

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALINNE BISOLO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM
MEGAPARCELAS COM E SEM TERRACEAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2021

ALINNE BISOLO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM
MEGAPARCELAS COM E SEM TERRACEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado à
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. André Pellegrini

DOIS VIZINHOS

2021

“Quando conhecemos melhor as pedras, elas deixam de ser simples objetos inanimados e transformam-se em pequenos capítulos da história do planeta terra e da nossa própria história”

(Fábio Ramos Dias de Andrade)



TERMO DE APROVAÇÃO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM
MEGAPARCELAS COM E SEM TERRACEAMENTO
por

ALINNE BISOLO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) ou esta Monografia ou esta Dissertação foi apresentado(a) em 06 de Maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro(a) Agrônomo(a). O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

André Pellegrini

Prof.(a) Orientador(a)
Instituição de Vínculo

Adalberto de Paula

Membro titular
Instituição de Vínculo

Fabiana de Paula

Membro titular
Instituição de Vínculo

Angélica Signor Mendes

Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Alessandro Jaquiel Waclawovsky

Coordenador(a) do Curso
UTFPR – Dois Vizinhos

RESUMO

BISOLO, Alinne. **Distribuição espacial de propriedades físicas do solo em megaparcelas com e sem terraceamento**. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

O uso de terraceamento na agricultura é uma forma eficiente no controle da erosão do solo, porém com a expansão da prática de abandono dos terraços pelos agricultores para otimização da mecanização, é essencial que seja avaliado a interferência disso nas características do solo e as tendências de comportamento destas ao longo da área e do perfil. Desse modo, o trabalho teve como objetivo determinar ocorrência de diferenças de comportamento entre as megaparcelas com e sem terraços, bem como sua variabilidade espacial e avaliar a correlação entre a condutividade hidráulica e macroporosidade do solo. A área experimental está localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, onde foram realizadas amostragens em 32 pontos de cada megaparcela nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40m. Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva, a geoestatística e a análise de correlação bivariada. A Ksat apresentou alta variabilidade espacial devido a alta heterogeneidade do solo e suas variações estruturais, sendo perceptível a formação de três faixas e valores ao longo do declive do relevo de Ksat na megaparcela ST na profundidade de 0,10-0,20m, além de uma relação visual nos mapas de distribuição espacial entre as duas variáveis analisadas e correlação moderada resultantes da análise de correlação bivariada.

Palavras-chave: condutividade hidráulica saturada, macroporosidade, geoestatística.

ABSTRACT

BISOLO, Alinne. **Spatial distribution of soil physical properties in mega-plots with and without terracing**. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

The use of terracing in agriculture is an efficient way to control soil erosion, however, with the expansion of the practice of abandoning terraces by farmers to optimize mechanization, it is essential to evaluate the interference of this in the soil characteristics and the trends of their behavior along the area and profile. In this way, the work aimed to determine the occurrence of behavioral differences between the mega-plots with and without terraces, as well as their spatial variability and to evaluate the correlation between hydraulic conductivity and soil macroporosity. The experimental area is located at the Federal Technological University of Paraná, Campus Dois Vizinhos, where sampling was carried out at 32 points of each megaparcela at depths of 0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30 and 0.30-0.40m. The data is subjected to statistical analysis specification, the geostatistical and the analysis bivariate correlation. The Ksat showed high spatial variability due to the high heterogeneity of the soil and its structural changes being observable formation of three ranges and values along the slope of the relief Ksat in megaparcela ST at a depth of 0.10-0.20m, in addition to a visual relationship in the maps of spatial distribution between the two variables analyzed and moderate correlation resulting from the analysis of bivariate correlation.

Keywords: saturated hydraulic conductivity, macroporosity, geostatistics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVAS	8
3	OBJETIVOS	9
3.1	OBJETIVO GERAL	9
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4	REVISÃO DE LITERATURA	10
4.1	Práticas Conservacionistas do solo	10
4.2	Propriedades físico-hídricas do solo	10
4.3	Variabilidade espacial e suas consequências	11
5	MATERIAL E MÉTODOS	13
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	13
5.2	Amostragem e determinações	13
5.2.1	Condutividade Hidráulica	13
5.2.2	Macroporosidade	14
5.3	Análises estatísticas e Geração de mapas	15
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
7	CONCLUSÕES	24
8	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O uso do terraceamento na agricultura tem sua eficiência comprovada no controle da erosão dos solos (DE CARVALHO et al., 2012; CAVIGLIONE et al., 2010; HAMMAD; HAUGEN; BORRESEN, 2004). Com a introdução do Sistema de Plantio Direto (SPD), associado ao uso de terraços, se tem um manejo conservacionista bem estabelecido, onde a palhada reduz o impacto da gota da chuva e age como uma camada de proteção, evitando o selamento superficial e contribuindo na absorção de água devido incremento da matéria orgânica e os terraços diminuem a velocidade da água em caso de formação de enxurrada, mantendo a água dentro do sistema para posterior disponibilização para as plantas ou abastecimento de afluentes (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007; DE MARIA; PECHE FILHO, 2009; DENARDIN et al., 2005; ELTZ, 1977; RIZZARDI et al., 2004).

Mas a situação das lavouras atuais tem apresentado sinais de degradação devido a erosão hídrica (DENARDIN et al., 2005). Isso acontece porque os agricultores deixaram de aplicar alguns dos fundamentos do SPD, como a rotação de culturas, e por buscarem otimizar a mecanização na área, retiraram os terraços e abandonaram o plantio em contorno, porém, os ganhos com a otimização das horas-máquinas são opostos às perdas em decorrência da (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007; DENARDIN et al., 2005; PIRES; SOUZA, 2006).

Com a expansão dessa prática de abandono dos terraços, é essencial que seja avaliado a interferência disso nas características do solo e as tendências de comportamento destas ao longo da área e do perfil. Com o processo erosivo ocorre a intensificação do desprendimento de partículas do solo e seu transporte dentro da própria área, com possível acúmulo nos espaços porosos, podendo reduzir o diâmetro ou a continuidade dos mesmos, inclusive diminuindo a macroporosidade e aumentando a microporosidade, dificultando assim o movimento da água no solo, o que pode reduzir a condutividade hidráulica saturada do solo (K_{sat}). Outra interferência seria na quantidade de água a ser armazenada no sistema ou também acelerando o processo erosivo, pois com menor capacidade de entrada de água no solo do que a que está sendo recebida, resultará no início do escoamento superficial.

