

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**Análise linear e espacial de atributos químicos de um
LATOSSOLO sob cultivo de soja em plantio direto em sequeiro**

Miro Júnior De Souza

Ilha Solteira - SP
Janeiro, 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**Análise linear e espacial de atributos químicos de um
LATOSSOLO sob cultivo de soja em plantio direto em sequeiro**

Acadêmico: Miro Júnior De Souza

Orientador: Rafael Montanari

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha
Solteira, Universidade Estadual Paulista “Julio
de Mesquita Filho”, como parte das exigências
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Ilha Solteira - SP

Janeiro, 2022

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

FICHA CATALOGRÁFICA

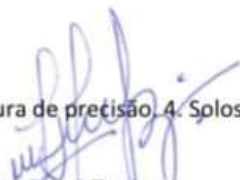
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729a Souza, Miro Junior de .
Análise linear e espacial de atributos químicos de um latossolo sob cultivo de soja em plantio direto em sequeiro / Miro Junior de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
30 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. Física do solo. 2. Geoestatística. 3. Agricultura de precisão. 4. Solos. 5. Manejo e conservação do solo. 6. Plantio direto.


João Josué Barbosa

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretor Técnico
CRB 8-5642

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

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: Análise linear e espacial de atributos químicos de um Latossolo sob a cultura da soja no Cerrado em sistema de plantio direto

ALUNO: Miro Júnior de Souza

RA: 181051842

ORIENTADOR: Rafael Montanari

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9.8

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Montanari *Presidente*
(Orientador)

Dr. Douglas Henrique Bandeira

Me. Tatiane Carla Silva

Miro Júnior de Souza

Ilha Solteira, 06 de janeiro de 2022.

DEDICATÓRIA

Em memória de Almiro Francisco de Souza, eterno pai que sempre será lembrado pela sua família e Guilherme Penitente, amigo de graduação que sempre vou me lembrar. Dedico esse trabalho também a minha irmã Amanda Rafaela que foi minha primeira influência de contato com o campo, dedico também a todos meus colegas de graduação e professores que contribuíram para minha formação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus em sua grandeza. Agradeço a minha família, principalmente minha mãe Raquel Rafaela, meu pai Almiro Francisco, meu padrasto Claudinei Silva e minha irmã Amanda Rafaela por sempre acreditarem em minha capacidade e priorizarem minha educação. Vou ser sempre grato por cada amigo que me fez rir durante a minha graduação, cada momento que passamos juntos e cada conversa que tivemos. Por fim agradeço a todos os profissionais que me auxiliaram durante a minha formação, em especial, o professor Rafael Montanari.

RESUMO

Análise linear e espacial de atributos químicos de um LATOSSOLO sob cultivo de soja em plantio direto em sequeiro

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo pode diminuir os erros no manejo do solo e da cultura implantada, assim a análise da variabilidade do solo por meio de técnicas da Geoestatística, pode mostrar alternativas de divergentes manejos, para assim diminuir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção agrícola. Este trabalho objetivou analisar as correlações lineares e espaciais de atributos químicos de um Latossolo sob cultivo de soja em plantio direto. O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) no município de Selvíria – MS, sob implantação da cultura da soja, onde foram retiradas 60 amostras deformadas nas profundidades de 0,00 – 0,20m e 0,20 – 0,40m. Os resultados foram analisados por meio da estatística clássica e da geoestatística, onde a dependência espacial varia de acordo com o atributo químico avaliado. Os atributos que apresentaram dependência espacial foram MO_2 , K1, Mg_2 e Al_2 , os demais não apresentaram. Foram obtidos mapas por meio da interpolação de dados, através do método da krigagem onde maior coeficiente de determinação espacial (r^2) para o ajuste do modelo foi o da matéria orgânica nas profundidades de 0,20 – 0,40 ($MO_2 = 0,964$) e o menor coeficiente foi para o potássio ($K1 = 0,322$), além disso, os valores dos alcances geoestatísticos dos atributos que ficaram entre 13m (Al_2) e 9,52m (K1). Para um mesmo nutriente o alcance foi diferente entre as camadas amostradas, denotando além de variabilidade horizontal, a presença de variabilidade vertical na área de cultivo.

Palavras-chave: Conservação do solo; Geoestatística; Manejo do solo .

ABSTRACT

Linear and spatial analysis of chemical attributes of an Oxisol under no-tillage soybean cultivation in rainfed

Knowledge of the spatial variability of soil properties can reduce errors in soil management and the implanted culture, so the analysis of soil variability through Geostatistics techniques can show alternatives for different managements, in order to reduce the effects of variability of soil on agricultural production. This work aimed to analyze the linear and spatial correlations of chemical attributes of an Oxisol under no-tillage soybean cultivation. The work was carried out at the Research and Extension Teaching Farm (FEPE) in the municipality of Selvíria - MS, under the implantation of the soybean crop, where 60 deformed samples were taken at depths of 0.00 - 0.20 m and 0.20 - 0.40m. The results were analyzed using classical statistics and geostatistics, where the spatial dependence varies according to the chemical attribute evaluated. The attributes that showed spatial dependence were MO₂, K₁, Mg₂ and Al₂, the others did not. Maps were obtained through data interpolation, using the kriging method, where the highest coefficient of spatial determination (r^2) for the adjustment of the model was that of organic matter at depths of 0.20 – 0.40 (MO₂ = 0.964) and the lowest coefficient was for potassium (K₁ = 0.322), in addition, the values of the geostatistical ranges of the attributes were between 13m (Al₂) and 9.52m (K₁). For the same nutrient, the range was different between the layers sampled, denoting in addition to horizontal variability, the presence of vertical variability in the cultivation area.

Keywords: Soil conservation; Geostatistics; Soil management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localidade da implantação da malha de amostragem_____	14
Figura 2: Área sob plantio de soja em Selvíria – MS_____	14
Figura 3: Pontos amostrais_____	15
Figura 4: Amostras secando em terra fina seca ao ar (TFSA)_____	16
Figura 5: Semivariogramas simples de alguns atributos químicos no sequeiro (K1, MO2, Mg2, Al2) de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto_____	27
Figura 6: Mapas de krigagem de alguns atributos químicos no sequeiro (K1, MO2, Mg2, Al2) de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto_____	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização dos atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos nas camadas de 0,00 a 0,20 m, no ano de 2016. Selvíria/MS_____	15
Tabela 2: Análise descritiva dos atributos químicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20m (1) e 0,20 – 0,40m sob plantio direto no sequeiro_____	18
Tabela 3: Matriz de correlação de alguns atributos químicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20 m sob plantio direto no sequeiro_____	21
Tabela 4: Matriz de correlação de alguns atributos químicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,20 - 0,40 m sob plantio direto no sequeiro_____	23
Tabela 5: Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos químicos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférrico sob plantio direto em sequeiro nas profundidades 0,00 – 0,20 e 0,20 – 0,40_____	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1 Localização e informações da área	13
2.2 Histórico da área	15
2.3 Implantação do experimento	15
2.4 Determinação dos atributos químicos	16
2.4.1 Matéria orgânica	16
2.4.2 Potencial hidrogeniônico do solo	17
2.4.3 Cálcio, magnésio e potássio	17
2.4.4 Análise estatística dos atributos pesquisados	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1 Análise estatística dos dados	18
3.1.1 Análise de correlação dos dados	21
3.2 Análise geoestatística dos dados	25
3.2.1 Análise dos semivariogramas	27
3.2.2 Análise dos mapas de krigagem	28
4. CONCLUSÕES	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de tipos de solos, correspondendo assim a diferentes formas, tipos de relevo, climas, vegetações e materiais de origem. O uso do solo sem uma análise de seus potenciais e suas limitações tem sido um dos motivos da degradação dos recursos naturais necessários para a sobrevivência do homem (MANZATTO *et al*, 2002). A abertura de novas áreas visando a produção de alimentos é extremamente questionado pela sociedade, já a intensificação de uso da terra em áreas antropizadas é uma das opções mais aceitas pelos órgãos envolvidos com a questão de desenvolvimento sustentável (BALBINO *et al*, 2011).

