

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

LUAN MARTINS DE SOUZA

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E O IMPACTO NA VARIAÇÃO ESPACIAL DE
ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Uberlândia

2020

LUAN MARTINS DE SOUZA

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E O IMPACTO NA VARIAÇÃO ESPACIAL DE
ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: **Sandro Manuel Carmelino Hurtado**

Uberlândia

2020

LUAN MARTINS DE SOUZA

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E O IMPACTO NA VARIAÇÃO ESPACIAL DE
ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 02 de dezembro de 2020

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado

Orientador

Prof. Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão

Membro da Banca

Prof. Dr. Fernando Juari Celoto

Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por me dar sabedoria, saúde, paciência e forças para seguir frente às dificuldades e por me iluminar em toda a minha caminhada acadêmica, e agradeço também por todas as bênçãos sobre a minha vida e sobre a minha família.

Agradeço aos meus pais Simone e Welington, e aos meus irmãos Luiz Paulo e Flávio, por estarem sempre ao meu lado me dando todo apoio, amor e incentivo, pois sem eles nada disso seria possível.

Agradeço a minha namorada Leidilaine por me apoiar em todos os momentos difíceis, e também por oferecer todo o seu amor, carinho, cuidado e paciência.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado, pela paciência, atenção, dedicação e tempo disponibilizado para me ajudar sempre que precisei. O admiro muito!

Agradeço aos colegas do Grupo de Estudos em Agricultura de Precisão (GeAP), pelo apoio, esforço e dedicação na elaboração e execução dos trabalhos/projetos nos quais pudemos concluir.

Agradeço à todas as pessoas que participaram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Minha eterna gratidão...

RESUMO

A produtividade das culturas é influenciada por atributos físico-hídricos do solo como a capacidade de água disponível, densidade, porosidade e estabilidade dos agregados, servindo como indicadores do seu estado de compactação. A área de estudo de 25 hectares está localizada na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia-MG. O talhão foi previamente cultivado sob plantio direto sob sequeiro, na sucessão soja-milho/sorgo. Objetivou-se com este trabalho avaliar o impacto que a compactação tem na variação espacial de atributos físico-hídricos do solo e na produtividade da soja. Uma grade de dois pontos por hectare foi definida no talhão. Foram obtidos dados para os atributos físico-hídricos do solo, densidade, macro e microporosidade, porosidade total, estabilidade dos agregados, textura, teor de matéria orgânica do solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e capacidade de água disponível nas profundidades de 0-0,2 m. Nas mesmas profundidades e locais foram levantadas informações de resistência a penetração, com uso de penetrômetro. A produtividade da soja foi determinada nos mesmos 50 pontos da grade considerando parcelas úteis de 10 m². Os atributos produtividade, matéria orgânica do solo (MOS), argila, areia, densidade, resistência à penetração (RP), porosidade total (PT), microporos, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (CAD) e agregados nas classes 1-0,5mm e 0,5-0,25m, apresentaram coeficiente de variação (CV) médio; os demais atributos obtiveram CV alto. Observou-se dependência espacial em todos os atributos avaliados, sendo o maior alcance para os agregados na classe 1-0,5mm (420m) e o menor para capacidade de água disponível (47m). Concluiu-se que a compactação do solo diminui a porosidade total, aumentando a densidade e proporcionando menor infiltração e retenção de água, ocasionando redução na produtividade da cultura da soja.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Física do Solo. Geoestatística.

ABSTRACT

Crop productivity is influenced by physical-water soil attributes such as the available water capacity, density, porosity and stability of the aggregates, serving as indicators of their compaction status. The study area of 25 hectares is located in the Capim Branco Experimental Farm, belonging to the Federal University of Uberlândia, in Uberlândia-MG. The plot is cultivated under no-tillage under dryland, in the soybean-corn/sorghum succession. The objective of this study was to evaluate the impact that soil compaction has on the spatial variation of physical-water soil attributes and on soybean productivity. A grid of 2 points per hectare was defined in the plot. Data were obtained for the physical-water attributes of the soil, density, macro and microporos, total porosity, stability of the aggregates, texture, organic matter content of the soil, Field capacity, permanent withering point and water capacity available at depths of 0-0.2 m. At the same depths and locations information of penetration resistance was raised, with use of a penetrometer. The soybean productivity was determined in the same 50 points of the grid considering useful parcels of 10 m². The attributer productivity, organic matter of the soil (MOS), clay, sand, density, resistance to penetration (RP), total porosity, microporos, field capacity, permanent wilting point and available water content (CAD) and aggregates and in classes 1-0,5mm and 05-0,25mm, presented mean coefficient of variation (CV); the other attributes were obtained high CV. Spatial dependence was observed in all the studied attributes, being the largest range for the aggregates in class 1-0,5mm (420M) and the smallest for available water capacity (47m) It was concluded that soil compaction decreases total porosity, increasing density and providing less water infiltration and retention, resulting in reduced soybean productivity.

KEYWORDS: Precision Agriculture. Soil Physics. Geostatistics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1.Efeitos da compactação na produtividade de soja.....	9
2.2.Efeitos da compactação sobre os atributos físico-hídricos do solo.....	10
2.3.Variabilidade espacial na detecção da compactação do solo.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÃO.....	20

1 INTRODUÇÃO

O solo é um como sistema complexo que apresenta diversas características e propriedades, que podem ser melhor estudadas para considerar a sua variabilidade espacial, possibilitando evidenciar locais que necessitam de um manejo diferenciado (BASSIO et al., 2011; SILVA et al., 2015; SILVA NETO et al., 2012). O conhecimento da variabilidade espacial dos fatores inerentes à produtividade agrícola é de fundamental importância para a tomada de decisão, pois permite estabelecer práticas de manejo a serem adotadas, para a melhoria da física do solo (OLIVEIRA et al., 2018).

Atributos físicos como textura, densidade do solo, porosidade e estabilidade dos agregados, juntamente, com a matéria orgânica do solo, influenciam diretamente no crescimento e desenvolvimento vegetal, impactando no crescimento de raízes e, conseqüentemente, na produtividade final (MONTANARI et al., 2015). Por essa razão, esses atributos podem ser considerados como indicadores da qualidade física do solo, onde associados ao estudo da variabilidade espacial, possibilitam o monitoramento de áreas que sofreram interferência antrópica e que necessitam de manejo (AQUINO et al., 2014).