2 JUSTIFICATIVAS

Com a busca por otimizar o uso da mecanização nas lavouras de plantio direto, produtores têm deixado de usar terraços, prática importante para a conservação dos solos. Neste sentido são necessários estudos para dimensionar os impactos do abandono dessa prática nas propriedades físicas do solo.

Deste modo, este trabalho foi desenvolvido de forma vinculada ao projeto Rede de Pesquisa Mesorregional do Sudoeste, PR: Manejo e Conservação do Solo e da Água em Bacia Hidrográfica, que tem por objetivo caracterizar os usos do solo e sua qualidade física na bacia hidrográfica de cabeceira na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho foi determinar ocorrência de diferenças de comportamento entre as megaparcelas com e sem terraços, bem como sua variabilidade espacial e avaliar a correlação entre a condutividade hidráulica e macroporosidade do solo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a condutividade hidráulica do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm.
- Determinar a macroporosidade do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm.
- Estabelecer relação entre macroporosidade e condutividade hidráulica.
- Gerar mapas georeferenciados da distribuição espacial das propriedades físicas avaliadas em ambos os tratamentos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO

Segundo a FAO (2015), em 2050 será necessário 40% a mais de água para suprir a necessidade mundial. Desse modo, é preciso que práticas conservacionistas do solo e da água sejam reconsideradas, uma vez que o solo atua na redistribuição e abastecimento da água em uma bacia hidrográfica (LONDERO, 2015).

Como forma de conter essa água oriunda de precipitações dentro do sistema, há o uso de terraços, que são barreiras mecânicas construídas no sentido contrário ao desnível do terreno para interceptação do fluxo de água, para que esta seja absorvida ou drenada, que quando associados a outras práticas conservacionistas, como o Sistema de Plantio Direto (SPD), são capazes de reduzir significativamente as perdas de solo (CAVIGLIONE et al., 2010; PIRES; SOUZA, 2006).

Deve-se ressaltar que a adoção de uma prática de conservação de forma isolada não é sinônimo de um sistema conservacionista. O não revolvimento e presença de cobertura morta, embora eficazes na redução da erosão podem não ser suficientes para controlar o escoamento superficial e formação de enxurrada. Porém, muitos agricultores acreditando no contrário e para facilitar o tráfego de máquinas na lavoura, tem retirado total ou parcialmente os terraços (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012; PIRES; SOUZA, 2006; SALOMÃO, 2014).

Acontece que ainda são escassas as informações a respeito dos impactos do abandono dessa prática quanto aos valores de solo perdidos quando comparados os dois sistemas, bem como sua interferência nas propriedades físico-hídricas do solo, uma vez que a água da chuva irá exercer maior energia durante o transporte sobre as partículas do solo no cultivo sem terraços (HAMMAD; HAUGEN; BORRESEN, 2004). Assim é preciso conhecer o efeito disto no processo de rearranjo das partículas de solo deslocadas pelo processo erosivo e se afeta de algum modo a continuidade dos poros ou a relação entre macro e microporosidade.

4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO

O solo é um sistema aberto e é atribuído que aproximadamente metade de seu volume é ocupado por espaços porosos, responsáveis pelas trocas líquidas e gasosas, juntamente com o movimento de solutos. Essa porosidade total é dividida de acordo com o diâmetro dos poros,

de modo que os microporos tem como função o armazenamento de água, embora seu tamanho relativamente pequeno faça com que o deslocamento dessa água seja lento e não permita a entrada de ar nos mesmos (BRADY; WEIL, 2013; LEPSCH, 2011; REICHERT et al., 2003).

São nos macroporos que estão presentes os gases. Quando chove, o ar presente nesses poros sai, permitindo que a água entre no sistema, uma vez que os macroporos são responsáveis também pela infiltração de água e seu fluxo ao longo do perfil após estes já estarem completamente preenchidos por água, o que denominados de condutividade hidráulica saturada (Ksat) (LEPSCH, 2011; MARQUES et al., 2008).

Assim sendo, a macroporosidade exerce grande influência sobre a Ksat, embora a presença de megaporos, geralmente originados pela macrobiota do solo, possam aumentar muito os valores de Ksat, sem necessariamente alterar os valores de macroporosidade (MESQUITA; MORAES, 2004).

A condutividade hidráulica do solo é importante para que durante um evento pluviométrico, em que o solo já atingiu sua saturação, a água percole em profundidade, cumprindo com a função do solo no abastecimento dos aquíferos e abastecimento dos mananciais da bacia hidrográfica (RIZZARDI et al, 2014), evitando a formação de deflúvio e conseqüentemente desprendimento e carreamento de partículas, ocasionando perdas de solo e respectivos nutrientes nele presente.

4.3 VARIABILIDADE ESPACIAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Mesquita e Moraes (2004) ressaltam que a Ksat apresenta maior variabilidade espacial quando comparada a outros atributos físico-hídricos do solo, como a densidade e a porosidade. O autor descreve também que a condutividade hidráulica saturada sofre grande influência das práticas de manejo, uma vez que estas alteram a estrutura do solo, sendo necessária para sua avaliação um maior número de pontos amostrais.

Em consideração a essa interferência de fatores para a Ksat, vários autores observaram que ocorre variabilidade em profundidade no perfil, de modo que camadas superficiais tendem a apresentar densidades menores, proporcionando diâmetro de poros maior e assim resultando em maiores valores de Ksat (MARQUES et al., 2008; MESQUITA; MORAES, 2004).

Quando essa tendência se confirma à campo, a água percorre a camada superficial rapidamente, mas ao se deparar com as camadas subsuperficiais, com menor capacidade de

fluxo de água, apresentará uma redução brusca de velocidade dessa condutividade, levando a formação de enxurrada na superfície do terreno (SILVA, 2014).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área experimental está localizada na Bacia Hidrográfica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), com latitude 25°42' S e longitude 53°06' O, a 509 metros de altitude. A precipitação pluviométrica anual é entre 1800 a 2000 mm e clima tipo subtropical úmido mesotérmico, Cfa, segundo classificação de Köppen (ALVAREZ, 2014) e solo classificado como Nitosolo Vermelho (BHERING et al., 2008).