O sistema plantio direto (SPD) foi consolidado com grande inovação tecnológica no início da década de 70, sendo utilizado em larga escala até nos dias atuais. Seu sucesso reside pelo fato da palha, deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente favorável ao crescimento vegetal contribuindo assim para a estabilidade da produção e para a recuperação da qualidade do solo (ALVARENGA *et al*, 2001).

A fertilidade do solo assume abrangência maior do que a habitual, expressa pelos parâmetros acidez, disponibilidade de nutrientes e nível de matéria orgânica. Os parâmetros físicos, armazenamento e fornecimento de água, armazenamento e difusão de calor e permeabilidade ao ar, à água e às raízes, possuem grande relevância na avaliação da fertilidade do solo. A mobilização da camada arável proporcionada pelos preparos de solo e pela ação de implementos agrícolas acabam por modificar a estrutura do mesmo e também aceleram a decomposição da matéria orgânica, tornando assim os agregados menores e instáveis. O Sistema Plantio Direto não fraciona e nem desarranja agregados no perfil do solo e também não estimula a oxidação da matéria orgânica, logo contribui para a agregação e a melhoria da textura do solo. Assim a implantação do sistema plantio direto em diferentes níveis de fertilidade é possível, porém o condicionamento físico e químico do solo antes do estabelecimento do mesmo antecipa a obtenção dos benefícios preconizados (KOCHHANN *et al*, 2000).

Além disso o Sistema Plantio Direto tem por objetivo a geração de rendas e produtos. A sustentabilidade associada não está apenas no aspecto ecológico, mas também em aspectos econômicos e sociais a ele associados. A rotação de culturas é um requisito fundamental para a viabilização do SPD como um negócio agrícola sustentável, porém as espécies utilizadas devem possuir um caráter técnico, com o objetivo da conservação do solo e a preservação ambiental, como um caráter econômico e comercial, compatível assim com sistemas de produção

regionalmente praticados. Deve ser levado em consideração na escolha de espécies além do potencial de rentabilidade do sistema, o histórico e o estado atual da lavoura. No Brasil a diversidade de espécies que podem integrar sistemas de rotação de culturas é ampla, levando em consideração as características regionais (KOCHHANN *et al*, 2000).

Apesar de suas vantagens, fatores como a compactação do solo decorrente da ausência de revolvimento do mesmo e da ocorrência sistemática do tráfego de máquinas e implementos, isso ocorre porque a movimentação do solo no SPD é restrita a linha de semeadura (TORMENA *et al*, 1998).

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo pode diminuir os erros no manejo do solo e da cultura, assim a análise da variabilidade do solo por meio de técnicas da Geoestatística, pode mostrar alternativas de divergentes manejos, para assim diminuir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção de culturas (Lemos *et al*, 2008). Utilizando a geoestatística será possível organizar diferentes dados disponíveis, de acordo com suas semelhanças entre vizinhos georreferenciados, usando técnicas utilizadas na área de solos, caracterizando assim uma dependência espacial de diversos atributos físicos e químicos independentemente do tamanho da área amostrada (OLIVEIRA *et al*, 2015).

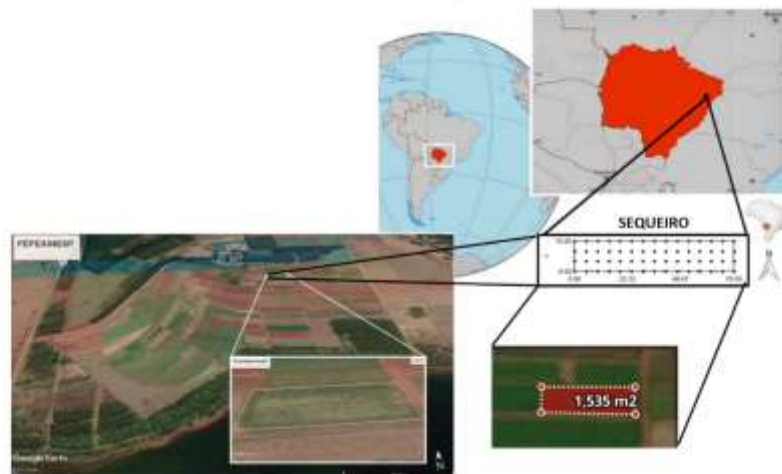
O principal objetivo do presente trabalho foi avaliar linear e espacialmente os atributos Potencial hidrogeniônico (Ph), Matéria orgânica (Mo), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Alumínio (Al) de um LATOSSOLO do cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e informações da área

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira localizado no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul (20°20'05"S e 51°24'26"W, altitude de 335 m). O clima é classificado como Aw segundo Koppen, sendo caracterizado como tropical úmido, apresentando seca no inverno e uma estação chuvosa no verão. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al*, 2013) o solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico argiloso (520g kg⁻¹).

Figura 1. Localidade da implantação da malha de amostragem



Fonte: Dados da pesquisa do autor

2.2 Histórico da área

Em relação ao histórico da área foi realizado o cultivo sucessivo de soja (novembro de 2017 a março de 2018), em seguida sorgo sob consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás (novembro de 2018 a março de 2019), sequentemente aveia preta (junho a outubro de 2019), soja (novembro de 2019 a março de 2020) e por fim aveia preta (junho a outubro de 2020). Além disso a pesquisa foi estabelecida numa área com culturas anuais sob Sistema Plantio Direto (SPD) há 6 anos. Além disso na área foi aplicado calcário dolomítico (PRNT 85%) em superfície na dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ em setembro de 2015, sendo também feito o preparo da área agrícola antes da semeadura das culturas, sendo utilizado o herbicida Glyphosate (1.560 g ha^{-1} do i.a.) para a dessecação da flora daninha (NAKAO, 2021).

Figura 2- Área sob plantio de soja em Selvíria – MS.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

2.3 Implantação do experimento

Antes de se realizar as coletas e as análises dos atributos do solo foi realizada a caracterização do solo no ano de 2016.

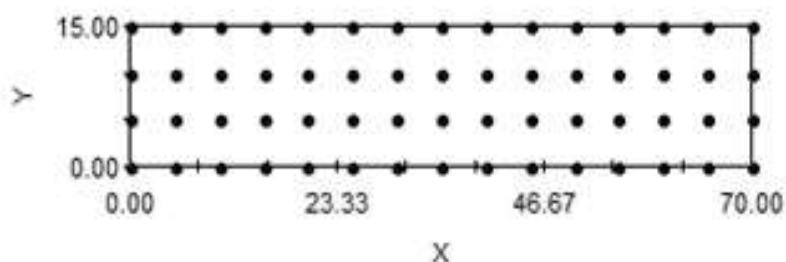
Tabela 1- Caracterização dos atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos nas camadas de 0,00 a 0,20 m, no ano de 2016. Selvíria/MS.

