

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

RODRIGO ROSA

**AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO, DENSIDADE DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PARCELAS COM E SEM TERRAÇO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2021

RODRIGO ROSA

**AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO, DENSIDADE DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PARCELAS COM E SEM TERRAÇO**

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

Orientador: Prof. Dr. André Pellegrini

DOIS VIZINHOS
2021

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida e me amparar em todos os momentos dessa caminhada.

Agradeço a Minha mãe Neide Neres Rosa (in memoriam) por ter me passado todos os ensinamentos possíveis e ter me incentivado a iniciar a vida acadêmica.

Agradeço principalmente meu Pai Adelar Rosa que durante toda a essa jornada esteve me apoiando nas tomadas de decisões, e não mediu esforços em me ajudar nos momentos difíceis.

Agradeço toda minha família por toda força recebida.

Agradeço em especial ao professor Dr. André Pellegrini, por todo conhecimento repassado, pelo apoio nos experimentos conduzidos, além de me proporcionar sair da zona de conforto e encarar grandes responsabilidades.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela disponibilização de sua estrutura para o desenvolvimento da atividade e todo o seu corpo docente.

Agradeço à todos os companheiros do grupo de pesquisa física do solo pelo empenho e responsabilidade nas coletas e todos os processos de laboratório.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

(Albert Einstein)



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Dois Vizinhos
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO, DENSIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PARCELAS COM E SEM TERRAÇO

RODRIGO ROSA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) ou esta Monografia ou esta Dissertação foi apresentado(a) em 07 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 Vinculo

Laercio Sartor
Membro titular
Instituição de Vinculo

Fagner Groes
Membro titular
Instituição de Vinculo

Angélica Signor Mendes
Responsável pelos Trabalhos
De Conclusão de Curso

Alessandro Jaquiel Waclawovsky
Coordenador(a) do Curso
UTFPR – Dois Vizinhos

RESUMO

ROSA. R; **Avaliação de resistência à penetração, densidade do solo e produtividade da soja em parcelas com e sem terraço.** Trabalho de conclusão de curso II, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

As propriedades físicas do solo servem como indicadores de qualidade do mesmo, podendo intervir no desenvolvimento das plantas cultivadas. Existem muitas perdas de solo por erosão hídrica por falta de adequação dos manejos e conservação do solo. Encontram-se muitas áreas em sistema de plantio direto com solos sem estrutura, por falta de adoção de mais práticas conservacionistas. Servindo como base para a realização de um sistema produtivo, o solo é um fator limitante para o desenvolvimento de um sistema produtivo de grãos. Assim, o estudo realizado faz parte do projeto da rede de pesquisa mesorregional do Sudoeste do Paraná em manejo e conservação do solo e água em bacias hidrográficas, e tem como objetivo avaliar a variabilidade das análises físicas resistência à penetração e densidade do solo em megaparcelsas com terraço e sem terraço, verificar o impacto da retirada dos terraços no sistema de plantio direto em áreas com declividade, relacionado aos níveis de compactação do sistema, e obter resultados de produtividade da soja (*Glycine max (L) meer.*). A área de estudo é de propriedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, com solo predominante Nitossolo Vermelho. Foram realizados as seguintes avaliações: resistência à penetração, até 0,6m com repetições por ponto; umidade do solo ente 0,0 à 0,5m; densidade do solo em profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40m, sem repetições por ponto. Avaliações da produtividade da soja foram determinadas através da coleta de 3 linhas de plantio com 4 metros de comprimento cada, referentes a cada ponto amostral, os quais totalizam 32 pontos em cada parcela. Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva e geoestatística. Sendo assim encontrou-se diferenças significativas na produtividade, onde a megaparcelsa com terraço apresentou os melhores resultados de produção. Nestes atributos físicos do solo não se obteve diferença, mas apresentou valores altos de Rp e Ds, analisando por linhas no grid amostral, principalmente na camada de 0,20m.

