **14**

Figura 2. Mapas de krigagem de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob o cultivo de cana-de-açúcar no município de Martinópolis, SP. **22**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise descritiva dos atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico nas camadas 1 (0 - 0,25 m), 2 (0,25 - 0,50 m) e 3 (0,80 - 1,00 m). **16**

Tabela 2. Matriz de correlação linear simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico na camada de 0 - 0,25 m. **18**

Tabela 3. Matriz de correlação linear simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico na camada de 0,25 - 0,50 m. **18**

Tabela 4. Matriz de correlação linear simples dos atributos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,80 - 1,0 m. **18**

Tabela 5. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico nas camadas 1 (0,0 - 0,25 m), 2 (0,25 - 0,50 m) e 3 (0,80 - 1,00 m) no município de Martinópolis - SP. **20**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1 Matriz de Correlação	17
3.2 Semivariogramas	19
3.3 Mapas de krigagem dos atributos físicos e químicos estudados	21
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) é uma estratégia de gestão que considera a variabilidade temporal e espacial para melhorar a sustentabilidade da produção agrícola. Existem, comercialmente, muitos equipamentos, sensores, técnicas e abordagens que podem ser utilizados para o mapeamento das variabilidades das culturas em AP (Leroux & Tisseyre, 2019). Nesse contexto, a geoestatística se caracteriza como uma ferramenta com alta eficiência de mapeamento de características de solos, pois a mesma permite realizar mapeamento e orientação de futuras amostragens e modelagens. Permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais e uso e manejo do solo (Lemos Filho et al., 2017).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é cultivada em mais de 100 países em diferentes continentes (América, África, Ásia e Oceania). Em que pese à quantidade de países produtores, apenas 10 países concentram 80% da produção mundial, (FAO, 2019). Sua grande importância no setor produtivo brasileiro é confirmada através do volume de produção, que segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), foi de 642,7 milhões de toneladas para safra 2019/20 (CONAB, 2020). De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2020), houve na safra de 2019 um aumento de produtividade média por hectare de 4,9% em comparação ao ano de 2018, a área plantada diminui 1,35% entre as safras 2019/2018 alcançando 8,5 milhões de hectares.

Das 642,7 milhões de toneladas moídas nas usinas brasileiras 65% são destinados à produção de etanol anidro e hidratado e os 35% restantes para produção de açúcar. O Brasil durante décadas foi o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e derivados, perdendo essa posição no período de 2017 a 2019 para a Índia FAO (2019). O agronegócio da cana-de-açúcar é um dos setores que mais gera empregos no Brasil, que é responsável por cerca US\$ 20 bilhões/ano (CONAB, 2017). O Estado de São Paulo é responsável por 52% da área colhida de cana de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira brasileira (CONAB, 2017).

A textura do solo, de caráter físico, representa a distribuição granulométrica (% de areia, silte e argila), e está intimamente ligada a resistência à erodibilidade, por afetar os processos de desagregação e transporte (Bocuti et al., 2019). A erosão hídrica do solo é um sério problema global, visto que, gera impactos nos ambientes naturais, urbanos e agrícolas, tais como assoreamento, poluição e degradação do solo e corpos d'água. Contudo, observa-se que o aumento desse processo ao longo do tempo, está ligado à intensificação do uso da terra para fins agrícolas em todo o mundo (Anache, 2017).

Conhecer os atributos químicos do solo é de grande importância pois estes atributos são utilizados como indicadores de qualidade do solo, e, devido a sua elevada área superficial específica e densidade de cargas, influenciam na capacidade de troca de cátion (CTC), na complexação de metais e seu efeito tampão do pH do solo, e também na disponibilização de nutrientes (SILVA & MENDONÇA, 2007).

Devido essas características, a krigagem tem auxiliado em diversos estudos voltados para o manejo do solo, no qual pode-se observar o uso para estimar e mapear a variabilidade espacial de um determinado atributo de diferentes classes de solo, com o intuito de definir áreas susceptíveis à erosão e, ordens e características de solos que regem suas variações (Raimo et al., 2019). Sendo um suporte básico da krigagem, o variograma refere-se à variabilidade, cuja ferramenta de análise é uma função do semivariograma, que por sua vez, é responsável por medir

a variância entre pontos de uma amostragem, separados por uma distância. Dessa forma, a função permite entender que amostras próximas, tendem a apresentar uma variância menor, já que são mais parecidas entre si, por outro lado, quanto mais afastadas forem as amostras, mais seus valores deverão ser diferentes (Grego et al., 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em diferentes profundidades (0,0-0,25, 0,25-0,50 e 0,8-1,0 m) sob o cultivo de cana-de-açúcar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no Oeste do Estado de São Paulo, no município de Martinópolis, SP (22° 08' 45"S e 51° 10' 15"W), na província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista. Os relevos predominantes são os de colinas amplas e colinas médias, surgindo o relevo de morretes alongados e espigões apenas na área central do Oeste do Estado, sendo os três tipos de relevo classificados como relevos de degradação em planaltos dissecados, ou seja, são áreas sujeitas ao processo de morfogênese muito acentuado. A altitude varia de 450 a 488 m acima do nível do mar.

Os materiais de origem dos solos estão relacionados ao arenito do grupo Bauru, formação Adamantina, são solos podzólicos que predominam em praticamente toda a região Oeste do Estado. De acordo com a Carta de Solos do Estado de São Paulo (CNEPA, 1960), o Oeste do Estado possui uma grande variedade de solos derivados dos solos com B Textural e B Latossólico, possuindo uma pequena quantidade de solos hidromórficos originados da deposição recente de material areno-argiloso, caracterizando-se como um Latossolo Vermelho Distroférrico.

O clima da região Oeste do Estado de São Paulo é caracterizado como Subtropical de altitude (Cfa) segundo preceitos de Köppen, sendo controlado pelas massas de ar polar e tropical marítima, predominando, todavia, o segundo tipo de massa de ar. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, enquanto que a temperatura dos meses mais frios é de aproximadamente 18 °C, caracterizando-se como um clima de invernos amenos, apesar da passagem constante de massas polares durante os meses de inverno e verões quentes. A precipitação média anual é de aproximadamente 1200 mm, com destaque para os meses de dezembro e janeiro (precipitação superior a 160 mm), e o período de estiagem, onde se destacam meses de julho e agosto (precipitação inferior a 47 mm).

A área de estudo é, atualmente, cultivada com cana-de-açúcar na qual foi mapeada uma área de 3300 ha através do equipamento de sistema de posicionamento global (GPS); em seguida, elaborou-se o mapa que possibilitou a visualização da área (Figura 1). Coletaram-se, por fim, amostras de solo, para análise química e física, nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos de 350 m a cada 7 ha formando, uma malha contendo 124 pontos. O solo da área é um Latossolo Vermelho Distroférrico (Santos et al., 2018) sob sistema convencional de preparo do solo.

Os atributos físicos do solo avaliados, foram os teores de argila (Argila) e areia fina (AF), na qual metodologia usada foi a metodologia da (Embrapa, 2017). Enquanto determinado em

CaCl₂, fósforo disponível (P resina), teores de potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), alumínio (Al³⁺), hidrogênio (H⁺) e matéria orgânica (MO), sendo as amostras de solo coletadas entre as linhas da cana-de-açúcar em três profundidades: a) 0-0,25 m, representada pelo número 1, e b) 0,25-0,50 m, representada pelo número 2, e c) 0,80-1,0 m representada pelo número 3. O solo foi seco ao ar (TFSA), destorroado mecanicamente, passado por uma peneira com malha de 2 mm e por fim analisado quimicamente, conforme Raij et al, (2001).

Para cada atributo estudado, efetuou-se a análise descritiva clássica, com auxílio do software estatístico SAS, em que foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e a distribuição de frequência. Posteriormente, realizou-se a identificação dos *outliers* e posterior substituição dos seus valores pelo valor médio dos circunvizinhos contidos na malha geoestatística.

Para a classificação do coeficiente de variação (CV), adotaram-se as seguintes classes e magnitudes: baixa (CV ≤ 10%), média (10% < CV ≤ 20%), alta (20% < CV ≤ 30%) e muito alta (CV > 30%) variabilidade (Pimentel-Gomes & Garcia 2002). Para testar a hipótese da normalidade, ou da lognormalidade, realizou-se o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5%, utilizado quando o tamanho da amostra é menor que 2,000 observações (Schlotzhaver; Littell, 1997).

Para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma simples, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca pelo uso do pacote Gamma Design Software 7,0 - GS+ (GS+, 2004). Os ajustes dos semivariogramas, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: 1) menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR); 2) maior coeficiente de determinação (R²), e 3) maior avaliador da dependência espacial (ADE).

A decisão final do modelo que representou o ajuste foi atestada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (Co), o patamar (Co + C) e o alcance (Ao). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a equação abaixo (GS⁺, 2004):

$$ADE = \left[\frac{C}{(C + C_o)} \right] \times 100$$

Onde:

ADE – Avaliador da dependência espacial;

C - Variância estrutural;

C+Co - Patamar.

A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a) ADE < 20% = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) 20% ADE < 40% = baixa dependência (BA); c) 40% < ADE < 60% = média dependência (ME); d) 60% < ADE < 80% = alta dependência (AL) e e) 80% < ADE < 100% = muito alta dependência (MA).