As megaparcelas foram definidas de modo que as duas parcelas fossem semelhantes em formato e topografia, ambas de mesma área, com 1,923 ha cada, comprimento de rampa de 203,60 e 206,50 metros para as megaparcelas com terraço (CT) e sem terraço (ST) e declividade média de 8,98 e 8,62%, respectivamente.

5.2 AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÕES

A partir da área estabelecida e de seu nível de homogeneidade, foi definido um grid de amostragem com 64 pontos, sendo 32 pontos por megaparcela.

Em outubro de 2020 foram coletadas amostras indeformadas, em cilindros volumétricos de aço inoxidável, de diâmetro 6 cm e altura de 3 cm, todos individualmente pesados. Em cada ponto foi realizada uma única repetição nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm e na base de cada cilindro colocado um tecido tipo voal preso por um elástico. Estas foram alocadas em caixas para transporte e levadas ao Laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água da UTFPR-DV, onde permaneceram em recipientes com água para saturação das mesmas por um período de 12 horas e posteriormente foram realizadas todas as análises (EMBRAPA, 2017).

5.2.1 Condutividade Hidráulica

Para determinação da K_{sat} foi utilizado um permeâmetro de carga constante, de acordo com a metodologia da Embrapa (2017), com cilindros de mesmo diâmetro colocados sobre as amostras e fixados com fita adesiva, realizando sucessivas leituras da água percolada no período mínimo de três horas, até as últimas três leituras serem estáveis.

A partir do valor da última leitura, ou da média das duas últimas em caso de alguma variação, foi aplicada a equação:

$$\mathbf{K = (Q \cdot L) / (A \cdot H \cdot t)}$$

Sendo: K - a condutividade hidráulica saturada (cm h^{-1}), Q - é o volume percolado (ml), L - é a altura do bloco de solo (cm), A - é a área do cilindro (cm^2), H - a altura total do bloco de solo e da coluna de água e t - é o tempo de percolação.

5.2.2 Macroporosidade

Após a saturação das amostras, as mesmas anteriormente usadas para determinação da Ksat, foram pesadas e então levadas para a mesa de tensão a uma tensão de 6 kPa, permanecendo assim por 48 horas e então pesadas, seguindo para a estufa, com temperatura de 105°C por 48 horas para secagem e novamente pesadas (EMBRAPA, 2017).

A partir do peso saturado e seco foi definido a porosidade total pela equação:

$$\mathbf{Pt = [(a - b) - (c - d)] / e}$$

Sendo: Pt - a porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), a - igual conjunto amostra, cilindro, tecido e elástico saturado (kg), b - é o conjunto amostra, cilindro, tecido e elástico seco (kg), c - é o conjunto cilindro, tecido e elástico saturado (kg), d - é igual ao conjunto cilindro, tecido e elástico seco (kg), e - é igual ao volume total da amostra (m^3).

Através da quantidade de água retida pela amostra após a mesa de tensão, foi aplicada a seguinte equação para cálculo da microporosidade:

$$\mathbf{Mi = (a - b) / c}$$

Sendo: Mi - corresponde a microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), a - é igual ao peso pós mesa (g), b - é o peso do solo seco (g) e c - é igual ao volume total da amostra.

Para determinação da macroporosidade, esta foi calculada por meio da equação:

$$\mathbf{Ma = (Pt - Mi)}$$

De modo que M_a - corresponde a macroporosidade ($m^3 m^{-3}$), P_t - é a porosidade total ($m^3 m^{-3}$) e M_i - a microporosidade ($m^3 m^{-3}$).

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E GERAÇÃO DE MAPAS

Os dados foram primeiramente submetidos à estatística descritiva e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a probabilidade de 5% pelo programa estatístico IBM® SPSS® v. 1.0.0.1447 para avaliar se os pré-requisitos para a execução da geoestatística foram atingidos.

Dessa forma, os dados foram submetidos a análise, determinando o efeito pepita e interpolando os dados pelo método de padrão espacial da Krigagem ordinária, sendo adotado o modelo geoestatístico esférico, usando o Software ArcMap versão 10.6.1 para geração dos mapas de distribuição espacial das propriedades nas quatro profundidades avaliadas.

Posteriormente os dados foram aplicados a uma correlação bivariada de Spearman para determinar o grau de correlação entre as variáveis condutividade hidráulica saturada e macroporosidade para ambos os tratamentos em todas as profundidades coletadas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao avaliarmos os valores de coeficiente de variação (Tabela 1) da variável condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), este apresenta uma variabilidade entre 73% e 109% para a megaparcela sem terraço e de 64% a 149% para a megaparcela com terraço, de forma que essa variabilidade é crescente ao longo da profundidade de coleta, apresentando valores extremos, como na profundidade de 0-0,10m, onde varia entre 0,23 e 13,89 $cm.h^{-1}$ para a área com terraço e de 0,03 a 12,66 $cm.h^{-1}$ para a área sem terraço. A alta variabilidade dos dados também foi relatada por Dalbianco (2009), que obteve um CV de 53% para esta variável em áreas de produção de fumo com intenso revolvimento; por Scherpinsk et al (2010) em áreas de plantio de soja, milho e trigo, similar ao sistema produtivo estudado, com CV de 110%; em áreas de cultivo de soja e feijão Lima et al (2006) encontrou valores entre 111% e 148% para profundidades entre 0 e 0,35m, medidos a intervalos de 0,05m. Santos et al (2012) ao encontrar variabilidade de 261% para a K_{sat} atribuiu isso à alta heterogeneidade do solo e às suas variações estruturais encontradas mesmo em um mesmo tipo de solo.

Tabela 1: Estatística descritiva e valores de normalidade da condutividade hidráulica saturada e da macroporosidade do solo nas megaparcelas com e sem terraço.