Profundidade	M.O.	pH	K	Ca	Mg	AL
	g dm ⁻³	g dm ⁻³	-----mmolc.dm ⁻³ -----			
0,00 – 0,20 m	21	4,9	4,8	20	11	03

Fonte: Nakao 2021.

Foi instalado na área experimental a malha geoestatística, onde a preparação inicial do solo foi implementada através do levantamento aleatório de 60 pontos de amostragem, foram retiradas amostras deformadas nas profundidades de 0-0,20m e 0,20-0,40m com auxílio de um trado de caneca, colocando as amostras em saquinhos plásticos com identificação. O tratamento foi obtido em uma área de cultivo de soja (*Glycine max*) sob plantio direto no ano agrícola de 2019/20 onde foi instalado uma malha de coleta de dados de campo. Foram definidas as direções de x e y do sistema de coordenadas cartesianas, empregando-se em nível ótico comum, realizando assim o estaqueamento global da malha experimental após a semeadura da soja, isso no início de novembro de 2020. A malha foi constituída de 15m x 70m, logo as transeções (4 X 15), com pontos amostrais esquadrejados em 5,00m x 5,00m totalizando assim 60 pontos amostrais numa área com 1.050m² (figura 3).

Figura 3 – Pontos amostrais



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Em seguida as amostras foram secas por secas por terra fina seca ao ar (TFSA) e foram enviadas para o Laboratório de Fertilidade da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira para a

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.

Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)

3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

determinação dos atributos Potencial hidrogeniônico (Ph), Matéria orgânica (Mo), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Alumínio (Al).

Figura 4 – Amostras secando em terra fina seca ao ar (TFSA)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

2.4 Determinação dos atributos químicos

2.4.1 Matéria orgânica

Para as análises de laboratório foi utilizado a metodologia da EMBRAPA 2017, para a matéria orgânica (Mo) foi pego 20g de solo, onde este foi triturado passando pela peneira de 80mesh, desta quantia foi pesado 0,5 e colocado num Erlenmeyer de 250ml que em seguida foi adicionado 10ml de dicromato de potássio 0,4N. Na sequência foi incluído um branco com 10ml da solução de dicromato de potássio e foi anotado o volume do sulfato ferroso amoniacal que foi gasto, assim foi colocado um tubo de ensaio de 25mm de diâmetro e 250mm de altura cheio de água na boca do Erlenmeyer (possuindo uma função de condensador), em seguida foi aquecida em placa elétrica até fervura. É necessário deixar esfriar juntando 80ml de água destilada, 2ml de ácido ortofosfórico e 3 gotas de difenilamina que atua como um indicador. Por fim foi realizado a titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1N até o momento que a cor azul desapareceu e ficou verde, com isso é necessário anotar o número de mililitros gastos.

Para a realização do cálculo primeiramente é necessário realizar o de carbono (C) pela seguinte fórmula (1)

$$C \text{ (g/kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6 \quad (1)$$

Onde F = 40/volume sulfato ferroso gasto na prova em branco

Em seguida é calculado a matéria orgânica (Mo) pela fórmula (2)

$$\text{Matéria orgânica (g/kg)} = C \text{ (g/kg)} \times 1,724$$

2.4.2 Potencial hidrogeniônico do solo

Para o pH do solo, é pesado 10g de TFSA e adicionado em copo plástico de 100ml, em seguida é adicionado 25ml de água destilada e agitado com o bastão de vidro por 1 minuto deixando em repouso por 1 hora. Depois do repouso é agitado cada amostra com o bastão de vidro, mergulhando os eletrodos na suspensão homogeneizada e fazendo a leitura do pH com o Phmetro (EMBRAPA, 2017).

2.4.3 Cálcio, Magnésio e Potássio

Além disso também foram obtidos os valores do cálcio (Ca) e magnésio (Mg) através dos cátions trocáveis. De forma geral o princípio constitui a extração KCl 1mol L⁻¹ determinando assim de forma complexométrica na presença de indicadores negro de eriocromo e murexida ou calcon, onde é obtida uma alíquota de 25,00ml na extração de KCl 1mol L⁻¹, até a viragem da cor vermelho-arroxeadada para o azul puro ou esverdeado, assim é possível determinar o Ca²⁺ e o Mg²⁺, em seguida é anotado o volume da solução. Sequentemente é feito a conta:

$$Mg^{2+} = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) - Ca^{2+}$$

Mg²⁺ – concentração de Mg²⁺ trocável no solo, em cmol_c kg⁻¹.

(Ca²⁺ + Mg²⁺) – concentração de Ca²⁺ + Mg²⁺ trocáveis no solo, em cmol_c kg⁻¹.

Ca²⁺ – concentração de Ca²⁺ trocável no solo, em cmol_c kg⁻¹

Para o potássio (K) é utilizado o somatório dos teores das bases cálcio, magnésio, potássio e sódio em cmol_c kg⁻¹, podendo descartar os demais micronutrientes para o cálculo (EMBRAPA, 2017).

$$\text{Valor S} = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}$$

Valor S – soma de bases trocáveis, em cmol_c kg⁻¹

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ – teor de cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis no solo, respectivamente, em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Em seguida é se necessário o potássio é transformado em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ através da fórmula:

$$K (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = K (\text{mg kg}^{-1}) / 390$$

2.4.4 Análise estatística dos atributos pesquisados

Os atributos analisados foram submetidos a análise descritiva pela estatística clássica sendo utilizado o SAS (SHLOTZHAVER *et al*, 1997). Por fim foi feito a análise da distribuição de frequência através do teste de Shapiro e Wilk com 1% probabilidade de erro. Foi usado o programa GS+ 7.0. para fazer a modelagem geoespacial. Foi utilizado também a krigagem onde será estimado valores em locais não amostrados por se tratar de um estimador linear, assim serão feitos mapas de isolinhas pelo GS+, representando assim linhas bem definidas e embasadas em um algoritmo de regressão linear de acordo com Tavanti *et al*. (2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise estatística dos dados

Tabela 2: Análise descritiva dos atributos químicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20m (1) e 0,20 – 0,40m sob plantio direto no sequeiro.

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente				
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria		
									Pr<w	DF
Atributos químico do solo do solo										
MO1(g dm ⁻³)	26,733	26,000	16,000	38,000	4,414	19,487	0,739	0,586	0,0311	IN
MO2(g dm ⁻³)	16,016	15,000	12,000	24,000	2,534	6,423	1,958	1,318	0,0001	IN
pH1(CaCl ²)	4,866	4,800	4,200	5,800	0,401	0,161	-0,687	0,199	0,1482	NO
pH2(CaCl ²)	4,733	4,700	3,800	5,500	0,379	0,144	-0,242	-0,070	0,6358	NO
K1(mmol dm ⁻³)	2,396	2,250	1,100	4,300	0,849	0,721	-0,592	0,530	0,0165	IN
K2 (mmol dm ⁻³)	1,448	1,400	0,600	3,000	0,476	0,226	0,601	0,610	0,0980	NO
Ca1(mmol dm ⁻³)	18,366	17,000	9,000	39,000	6,706	44,981	1,628	1,127	0,0005	IN
Ca2(mmol dm ⁻³)	10,766	10,000	5,000	21,000	3,264	10,656	1,306	0,934	0,0066	IN
Mg1(mmol dm ⁻³)	18,450	19,000	7,000	30,000	5,711	32,624	-0,530	-0,168	0,3715	NO
Mg2(mmol dm ⁻³)	12,908	13,000	4,000	22,000	4,598	21,148	-0,335	0,071	0,1131	NO
Al1(mmol dm ⁻³)	2,166	2,000	0,000	10,000	2,669	7,124	2,030	1,552	0,0001	IN
Al2(mmol dm ⁻³)	2,700	2,000	0,000	9,000	2,499	6,247	-0,133	0,886	0,0001	IN

^(a) MO, pH, K, Ca, Mg, Al são respectivamente, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, cálcio, magnésio

e alumínio ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.

Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)

3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

Quando uma variável estatística possui uma distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central adequada para fazer a sua representação é a média, em contrapartida será representada pela mediana (DALCHIAVON *et al*, 2017). Já a assimetria vai mensurar o enviesamento da distribuição relativamente a média e a curtose é uma medida do pico de uma determinada distribuição de acordo com Cooper e Schindler, 2011; Hair Jr. *et al.*, 2005; Malhotra, 2006; Maroco, 2003.

O valor médio de pH1 e pH2 (pH1 = 4,86 e pH2 = 4,73) como pode ser verificado na tabela 2, possibilitou um ambiente de acidez alta (pH entre 4,4 – 5,0). Para as bases trocáveis, (K1 = 2,39 mmol dm⁻³; K2 = 1,44 mmol dm⁻³; Mg1 = 18,45 mmol dm⁻³; Mg2 = 12,90 mmol dm⁻³; Ca1 = 18,36 mmol dm⁻³; Ca2 = 10,76 mmol dm⁻³) estes classificaram o solo como alta (Mg1, Ca1, Mg2, Ca2), média (K1) e baixa fertilidade (K2) de acordo com RAIJ BV *et al*, 1997.

Dalchiavon *et al.* (2017) pesquisaram sobre o cultivo da soja em um Latossolo Vermelho Distrófico sob plantio direto em uma malha com 100 pontos e obtiveram valor de MO1 (24,5 g dm⁻³) próximo ao obtido no presente trabalho que foi de 26,73 g dm⁻³, que pode ser verificado na Tabela 2. O SPD possui como característica marcante o acréscimo de MO, que ocorre pelo fato da taxa de decomposição da palha mantida na superfície do solo ser menor do que se fosse incorporada. Assim, a alteração no teor de MO, tem implicações graduais nas alterações do pH (associada aos teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel) conforme Dalchiavon *et al.* (2017).

A diminuição do pH em profundidade foi decorrente dos menores teores de bases trocáveis nessas regiões do solo sendo constatado por Dalchiavon *et al.* (2012) em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, onde segundo esses autores, a tendência é que ocorra redução dos teores das bases trocáveis conforme aumenta a profundidade do solo, uma vez que o efeito da calagem é menos intenso nessas regiões.

A MO2 teve média de 16,01 g dm⁻³, esse valor é inferior ao valor encontrado por Souza *et al.* (2003) num Latossolo Vermelho – Escuro sob sistema plantio direto que foi de 31,9 g dm⁻³. Já o valor de pH2 (pH2 = 4,73) e K2 (K2 = 1,44 mmol_c dm⁻³) se apresentaram próximos aos valores obtidos por Souza *et al.* (2003) que foram respectivamente 4,70 (CaCl²) e 1,31 mmol_c dm⁻³, diferente do valor encontrado de Ca2 (Ca2 = 10,76 mmol_c dm⁻³) que é menor quando comparado ao trabalho de Souza *et al.* (2003) que apresenta um valor de 18,9 mmol_c dm⁻³, por fim o Mg (12,90 mmol_c dm⁻³) apresentou valor maior do que o encontrado por Souza *et al.* (2003) que foi de 9,6 mmol_c dm⁻³.

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Curso: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

O coeficiente de variação maior que 35% mostra que a série é heterogênea e a média tem pouco significado, se ele for maior que 65% a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Porém, se esse valor for menor que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser usada como representativa da série (CAVALCANTE *et al*, 2007). Logo, pode-se afirmar que o K1 (CV = 0,72%), K2 (CV = 0,22%), Ca2 (CV = 10,65%), Mg1 (CV = 32,62%), Mg2 (21,14%), Al1 (7,12%) e Al2 (6,24) apresentaram série de dados homogêneos com significado, diferente de Ca1(CV = 44,98%) que apresentou heterogeneidade.

O valor alto de CV para atributos químicos é resultado dos efeitos residuais de adubações realizadas anteriormente, levando em consideração que a adubação ocorre na linha de plantio, diferente da correção da acidez do solo e da deposição dos restos culturais que são feitas a lanço, não ocorrendo homogeneização sobre a área, isso ocorre mesmo nas aplicações a lanço que seguem com revolvimento do solo para incorporação do calcário gerando assim variabilidade no mesmo (CAVALCANTE *et al*, 2007).

De acordo com a Tabela 2, os atributos MO1, MO2, K1, Ca1, Ca2, Al1 e Al2 apresentaram distribuição de frequência indeterminada, já os atributos pH1, pH2, K2, Mg1 e Mg2 apresentaram distribuição de frequência do tipo normal com coeficientes de assimetria negativos pH2 e Mg1 (-0,070 e -0,168). Em relação a curtose foi negativo em pH1(-0,687), pH2(-0,242), K1(-0,592), Mg1(-0,530), Mg2(-0,335) e Al2 (-0,133).

O teste de Shapirowilk ($Pr < w$) é utilizado para observar a normalidade dos dados, apresentando ou não dados discrepantes. Os atributos pH1 (0,1482), pH 2 (0,6358), K2 (0,0980), Mg1 (0,3715) e Mg2 (0,1131) possuem normalidade.

3.1.1 Análise de correlação dos dados

Tabela 3. Matriz de correlação de alguns atributos químicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20 m sob plantio direto no sequeiro.

ATRIBUTOS ^(a)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ^(b)					
	MO1	pH1	K1	Ca1	Mg1	Al1
MO1	-	-	-	-	-	-
pH1	0,346**	-	-	-	-	-
K1	0,331**	0,117	-	-	-	-
Ca1	0,419**	0,805**	0,010	-	-	-
Mg1	0,430**	0,908**	0,088	0,820**	-	-
Al1	-0,380**	-0,396**	-0,167	-0,719**	-0,863**	-

^(a) MO, pH, K, Ca, Mg, Al são respectivamente, matéria orgânica, potencial hidrogênico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Em relação a Tabela 3 de correlação, é possível interpretar os atributos na camada de 0,00 – 0,20m de acordo com suas correlações diretamente proporcionais (positivas) e inversamente proporcionais (negativas), como as correlações significativas a 1% (**) e significativas a 5% (*). Os de correlação direta com os respectivos valores do coeficiente de correlação, foram o pH1 x MO1 ($r^2 = 0,346^{**}$), K1 x MO1 ($r^2 = 0,331^{**}$), Ca1 x MO1 ($r^2 = 0,419^{**}$), Ca1 x pH1 ($r^2 = 0,805^{**}$), Mg1 x MO1 ($r^2 = 0,430^{**}$), Mg1 x pH1 ($r^2 = 0,908^{**}$), Mg1 x Ca1 ($r^2 = 0,820^{**}$).