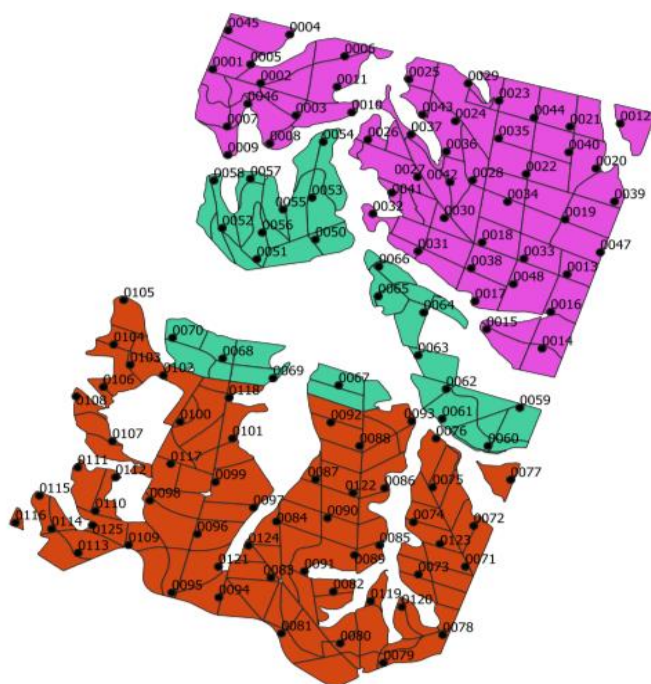


Figura 1. Mapa da área estudada e respectivos locais de amostragem (.)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de variação participa diretamente na comparação nos diversos atributos de solos quanto físicos e químicos, numa maior ou menor variação em porcentagem. Quanto maior a porcentagem observa-se uma heterogeneidade nos dados, tendo como coeficiente de variação (CV) como ferramenta para análise dessa variabilidade.

Observa-se na tabela 1 para atributos físicos ocorreram valores (CV's) respectivamente (Argila₁, Argila₂ e Argila₃) entre 38,280, 37,830 e 32,110 % (CV's) com valores de muito alta variabilidade. Nessa mesma disposição verificou-se para (AF₁, AF₂ e AF₃) obteve-se valores de 3,950, 4,970 e 7,420% (CV's) com uma baixa variabilidade. Para os atributos químicos do solo como pH₁ e pH₂ com valores de 13,950 e 15,220% de (CV's) atingiram média variabilidades diferenciando dos diversos, atributos analisados como os teores de P, K, Ca, Mg, Al, H, MO em todas profundidades e o pH₃ atingiram valores com alta e muito alta variabilidades que ficaram entre 21,090 a 694,230 % (CV's).

Observando a tabela 1 para atributos físicos e químicos (AF₁, Argila₁), na camada superficial, ocorreram (CV's) baixo para areia fina e muito alto para argila com 3,950 e 38,280 % (CV's) decorrente da (MO₁) que atingiu um (CV) com valor 40,180% igualando as camadas em profundidades em subsuperfícies do solo (MO₂ e MO₃) com valores de 41,490% e 42,360% (CV's).

Com esses valores pode-se indicar que nas camadas superficiais houve mudança pelo próprio revolvimento (manejo do solo) para implantação do plantio da cana-de-açúcar favorecendo uma pequena diferença na subsuperfície da (MO), aumentando a heterogeneidade do solo nas camadas superficiais, representado numa extensa área de amostragem de solo (3,3 ha). Com relação aos valores médios dos atributos do solo pode-se mencionar que o pH apresentou uma média variando de 4,930 e 4,300 considerado como um solo ácido, Já para o P

observa-se um teor baixo no solo nas três profundidades. O valor médio dos teores de matéria orgânica é considerado baixo. Para K, Ca e Mg os teores médios também são considerados baixos para as três camadas estudadas do solo.

A distribuição de frequência do tipo normal, representante típica dos dados de solo, é a ideal para um estudo estatístico (análise de regressão e/ou geoestatística). Os atributos físicos solo que apresentaram coeficientes de assimetria negativa foram Argila₁ (-0,290), Argila₂ (-0,130), AF₂ (-0,110) e AF₃ (-0,160), com coeficiente negativo pra curtose para Argila₁ (-0,460), Argila₂ (-0,750), AF₂ (-0,790) e com coeficiente de curtose positivo AF₃ (0,050), todos com a distribuição de frequência do tipo NO (normal) para os demais todos deram distribuição de frequência do tipo IN (indeterminado).

Para os atributos químicos todos apresentaram distribuição de frequência do tipo IN (indeterminado). O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria, sendo que: se o coeficiente de assimetria for maior que zero se tem que a distribuição é assimétrica à direita (positiva); se coeficiente de assimetria é menor que zero a distribuição é assimétrica à esquerda (negativa); e se coeficiente de assimetria igual a zero a distribuição é simétrica (Zanão Júnior et al., 2010).

Os atributos físicos AF₁ e Argila₃ apresentaram tipo distribuição de frequência do tipo IN (Indeterminado). O coeficiente de curtose é utilizado para caracterizar a forma da distribuição de frequências quanto ao seu achatamento. O termo médio de comparação é a distribuição normal que apresente valor de coeficiente de curtose igual à zero tem-se então a distribuição mesocúrtica, se coeficiente de curtose menor que zero a distribuição será platicúrtica, e se coeficiente de curtose maior que zero se tem a distribuição leptocúrtica. Sendo que todos os atributos apresentaram valores próximos de zero, com exceção para P₁, Ca₁, Al₁, P₂, Ca₂, Mg₂, pH₃, P₃, K₃, Ca₃, Mg₃ e H₃, cujo os valores variando entre (123,7 e 3,590).

A redução do teor da matéria orgânica pode estar relacionada no preparo para plantio da cana-de-açúcar com modelo de preparo convencional, ou durante todo ciclo da produção principalmente com tráfico de máquinas. Segundo (Corrêa, 2002) a matéria orgânica na estabilização de agregados em plantio de cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho Distroférico do alto pantanal apresentou valores médios para agregados do solo, tendo como resultado devido ao preparo do solo nesse sistema, que altera diretamente as camadas superficiais de 0-0,20 m, causando um efeito destrutivo da estrutura do solo.

No atributo Argila₁ notou-se valores médios de 7,840 % (Tabela 1), indicando valores baixos representados pelo baixo teor de matéria orgânica com valor de 0,650 % (MO₁) configurando a importância que contribui na estabilização dos agregados.

Para solos arenosos, a qualidade física e química está ligada diretamente com constituição de Argila e MO, dependendo muito de toda organização na implantação da cultura, sendo o solo estudado com plantio da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho Distroférico, foi encontrado textura arenosa na camada superficial, uma vez dando ao solo a importância do manejo adequado.

Nessa condição, o solo estudado apresentou uma fração arenosa com valores altos nas camadas superficiais AF₁ (85,580 %). Segundo Tavares Filho et al. (2010), em estudos em solos de textura média e arenosa, como os encontrados no noroeste paranaense, a matéria orgânica desempenha papel de destaque na formação de agregados maiores e mais resistentes a ação erosiva da água da chuva, visto que é o principal agente cimentante em solos com baixa porcentagem de argila.

Nesse sentido observa-se que o solo estudado passa por um processo de degradação como observado anteriormente, indicando uma rápida ação edáfica para preservar a manutenção de sua qualidade física e química.

Tabela 1. Análise descritiva dos atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico nas camadas 1 (0 - 0,25 m), 2 (0,25 - 0,50 m) e 3 (0,80 - 1,00 m).