Parâmetro Estatístico	Com terraço		Sem terraço	
	Ksat	Macro	Ksat	Macro
Profundidade 0 – 0,10 m				
Média	4,870	0,133	4,499	0,136
Mediana	3,790	0,120	3,710	0,130
Máximo	13,890	0,230	12,660	0,250
Mínimo	1,450	0,070	0,030	0,020
Desvio padrão	3,138	0,040	3,306	0,045
CV (%)	64,435	29,774	73,483	33,088
W	0,809	0,940	0,918	0,978
p	<0,001	0,77	0,018	0,737
Profundidade 0,10 – 0,20 m				
Média	2,077	0,118	1,675	0,116
Mediana	2,065	0,115	1,700	0,110
Máximo	5,600	0,180	5,340	0,170
Mínimo	0,050	0,070	0,000	0,070
Desvio padrão	1,370	0,029	1,231	0,026
CV (%)	65,961	24,576	73,493	22,328
W	0,959	0,950	0,942	0,962
p	0,253	0,140	0,085	0,303
Profundidade 0,20 – 0,30 m				

Média	1,313	0,113	1,277	0,119
Mediana	0,975	0,110	1,095	0,120
Máximo	5,150	0,200	5,410	0,210
Mínimo	0,000	0,040	0,000	0,070
Desvio padrão	1,371	0,037	1,221	0,028
CV (%)	104,417	32,566	95,615	23,866
W	0,858	0,979	0,866	0,934
p	<0,001	0,781	<0,001	0,051
Profundidade 0,30 – 0,40 m				
Média	1,027	0,110	1,390	0,120
Mediana	0,295	0,110	0,690	0,120
Máximo	5,770	0,170	5,390	0,180
Mínimo	0,030	0,050	0,020	0,080
Desvio padrão	1,527	0,033	1,521	0,025
CV (%)	148,685	29,545	109,424	20,750
W	0,675	0,962	0,834	0,955
p	<0,001	0,312	<0,001	0,196

Fonte: Autor, 2021.

Ao analisar a normalidade dos dados (valor de p, Tabela 1) resultou que os valores de Ksat nas profundidades de 0-0,10m, 0,20-0,30m e 0,30-0,40m para ambos os tratamentos não atingiram a normalidade dos dados, mesmo após submetidos a transformação dos dados, optando assim por gerar os mapas de distribuição espacial como forma ilustrativa.

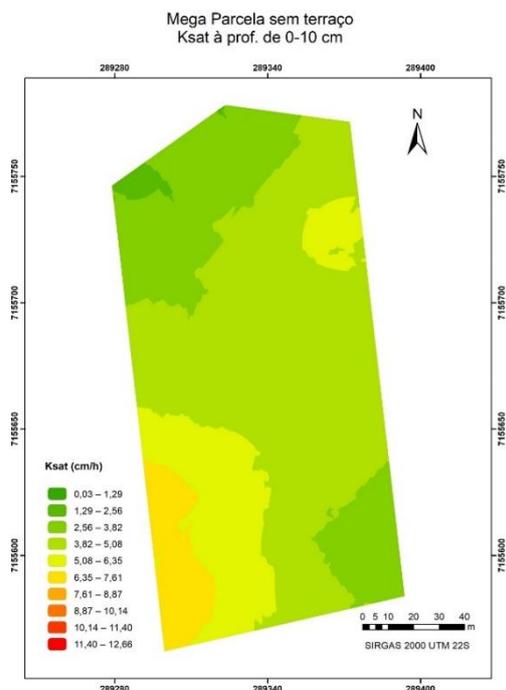


Figura 1. A: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0-0,10m na megaparcela sem terraço.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

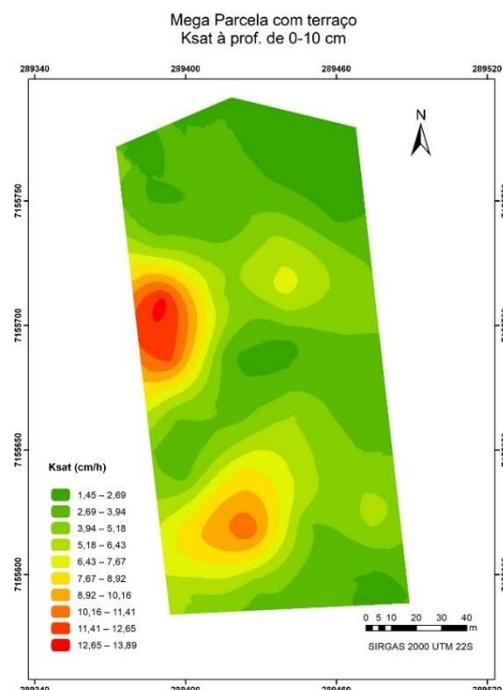


Figura 1.B: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0-0,10m na megaparcela com terraço.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

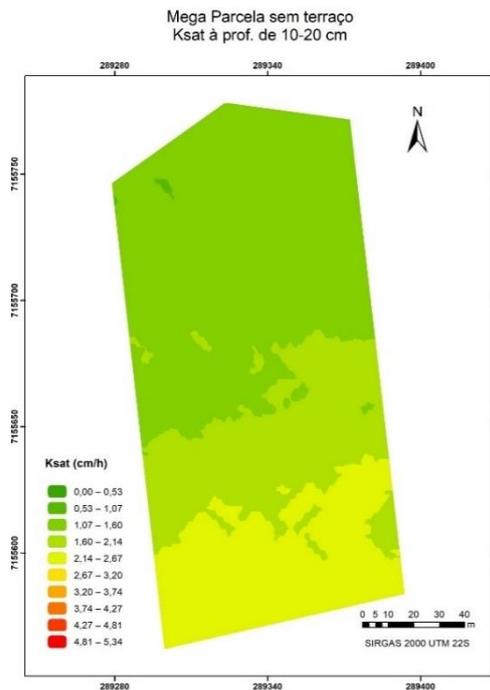


Figura 2.A: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0,10-0,20m na megaparcela sem terraço.
 Fonte: Grupo MBH, 2021.

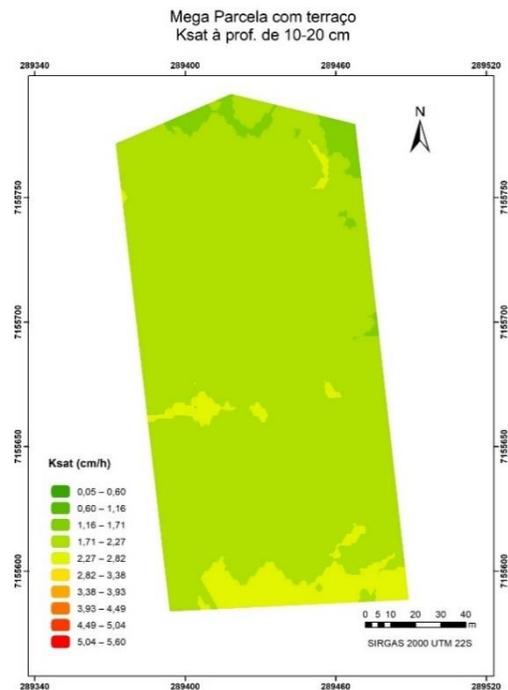


Figura 2.B: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0,10-0,20m na megaparcela com terraço.
 Fonte: Grupo MBH, 2021.