A produtividade das plantas está relacionada a diversos fatores, dentre eles a densidade do solo e sua porosidade. A densidade do solo possibilita avaliar atributos como a porosidade e condutividade hidráulica, além de servir como indicativo do estado da compactação do solo. O aumento da densidade impacta na diminuição da porosidade total, macroporosidade, infiltração e retenção de água, e conseqüentemente, no aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo, desencadeando, no geral, uma compactação e a diminuição da produtividade agrícola (SANTOS et al., 2006; SECCO et al., 2005).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo possibilita o entendimento dos processos relativos à estabilidade dos solos e sua erodibilidade, permitindo direcionar técnicas de gerenciamento que iram auxiliar no manejo das áreas agrícolas (CORÁ et al., 2004).

Isto pode ser realizado com auxílio da geoestatística, permitindo estimar de forma mais precisa as respostas das culturas quando impostas por determinadas práticas de manejo (OVALLES; REY, 1994). Assim, diante do exposto objetivou-se com este trabalho avaliar o impacto que a compactação tem na variação espacial de atributos físico-hídricos do solo e na produtividade da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeitos da compactação na produtividade de soja.

A cultura da soja é a principal cultura de grãos do Brasil, registrando na safra 18/19 uma produtividade média nacional de 3,77 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2019). Essa produtividade é obtida pelo uso intensivo de maquinários e implementos agrícolas, usados nas áreas de produção para a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, resultando em compactação do solo.

A compactação é complexa e geralmente afeta as relações físicas, químicas e biológicas, que atuam no desenvolvimento e na produtividade das culturas (HÁAKANSSON; MEDVEDEV, 1995).

A soja é considerada uma cultura agrícola sensível à compactação do solo, pois afeta seu desenvolvimento e crescimento radicular pelo impedimento mecânico, aeração escassa e menor taxa de absorção de água e nutrientes, que acarreta decréscimos significativos de produtividade (BEUTLER; CENTURION, 2003).

No seu cultivo, frequentemente é observado problemas de compactação nas camadas superficial/subsuperficial do solo. Para Silva et al. (2006), densidade superiores a 1,40 Mg m⁻³ indicam uma redução no desenvolvimento da parte aérea. Ferreras et al. (2001) evidenciaram 50% a menos de redução no rendimento quando utilizado o sistema plantio direto, em relação a escarificação, em virtude da compactação. Johnson et al. (1990) observaram redução de 15% no rendimento de soja em solo compactado. Já Beutler e Centurion (2006), observaram valores de resistência do solo à penetração de 2,24 a 2,297 Mpa como limitante a produtividade de soja. De maneira geral, o valor de 2,0 MPa é adotado como impeditivo ao crescimento radicular (TORMENA et al., 1998).

2.2 Efeitos da compactação sobre os atributos físico-hídricos do solo.

A compactação é definida como sendo uma diminuição do volume do solo ocasionada por compressão, provocando um rearranjo denso das partículas do solo e conseqüente redução da porosidade. Adensamento, por sua vez, é a redução natural do espaço poroso e conseqüente aumento da densidade do solo por dessecação ou precipitação química. Sendo

assim, a compactação é gerada através da ação antrópica e o adensamento é um fenômeno natural.

Apesar do uso de maquinários e implementos agrícolas ter concedido aumentos significativos na produção, a mecanização é responsável por acelerar a deterioração das propriedades físicas do solo, devido à falta de controle das diversas condições do solo ao excessivo número de operações e como pelo simples tráfego do maquinário com carga superior à capacidade de suporte do solo (LIMA et al., 2006; SILVA et al., 2002).

Entre os aspectos negativos do preparo intensivo, pode-se destacar a diminuição da estabilidade de agregados, formação de camadas compactadas subsuperficiais, aumento da taxa de decomposição de matéria orgânica e exposição do solo à chuva, agravando assim a erosão hídrica e alterando as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade (ALEGRE et al., 1991). O tráfego de máquinas e implementos agrícolas alteram a estrutura e o grau de cobertura do solo, podendo desta forma interferir e modificar seus atributos físico-hídricos. Estes têm influência direta no desenvolvimento radicular das culturas e, conseqüentemente, na sua produtividade (SILVA et al., 2000; SIQUEIRA et al., 2006).

O preparo mecanizado modifica também a rugosidade superficial, pois devido a incorporação de resíduos vegetais, ocorre uma diminuição da infiltração e o aumento da evaporação de água. Além do manejo, a granulometria influencia na retenção de água, pois as forças de adsorção estão relacionadas com a espessura do filme de água que recobre os agregados, a qual varia de acordo com sua superfície específica. Assim, a retenção e infiltração de água são maiores em solos argilosos com boa estabilidade de agregados, no qual essa estabilidade está diretamente associada com altos teores de matéria orgânica (PLOEY; POESEN, 1985).

O estudo da estabilidade dos agregados do solo está diretamente associado ao comportamento dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CAMPOS et al., 2009). Com isso, além de variações entre unidades agrícolas em função ao seu manejo, apresentam-se também variações para uma mesma unidade ou talhão.

A utilização de sistemas conservacionistas no preparo do solo pode influenciar no armazenamento de água em relação a sistemas de preparo convencional (COSTA et al., 2003). Devido a não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados e pelo acúmulo de matéria orgânica, maior porosidade favorecida pela atividade biológica e de raízes

e o equilíbrio entre macro e microporos, que contribuir para o maior volume de água disponível (REICHERT et al., 2007).

Na avaliação da compactação no solo, a resistência à penetração é um dos atributos físicos mais indicados (MONTANARI et al., 2010), pois apresenta relações estreitas com o desenvolvimento das plantas, sobretudo quando associado à densidade do solo (CAMPOS et al., 2012; FREDDI et al., 2006).

O aumento na densidade do solo gera uma diminuição da porosidade total e da macroporosidade, fazendo com que esse solo obtenha uma maior resistência à penetração, resultando em menor produtividade final devido, a menor absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular (GIRARDELLO et al., 2014). Entretanto, a resistência à penetração é um atributo dependente não só da densidade, mas também do conteúdo de água armazenado no solo (OLIVEIRA FILHO et al., 2015).

2.3 Variabilidade espacial na detecção da compactação do solo.

Na agricultura de precisão o solo deixa de ser tratado como homogêneo, e a sua variação espacial passa a ser observada visando o levantamento e ao acompanhamento de suas características produtivas. Todavia, a agricultura de precisão utiliza ferramentas computacionais, tecnologias em geoprocessamento, sistema de posicionamento global e ferramentas geoestatísticas para a manipulação e interpretação da variabilidade dos parâmetros envolvidos na cadeia de produção agrícola (SIQUEIRA et al., 2008).