Na Tabela 3 é possível apontar correlação positiva entre pH1 x MO1 ($r^2 = 0,346^{**}$), sendo diretamente proporcional indicando que quanto maior for o teor de MO1 maior será o valor do pH1, semelhante aos resultados encontrados por Montanari *et al.* (2011) que estudaram a correlação de atributos químicos sob um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com soja em plantio direto. O aumento da quantidade de matéria orgânica, aumenta a capacidade de troca de cátions e consequentemente leva a um aumento do potencial hidrogeniônico do solo (DALCHIAVON *et al.*, 2017).

Já a correlação K1 x MO1 ($r^2 = 0,331^{**}$) é diretamente proporcional indicando que quanto maior for o teor de MO1 maior o teor de K1. A correlação entre Ca1 x MO1 ($r^2 = 0,419^{**}$) é diretamente proporcional indicando que quanto maior for o teor de MO1 maior o

índice de Ca1, semelhante ao resultado obtido pelo trabalho de Dalchiavon *et al.* (2017) que a correlação de atributos químicos sob um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com soja em plantio direto.

A correlação entre Ca1 x pH1 ($r^2 = 0,805^{**}$) é diretamente proporcional indicando que quanto maior for o teor de Ca1 mais alto é o pH1, semelhante ao resultado obtido por Dalchiavon *et al.* (2017) que foi $r^2 = 0,788^{**}$, estes autores estudaram a correlação de atributos químicos sob um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com soja em plantio direto.

Foi possível também identificar correlação entre Mg1 x MO1 ($r^2 = 0,430^{**}$) sendo diretamente proporcional indicando que quanto maior for o teor de MO1 mais alto é o Mg1, semelhante ao resultado encontrado pelo trabalho de Dalchiavon *et al.* (2017) que foi $r^2 = 0,275^{**}$ que estudaram a correlação de atributos químicos sob um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com soja em plantio direto.

A correlação entre Mg1 x pH1 ($r^2 = 0,908^{**}$) é diretamente proporcional indicando que quanto maior for o teor de Mg1 mais alto é o pH1, semelhante ao resultado encontrado pelo trabalho de Dalchiavon *et al.* (2017) que foi $r^2 = 0,873^{**}$ que estudaram a correlação de atributos químicos sob um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com soja em plantio direto.

Além disso, é possível identificar correlação entre Mg1 x Ca1 ($r^2 = 0,820^{**}$), sendo diretamente proporcional, indicando que quanto maior for o teor de Mg1 mais alto é o teor de Ca1, semelhante ao resultado encontrado pelo trabalho de Dalchiavon *et al.* (2017) que foi $r^2 = 0,883^{**}$ que estudaram a correlação de atributos químicos sob um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com soja em plantio direto.

Por fim podemos identificar correlações inversamente proporcionais de Alumínio com Matéria orgânica (Al1x MO1 ($R^2 = -0,380^{**}$)), Potencial hidrogeniônico (Al1 x pH1 ($r^2 = -0,396^{**}$)), Cálcio (Al1 x Ca1 ($r^2 = -0,719^{**}$)) e Magnésio (Al1 x Mg1 ($r^2 = -0,863^{**}$)). LIMA *et al.*, (2017) encontraram resultados semelhantes (Al1x MO1 ($R^2 = -0,414^{**}$); Al1 x pH ($r^2 = -0,712^{**}$); Al1 x Ca1 ($r^2 = -0,836^{**}$); Al1 x Mg1 ($r^2 = -0,803^{**}$)) estudando a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico.

Tabela 4. Matriz de correlação de alguns atributos químicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,20 - 0,40 m sob plantio direto no sequeiro.

ATRIBUTOS ^(a)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ^(b)					
	MO2	pH2	K2	Ca2	Mg2	Al2
MO2	-	-	-	-	-	-
pH2	-0,492**	-	-	-	-	-
K2	-0,113	-0,263*	-	-	-	-
Ca2	0,520**	0,587**	-0,399**	-	-	-
Mg2	0,205	0,839**	-0,351**	0,701**	-	-
Al2	0,083	-0,814**	0,120	-0,476**	-0,730**	-

^(a) MO, pH, K, Ca, Mg, são respectivamente, matéria orgânica, potencial hidrogênico, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Foi possível encontrar correlação entre pH2 x MO2 ($r^2 = -0,492^{**}$), inversamente proporcional indicando que quanto maior o índice de MO2 menor será o pH2, diferente do resultado encontrados por Montanari *et al.* (2011) que foi de $r^2 = -0,492^{**}$ que estudou a correlação de um latossolo vermelho com a produtividade da soja.

Já a correlação entre K2 x pH2 ($r^2 = -0,263^{**}$), inversamente proporcional indicando que quanto maior o índice de K2 menor será o pH2. Além disso, levando em consideração a reciclagem do K como resultado do acúmulo dos resíduos das culturas no SPD, foi observado uma maior disponibilidade nos primeiros 0,20m do solo. Isso permite então que possam ser adicionadas menores doses de adubação de manutenção sem comprometer a produtividade da cultura da soja (DALCHIAVON *et al.*, 2017).

Também foi encontrado correlação diretamente proporcional entre Ca2 x MO2 ($r^2 = 0,520^{**}$), mostrando que quanto maior o valor de MO2 maior vai ser o valor de Ca2 encontrado no solo. O não revolvimento do solo que acontece no plantio direto favorece a acumulação de nutrientes na superfície do solo, sendo possível observar também a diminuição dos valores dos atributos químicos em profundidade, de acordo com Cavalcante *et al.* (2007) que estudou a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos.

Ainda na Tabela 4 foi possível identificar correlação diretamente proporcional entre Ca_2 x pH_2 ($r^2 = 0,587^{**}$), mostrando que quanto maior o valor de pH_2 maior vai ser o valor de Ca_2 encontrado no solo. De acordo com Dalchiavon *et al.* (2017) que estudaram relações da produtividade de cana-de-açúcar em um Argissolo, o Ca está correlacionado com a diminuição da acidez do solo, além de atuar no sistema radicular da planta.

Foi possível identificar também uma correlação inversamente proporcional entre Ca_2 x K_2 ($r^2 = -0,399$), indicando que quanto maior o valor de Ca_2 menor o valor encontrado de K_2 . Lima *et al.* (2017) que estudaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico, encontraram um valor diferente sendo ele $r^2 = 0,296^{**}$.

Além disso foi encontrado correlações diretamente proporcionais para Mg_2 x pH_2 ($r^2 = 0,839$) e Mg_2 x Ca_2 ($r^2 = 0,701$), apresentando que quanto maior o valor de Mg_2 menor será o valor do pH_2 e do Ca_2 . Semelhante ao resultado obtido por Lima *et al.* (2017) que estudaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico, encontraram um valor diferente sendo ele $r^2 = 0,659^{**}$.

Também foi verificado correlação inversamente proporcional entre Mg_2 x K_2 ($r^2 = -0,351$) indicando que quanto maior for o teor de Mg_2 no solo menor será o de K_2 . Diferente do resultado estudado por Lima *et al.* (2017) que estudaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico, encontraram um valor diferente sendo ele $r^2 = 0,432^{**}$.