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Mediana	Valor		Desvio padrão	Variação (%)	Ceficiente		Teste Probabilidade ^(b)	
			Máximo	Mínimo			Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
Atributos físicos e químicos do solo										
Arg1 (%)	7,840	7,850	13,900	0,800	3,000	38,280	-0,460	-0,290	0,1100	NO
AF1 (%)	85,580	86,200	90,500	76,200	3,380	3,950	-0,300	-0,620	0,0002	IN
pH1 (CaCl ₂)	4,930	5,050	6,300	3,600	0,680	13,950	-0,890	-0,210	0,0030	IN
P1 (mg dm ⁻³)	16,190	14,000	87,000	3,000	12,110	74,780	10,570	2,670	0,0001	IN
K1 (cmolc dm ⁻³)	0,110	0,140	0,270	0,030	0,060	53,180	-0,720	0,150	0,0001	IN
Ca1 (cmolc dm ⁻³)	1,820	1,400	6,600	0,300	1,310	71,860	2,520	1,570	0,0001	IN
Mg1 (cmolc dm ⁻³)	0,600	0,500	2,200	0,100	0,460	77,560	0,460	0,990	0,0001	IN
Al1 (cmolc dm ⁻³)	0,180	0,000	1,100	0,000	0,280	157,190	2,700	1,870	0,0001	IN
H1(cmolc dm ⁻³)	1,550	1,500	2,800	1,200	0,320	21,090	0,950	1,030	0,0001	IN
MO1 (%)	0,650	0,600	1,700	0,100	0,260	40,180	1,580	1,000	00010	IN
Argila2 (%)	8,870	9,100	15,700	2,000	3,350	37,830	-0,750	-0,130	0,0700	NO
AF2 (%)	83,950	84,500	92,300	73,700	4,170	4,970	-0,790	-0,110	0,0805	NO
pH2 (CaCl ₂)	4,630	4,520	6,000	3,400	0,700	15,220	-1,200	0,230	0,0001	IN
P2 (mg dm ⁻³)	10,460	9,000	44,00	3,000	7,300	69,780	6,030	2,310	0,0001	IN
K2 (cmolc dm ⁻³)	0,090	0,070	0,240	0,030	0,050	62,370	-0,800	0,490	0,0001	IN
Ca2 (cmolc dm ⁻³)	1,440	1,000	6,400	0,300	1,140	79,280	3,590	1,780	0,0001	IN
Mg2 (cmolc dm ⁻³)	0,670	0,300	15,750	0,100	1,800	267,410	55,560	7,870	0,0001	IN
Al2 (cmolc dm ⁻³)	0,350	0,200	1,400	0,000	0,400	115,220	-0,350	0,960	0,0001	IN
H2 (cmolc dm ⁻³)	1,660	1,600	3,100	1,100	0,410	24,910	0,810	1,010	0,0001	IN
MO2 (%)	0,520	0,500	1,200	0,100	0,210	41,490	1,030	0,810	0,0001	IN
Argila3 (%)	16,170	16,000	30,500	0,700	5,190	32,110	0,930	0,060	0,0200	IN
AF3 (%)	74,410	74,450	88,700	58,400	5,520	7,420	0,050	-0,160	0,9400	NO
pH3 (CaCl ₂)	4,300	4,000	15,800	3,600	1,180	27,010	70,940	7,490	0,0001	IN
P3 (mg dm ⁻³)	6,060	6,000	20,000	2,000	2,910	48,110	5,220	1,610	0,0001	IN
K3 (cmolc dm ⁻³)	0,200	0,070	15,750	0,030	1,400	694,230	123,700	11,110	0,0001	IN
Ca3 (cmolc dm ⁻³)	1,250	0,900	19,250	0,300	1,720	137,940	96,960	9,320	0,0001	IN
Mg3 (cmolc dm ⁻³)	0,580	0,350	19,250	0,100	1,710	293,330	116,010	10,600	0,0001	IN
Al3 (cmolc dm ⁻³)	0,930	0,600	3,100	0,000	0,840	90,10	-0,360	0,740	0,0001	IN
H3 (cmol dm ⁻³)	2,110	1,900	5,300	1,000	0,810	38,250	4,370	1,940	0,0001	IN
MO3 (%)	0,380	0,400	1,000	0,100	0,160	42,360	0,715	0,570	0,0001	IN

^(a) Arg., AF, pH, P, K, Ca, Mg, Al, H e MO de 1 a 3, são respectivamente argila, areia fina, potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio e matéria orgânica de 0,00-0,25 m, 0,25-0,50 m e 0,80-1,00 m nas camadas de solo;

^(b) DF = distribuição de frequência, incluindo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

3.1 Matriz de Correlação

As tabelas 2, 3 e 4, representam a correlação entre os atributos físicos (Argila e Areia fina) e os atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H e MO) do solo estudados na camada de 0,0-0,25 m, 0,25-0,50 m e 0,80-1,00 m, respectivamente, onde reportou-se significância para alguns pares entre a granulometria e a fertilidade do solo: ARG₁ x pH₁ ($r = -0,27^{**}$); ARG₁ x K₁ ($r = -0,22^{**}$); ARG₁ x Al₁ ($r = 0,28^{**}$); ARG₂ x K₂ ($r = 0,23^{**}$), ARG₂ x Al₂ ($r = 0,37^{**}$) e ARG₃ x P₃ ($r = 0,44^{**}$), ARG₃ x K₃ ($r = 0,26^{**}$) e ARG₃ x MO₃ ($r = 0,31^{**}$), AF₁ x pH₁ ($r = -0,39^{**}$), AF₁ x K₁ ($r = -0,88^{**}$), AF₂ x pH₂ ($r = 0,49^{**}$), AF₂ x K₂ ($r = 0,87^{**}$), AF₃ x pH₃ ($r = 0,28^{**}$), AF₃ x P₃ ($r = 0,29^{**}$) e AF₃ x K₃ ($r = 0,73^{**}$), no entanto, o par ARG₁ x P₁ e ARG₂ x P₂ com coeficientes de correlação de ($r = -0,002$ e $-0,04$) foram os que se apresentaram não significativos, sendo semelhante ao verificado por Dalchiavon et al. (2011), os quais, trabalhando com a produtividade de grãos do feijão de inverno e de atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, também obtiveram correlação não significativa com o teor de P.

Contudo, pode-se constatar que os atributos com correlações significativas foram os que mais influenciaram na variabilidade dos atributos para o cultivo da cana-de-açúcar. A explicação para a diminuição do pH em função do aumento do teor de argila é devido a elevada taxa de intemperização e desprotonação de argila. Com o aumento do teor de argila existe a tendência de incremento no teor de matéria orgânica.

Sória (2014) obteve resultados semelhantes com os do presente trabalho quando estudou as correlações lineares e espaciais para identificar as interações entre os atributos físicos e químicos dos solos em diferentes ambientes de produção de cana-de-açúcar nas camadas 0,0-0,25 m, 0,25-0,50 m, tendo constatado correlações positivas para pH₂ x ARG₂ ($0,13^{**}$), K_{1,2} x ARG_{1,2} ($0,33^{**}$ e $0,19^{**}$), P₁ x ARG₁ ($0,10^{**}$), e MO_{1,2} x ARG_{1,2} ($0,52^{**}$ e $0,41^{**}$).

A correlação entre os atributos ARG₃ x AF₃ estabelecida na camada do solo de 0,80-1,00 m apresentou significância com o coeficiente de variação de ($r = 0,28^{**}$). Os resultados obtidos se assemelham com os resultados obtidos por Dias et al, (1999), que analisando as relações entre a produtividade da cultura da cana-de-açúcar e os atributos físicos do solo, constatou resultados significativos, porém, com correlações negativas no teor de argila x rendimento médio da cultura ($-0,57^{**}$) e no teor de areia x rendimento médio da cultura ($-0,54^{**}$). A correlação entre os atributos P₃ x K₃ ainda na mesma camada do solo de 0,80-1,00 m, também apresentou significância com o coeficiente de correlação de ($r = 0,40^{**}$). Enquanto Braga (2011), estudando os atributos P, MO, pH, K, Ca, Mg, acidez potencial, Al, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e por alumínio num Argissolo e, correlacionando com a produtividade da cana-de-açúcar, verificou correlação significativa apenas para a matéria orgânica x produtividade da cana-de-açúcar, na camada de 0 a 0,20 m.

Tabela 2. Matriz de correlação linear simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico na camada de 0 - 0,25 m.

Atributos ^(a)	Matriz de correlação ^(b)								
	Arg1	AF1	pH1	P1	K1	Ca1	Mg1	Al1	H1
Arg1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF1	-0,03977	-	-	-	-	-	-	-	-
pH1	-0,26789**	-0,39313**	-	-	-	-	-	-	-
P1	-0,00239	-0,13583	0,18078*	-	-	-	-	-	-
K1	-0,22697**	-0,88876**	0,45182**	0,17392*	-	-	-	-	-
Ca1	-0,07397	-0,22587**	0,76199**	0,19992*	0,17835*	-	-	-	-
Mg1	-0,07543	-0,67716**	0,81243**	0,22592**	0,64732**	0,72273**	-	-	-
Al1	0,28373**	-0,05995	-0,7389**	0,25816**	-0,03068	-0,51484**	-0,43984**	-	-
H1	0,35288**	-0,03345	-0,57429**	-0,04019	-0,18174*	-0,43538**	-0,3499**	0,49248**	-
MO1	0,14293	-0,00823	0,24134**	-0,02575	-0,11741	0,34521**	0,23638**	-0,27068**	-0,04452

^(a)Arg1, AF1, pH1, P1, K1, Ca1, Mg1, Al1, H1 e MO1 são respectivamente argila, areia fina, potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio e matéria orgânica de 0,00 a 0,25 m da camada do solo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Tabela 3. Matriz de correlação linear simples ds atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico na camada de 0,25 - 0,50 m.

Atributos ^(a)	Matriz de correlação ^(b)									
	Arg2	AF2	pH2	P2	K2	Ca2	Mg2	Al2	H2	MO2
Arg2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF2	-0,07334	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH2	-0,14488	0,49535*	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	-0,04004	0,01398	0,16636	-	-	-	-	-	-	-
K2	0,22495**	0,87013**	0,42633**	-0,02803	-	-	-	-	-	-
Ca2	-0,07855	-0,15563	0,59603**	0,32773**	0,18678*	-	-	-	-	-
Mg2	0,0759	-0,20554*	0,23596**	0,23994**	0,16434	0,46766**	-	-	-	-
Al2	0,36672**	-0,13296	-0,71702**	-0,08821	-0,06756	-0,52340**	-0,22402**	-	-	-
H2	0,40282**	-0,0457	-0,36712**	-0,00647	-0,27741**	-0,35808**	-0,14401	0,55590**	-	-
MO2	0,06515	0,07299	0,34760**	0,24442**	-0,16963*	0,39987**	0,32979**	-0,17473*	0,11461	-

^(a)Arg2, AF2, pH2, P2, K2, Ca2, Mg2, Al2, H2 e MO3 são respectivamente argila, Areia fina, potencial hidrogeniônico, fósforo, Potássio, cálcio, Magnésio, alumínio, hidrogênio e matéria orgânica de 0,25 a 0,50 m da camada do solo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Tabela 4. Matriz de correlação linear simples dos atributos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,80 - 1,0 m.