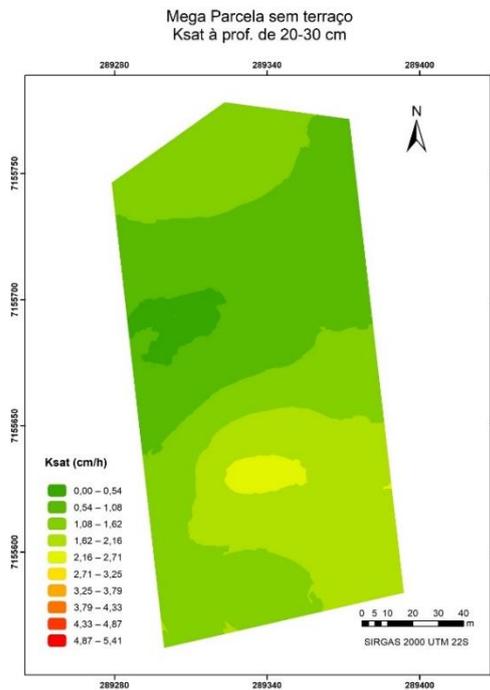


Figura 3.A: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0,20-0,30m na megaparcela sem terraço.
 Fonte: Grupo MBH, 2021.

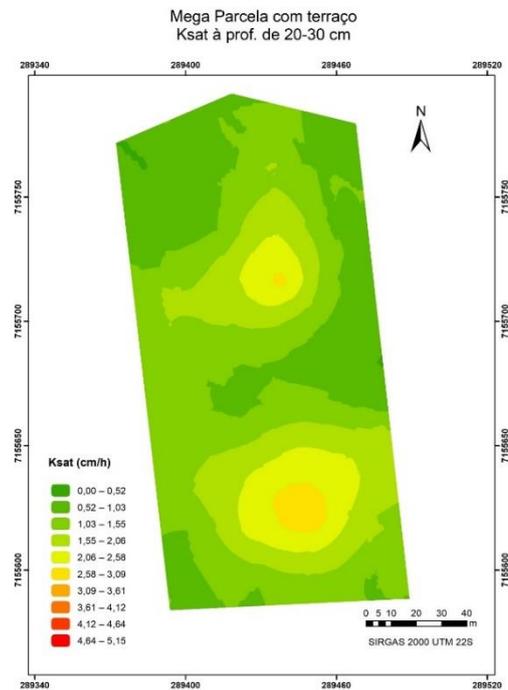


Figura 3.B: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0,20-0,30m na megaparcela com terraço.
 Fonte: Grupo MBH, 2021.

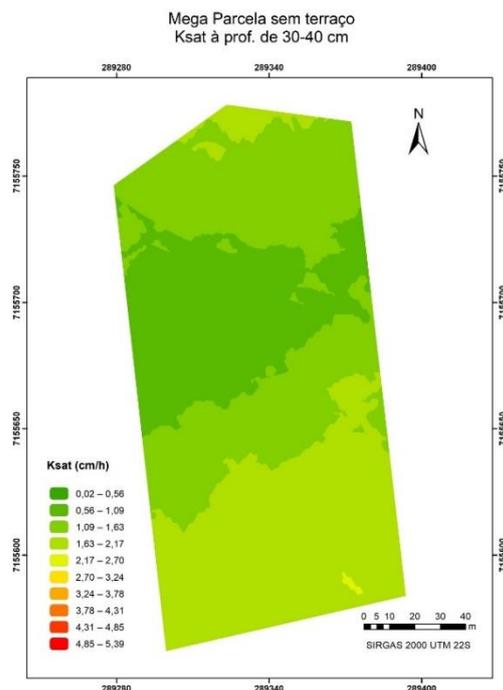


Figura 4.A: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0,30-0,40m na megaparcela sem terraço. Fonte: Grupo MBH, 2021.

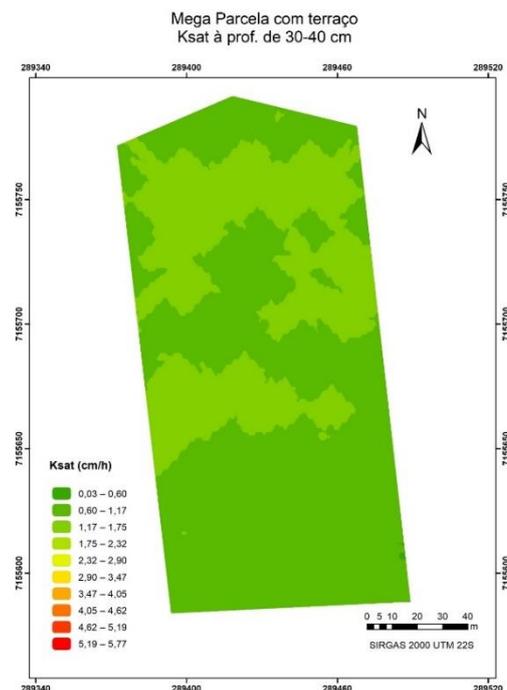


Figura 4.B: Distribuição espacial da condutividade hidráulica saturada em 0,30-0,40m na megaparcela com terraço. Fonte: Grupo MBH, 2021.

Quando observados os mapas de distribuição espacial das variáveis estudadas, a Ksat na profundidade de 0,0-0,10m na megaparcela com terraço (Figura 1.B) apresenta regiões de maior valor, entre 10,16 e 13,89 cm.h^{-1} , ou seja, uma entrada de água no solo a uma velocidade mais rápida durante um evento. A Ksat favorece a dinâmica de trocas gasosas no solo, de forma que áreas de maior Ksat, tem esse processo de forma mais acelerada e favoreçam as atividades das raízes, pois trocas gasosas restritas reduzem o conteúdo de O_2 no solo, elemento essencial para o desenvolvimento radicular (LEPSCH, 2011).