Portanto, para o Al foi verificado somente correlações inversamente proporcionais de Alumínio com Potencial hidrogeniônico (Al_2 x pH_2 ($r^2 = -0,814^{**}$), Cálcio (Al_2 x Ca_2 ($r^2 = -0,476^{**}$)) e Magnésio (Al_2 x Mg_2 ($r^2 = -0,730^{**}$)). LIMA *et al.*, (2017) encontraram resultados semelhantes (Al_2 x pH_2 ($r^2 = -0,556^{**}$); Al_2 x Ca_2 ($r^2 = -0,772^{**}$); Al_2 x Mg_2 ($r^2 = -0,686^{**}$)) estudando a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico.

Pode-se afirmar que essas correlações se destacam pois explicam a relação linear entre as medidas de acidez do solo para o Al_1 x Ca_1 ($r^2 = -0,719^{**}$), Al_1 x Mg_1 ($r^2 = -0,863^{**}$), Al_2 x Ca_2 ($r^2 = -0,476^{**}$) e Al_2 x Mg_2 ($r^2 = -0,730^{**}$). A correlação inversa indica que com a diminuição dos teores de cálcio e magnésio, ocorrerá um aumento substancial nos teores de alumínio no solo, resultando no aumento da solubilidade do alumínio no solo, tornando o

mesmo tóxico para o desenvolvimento da soja. A acidez do alumínio nos solos ácidos é um dos fatores que mais restringem o desenvolvimento e a produção florestal, sua elevada concentração são condições encontradas em grande parte dos solos tropicais de acordo com Lima *et al.* (2017).

3.2 Análise geoestatística dos dados

Tabela 5. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos químicos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférico sob plantio direto em sequeiro nas profundidades 0,00 – 0,20 e 0,20 – 0,40

Atributos ^(a)	Parâmetros							
	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance			Avaliador da dependência espacial	
				(A ₀)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)	Classe
MO1	epp	-	2,1.10	-	-	-	-	-
MO2	exp	6,6.10 ⁻¹	6,49	12,6	0,964	1,10 ⁻¹	90	forte
pH1	epp	-	1,65.10 ⁻¹	-	-	-	-	-
pH2	epp	-	1,482.10 ⁻¹	-	-	-	-	-
K1	gau	1.10 ⁻¹	7,23.10 ⁻¹	9,52	0,322	1,29.10 ⁻¹	85	forte
K2	epp	-	2,24.10 ⁻¹	-	-	-	-	-
Ca1	epp	-	3,74.10	-	-	-	-	-
Ca2	epp	-	1,08.10	-	-	-	-	-
Mg1	epp	-	2,34.10	-	-	-	-	-
Mg2	exp	1,46	9,77	12,9	0,450	7,64	85	forte
Al1	epp	-	7,353	-	-	-	-	-
Al2	exp	9.10 ⁻¹	6,7	13	0,917	2,94.10 ⁻¹	91	forte

^(a) MO, pH, K, Ca, Mg, Al são respectivamente matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio; ^(b) exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano, epp = efeito pepita puro; modelo sucedido por número entre parêntesis, significando o número de pares no primeiro lag; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Na Tabela 5 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples para os atributos químicos, podem ser visualizados valores dos alcances geoestatísticos dos atributos que ficaram entre 13m (Al2) e 9,52m (K1). Por outro lado, nenhum dos atributos apresentou o mesmo valor de alcance para as 2 profundidades analisadas denotando assim, além de variabilidade horizontal, variabilidade vertical entre as profundidades. Além disso deve-se

ressaltar a importância do alcance, este é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, mostrando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, assim, a partir dessa distância, o comportamento espacial da variável passa a ser aleatório (DALCHIAVON *et al*, 2017).

Os atributos que apresentaram dependência espacial foram MO₂, K₁, Mg₂ e Al₂ (Tabela 5), os demais não apresentaram. Pode-se afirmar que a falta de dependência é um indicativo de que o valor de semivariância é igual ao patamar, para qualquer valor de distância. Além disso a ausência total de dependência espacial é denominada de efeito pepita puro (“*nugget effect*”), sendo o alcance (A_0) inferior ao menor espaçamento entre amostras coletadas, assim nesses dados é possível observar uma distribuição aleatória que só pode ser interpretada pela estatística clássica. O EPP (efeito pepita puro) vai indicar se a distribuição espacial do atributo analisado é homogêneo, aleatório ou se a malha amostral não possui pontos suficientes para detectar a dependência (LIMA *et al*, 2017).

Para Matéria Orgânica (MO₂), seus parâmetros do semivariogramas foram: Modelo = exponencial; CO (efeito pepita) = $6,6 \cdot 10^{-1}$; $C_0 + C$ (patamar) = 6,49; Alcance = 12,6; Coeficiente de determinação (r^2) = 0,964; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = $1,10^{-1}$; Avaliador da dependência espacial (ADE) = 90%; com forte razão de dependência espacial. Foram encontrados dados diferentes ($C_0 + C = 5,980 \cdot 10^{-1}$) por LIMA *et al.*, (2017) que estudaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico

Em relação ao potássio (K₁), seus parâmetros do semivariogramas foram: Modelo = gaussiano; CO (efeito pepita) = $1 \cdot 10^{-1}$; $C_0 + C$ (patamar) = $7,23 \cdot 10^{-1}$; Alcance = 9,52; Coeficiente de determinação (r^2) = 0,322; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = $1,29 \cdot 10^{-1}$; Avaliador da dependência espacial (ADE) = 85%; com forte razão de dependência espacial. LIMA *et al.*, (2017) avaliaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico e encontraram valores diferentes dos obtidos no presente trabalho sendo eles CO (efeito pepita) = $1,50 \cdot 10^{-2}$; $C_0 + C$ (patamar) = $9,15 \cdot 10^{-2}$; Alcance = 23,4; Coeficiente de determinação (r^2) = 0,764; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = $2,500 \cdot 10^{-4}$, e o Avaliador da dependência espacial (ADE) = 83,2% foi o que ficou mais próximo do presente trabalho.