De acordo com Vieira (2004), o solo não deve ser tratado como homogêneo, pois neste sempre haverá variabilidade espacial, e esta deve ser considerada quando realizada a amostragem de campo, para que assim possa ser possível identificar áreas que necessitam de manejo diferenciado.

A variabilidade espacial do solo ocorre de forma aleatória, mas a variabilidade dos atributos físico-hídricas do solo pode apresentar dependência espacial (REICHERT et al., 2007). Isto, é considerado básico no manejo acurado das unidades agrícolas (GREGO; VIEIRA, 2005). Sendo assim, muitos agricultores já possuem a agricultura de precisão como técnica para maximizar o gerenciamento da propriedade (WERNER, 2007).

Com esse intuito, surge a geoestatística oferecendo técnicas para elaboração de mapas do comportamento de variáveis georreferenciadas, utilizando interpolação a partir de dados

obtidos em locais convenientemente amostrados e modelados em um semivariograma experimental (FARACO et al., 2008).

A análise geoestatística dos dados é completada com as informações demonstradas nos mapas, que são visualmente comparadas para o entendimento da variabilidade dos atributos físico- hídricos do solo, e essenciais nas tomadas de decisões (BOTTEGA et al., 2011).

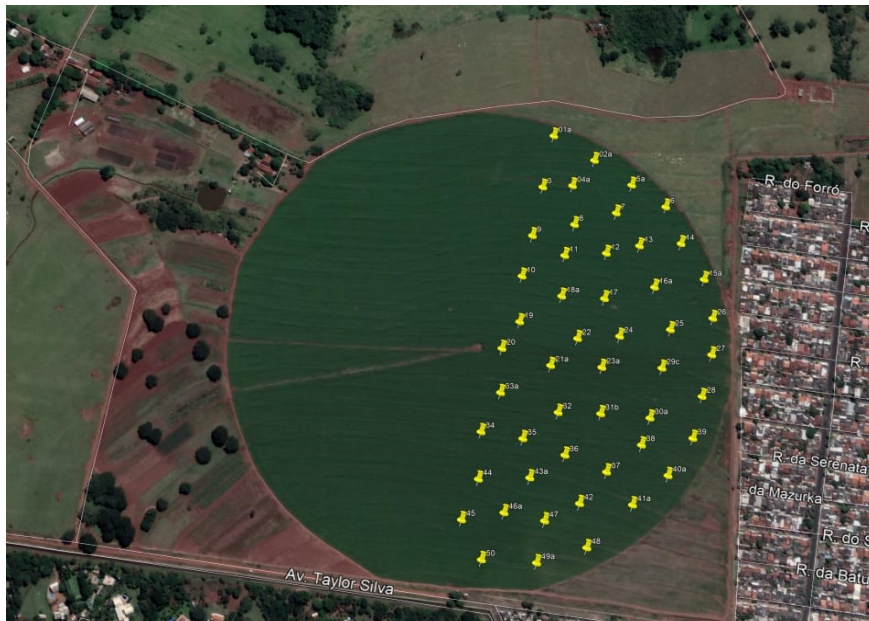
Com o avanço da utilização de técnicas geoestatísticas aplicadas a problemas relacionados à ciência do solo, e a importância da resistência do solo à penetração de raízes para o desenvolvimento das culturas agrícolas, a agricultura de precisão surge como ferramenta para detectar e corrigir zonas que necessitam de um manejo diferenciado, visando sempre otimizar a produtividade das culturas (BOTTEGA et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região oeste do Estado de Minas Gerais, no Município de Uberlândia. A Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia, tendo coordenadas geográficas 18°53'11" S e 48°20'19" W, e altitude de 825m acima do nível do mar. De acordo com a Köppen-Geiger, o clima é classificado como tropical com estação seca de inverno (Aw). A temperatura média anual em Uberlândia é 21,5 °C, e a pluviosidade média anual é de 1.479 mm. Já vegetação natural predominante é o Cerrado, e o tipo de solo no local da coleta é Latossolo Vermelho-Escuro distrófico.

A área de estudo é cultivada em sequeiro sobre plantio direto, com a sucessão soja-milho/sorgo. Em um talhão de 25 ha foi delimitada uma malha regular sistematicamente aleatorizada com 50 pontos, a partir do software Qgis (Figura 1). Com auxílio de GPS de navegação Garmin e-Trex Vista foram identificados os pontos e coletadas amostras para avaliação dos atributos físicos e hídricos do solo, assim como a avaliação da produtividade da cultura da soja.

Figura 1 – Área de estudo, com destaque para a localização dos 50 pontos de amostragem georreferenciada.



Fonte: Google, 2020.

Os atributos avaliados foram estabilidade dos agregados; textura do solo; teor de matéria orgânica (MOS); densidade; porosidade total (PT); macro e microporosidade; capacidade de campo (CC); ponto de murcha permanente (PMP); conteúdo de água disponível (CAD); resistência à penetração (RP).

A coleta de solo para avaliação da textura e teores de matéria orgânica consistiu na retirada de 10 subamostras para compor amostras compostas, na profundidade de 0-0,2 m. Para avaliação da estabilidade agregados foram retiradas 3 subamostras na mesma profundidade para compor a amostra composta (EMBRAPA, 1997).

Após coleta do solo, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm para determinação dos teores de matéria orgânica e textura do solo (SILVA, 1999). Em peneiras de 4 mm foi realizada a determinação do percentual de agregados por via úmida, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico (EMBRAPA, 1997).

Para avaliação da densidade, porosidade total, macro e microporosidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, foram realizadas amostragens de solo com estrutura indeformada nas camadas de 0-0,2m utilizando anéis de Kopecky, com volume e peso

conhecidos, e medindo aproximadamente 9 cm de altura e 8 cm de diâmetro (EMBRAPA, 2017).

Para a determinação da CC, PMP e CAD em laboratório, as amostras foram submetidas à toaleta (retirada do solo em excesso no anel com uma espátula) colocando na parte inferior do anel (borda cortante) um pano poroso preso com um atilho de borracha. As amostras foram saturadas em uma bandeja com água destilada até a metade da altura do anel cilíndrico. Após o tempo de saturação de 24 horas, as amostras foram pesadas e determinado o conteúdo de água da amostra. Na sequência as amostras foram alocadas na câmara de pressão (painéis de Richards) e submetidas a tensão de 0,33bar e 15bar, para avaliação da CC e PMP, respectivamente. A cada tensão aplicada, retirou-se as amostras da câmara após cessar a drenagem do excedente de umidade e, em seguida, pesou-se as amostras. Após esse processo foi realizado o cálculo para a determinação do conteúdo de água no solo (CAD) (EMBRAPA, 2007).