Palavras chaves: propriedades físicas, variabilidade, sistema produtivo.

ABSTRACT

ROSA. R: Evaluation of resistance to penetration, soil density and soybean productivity in plots with terrace and no terrace: Completion of course work I, Federal technological university of Paraná. Dois Vizinhas 2019.

The physical properties of the soil are as indicators of soil quality, influencing the development of crops. There are many losses of soil due to water erosion due to inadequate management and soil conservation. Many areas are found in no-tillage systems with soils without structure, due to the lack of adoption of more conservationist practices. Serving as a basis for the realization of a productive system, the soil is a limiting factor for the development of a productive system of grains. Thus, the study aims to evaluate the variability of physical analyzes resistance to penetration and soil density in big experimental plots with terrace and without terrace, to verify the impact of the removal of terraces in the no-tillage system in areas with slope, related to the levels of compaction system, and obtain soybean productivity results (*Glycine max (L) meer*). The study area is owned by the Federal Technological University of Paraná, Dois Vizinhas campus, with predominant nitosol. The physical properties evaluated: resistance to penetration, up to 0.6 m with repetitions per point; soil moisture between 0.0 to 0.5 m; soil density at depths of 0.0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40m, without repetitions per point. Assessments of soybean productivity were determined by collecting 3 planting lines 4 meters long, referring to each sampling point, which total 32 points in each plot. The data were subjected to descriptive and geostatistical statistical analysis. Thus, significant differences were found in productivity, where the megaparcella with terrace obtained better production results. In the physical analyzes there was no significant difference, but it presented high values of Rp and Ds, analyzing by lines in the sample grid, mainly in the 0.20m layer.

Key words: physical properties, variability, productive system.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 JUSTIFICATIVA	13
5 REVISÃO DE LITERATURA	14
5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	14
5.1.1 Resistência à penetração	14
5.1.2 Densidade do solo	14
5.2 IMPORTÂNCIA DO TERRACEAMENTO	15
5.4 VARIABILIDADE ESPACIAL	16
6 MATERIAL E MÉTODOS	17
6.1 ÁREA DE ESTUDO	17
6.2 CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS	19
6.2.1 Resistência à Penetração	19
6.2.2 Umidade Volumétrica	20
6.2.3 Densidade do solo	20
6.3 PRODUTIVIDADE DA SOJA	21
6.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA	21
6.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	22
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
8 CONCLUSÕES	34
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola é uma prática que impacta diretamente a economia brasileira, tendo um consumo de alimentos diário gerado através da agricultura (GUANZIROLI, CARDIM, 2000). Deste modo, surge a importância de um sistema de plantio adequado e bem estruturado para alcançar boas produções e evitar danos ambientais (REICHERT et al., 2016). Neste contexto, a região sudoeste do Paraná se capacita com solos bem férteis e condições favoráveis para a produção agrícola.

Quando se fala em solo estruturado refere-se aos solos que não limitam o crescimento radicular das plantas em função do alto grau de compactação ou até mesmo por falta de fertilidade no solo (GUBIANI; REICHERT; REINERT, 2013). Assim, desde a década de 70 até os dias atuais, o Sistema de Plantio Direto na Palha (SPD) é pertinente e expressivo nos sistemas produtivos. Isso porque o SPD visa a sustentabilidade da produção, diminuição de custos e, principalmente, o mínimo revolvimento no solo (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

Além do SPD, sabe-se da importância de adotar as demais práticas conservacionistas no sistema de plantio, que visam o controle das perdas de água e solo nas terras agrícolas e no manejo hidrológico de uma bacia hidrográfica (TIECHER, 2016). A construção de terraços, rotação de cultura e uso de plantas de coberturas, por exemplo, mudou o cenário da agricultura completamente com a inserção dessas condutas em função da conservação e manejo do solo (EMBRAPA, 2010).