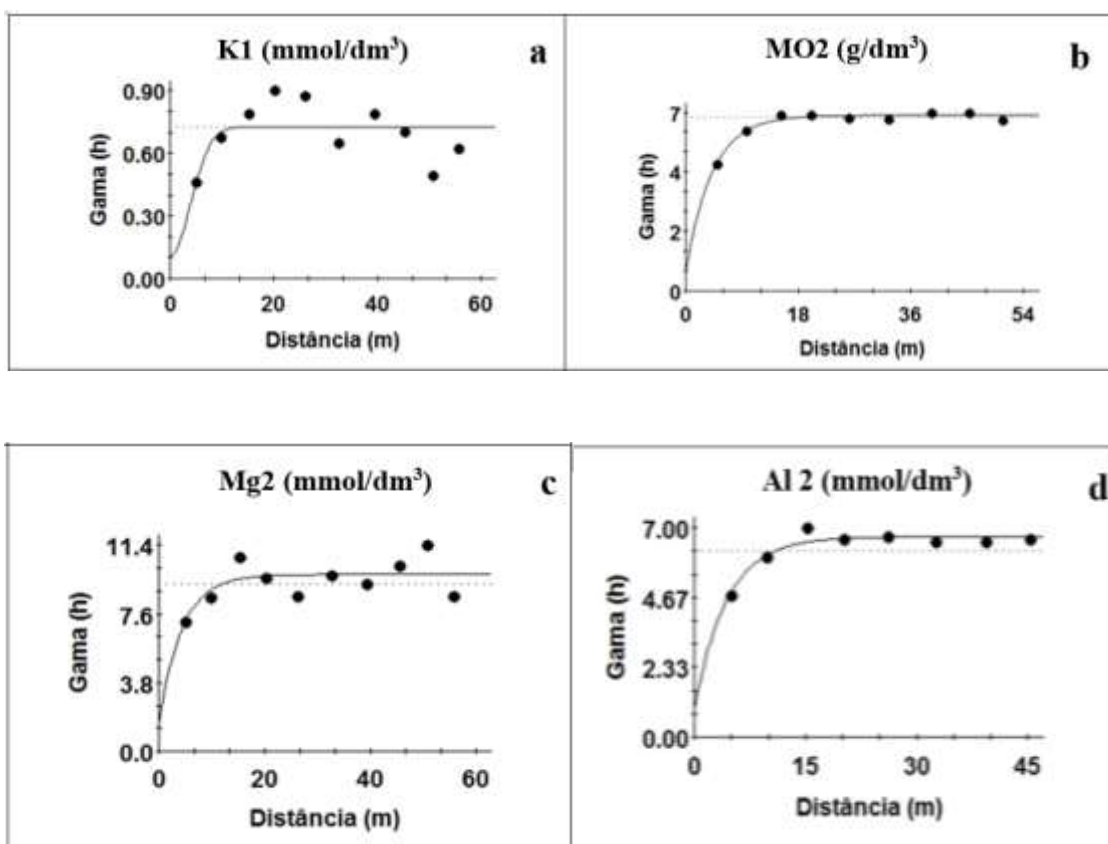
Para Magnésio (Mg₂), seus parâmetros do semivariogramas foram: Modelo = exponencial; CO (efeito pepita) = 1,46; $C_0 + C$ (patamar) = 9,77; Alcance = 12,9; Coeficiente

de determinação (r^2) = 0,45; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = 7,64; Avaliador da dependência espacial (ADE) = 85%; com forte razão de dependência espacial. Lima et al., (2017) estudaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico, estes encontraram valores semelhantes como o Alcance = 11,4m; R^2 = 0,380; ADE = 85,4.

Em relação ao Alumínio (Al₂), seus parâmetros do semivariogramas foram: Modelo = exponencial; CO (efeito pepita) = 9.10^{-1} ; $C_0 + C$ (patamar) = 6,7; Alcance = 13; Coeficiente de determinação (r^2) = 0,917; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = $2,94.10^{-1}$; Avaliador da dependência espacial (ADE) = 91%; com forte razão de dependência espacial. Lima et al., (2017) estudaram a variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico, estes encontraram valores diferentes como o Efeito pepita (C_0) = 1,807.10 e o Patamar ($C_0 + C$) = 1,807.10.

3.2.1 Análise dos semivariogramas

Figura 5. Semivariogramas simples de alguns atributos químicos no sequeiro (K₁, MO₂, Mg₂, Al₂) de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto.