Atributos ^(a)	Matriz de correlação ^(b)									
	Arg3	AF3	pH3	P3	K3	Ca3	Mg3	Al3	H3	MO3
Arg3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF3	0,27904**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH3	-0,04274	0,28245**	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	0,43583**	0,29443**	-0,11921	-	-	-	-	-	-	-
K3	0,25523**	0,73786**	-0,07758	0,40412**	-	-	-	-	-	-
Ca3	0,05804	-0,11087	0,13819	0,05577	0,12331	-	-	-	-	-
Mg3	0,05446	-0,11332	0,09423	0,06185	0,12291	0,97358**	-	-	-	-
Al3	0,12251	-0,17130*	0,39785**	0,18009*	-0,11633	-0,26531**	0,17964*	-	-	-
H3	0,20354*	-0,18248*	0,23860**	0,18941*	0,20063*	-0,15242	-0,11483	0,76776**	-	-
MO3	0,31143**	-0,09765	-0,02574	-0,06026	-0,16185	0,03681	-0,01094	0,1274	0,21365**	-

^(a)Arg3, AF3, pH3, P3, K3, Ca3, Mg3, Al3, H3 e MO3 são respectivamente argila, areia fina, potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio e matéria orgânica de 0,25 a 0,50 m da camada do solo; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

3.2 Semivariogramas

Na tabela 5, estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para a variabilidade espacial de alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Martinópolis (SP) em diferentes profundidades (0,0-0,25, 0,25-0,50 e 0,8-1,0 m) sob o cultivo de cana-de-açúcar. Deste modo, ficou atestado que, com exceção da Argila₁ e ₃, AF_{1, 2} e ₃, P₃, Ca₂, Ca₃, Mg₁, Mg₂, Mg₃ H₃, nesse MO₁, MO₂, MO₃ que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial.

No que concerne ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: 1) P₂ (0,976), 2) pH₂ (0,974), 3) Al₂ (0,931), 4) H₂ (0,910), 5) H₁ (0,902), 6) Argila₂ (0,867), 7) Al₃ (0,864), 8) pH₁ (0,857), 9) K₂ (0,831), 10) P₁ (0,816), 11) K₁ (0,815), 12) K₃ (0,753), 13) Ca₁ (0,676), 14) pH₃ (0,653) e 15) Al₁ (0,580). Entretanto, em relação aos três primeiros (P₂, pH₂ e Al₂), que tiveram elevados coeficientes de determinação espacial, observou-se o seguinte, conforme relatado abaixo:

Para o primeiro caso (P₂), seu valor do r^2 (0,976) indicou ser tal atributo o de melhor ajuste semivariográfico, concordando com aqueles verificados por Montanari (2009), que trabalhando no sistema plantio direto, obteve o valor de r^2 (0,887), também concordou com Dalchiavon et al, (2012), os quais, trabalhando com a variabilidade espacial de atributos químicos do solo num Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de plantio direto, constataram o valor de r^2 (0,782). Contudo, discordou com os resultados encontrados por Manzione (2002), que trabalhando com Latossolo Vermelho Distrófico, detectou efeito pepita puro para fósforo. Em relação ao ADE, a alta dependência verificada (66,5%), concordou apenas com Montanari (2009), no qual obteve o ADE de 68,1%, discordou de Dalchiavon et al, (2012), no qual obteve o ADE de 50,0% e também discordou com Manzione (2002), que obteve efeito pepita puro para fósforo. Quanto ao alcance do P₂ do presente estudo (1597m), foi maior do que aquele dos citados autores, que foi de 20,4 m e 93,4 m, respectivamente. Contudo, o modelo esférico ajustado para o P₂ ficou de acordo com os primeiros dois autores citados e em total desacordo com o terceiro autor referido.

Para o segundo caso (pH₂), seu valor do r^2 (0,974), indicou ser tal atributo o segundo de melhor ajuste semivariográfico, concordando com aqueles verificados por Freddi (2003), trabalhado com sistema de preparo convencional do solo, Montanari (2009), trabalhando no sistema plantio direto, e também com Dalchiavon et al, (2012), trabalhando com a variabilidade espacial de atributos químicos do solo num Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de plantio direto, nos quais variaram entre 0,991, 0,826 e 0,942, respectivamente. Em relação ao ADE, o valor muito alto observado (99,8%) concordou com Freddi (2003) e Dalchiavon et al, (2012), os quais obtiveram 91,2 e 91,9%, respectivamente, tendo discordado de Montanari (2009) com valor de alta dependência, no qual obteve o ADE de 63,6%. Quanto ao modelo esférico ajustado para o pH₂, ficou de acordo com os referidos autores. Contudo, o alcance do pH₂ do presente (1572m), foi maior do que aquele dos autores citados, que foi de 20,4, 60,0, e 13,8 m, respectivamente,

No terceiro caso (Al₂), seu valor do r^2 (0,931), indicou ser tal atributo o terceiro de melhor ajuste semivariográfico, discordou dos resultados encontrados por Dalchiavon et al, (2017) que trabalharam, com os atributos químicos em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, tendo

detectado efeito pepita puro para o teor de alumínio, Em relação ao ADE o presente trabalho teve um valor de 99,1% e um alcance de 2217 m.

Na tabela 5, a relação decrescente dos alcances foi a seguinte: 1) H₂ (5600 m), 2) H₁ (5300 m), 3) Al₃ (5040 m), 4) K₁ (4830 m), 5) Argila₂ (4410 m), 6) K₃ (3450 m), 7) P₁ (2362 m), 8) Al₂ (2217 m), 9) K₂ (2170 m), 10) P₂ (1597 m), 11) pH₂ (1572m), 12) pH₃ (1528m), 13) pH₁(1366m), 14) Ca₁ (1207m) e 15) Al₁ (1100 m). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisas futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 1100 m.

Tabela 5. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico nas camadas 1 (0,0 - 0,25 m), 2 (0,25 - 0,50 m) e 3 (0,80 - 1,00 m) no município de Martinópolis - SP.

Atributo ^(a)	Parameters							Avaliador da dependência espacial	Classe
	Modelo ^(b)	Efeito pepita puro (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		
Atributos físicos e químicos do solo									
Arg1	epp	-	4,745	-	-	-	-	-	-
Arg2	esf	6,4	1,281,10 ¹	4410	0,867	7,200	50%	ME	
Arg3	epp	-	2,655,10 ¹	-	-	-	-	-	-
AF1	epp	-	9,206	-	-	-	-	-	-
AF2	epp	-	1,426,10 ¹	-	-	-	-	-	-
AF3	epp	-	3,209,10 ¹	-	-	-	-	-	-
pH1	esf	1,10 ⁻²	4,82,10 ⁻¹	1366	0,857	2,27,10 ⁻²	97,9%	MA	
pH2	esf	1,10 ⁻³	5,41,10 ⁻¹	1572	0,974	5,586,10 ⁻³	99,8%	MA	
pH3	esf	1,207,10 ⁻¹	2,94,10 ⁻¹	1528	0,653	1,51,10 ⁻²	59%	ME	
P1	esf	1,28,10 ¹	5,399,10 ¹	2362	0,816	4,06,10 ²	76,3%	AL	
P2	esf	2,48	7,414,10 ¹	1597	0,976	1,85,10 ⁻¹	66,5%	AL	
P3	epp	-	1,835,10 ¹	-	-	-	-	-	-
K1	esf	1,439,10 ⁻³	2,968,10 ⁻³	4830	0,815	4,440,10 ⁻⁷	51,5%	ME	
K2	esf	1,821,10 ⁻³	3,5652,10 ⁻³	2170	0,831	5,074,10 ⁻⁷	50,1%	ME	
K3	esf	6,9,10 ⁻⁴	1,990,10 ⁻³	3450	0,753	4,016,10 ⁻⁷	65,3%	AL	
Ca1	esf	3,09,10 ⁻¹	9,87,10 ⁻¹	1207	0,676	1,6,10 ⁻¹	68,7%	AL	
Ca2	epp	-	1,383,10 ¹	-	-	-	-	-	-
Ca3	epp	-	1,418,10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Mg1	epp	-	2,248,10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Mg2	epp	-	1,49,10 ⁻²	-	-	-	-	-	-
Mg3	epp	-	5,7,10 ⁻²	-	-	-	-	-	-
Al1	esf	2,38,10 ⁻²	9,36,10 ⁻²	1100	0,580	1,760,10 ⁻³	74,6%	AL	
AL2	exp	1,10 ⁻⁴	1,852,10 ⁻¹	2217	0,931	2,074,10 ⁻³	99,1%	MA	
AL3	esf	2,96,10	8,26,10 ⁻¹	5040	0,864	6,89 ⁻²	64%	ME	
H1	esf	4,69,10 ⁻²	9,39,10 ⁻²	5300	0,902	3,417,10 ⁻⁴	50,1%	ME	
H2	esf	4,480,10 ⁻²	1,476,10 ⁻¹	5600	0,910	1,553,10 ⁻³	69,6%	AL	
H3	epp	-	8,15,10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-
MO1	epp	-	7,02,10 ⁻²	-	-	-	-	-	-
MO2	epp	-	4,77,10 ⁻²	-	-	-	-	-	-
MO3	epp	-	2,636,10 ⁻²	-	-	-	-	-	-

^(a)Arg, AF, pH, P, K, Ca, Mg, Al, H e MO de 1 a 3, são respectivamente argila, areia fina, potencial hidrogeniônico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio e material orgânica; ^(b) exp = exponencial, esf = esférico, epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, a interpretação da proposta para o ADE foi a seguinte: a) ADE < 20% = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) 20% ADE < 40% = baixa dependência (BA); c) 40%

ADE < 60% = média dependência (ME); d) 60% ADE < 80% = alta dependência (AL) e e) 80% ADE < 100% = muito alta dependência (MA).