Na avaliação da resistência à penetração, foi utilizado um penetrômetro eletrônico, modelo FALKER PenetroLOG – PLG 1020, com diâmetro de cone de 12,83 mm e aptidão eletrônica para aquisição de dados. Foram realizadas 3 subamostras nas camadas de 0-20m e 0,20-0,40m em cada ponto amostrado.

Para avaliação da produtividade da soja foi realizada, para cada ponto, a coleta de todas as plantas em uma área de 10m², considerando 5m lineares para cada uma das 4 linhas espaçadas de 0,5m. O material foi trilhado e foram obtidos o peso dos grãos e a sua umidade. A produtividade foi calculada considerando 13% de umidade.

Os dados foram analisados pela estatística descritiva, para cálculo dos valores mínimo, máximo, média, mediana e coeficientes de variação, assimetria e curtose (Ferreira, 2008). Foram obtidas correlações simples de Pearson. Por meio da geoestatística foi realizado o ajuste de modelos aos semivariogramas, interpolação por krigagem e confecção final de mapas com auxílio do programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999) e GS⁺ (ROBERTSON et al., 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados permitiram observar valores de média e mediana próximos para todos os atributos avaliados. Já, a variação entre valores máximos e mínimos são um indicativo da variabilidade dos dados. Os coeficientes de variabilidade (CV%) foram classificados como médios, com valores entre 12 e 30% (PIMENTEL-GOMES, 1985), para os atributos Produtividade, MOS, Argila, Areia, Densidade, RP, Porosidade Total, Microporos, CC, PMP e CAD e agregados nas classes 1-0,5mm e 0,5-0,25m, corroborando com os dados apresentados por Souza et al. (2004) para os atributos de MOS e argila, e com Siqueira et al. (2008) para o atributo densidade. Os demais atributos foram classificados como de alta variabilidade (CV>30%), o que pode significar uma menor estrutura no comportamento espacial dos dados ou a sua ausência. O atributo Densidade obteve o menor coeficiente de variação, e os agregados nas classes de >2mm o maior coeficiente (Tabela 1).

As medidas de assimetria e curtose apresentam a posição e dispersão, no sentido de adequar uma descrição e compreensão mais completa das distribuições de frequências. Diante dos valores de assimetria obtidos, temos que os atributos argila, densidade e PMP, apresentam uma distribuição aproximadamente simétrica, enquanto que, os atributos areia, RP, PT, macroporos, DMG, DMP e agregados nas classes >2, 2-1 e <0,25 com valores de assimetria maiores que zero, demonstrando que a distribuição tem uma cauda direita (valores acima da média) mais pesada, e os atributos produtividade, MOS, silte, microporos, CC, CAD e agregados nas classes 1-0,5 e 0,5-0,25 com valores menores que zero, demonstram uma cauda esquerda (valores abaixo da média) mais pesada (Tabela 1). Em relação aos valores de curtose, os atributos produtividade, MOS, PT, macroporos, CAD e agregados na classe 0,5-0,25, apresentam uma curva de distribuição leptocúrtica, onde esta se apresenta mais alta e concentrada que a curva de distribuição normal (mesocúrtica), devido aos valores maiores que zero. Os demais atributos apresentam uma curva platicúrtica, ou seja, uma curva mais achatada que a normal, devido aos valores menores que zero (Tabela 1).

Os resultados da análise geoestatística permitem evidenciar a presença de dependência espacial para os atributos avaliados, com modelos de semivariograma teórico ajustados, em sua maioria, ao modelo Gaussiano (Figura 2, Tabela 2) corroborando com diversos autores que apontam ser este modelo o que mais se ajusta aos atributos do solo (BERTOLANI; VIEIRA, 2001; SOUZA et al., 2004).

Tabela 1. Estatística descritiva para os atributos físico-hídricos do solo avaliados. Uberlândia, 2020.

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
Produtividade (kg/ha)	4506,1	4439,0	2892,0	5710,0	10,18	-0,14	2,33
MOS (dag/kg)	2,34	2,40	1,70	2,80	10,36	-0,89	0,60
Argila (g/kg)	312,44	311,00	209,00	413,00	14,93	-0,01	-0,44
Silte	155,66	150	21	270	44,88	-0,11	-1,23
Areia	531,92	510	374	710	17,51	0,23	-0,98
Densidade	1,65	1,67	1,37	1,91	8,12	-0,03	-0,66
RP (Mpa)	3,49	3,37	2,42	5,27	20,00	0,60	-0,42
Porosidade Total (%)	40,34	39,87	29,61	58,98	14,28	0,46	0,65
Macroporos (%)	6,62	5,45	2,49	20,74	57,09	2,20	5,02
Microporos (%)	33,72	34,07	21,22	43,43	14,81	-0,40	-0,34
CC (cm³/cm³)	0,26	0,27	0,14	0,36	18,04	-0,08	-0,17
PMP (cm³/cm³)	0,20	0,20	0,12	0,29	20,50	0,00	-0,15
CAD	12,57	12,4	2,80	20,00	27,68	-0,44	0,66
DMG (mm)	0,57	0,53	0,31	1,14	40,35	0,83	-0,18
DMP (mm)	0,91	0,85	0,50	1,67	36,26	0,54	-0,68
>2 (g/kg)	142,96	135,00	25,00	379,00	64,18	0,72	-0,18
2-1 (g/kg)	136,50	135,50	48,00	264,00	44,18	0,46	-0,77
1-0,5 (g/kg)	194,12	201,5	87,00	286,00	24,40	-0,51	-0,39
0,5-0,25 (g/kg)	273,20	279,50	125,00	430,00	25,41	-0,32	0,53
<0,25 (g/kg)	253,22	225,00	76,00	439,00	43,03	0,11	-1,24

¹MOS: matéria orgânica do solo; RP: resistência à penetração; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; CAD: conteúdo de água disponível; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; agregados do solo nas classes >2mm, 2-1mm, 1-0,5mm, 0,5-0,25mm e <0,25mm.

O grau de dependência espacial (GDE), medido pela relação $C_1/(C_0+C_1)$ (ROBERTSON et al., 2008), mostrou dependência espacial forte (>75%) para todos os atributos analisados. O alcance, que indica a distância limite entre pontos correlacionados entre si (Vieira, 2004) teve seus maiores e menores valores para os agregados na classe 1-0,5mm (420m) e para capacidade de água disponível (47m), respectivamente (Tabela 2).