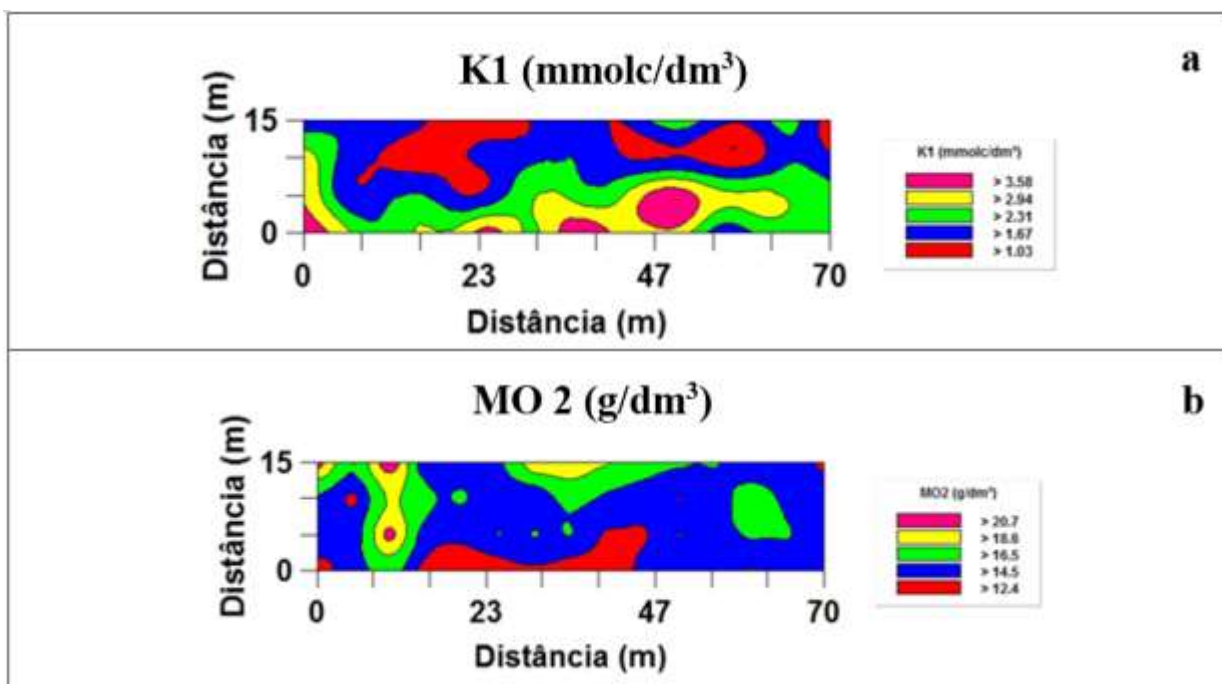
Fonte: Dados da pesquisa do autor

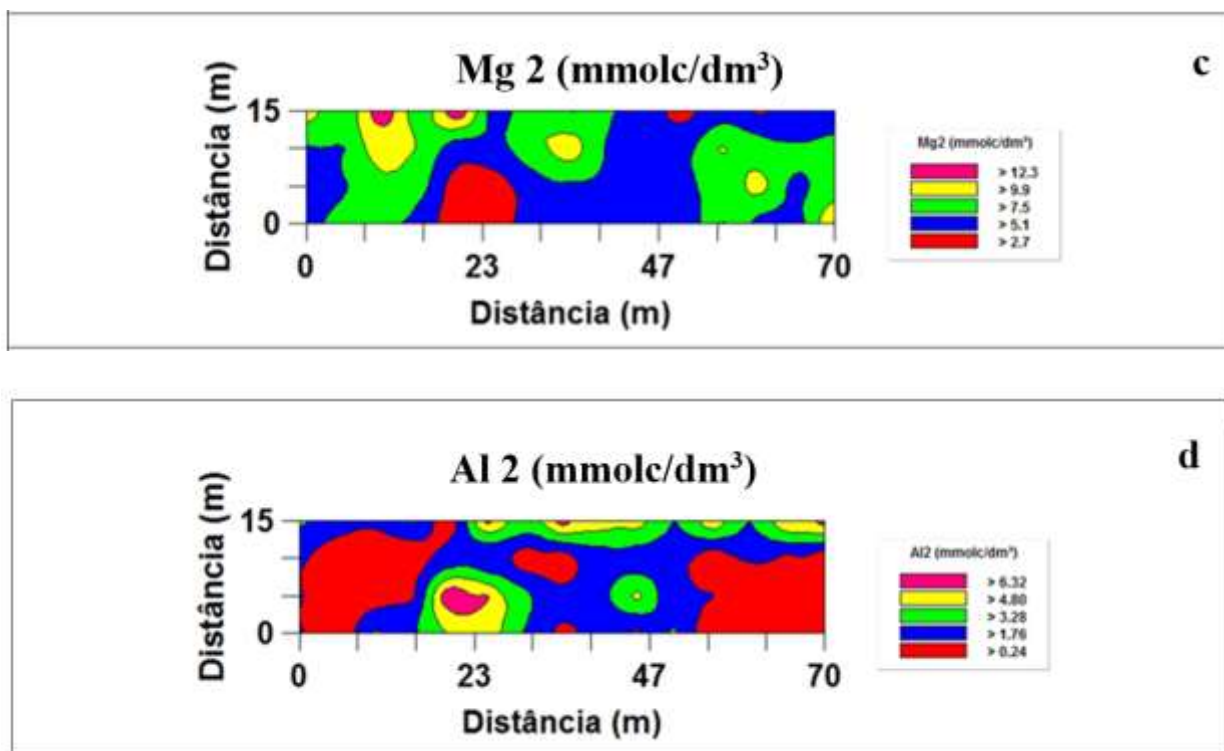
O maior coeficiente de determinação espacial (r^2) para o ajuste do modelo foi o da matéria orgânica nas profundidades de 0,20 – 0,40 (MO2 = 0,964) e o menor coeficiente foi para o potássio (K1 = 0,322) conforme a Tabela 5. De acordo com a Tabela 5, os modelos teóricos foram exponenciais para MO2, Mg2 e Al2, diferente de K2 que foi gaussiano. Segundo Lima *et al.* (2017), quando os semivariogramas são apresentados como exponencial e esférico eles apresentam respectivamente média e baixa continuidade da variabilidade espacial, já o modelo gaussiano pode ser interpretado como um grande prosseguimento da variabilidade espacial.

É possível explicar esses ajustes com base nas alterações físico-químicas que acontecem no solo, tendo foco principal nos atributos químicos que estão mais sujeitos a essas modificações, isso devido as práticas de correção e fertilização, chegando à conclusão que a MO2 foi o atributo de melhor ajuste semivariográfico com uma dependência espacial (ADE) de 90%.

3.2.2 Análise dos mapas de krigagem

Figura 6. Mapas de krigagem de alguns atributos químicos no sequeiro (K1, MO2, Mg2, Al2) de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto





Fonte: Dados da pesquisa do autor

O K1 apresentou aspecto de distribuição espacial heterogêneo com teores baixos ($1,67 - 2,31 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), médio ($2,31 - 2,94 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e alto ($2,94 - 3,58 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Foi observado um pequeno halo ($>3,58 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na região sudeste do mapa. Enquanto a MO2, foi observado um arranjo de distribuição mais homogêneo com maior parte $>14,5\text{g/dm}^3$ ao longo do mapa, foi também identificado na região norte e noroeste do mapa os maiores teores de matéria orgânica. Foi constatado também que para o Mg2 e o Al2 suas distribuições ao longo do mapa se apresentam heterogêneas, onde o Mg2 apresentou maior concentração do teor de magnésio na região noroeste diferente do Al2 que foi na região sudoeste.

Por fim, os mapas obtidos por meio da interpolação de dados e através do método da krigagem são de suma importância para a agricultura de precisão, sendo eles analisados posteriormente para que se possa planejar novas amostragens, realizando assim adubações e correções exatas do solo, diminuindo o desperdício de insumos agrícolas e trazendo maior viabilidade econômica, de acordo com variabilidade espacial dos valores de cada atributo.

4. CONCLUSÕES

1. As maiores variabilidades dos atributos químicos analisados pelo coeficiente de variação ocorreram na camada de 0,20 – 0,40m de profundidade.
2. Os valores dos alcances da dependência espacial a serem empregados devem estar compreendidos entre 13 e 9,52 metros.
3. Não foram todos os atributos químicos pesquisados que apresentaram dependência espacial, não sendo possível mapear a área por completo.
4. O sistema plantio direto levou a um acúmulo significativo de Matéria orgânica, Potássio, Magnésio e Cálcio na camada superficial (0,00 – 0,20m)
5. Além de observar variabilidade espacial horizontal, foi possível observar variabilidade espacial vertical

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208 p. 25-36, 2001.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. **Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa-** Brasília, 2011

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(6), 1329-1339, 2007

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

DALCHIAVON, F.C.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Production and quality of *Urochloa decumbens* (stapf) r.d. webster forage co-related to the physical and chemical properties of the soil. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p.315-326, 2017.

DALCHIAVON, F. C.; DAL BEM, E. A.; PASSOS, M.; SARTO, M. D.; MONTANARI, R.; KANEKO, F. H. Relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo. **Revista de Ciências Agrárias**, 40(4), 756-769, 2017

DALCHIAVON, F. C.; RODRIGUES, A. R.; de LIMA, E. S.; LOVERA, L. H.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 2, p. 144-154, 2017.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, 43, 453-461, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2017.

HAIR JR, J. F.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto** Embrapa Trigo, Passo fundo, 2000.

LIMA, E. D. S.; MONTANARI, R.; LOVERA, L. H.; TEIXEIRA, K. M. C. M.; GONZALES, A. P. Variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico. **Revista de Agricultura Neotropical**, 2017

LOVERA, L. H. (2015). Atributos do solo e componentes produtivos da soja: uma abordagem linear, multivariada e geoestatística.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. 2002.

MAROCO, J. **Análise estatística com utilização do SPSS**. 2. ed. Lisboa: Sílabo, 2003.

Martins, I. M. da S., & Montanari, R. (2021). Variabilidade linear dos atributos dendrométricos do Eucalipto correlacionados com atributos de um latossolo do cerrado Sul Mato-Grossense [Monografia de Conclusão de Curso em Agronomia - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. São Paulo].

MONTANARI, R., LIMA, R. C., BONINI, A. S., MARQUES, L. S., CARVALHO, M. P., PAZ FERREIRO, J.; MINGUINI, R. (2011). Variabilidade dos atributos de um latossolo vermelho sob plantio direto no cerrado brasileiro e produtividade da soja. **Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe**, vol. 36, p. 219 – 237, 2011.

NAKAO, A. Sorgo consorciado com capim paiguás sob diferentes densidades de semeadura de guandú-anão na produção de silagem em rotação com soja no cerrado sob sistema plantio direto. 2021. 94f. **Tese (Doutorado)**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, Ilha Solteira, 2015

OLIVEIRA, R. P. de; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o vespér**. 2015.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

RAIJ BV et al. 1997. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC. 285p. (Boletim Técnico 100).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil pabx (18)
3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R.C. **SAS system for elementary statical analysis**. 2.ed. Cary: SAS, p. 441, 1997.

SOUZA, M. Z.; ALVES, C. M. Propriedades químicas de um LATOSSOLO vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 133-139, 2003.

TAVANTI, R. F. R.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; FREDDI, O. S.; PAZ-GOZÁLEZ, A. Função de pedotransferência para estimar o índice estrutural “S” do solo e a variabilidade espacial em um latossolo dentro de um sistema de pecuária. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2020