3.3 Mapas de krigagem dos atributos físicos e químicos estudados

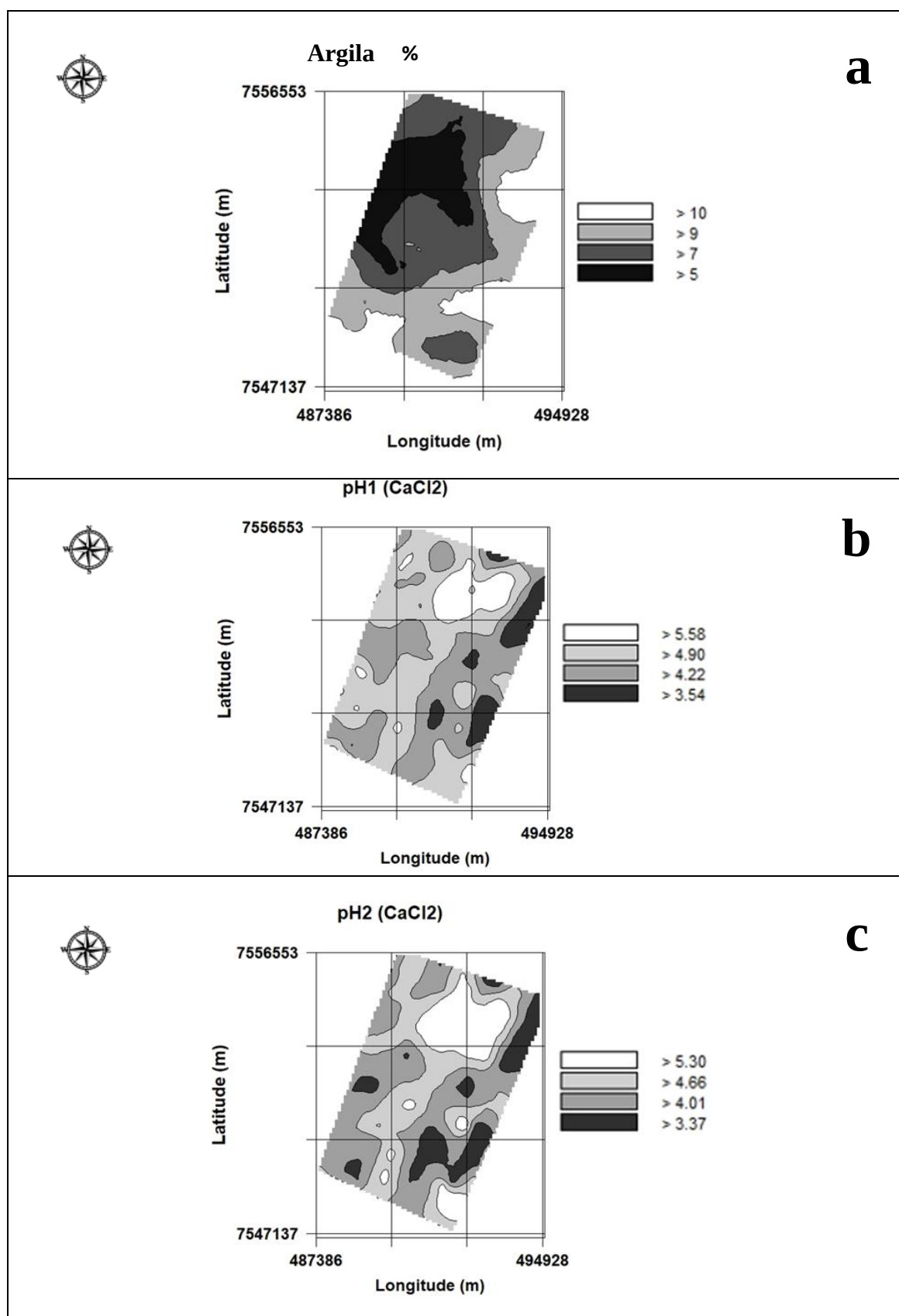
Na figura 2, estão apresentados os mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Martinópolis - SP para o cultivo da cana-de-açúcar, em relação aos mapas apresentados serão comentados aqueles de elevada semelhança espacial para efeito prático de manejo do solo. Onde: a) representa os teores de argila, b), c) e d) os teores de pH nas camadas 1, 2 e 3, respectivamente; e) e f) representam os valores de P nas camadas 1 e 2, respectivamente; os teores de K nas três camadas são representados por g), h) e i); a figura j) dispõe o teor de Ca na camada 1, e as figuras k), l) e m) representam os teores de Al nas três camadas; e as figuras n) e o) representam os teores de H nas camadas 1 e 2, respectivamente.

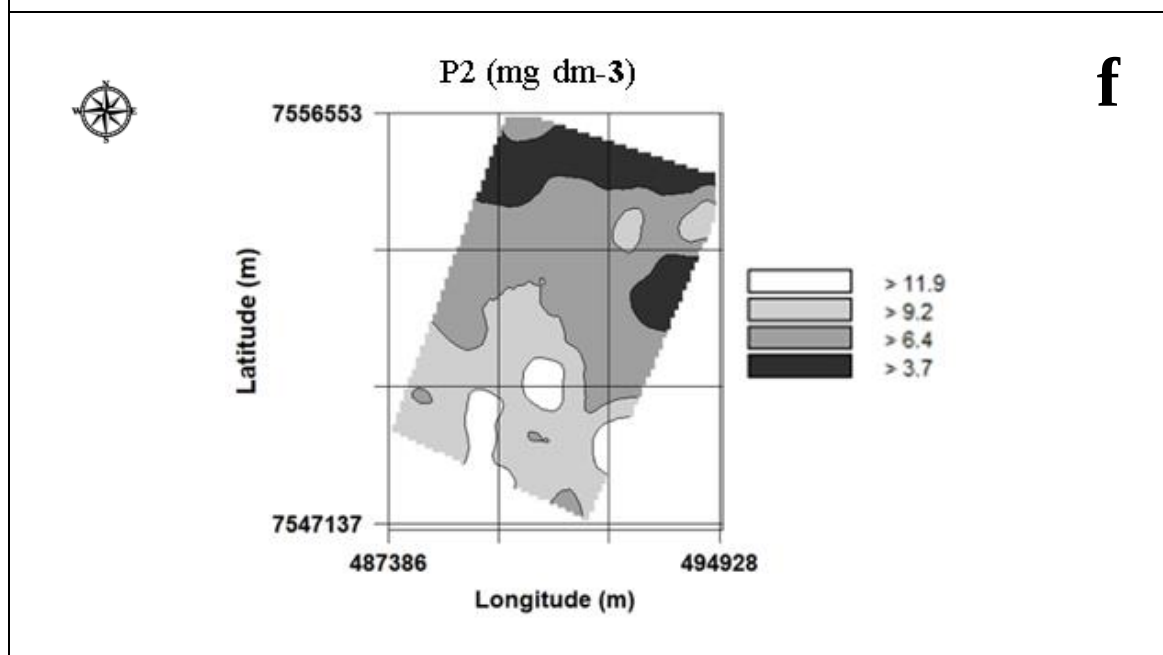
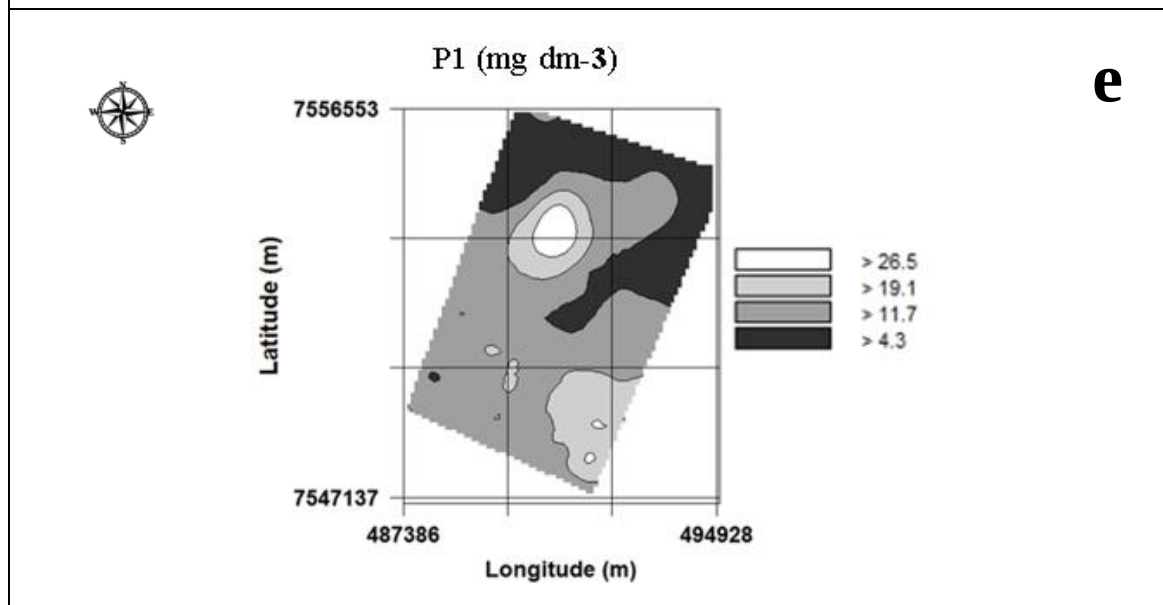
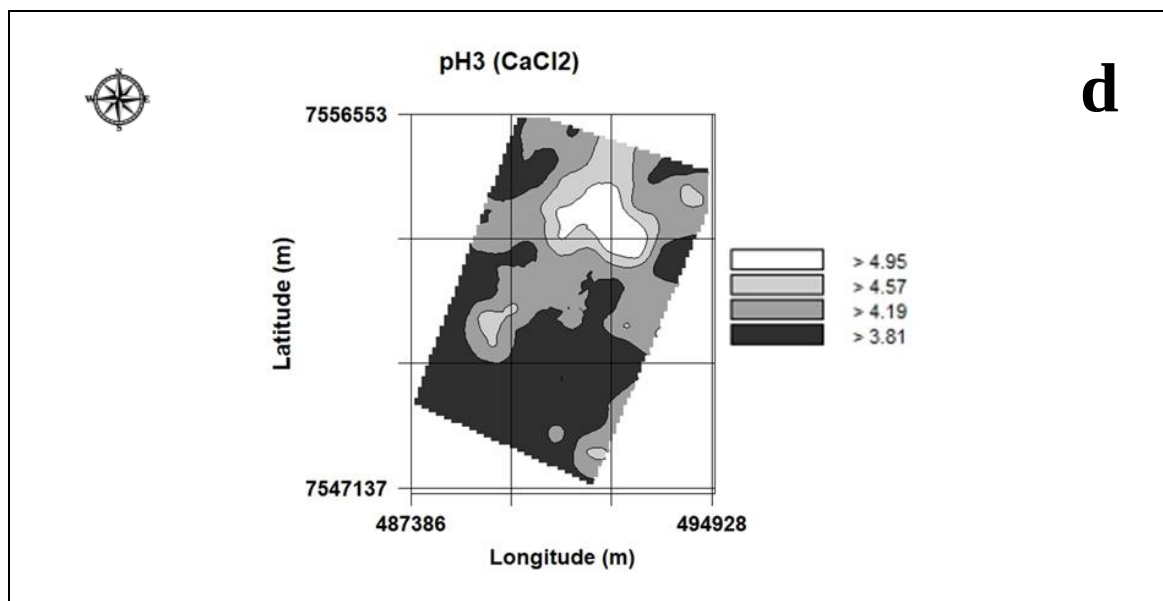
Pode-se observar a leste da área (figura 2a) os maiores valores de argila com 10%, nessa mesma condição ao leste da área foi encontrado solos mais ácidos nas três camadas pH₁ (figura 2b) com 3,54, pH₂ com 3,37 (figura 2c), pH₃ com 3,81 (figura 2d). Segundo (Santos et al., 2005), o pH influencia na multiplicação dos microrganismos do solo que se encontram ligados com a mineralização da matéria orgânica, nitrificação, fixação biológica de nitrogênio e infecção do sistema radicular com micorrizas, que expandem a disponibilidade de nutrientes. Assim sendo, uma das propriedades químicas do solo mais considerável para a determinação da produção.