Houve correlação espacial para os atributos MOS, DMG, DMP, PT, Densidade, RP, CAD e Produtividade. O atributo DMG, obteve os melhores resultados em locais com maiores teores de matéria orgânica (Figura 3). Esta última, pode reter 20 vezes sua massa em água (Stevenson, 1994), contribuindo na agregação das partículas e estabilidade no tamanho dos poros, o que influencia na infiltração e retenção de água (BRAIDA et al. 2011).

Tabela 2 - Parâmetros dos semivariogramas para os atributos físico-hídricos do solo avaliados. Uberlândia, 2020.

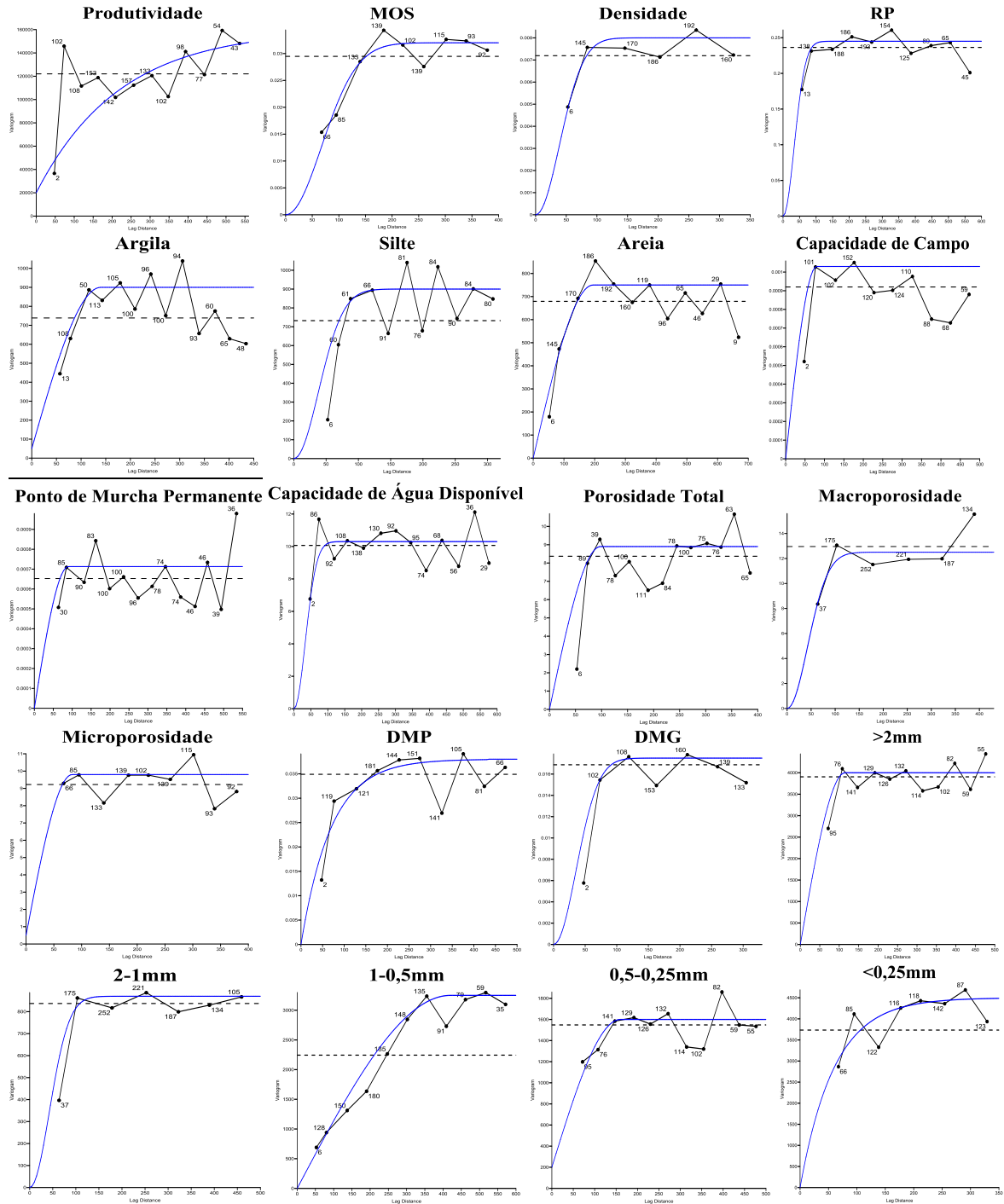
	Modelo	Co	Co+C	Ao	R ² (%)
Produtividade	Exponencial	20000	120000	220	81,4
MOS	Gaussiano	0,0	0,032	95	73,8
Argila	Gaussiano	50,0	900	140	76,8
Silte	Gaussiano	0,0	900	54	74,7
Areia	Esférico	0,0	750	195	79,5
Densidade	Gaussiano	0,0	0,008	55	83,5
RP	Gaussiano	0,0	0,245	47,5	88,0
Porosidade Total	Esférico	0,0	8,9	98	74,4
Macroporos	Gaussiano	0,0	12,5	60	74,8
Microporos	Esférico	0,5	8,7	83	77,5
CC	Esférico	0,0	0,00103	80	66,7
PMP	Esférico	0,0	0,000713	90	61,1
CAD	Gaussiano	0,0	10,3	47	83,0
DMG	Gaussiano	0,0	0,0175	50	71,5
DMP	Exponencial	0,0	0,038	70	87,7
>2	Esférico	0,0	4000	115	84,0
2-1	Gaussiano	0,0	870	60	81,0
1-0,5	Esférico	0,0	3250	420	83,4
0,5-0,25	Esférico	200	1600	160	68,6
<0,25	Exponencial	0,0	4500	60	72,7

¹MOS: matéria orgânica do solo; RP: resistência à penetração; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; CAD: conteúdo de água disponível; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; agregados do solo nas classes >2mm, 2-1mm, 1-0,5mm, 0,5-0,25mm e <0,25mm. Efeito pepita (Co), patamar (Co + C), C variância estrutural, alcance (Ao), coeficiente de correlação (r).

Para o presente estudo foi observado também correlação espacial entre MOS e conteúdo de água disponível. Campos et al. (2012) encontraram correlação positiva entre DMG e matéria orgânica. Observa-se também correlação positiva entre DMG e teores de silte (Figura 3). O silte exerce uma enorme influência sobre as propriedades associadas à estrutura do solo, e em altos teores dificulta a sua desestruturação (VITORINO et al., 2003). No entanto, não houve correlação significativa entre os atributos MOS e DMG e o teor de argila. Isso é explicado pelo fato da matéria orgânica, do ponto de vista quantitativo, ser melhor agregadora do solo do que o teor de argila (PLOEY; POESEN, 1985).