Observando o mapa da Ksat na profundidade 0,10-0,20m da megaparcela ST (Figura 2.A) é nítido a sua estratificação em três faixas de valores. A área inferior do mapa (área em amarelo claro), que representa o local de maior altitude do relevo, possui valores de Ksat entre 2,14 e 2,67 cm.h^{-1} , tendo este valor reduzido na camada intermediária com Ksat entre 1,60 e 2,14 cm.h^{-1} e a terceira faixa (área em verde forte), que representa a parte mais baixa do relevo, ou seja, a parte final do comprimento de rampa da megaparcela, com valores entre 0,53 e 1,07 cm.h^{-1} , enquanto que na megaparcela CT, na mesma profundidade, a Ksat é praticamente uniforme na área, com valores entre 1,71 e 2,27 cm.h^{-1} .

Este efeito de faixas pode ser atribuído às partículas de solo que se desprendem durante um evento pluviométrico pelo impacto das gotas de chuva, sendo carregadas pela enxurrada ao longo do declive do terreno, uma vez que não há barreiras mecânicas (terraços) para controlá-la, chegando a parte inferior do declive, onde estas partículas dispersas são transportadas da superfície para as camadas inferiores do solo, provocando o entupimento e consequente descontinuidade dos poros, reduzindo assim a K_{sat} do solo nessas regiões, favorecendo o processo erosivo (DALBIANCO, 2009).

É possível também notar traços dessa estratificação em faixas nas profundidades subsequentes de 0,20-0,30m e 0,30-0,40m da megaparcela ST (Figuras 3.A e 4.A).

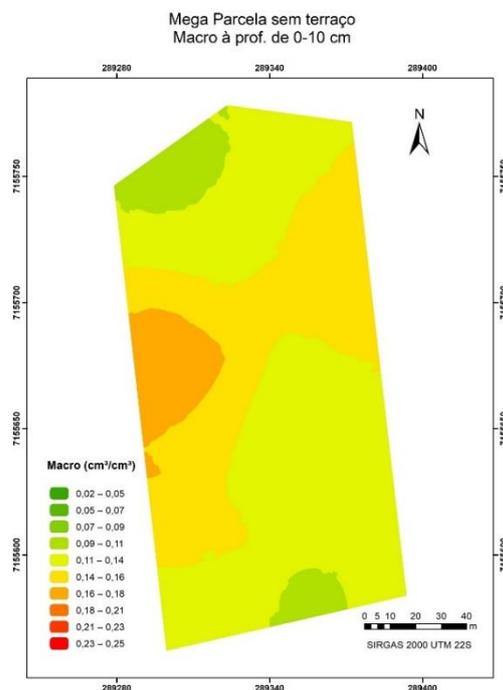


Figura 5.A: Distribuição espacial da macroporosidade em 0-0,10m na megaparcela sem terraço.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

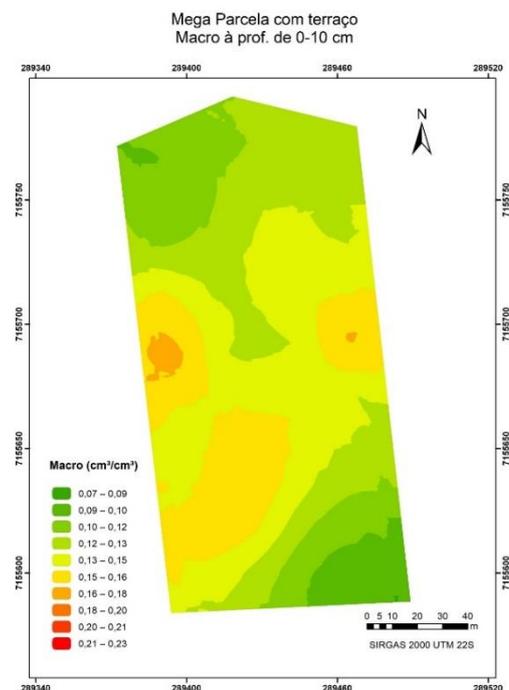


Figura 5.B: Distribuição espacial da macroporosidade em 0-0,10m na megaparcela com terraço.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

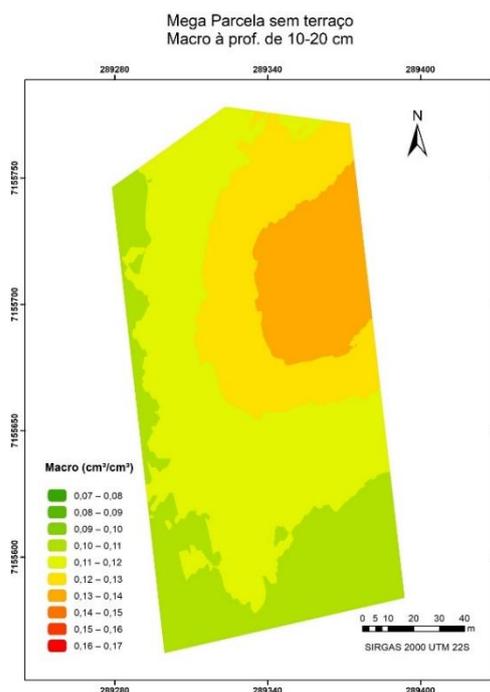


Figura 6.A: Distribuição espacial da macroporosidade em 0,10-0,20 na megaparcela sem terraço.
Fonte: Grupo MBH, 2021.

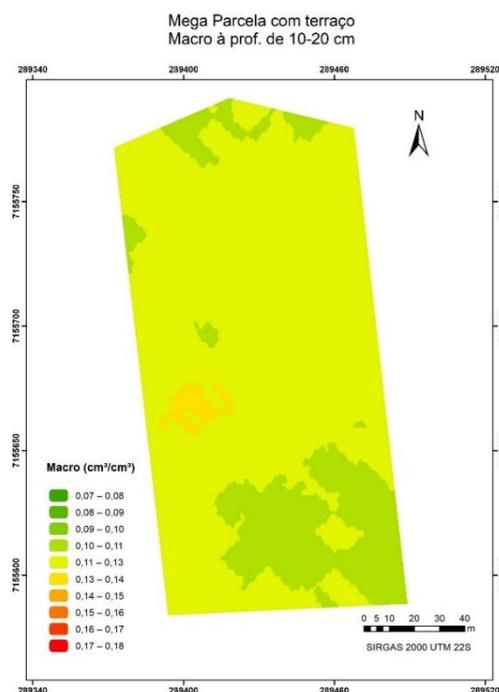


Figura 6.B: Distribuição espacial da macroporosidade em 0,10-0,20m na megaparcela com terraço.
Fonte: Grupo MBH, 2021.