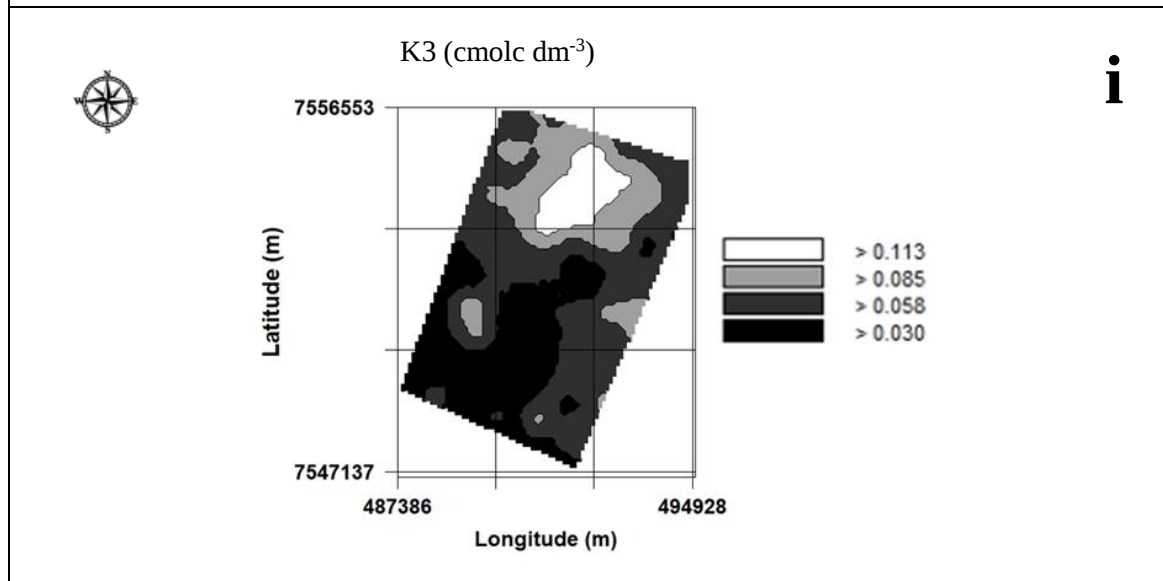
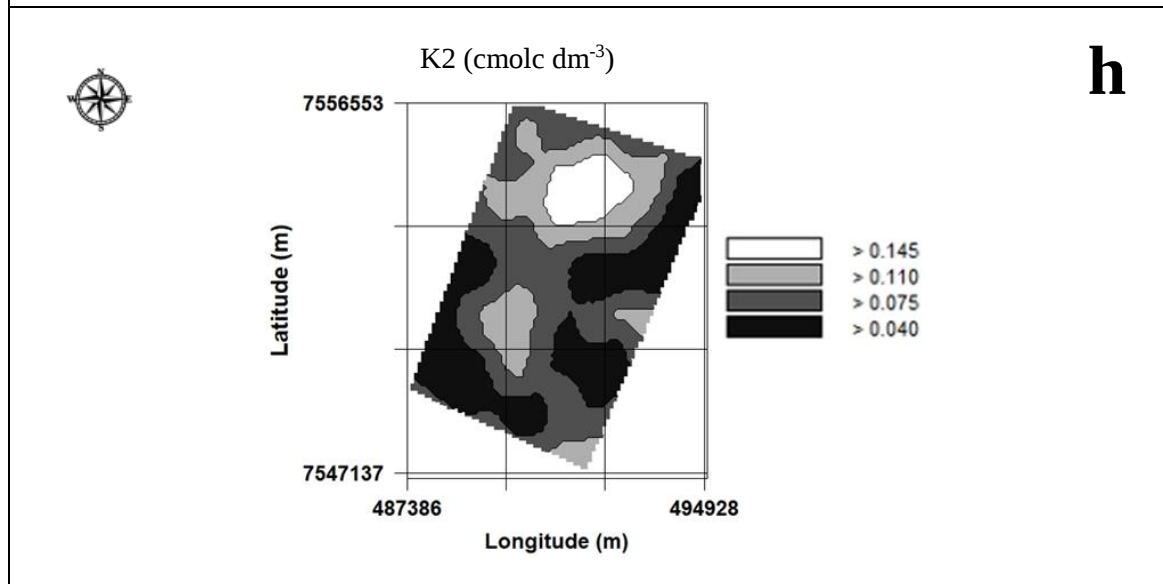
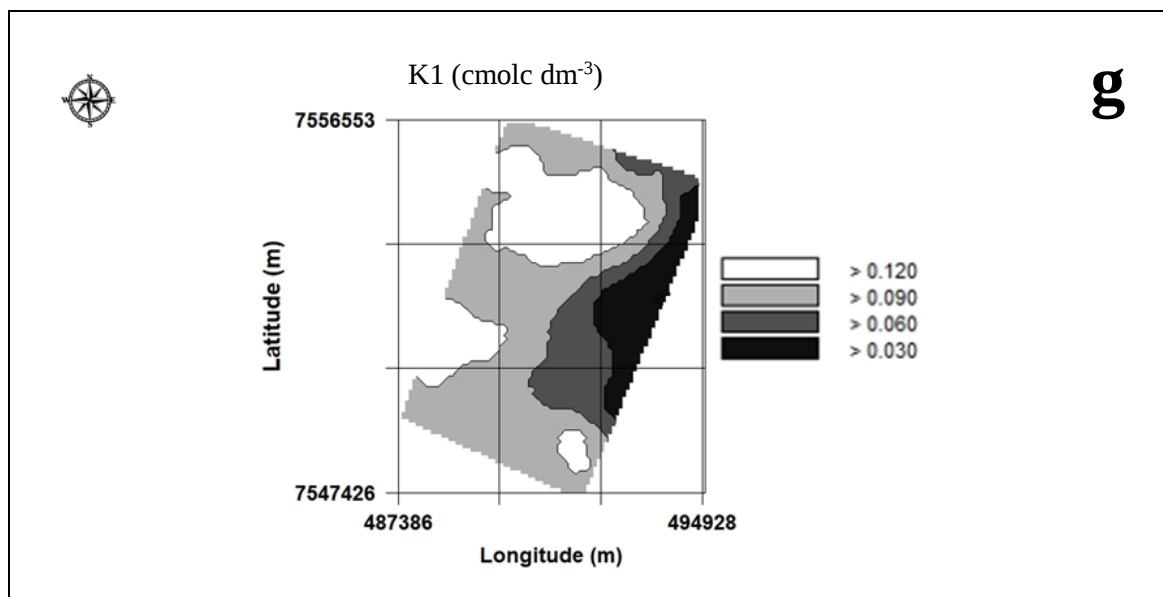
Para o teor de fósforo (figura 2e) os maiores valores são encontrados na região noroeste e sudeste do mapa com teores iguais a 26,5 e 19,1 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Já para a figura 2f, os maiores teores de fósforo estão na região sudeste com valores de 11,9 mg dm⁻³ de P. Segundo Silva et al, (2020) o aumento pode estar associado as palhadas de culturas ou cortes anteriores participando diretamente como um importante na reserva de nutrientes cuja a disponibilidade pode ser rápida e intensa, sendo que nossos solos apresentam baixa disponibilidade de P, sendo que aumento pode estar relacionado com palhada a colheita da cana-de-açúcar.