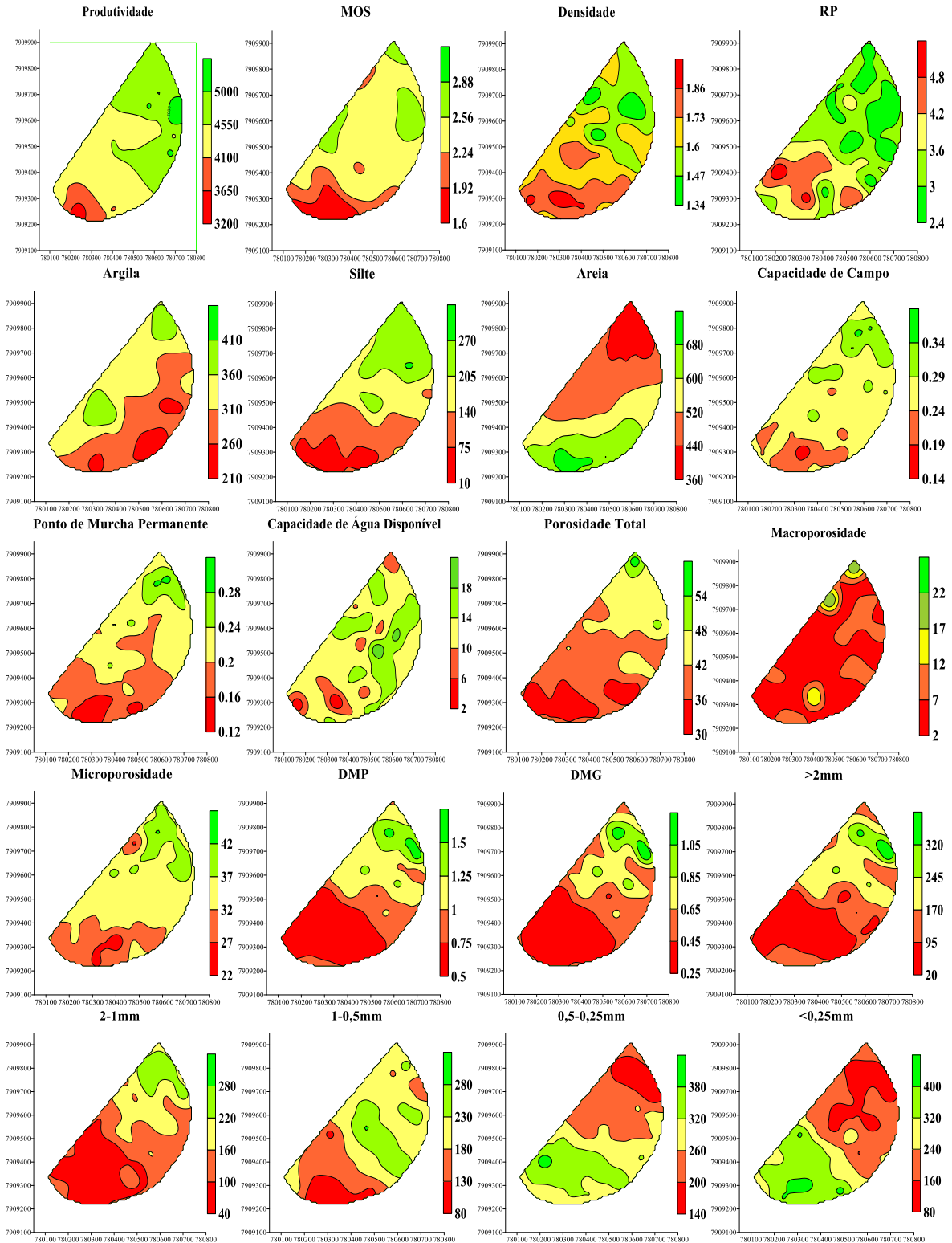
Quando analisado o atributo areia, é possível identificar uma correlação com DMG, DMP, PT, densidade e RP no solo (Figura 3). Regiões com maiores teores de areia apresentam agregados de menor diâmetro e, conseqüentemente, maiores densidades e RP, e menor PT.

Figura 2 - Semivariogramas experimentais e teóricos para os atributos produtividade, MOS, argila, silte, areia, densidade, RP, PT, macroporos, microporos, CC, PMP, CAD, DMG, DMP e agregados nas classes >2mm, 2-1mm, 1-0,5mm, 0,5-0,25mm e <0,25mm.



Fonte: O autor.

Figura 3 – Mapas interpolador por krigagem para os atributos produtividade, MOS, argila, silte, areia, densidade, RP, PT, macroporos, microporos, CC, PMP, CAD, DMG, DMP e agregados nas classes >2mm, 2-1mm, 1-0,5mm, 0,5-0,25mm e <0,25mm.



Fonte: O autor.

Com o aumento do DMG, houve uma maior porcentagem do atributo PT, gerando maior balanceamento entre os macros e microporos. Isto reduz a densidade e resistência à penetração, proporcionando maior infiltração e retenção de água, favorecendo assim, a CAD (Figura 3). Grego e Vieira (2005) e Beutler et al. (2002) observaram correlação entre densidade e CAD, e afirmaram que a microporosidade e a maior agregação existente são os principais fatores que influenciam na capacidade de água disponível e na sua densidade do solo, por permitirem uma maior aeração e infiltração e retenção de água no solo. Diante disto, pode ser observado correlação entre DMG, CC e PMP, no qual os agregados de maior diâmetro apresentam maior estrutura, e tendem a ter melhores resultados de CC e PMP.

Devido ao aumento na CAD e diminuição na densidade, foi possível observar também correlação positiva ($r=0,45$) desses atributos com a produtividade. Na área estudada os melhores resultados de produtividade foram observados em locais com maiores teores de matéria orgânica, argila e silte, e na presença de agregados de maior diâmetro (DMG ou DMP), maior CAD e menor densidade do solo e RP (Figura 2). Jezus et al. (2019) verificaram, em média, que a redução de 6 g.kg^{-1} de MOS significou decréscimo de até 11 sacas de soja por hectare, Beutler et al. (2006) e Reis (2019), também observaram redução na produtividade de soja quando aumentado a resistência do solo à penetração. Isso demonstra que quanto maior a densidade ou resistência à penetração, maior será a compactação da área, acarretando assim em redução na produtividade dessas zonas (Figura 3).