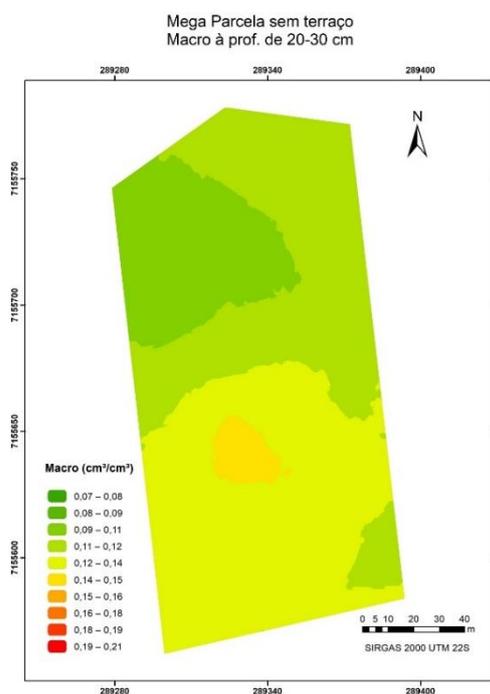


Figura 7.A: Distribuição espacial da macroporosidade em 0,20-0,30 na megaparcela sem terraço.
Fonte: Grupo MBH, 2021.

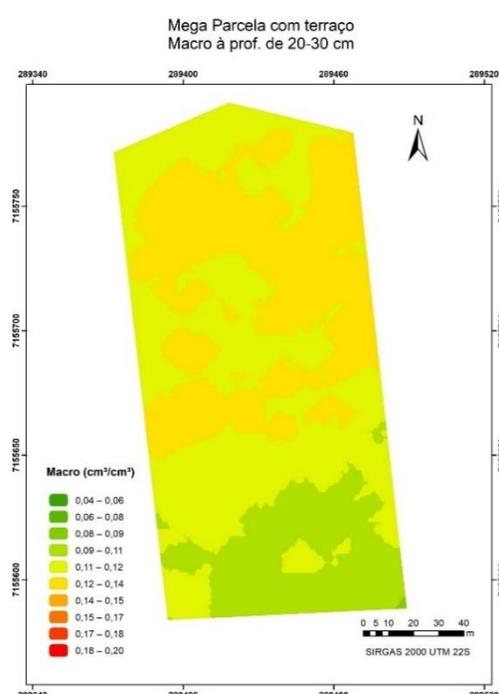


Figura 7.B: Distribuição espacial da macroporosidade em 0,20-0,30m na megaparcela com terraço.
Fonte: Grupo MBH, 2021.

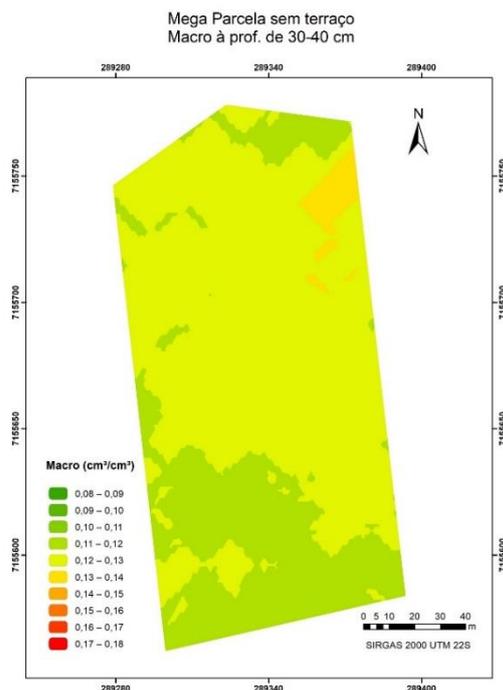


Figura 8.A: Distribuição espacial da macroporosidade em 0,30-0,40 na megaparcela sem terraço.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

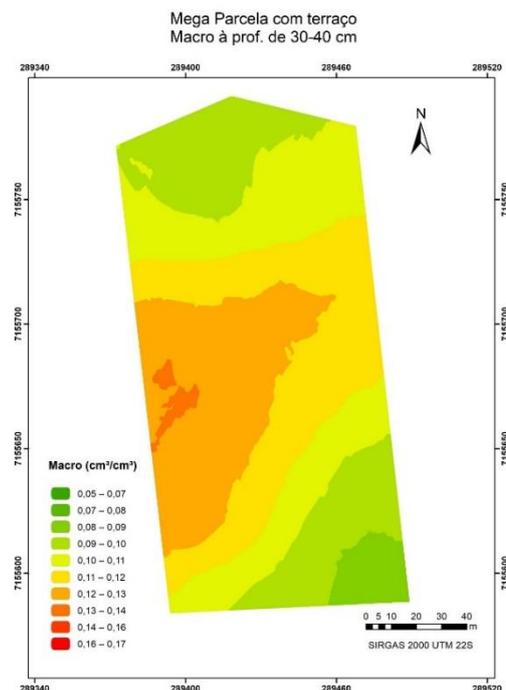


Figura 8.B: Distribuição espacial da macroporosidade em 0,30-0,40m na megaparcela com terraço.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

Ao comparar a distribuição da macroporosidade com a condutividade hidráulica saturada, é perceptível que nas profundidades de 0,0-0,10m e 0,20-0,30m em ambas as megaparcelas (Figuras 1.A, 1.B, 3.A, 3.B, 5.A, 5.B, 7.A e 7.B), os maiores valores de K_{sat} se encontram nas áreas de maior macroporosidade, enquanto onde há valores menores de macroporosidade, a condutividade hidráulica saturada também é reduzida, assim como ocorre na megaparcela com terraço na profundidade de 0,10-0,20m (Figura 6.B) que possui uma macroporosidade mais uniforme ao longo do terreno, ocorrendo o mesmo para a K_{sat} (Figura 2.B). Isso reforça a afirmação de Mesquita e Moraes (2004) sobre o fluxo preferencial de água pelos macroporos e a existência de relação entre estas duas variáveis.