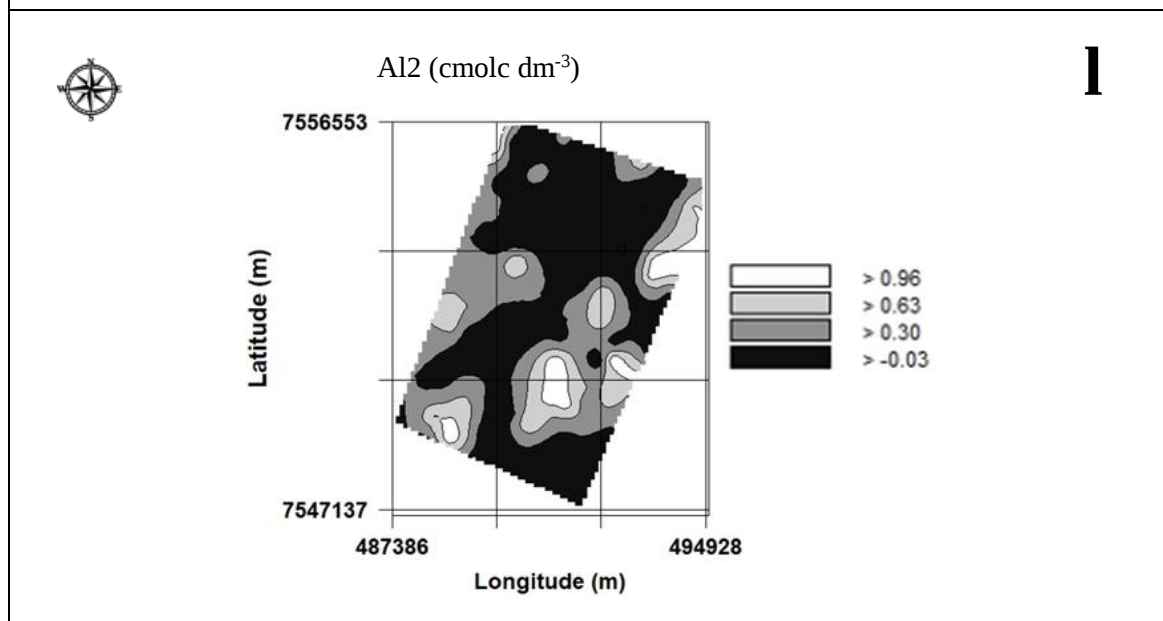
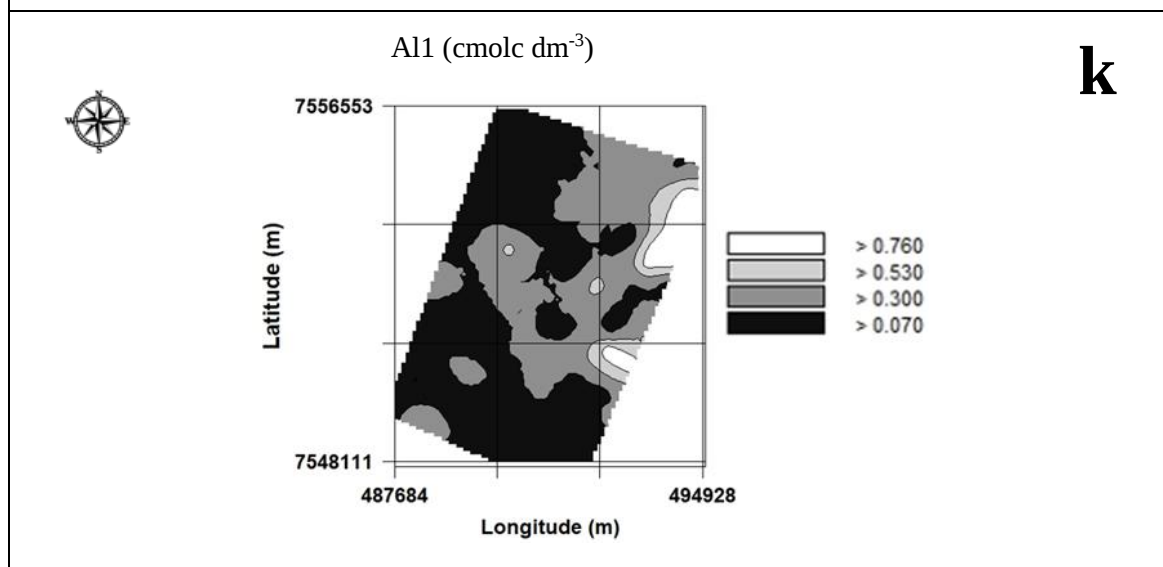
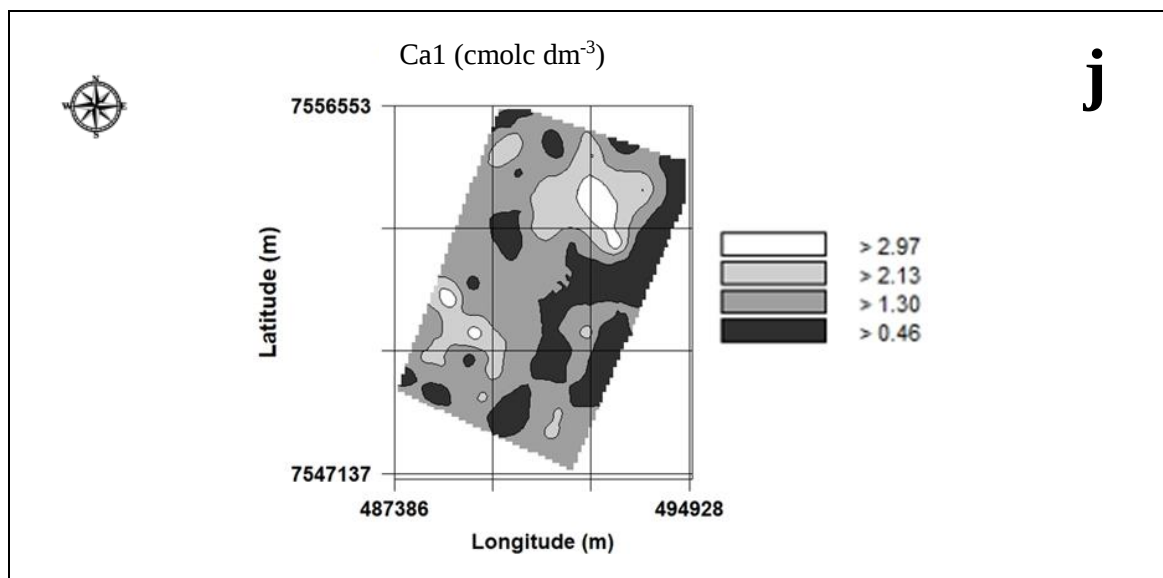
Para o teor de potássio (figuras 2g, 2h e 2i), os maiores valores são observados na região norte e noroeste dos mapas com valores variando entre 0,145 e 0,113 cmol_c dm⁻³ de K. Para o teor de alumínio (figuras 2k e 2l), os maiores valores estão na região norte e sudeste com valores de 0,76 e 0,96 cmol_c dm⁻³ de Al, e a figura 2m, os maiores teores de Al trocável estão na região sudoeste (1,61 cmol_c dm⁻³ de Al).