5 CONCLUSÃO

A compactação do solo impacta na variação espacial dos atributos físico-hídricos do solo, provocando diminuição na porosidade total, aumento na densidade do solo, com consequente menor infiltração e retenção de água no solo, e redução final da produtividade da soja.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Consultoria & Agroinformativos, 2019. Disponível em: <http://www.agrianual.com.br/> . Acesso em: 10 jan. 2020.
- ALEGRE, J. C. *et al.* **Sistemas de cultivo e propriedades do solo na América Latina**. [s.l]: Pesquisa de solo e cultivo, 1991. v. 20, p. 147-163. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00654-0](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00654-0). Acesso em: 10 jan. 2020.
- AQUINO, R. E. *et al.* **Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas**. Manicoré, AM: Revista Brasileira de Ciências do Solo, 2014. v. 38, n. 2, p. 397-406. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200004> . Acesso em: 10 jan. 2020.
- BASSIO, F. C. *et al.* **Relações entre produtividade de sorgo forrageiro e atributos físicos e teor de matéria orgânica de um latossolo do cerrado**. Goiânia, GO: Pesquisa Agropecuária Tropical, 2011. v. 41, n. 1, p. 135-144. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.7099>. Acesso em: 12 jan. 2020.
- BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos**. Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2001. v. 25, n. 4, p. 987-995. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218240021> . Acesso em: 10 jan. 2020.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. **Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho**. Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciências do Solo, 2006. v. 30, n. 5, p. 787-794. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000500004> . Acesso em: 15 jan. 2020.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. **Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja**. Brasília, DF: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2003. v. 38, n. 7, p. 849-856. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000700009> . Acesso em: 09 jan. 2020.
- BEUTLER, A.N. *et al.* **Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos**. [s.l]: Revista Brasileira de Ciências do Solo, 2002. v. 26, n. 3, p. 829-834. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300029> . Acesso em: 23 jan. 2020.
- BOTTEGA, E. L. *et al.* **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico**. Recife, PE: Revista Brasileira de Ciências Agrária, 2011. v. 6, n. 2, p. 331-336. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i2a882> . Acesso em: 24 fev. 2020.
- BRAIDA, J. A. *et al.* **Matéria orgânica e seu efeito na física do solo**. Viçosa, MG: Tópicos em Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 221-278. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000100029>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- CAMPOS, E. L. *et al.* **Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas**. Pereira Barreto, SP: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2009. v. 13, n. 3, p. 297-304. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300011>. Acesso em: 25 jan. 2020.

CAMPOS, M. C. C. *et al.* **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM.** Humaitá, AM: Revista Agroambiente On-line, 2012. v. 6, n. 1, p. 9-16.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v6i1.689> . Acesso em: 08 mar. 2020.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. **Sistemas de preparo de solos de cerrado: Efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho.** Brasília, DF: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1992. v. 27, n. 2, p. 315-324. Disponível em:

<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3652> . Acesso em: 11 fev. 2020.

CORÁ, J. E. *et al.* **Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar.** Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, nov./dez. 2004. v. 28, n. 6, p. 1013-1021. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600010> . Acesso em: 22 fev. 2020.

COSTA, F. S. *et al.* **Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional.** Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, maio/jun. 2003. v. 27, n. 3, p. 527-535. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300014> . Acesso em: 18 jan. 2020.

EMBRAPA. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório.**

Teresina, PI: Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, 2007. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/56415/1/curvaretencao> . Acesso em: 26 mar. 2020.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Brasília, DF: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2017. v. 3. 573 p. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194786/1/Pt-5-Cap-1-Micromorfologia-do-solo>. Acesso em: 13 mar. 2020.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, RJ: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. v. 2. 212 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804>. Acesso em: 16 jan. 2020.

FARACO, M. A. *et al.* **Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja.** Viçosa, MG:

Revista Brasileira de Ciência do Solo, mar./abr. 2008. v. 32, n. 2, p. 463-476. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200001>. Disponível em: 22 jan. 2020.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística.** Lavras, MG: Revista Científica Symposium, 2008. v. 6, n. 2, p. 36-41. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 21 jan. 2020.

FERRERAS, L. A. *et al.* **Parâmetros físicos do solo em condições não perturbadas e sob cultivo.** Brasília, DF: Pesquisa Agropecuária Brasileira, jan. 2001. v. 36, n. 1, p. 161-170.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100020> . Acesso em: 26 mar. 2020.

FREDDI, O. S. *et al.* **Produtividade do milho relacionada com a resistência à penetração do solo sob preparo convencional.** Ilha Solteira, SP: Engenharia Agrícola, 2006. v. 26, n. 1, p. 113-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100013>. Acesso em: 18 jan. 2020.

GIRARDELLO, V. C. *et al.* **Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo Argiloso manejado sob plantio direto de longa duração.** Porto Alegre, RS: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2014. v. 28, n. 4, p. 1234-1244. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020> . Acesso em: 15 abr. 2020.

GOOGLE. 2020. Porto [s.l]: Google Maps. Disponível em: <https://goo.gl/maps/wYzv4QrvDJu>. Acesso em: 15 fev. 2020.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental.** Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, maio/abr. 2005. v. 29, n. 2, p. 169-177. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>. Acesso em: 23 fev. 2020.

HÁAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V. W. **Proteção dos solos sobrecarga mecânica, estabelecendo limites para tensões causadas por veículos pesados.** [s.l]: Soil and Tillage Research, ago. 1995. v. 35, n. 1, p. 85-97, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00476-9](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00476-9). Acesso em: 04 abr. 2020.

JEZUS, G. C. *et al.* **Produtividade de soja e o comportamento espacial dos teores de argila e matéria orgânica do solo.** Monte Carmelo, MG: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS, 2019. Disponível em: <https://doity.com.br/media/doity/submissoes/artigo-bc69c85a24a64513215ebe467be7b4f5ca174953>. Acesso em: 15 fev. 2020.

JOHNSON, J. E. *et al.* **Crescimento e rendimento de soja afetados pela compactação da superfície/subsuperfície do solo.** Minnesota, USA: Jornal Agronomico, set. 1990. v. 82, n. 5, p. 973-979. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200050027x>. Acesso em: 21 fev. 2020.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. **Compressibilidade de um Argissolo sob plantio direto escarificado e compactado.** Santa Maria, RS: *Ciência Rural*, nov./dez. 2006. v. 36, n. 6, p. 1765-1772. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000600015> . Acesso em: 06 abr. 2020.

MONTANARI, R. *et al.* **Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo.** Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2010. v. 34, n. 6, p. 1811-1822. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180217297005> . Acesso em: 13 fev. 2020.

MONTANARI, R. *et al.* **Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono cerrado-pantanal, MS.** Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciências do Solo, mar./abr. 2015. v. 39, n. 2, p. 285-396. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140215> . Acesso em: 21 mar. 2020.