Atrelado a isso existem os fatores físicos, químicos e biológicos do solo que servem como indicadores de sua qualidade. Na parte física, a qual vai ser detalhada durante o desenvolvimento do trabalho, a resistência mecânica do solo, quando estabelecida acima de níveis críticos, tendem a comprometer o desenvolvimento da cultura instalada em função de elevar os níveis de compactação do solo (DE LIMA et al., 2010).

Outra propriedade física que pode ser relacionada a solos compactos é a densidade do solo. A aproximação das partículas pela compactação ocorre por inúmeros fatores, principalmente pelo excesso de carga transpassadas sobre o solo, através da pressão dos pneus, que suportam os elevados pesos da máquina, sobre uma área de contato (DA ROSA et al, 2012). Os valores de densidade neste sistema tendem a aumentar diante do fato de que o tráfego agrícola aumentou com os passar dos anos, em função de surgimentos de novas doenças, plantas daninhas resistentes e novas pragas, necessitando mais entradas na lavoura durante o ciclo das culturas.

Diante disto, surgem alguns questionamentos: Porque existe a preocupação com as perdas de solo e água? Porque os solos estão compactados e qual o estado (nível) desta compactação? As inúmeras respostas estão na condução de cada agricultor, de como são manejadas cada área, e quais práticas de conservação do solo estão sendo adotadas. A região do sudoeste do Paraná concentra muitas propriedades que se encaixam na agricultura familiar (YAGI 2011).

Neste sentido, para relatar a importância do terraceamento nos sistemas de produção e a adoção das práticas conservacionistas de manejo e conservação do solo, está sendo realizado um sistema de monitoramento na bacia hidrográfica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que faz parte de uma rede de pesquisa estadual, cujo projeto é intitulado: Rede de pesquisa mesorregional do Sudoeste-PR: em manejo e conservação do solo e água em bacias hidrográficas. Mediante ao contexto exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a distribuição espacial da resistência à penetração e a densidade do solo, em uma megaparcela com terraço e uma megaparcela sem terraço.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação da variabilidade estatística e espacial nas análises físicas de resistência à penetração, densidade do solo e umidade volumétrica nas megaparcelas com terraço e sem terraço, juntamente com a produtividade da soja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os níveis de compactação do solo em resposta da resistência à penetração e densidade do solo;
- Avaliar se houve interferência nas propriedades físicas com a retirada dos terraços do local.
- Realizar a comparação de produtividade da soja da área total de cada megaparcela.
- Realizar a avaliação de produtividade da soja especificamente à cada linha determinada no grid amostral.
- Analisar os valores de densidade do solo dentro do sistema

3 JUSTIFICATIVA

Existem inúmeros fatores que interferem na produção agrícola, entre elas estão as perdas por agentes fitossanitários, condições climáticas e fertilidade do solo. Mas para a produção agrícola a dependência do solo é obrigatória e essencial, mas muitas vezes não é realizado investimentos e correções, não considerando as propriedades físicas como fatores limitantes de produtividade no sistema produtivo de grãos.

Diante da carência das práticas conservacionistas nos sistemas produtivos de grãos da região do sudoeste do Paraná, especificamente a construção de terraços para retenção e drenagem da água em área com declive , que vem sendo retirado para facilitar o plantio em algumas áreas, é necessário quantificar quais são os impactos dessa ação no sistema produtivo e qual é a relação das propriedades físicas do solo com as perdas de solo por erosão hídrica (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012; PIRES; SOUZA, 2006; SALOMÃO, 2014).

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

5.1.1 Resistência à penetração

Para a obtenção dos índices de resistência mecânica de um solo à penetração pode ser utilizado penetrômetros digitais (REINERT et al., 2007). A alta compactação e adensamento de partículas nos sistemas de cultivo leva ao aumento da degradação do solo, redução da infiltração de água no solo e desencadeia o desequilíbrio de taxa de translocação de água no perfil do solo. A compactação nada mais é que a redução de volume por pressão e o adensamento e redução dos poros. A resistência à penetração é dependente dos valores de umidade do solo e da densidade, assim correlacionando esses indicadores, pode-se indicar qual a qualidade do solo em função desses fatores. (DEBIASI et al. 2013).