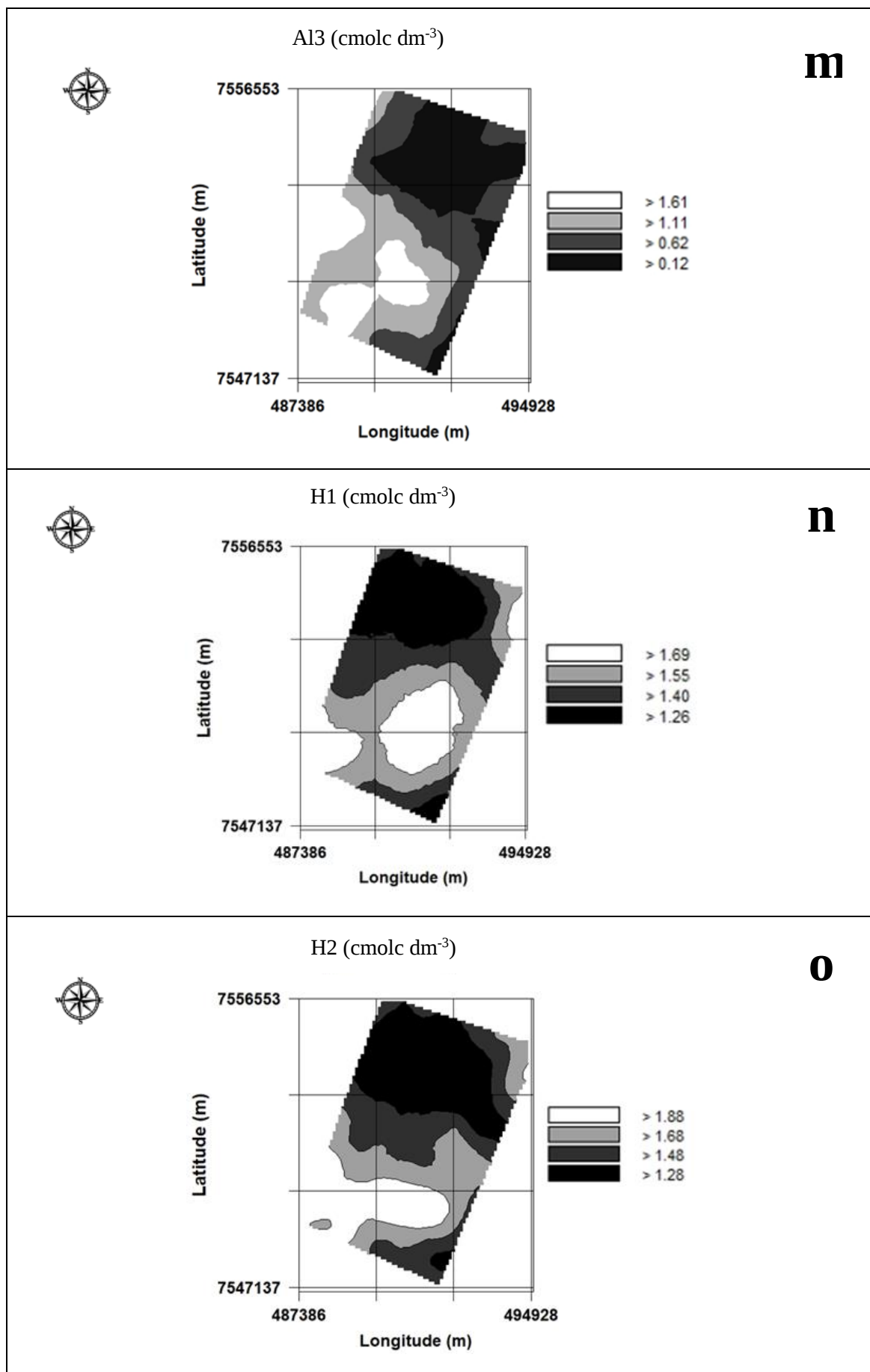
Figura 2. Mapas de krigagem de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob o cultivo de cana-de-açúcar no município de Martinópolis, SP.











5. CONCLUSÃO

Em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob o cultivo de cana-de-açúcar, estabelecido no município de Martinópolis (SP), conclui-se que:

1. As camadas de 0,25-0,50 e 0,80-1,00 m de profundidade, são as que apresentaram maiores variabilidades dos atributos químicos, após serem analisadas pelo coeficiente de variação.
2. Os valores dos alcances da dependência espacial a serem empregados deverão estar compreendidos entre 1100 e 5600 metros.
3. A fertilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes são baixas.

6. REFERÊNCIAS

Aguiar VF (2019) Aplicação de corretivos de acidez e condicionador do solo na implantação de *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça. Dissertação de Mestrado.

Anache JAA (2017) Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido a diferentes usos dos solos e variações climáticas em áreas do cerrado. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.

Bocuti ED, Amorim RSS, Gonçalves dos Santos T, Di Raimo LADL, Pereira HG (2019) Erodibilidade entres sulcos e sua relação com atributos de solos do Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias* 42(1):68-78.

Braga JA (2011) Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho Eutrófico do Noroeste Paulista. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

CNEPA – Carta de Solos do Estado de São Paulo (1960) Instituto de Química Agrícola: Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas. Rio de Janeiro, CNEPA, 1p.

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2017) Acompanhamento da safra brasileira, safra 2016/17, abril 2017. Conab. v 3, Safra 2016/17 - N. 4 - quarto levantamento.

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2020) Acompanhamento da safra brasileira, safra 2019/20, abril 2020. Conab. v 6, Safra 2019/20 - N. 4 - quarto levantamento.

Corrêa JC (2002) Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(2):203-209.

Dalchiavon FC, Carvalho MP, Freddi OS, Andreotti M, Montanari R (2011) Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo

Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia* 70(4):908-916. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400025>

Dalchiavon FC, Carvalho MP, Freddi OS, Andreotti M, Montanari R (2012) Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica* 43(3):453-461. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300006>

Dalchiavon FC, Rodrigues AR, Lima ES, Lovera LH, Montanari R (2017) Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. *Revista Ciência Agro veterinárias* 16(2):144-154. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711622017144>

Dias FLF, Mazza JA, Matsuoka S, Perecin D, Maule RF (1999) Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 23(3):627-634. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300016>

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2017) Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 3 ed. 575p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019) The state of food and agriculture: climate change, agriculture and food security. Rome, FAO, p50-60.

Freddi OS (2003) Variabilidade espacial da produtividade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) sob preparo convencional e plantio direto. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Grego CR, Galdino S, Édson EL, Nogueira SF, Bayma-Silva G, Araujo LS, Poccarr-Chapuis R, Thalês MC (2015) Distribuição espacial das classes de degradação de pastagem em Marabá, PA e sua correlação com as classes de solo e relevo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento, Belém - PA, Brasil.

GS +: Geostatistics for environmental sciences (2004) Gamma Design Software. Michigan, Plainwell, 7 ed. 159p.

Lemos Filho LC de A, Ferreira LL, Lyra DL de (2017) Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. *Revista Agro@mbiente*, 11(1):11-20 DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i1.3413>

Leroux C, Tisseyre B (2019) Como medir e relatar a variabilidade dentro do campo: uma revisão de indicadores comuns e sua sensibilidade. *Precisão Agric.* 20: 562-590. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9598-x>

Manzione RL (2002) Variabilidade especial de atributos químicos do solo em Araguari-MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu.

Molin JP, Amaral LR, Colaço AF (2015) Agricultura de precisão. 1 edição, Editor: oficina de texto, São Paulo.

Molin JP, Junior PAV, Neto DD, Faulin DC, Mascarin L (2007) Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 6(3):309-324.

Montanari R (2009) Produtividade do feijão em função de atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob dois sistemas de manejo. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Pimentel-Gomes F, Garcia CH (2002) Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. 1edição, Editor: Piracicaba: FEALQ. 11 v:309p.

Rachid Junior A, Uribe-Opazo MA, Souza EG, Johann JA (2006) Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo e da produtividade da soja num sistema de agricultura de precisão. Engenharia na Agricultura, 14(3):156-169.

Raij B.V., Andrade J.C. de, Cantarella H., Quaggio J.A. (2001). Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p.

Raimo LAL, Amorim RSS, Torres GN, Bocuti ED, Couto EG (2019) Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. Revista de Ciências Agrárias 42(1): 55-67. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA18122>

Santos PA, Carvalho MP, Freddi OS, Kitamura AE, Freitag EE, Vanzela LS (2005) Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica a penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. Revista Brasileira de Ciência do Solo 29(2):287-295, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200014>

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. Á., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., ... Oliveira, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos (3rd ed., p. 353). Brasília: Embrapa, (2013).

Schlotzhaver SD, Littell RC (1997) SAS system for elementary statical analysis. 2 ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

Shapiro SS, WILK MB (1965) An analysis of variance test for normality: complete samples. Biometrika, London, v.52, p.591-611.

Silva ERO, Pereira MG, Barros MM, Silva GO, Vaz AFS, Júnior LCS (2020) Intensidades amostrais para análise geoestatística da acidez de solo em produção orgânica de banana 'Princesa'. *Brazilian Journal of Development* 6(3):13630-13640. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-286>

Silva PH, Poggiani F, Limbardi PL, Gonçalves NA (2013) Fertilizer management on eucalypt plantations on Sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management* 301:67-68, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.033>

Sória JE (2014) Correlações lineares e espaciais entre atributos Físico-químicos de solos de diferentes ambientes de Produção de cana-de-açúcar no Noroeste do Estado de São Paulo. Dissertação Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Souza ZM, Cerri DGP, Colet MJ, Rodrigues LHA, Magalhães PSG, Mandoni RJA (2010) Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural* 40(4):840-847, DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000048>

Thomaz EL, Fidalski J (2019) Interrill erodibility of different sandy soils increases along a catena in the Caiuá Sandstone Formation. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 44:1-13. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190064>

Zanão Júnior LA, Lana RMQ, Carvalho-Zanão MP, Guimarães EC (2010) Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. *Revista Ceres*, 57:429-438. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300021>.

Tavares Filho, J., Barbosa, G. M. de. C., Ribon, A. A., 2010. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34, 925 - 933. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300034>.

SILVA, I, R.; MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (editores). *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, p. 276 – 357, 2007.