OLIVEIRA, D. G. *et al.* **Correlação espacial de atributos físicos do solo e produtividade de tomate industrial.** [s.l]: Revista AgroAmbiente Online, jan./mar. 2018. v. 12, n. 1, p. 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i1.4211>. Acesso em: 16 abr. 2020.

OLIVEIRA FILHO, F. X. L. *et al.* **Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar.** Campina Grande, PB: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, fev. 2015. v. 19, n. 2, p. 186-193. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p186-193> . Acesso em: 02 abr. 2020.

- OVALLERES, F.; REY, J. **Variabilidade interna de unidades de fertilidade em solos de depressão do Lago de Valencia**. Maracay, VENEZUELA: Agronomia Tropical, fev./mar. 1994. v. 44, n. 1, p. 41-65. Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=agrinpa.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005546> . Acesso em: 17 jan. 2020.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. v. 61, n. 1, 467 p. DOI: <https://doi.org/10.37856/bja.v61i1.712> . Acesso em: 17 fev. 2020.
- PLOEY, J.; POESEN, J. **Estabilidade dos agregados, geração de escoamento superficial erosão entre brocas. Geomorfologia e solos**. [s.l.]: K.S. Richards, R.R. Arnett e S. Ellis, 1985. p. 99-120. Disponível em: https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS1736262&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&ab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1. Acesso em: 17 fev. 2020.
- REICHERT, J. M. *et al.* **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. [s.l.]: Tópicos de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 49-134. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Compacta%C3%A7%C3%A3o+do+solo+em+sistemas+agropecu%C3%A1rios+e+florestais%3A+Identifica%C3%A7%C3%A3o%2C+efeitos%2C+limites+cr%C3%ADticos+e+mitiga%C3%A7%C3%A3o&btnG= . Acesso em: 23 fev. 2020.
- REIS, N. C. **Resistência do solo à penetração na análise especializada da produtividade de soja**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28266> . Acesso em: 16 jan. 2020.
- ROBERTSON, G. P. GS⁺: **Geostatistics for the Environmental Sciences**. Plainwell, Michigan: Gamma Design Software, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004757405147> . Acesso em: 10 mar. 2020.
- SANTOS, M. L. *et al.* **Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro**. Ilha Solteira, SP: Artigos Científicos de Agronomia, 2006. v. 28, n. 3, p. 313-321. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i3.939> . Acesso em: 21 fev. 2020.
- SECCO, D. *et al.* **Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo**. Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, maio/jun. 2005. v. 29, n. 3, p. 407-414. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300011> . Acesso em: 19 fev. 2020.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. **Caracterização da faixa de água menos limitante dos solos**. [s.l.]: Soil Science Society of America Journal, 1994. v. 58, n. 6, p. 1775-1781. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800060028x> . Acesso em: 19 fev. 2020.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, planas e fertilizantes**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. v. 1. n. 2. Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=247764> . Acesso em: 18 fev. 2020.
- SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. **Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de**

compactação de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico. Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo, jan./fev. 2006. v. 30, n. 1, p. 31-40. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100004> . Acesso em: 26 fev. 2020.

SILVA, J. T. A.; SIMÃO, F. R.; ALVES, J. J. M. **Desenvolvimento vegetativo e produção do pinhão-mansão em resposta à adubação fosfatada.** Viçosa, MG: Revista Ceres, maio/jun. 2015. v. 62, n. 3, p. 319-322. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030012> . Acesso em: 15 abr. 2020.

SILVA NETO, S. P. *et al.* **Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu.** Palmas, TO: Bioscience journal, 2012. v. 28, n. 1, p. 41-43. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/12587> . Acesso em: 18 abr. 2020.

SILVA, R. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Comparação entre os métodos do cilindro e do torrão na determinação da porosidade e da densidade do solo.** Santa Maria, RS: Ciência Rural, nov./dez. 2000. v. 30, n. 6, p. 1065-1068. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000600025> . Acesso em: 24 fev. 2020.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação.** Viçosa, MG: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2002. v. 26, n. 1, p. 9-15. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100001> . Acesso em: 20 maio 2020.

SIQUEIRA, G. M. *et al.* **Compactação do solo e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar (*saccharum officinarum* L.).** In: Anais [...] Salta-Jujuy: Associação Argentina de Ciência do Solo, 2006.

SIQUEIRA, G. M. *et al.* **Variabilidade de atributos físicos determinados por métodos diversos.** Campinas, SP: Bragantia, 2008. v. 67, n. 1, p. 203-211. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100025> . Acesso em: 19 fev. 2020.

SOUZA, Z. M. *et al.* **Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar.** Santa Maria, RS: *Ciência Rural*, jan./fev. 2006. v. 36, p. 128-134. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000100019> . Acesso em: 07 abr. 2020.

SOUZA, Z. M. *et al.* **Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes.** Brasília, DF: Pesquisa Agropecuária Brasileira, maio 2004. v. 39, n. 5, p. 491-499. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000500012> . Acesso em: 06 abr. 2020.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar.** Viçosa, MG: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2004. v. 28, n.6, p. 937-944. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/1555> . Acesso em: 11 maio 2020.

STEVENSON, F. J. **Química do húmus: gênese, composição e reação.** New York, USA: John Wiley & Sons, 1994. v. 2, n. 1, p. 44. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=7kCQch_YKoMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=STEVENSON,+F.+J.+1994&ots=LJ

[p1g70Swt&sig=TetoCQBXao_voylnhMmfOOBEUkU#v=onepage&q=STEVENSON%2C%20F.%20J.%201994&f=false](https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300016) . Acesso em: 30 abr. 2020.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. **Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto**. Santa Maria, RS: Ciência Rural, 2004. v. 34, n. 3, p. 755-760. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300016> . Acesso em: 23 maio 2020.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer: guia do usuário (version 7.0)**. Golden, CO, EEUU, 1999. 679 p.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto**. Piracicaba, SP: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1998 v. 22, n. 1, p. 573-58. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78628/1/v22n4a02-2.pdf> . Acesso em: 19 mar. 2020.

VIEIRA, S. R. **Análise da variabilidade espacial e temporal de umidade do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico em Campinas**. Campinas, 2004. 57 f. (Relatório FAPESP 02/02863-3).

VITORINO, A. C. T. *et al.* **Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil**. Brasília, DF: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2003. v. 38, n. 1, p. 133-141. Disponível em: scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2003000100018&script=sci_abstract&tlng=es. Acesso em: 18 abr. 2020.

WERNER, V. **Análise econômica e experiência comparativa entre agricultura de precisão e tradicional**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/3565>. Acesso em: 09 abr. 2020.