Considerando essa relação visível nos mapas de distribuição espacial e que é esperado que o fluxo preferencial de água tenha forte relação com a heterogeneidade do solo (COPPOLA; KUTÍLEK; FRIND, 2008), na Tabela 2 da análise de correlação linear entre as variáveis, observa-se que para as profundidades de 0,00-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-0,30m de ambas as megaparcelas apresentaram uma correlação moderada entre a K_{sat} e a macroporosidade, com valores de correlação de 0,448; 0,456 e 0,441 para o tratamento sem terraço e de 0,716 ; 0,589 e 0,633 no tratamento com terraço nas profundidades de 0,00-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-0,30m, respectivamente.

Tabela 2: Coeficiente de correlação bivariada entre a condutividade hidráulica saturada e macroporosidade do solo nas megaparcels com e sem terraço.

Coeficiente de Correlação Ksat x Macroporosidade		
Profundidade (m)	Com terraço	Sem terraço
0-0,10	0,716	0,448
0,10-0,20	0,589	0,456
0,20-0,30	0,633	0,273
0,30-0,40	0,246	0,273

Fonte: Autor, 2021.

Porém, apenas essa análise não é suficiente para descrever com exatidão o nível de correlação entre elas (MESQUITA; MORAES, 2004; RIZZARDI et al, 2014), uma vez que outros fatores e propriedades do solo são responsáveis pelas variações da condutividade hidráulica saturada (SANTOS et al, 2012; RIZZARDI et al, 2014), necessitando que um conjunto maior de dados e atributos sejam reunidos, como textura, microporosidade, densidade, capacidade de infiltração, entre outros.

7 CONCLUSÕES

A condutividade hidráulica saturada do solo é altamente influenciada por outros fatores do solo, apresentando assim grande variabilidade.

Os mapas de distribuição possibilitaram ilustrar as áreas e a visualização da relação entre a macroporosidade e a K_{sat} do solo.

Os mapas apresentaram também uma nítida estratificação dos valores de K_{sat} em três faixas distintas ao longo do declive do relevo devido a obstrução dos poros.

São necessários estudos mais aprofundados sobre estas e outras propriedades do solo para estabelecer uma relação mais concreta entre a condutividade hidráulica saturada e a macroporosidade, servindo como objeto para novas pesquisas, além de um acompanhamento contínuo da área de estudo ao longo do tempo para possibilitar afirmar se há ou não diferença dessas variáveis entre o sistema com terraço e sem terraço, uma vez que os dados apresentados são do segundo ano de estudo da área, considerando-os relativamente recentes, pois o tempo é um fator de grande importância para a dimensão das alterações no solo.

8 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Clayton Alcarde et al. Köppe's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. V. 22, n. 6, p. 711-728. Jan. 2014. 717 p.

BRADY, N.C., WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/ IAPAR, 2008. 74p

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, R. F. Plantio direto no Sul do Brasil: fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.333-370, 2007.

CAVIGLIONE, J. H. et al. Espaçamento entre terraços em plantio direto. **IAPAR, Boletim Técnico**, 71, 59 p.il, Londrina: IAPAR, 2010.

COPPOLA, A.; KUTÍLEK, M.; FRIND, E.O.. Transport in preferential flow domains of the soil porous system: measurement, interpretation, modelling, and upscaling. **Journal Of Contaminant Hydrology**, [S.L.], v. 104, n. 1-4, p. 1-3, fev. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2008.05.011>.

DALBIANCO, Leandro. **VARIABILIDADE ESPACIAL E ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA RURAL**. 2009. 116 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DE CARVALHO, M. A. R.; DE MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; DE CARVALHO, L. C. C. Escoamento superficial na interação: Cobertura vegetal e práticas de controle de erosão. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 6, p. 1116–1125, 2012.

DE MARIA, I. C.; PECHE, A. Terraceamento complementa proteção da superfície., p. 140–143, 2009.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; et al. Manejo de enxurrada em sistema plantio direto. , p. 78, 2005. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=z2nxZwEACAAJ>>. Acesso em 20 de outubro de 2019.

ELTZ, F. L. F. Perdas Por Erosão Sob Precipitação Natural Em Diferentes Manejo de Solo e Cobertura Vegetal: I. Solo da Unidade de Mapeamento São Jeronimo, Primeira Etapa Experimental. Porto Alegre, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2017.

FAO: Se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 o mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisara-de-60-mais-alimentos-e-40-mais-agua/>>, Acesso em 24 de outubro, 2019.

HAMMAD, A. A., HAUGEN, L. E., BORRENSEN, T.. Effects of stonewalled terracing techniques on soil-water conservation and wheat production under mediterranean conditions. **Environmental Management**. Vol. 34, No, 5. P. 701–710, 2004.

LEPSCH, I. F., **19 Lições de Pedologia**. 1 ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, Cláudia Liane Rodrigues de *et al.* Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max L.*) e feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, Rs, v. 4, n. 36, p. 1172-1178, ago. 2006.

LONDERO, A. L. Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço. **Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo.**, p. 156, 2015.

MARQUES, J. D. et al. Avaliação da condutividade hidráulica saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência de solos amazônicos com diferentes coberturas vegetais. *Revista Acta Amazônica*, Vol.38, p.193-206, 2008.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Revista Ciência Rural*, Vol.34, n.3, p. 963-969, 2004.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas Mecânicas de Conservação do Solo e da Água**. 2 ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Editora da UFV, 2006.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29–48, 2003. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/5.pdf>. Acesso em 21 de outubro de 2019.

RIZZARDI, A. S.; RIGHES, A. A.; DANIEL, P.; et al. Atributos físicos e fluxo de água em solos da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim – RS Physical properties and water flow in soils of river basin Vacacaí-Mirim - RS. , v. 5, p. 3690–3701, 2014.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. 9 ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2014. Cap. 7, p. 229-267.

SCHERPINSKI, Clementina *et al.* Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 7-14, 1 jan. 2010. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.959>.

SANTOS, Karla S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 828-835, 21 maio 2012.

SILVA, A. S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 9 ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2014. Cap. 3, p. 101-126.