A agricultura intensiva tem levado ao aumento na compactação dos solos, principalmente nos sistemas de plantio direto (ANDRADE et al., 2013). Isso normalmente é consequência da utilização de práticas de manejo inadequadas que visam apenas maximizar a produção, deixando de lado a conservação e manejo do solo (STEFANOSKI et al. 2013).

Abreu (2004) aborda que somente a resistência mecânica não seja limitante para diminuir a produtividade das culturas. Existe uma relação da resistência à penetração com a umidade do solo, totalmente inversas, pois quando o solo se encontra com uma alta taxa de umidade, menor será os valores de resistência à penetração. Assim, a importância de saber os valores de umidade é poder correlacioná-los juntamente com os dados de densidade e a própria resistência para quantificar o quanto o solo está denso e se as coletas foram feitas próximo a capacidade de campo através da umidade. O aumento de densidade e a diminuição de umidade, eleva os valores de resistência a penetração (GENRO JUNIOR et al. 2004)

5.1.2 Densidade do solo

A caracterização das propriedades físicas, como a densidade do solo, serve como um indicador na dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica (EMBRAPA, 2006). Além disso, esta análise está diretamente interligada ao desenvolvimento radicular das plantas, assim, quando em situações críticas, o crescimento das mesmas pode ocasionar reduções nas produtividades.

Os solos conduzidos sob sistema de plantio direto tem uma melhor condução de água em relação ao preparo convencional (VOGELMANN et al., 2012). Os valores de densidade em superfície podem ser menores no convencional em função do revolvimento constante e as partículas do solo acabam se dispersando, mas se elevam as chances de perda de solo, pelo solo estar exposto e não conter palhada para reduzir o impacto das chuvas (GUBIANI; REINERT; REICHERT, 2014).

A densidade do solo nada mais é do que a obtenção da massa do solo sobre o seu volume. Quando há uma diminuição desse volume do solo por compressão, aumentará a massa, elevando assim os valores de densidade do solo. Reichert, Suzuki e Reinert (2007), consideram que acima de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ já são valores críticos para o sistema de plantio direto, em solos com elevado teor de argila.

5.2 IMPORTÂNCIA DO TERRACEAMENTO

Nos sistemas de plantio de áreas com declive os terraços são construídos para diminuir o escoamento superficial e controlar a erosão, servindo como uma barreira mecânica. Existe a variabilidade para a construção dos terraços conforme os locais a serem instalados, conforme o clima, tipo de solo e relevo do terreno. Isso para que se evite o rompimento do próprio após a construção (CAVIGLIONE et al., 2010).

O solo é um sistema complexo, dependente de diversos fatores físicos, químicos e biológicos para obter equilíbrio produtivo e ambiental. De acordo com Merten e Minella (2003) o intensivo preparo do solo leva a redução de matéria orgânica, respondendo às condições climáticas de forma indesejada com a perda de solo por erosão, danificando a sua estrutura e a fertilidade do solo.

5.3 PRODUTIVIDADE DA SOJA

A existência de inúmeros fatores limitantes para a produção de grãos, torna desafiador realizar a condução das cultivares no sistema produtivo. A produtividade da soja é totalmente dependente das características genética para expressar seu potencial produtivo à campo, mas nesta mesma condição, as condições climáticas afetam diretamente o resultado final da produção. Além desta interação entre o clima e o material genético, o solo é outro condicionador limitante nas diferenças de produção (FRANCHINI et al, 2016).

Assim sendo, a resistência à penetração pode ser elencada como um dos cinco fatores de maior interferência no potencial produtivo da soja, tornando-se um índice de grande relevância para ser explorado, pois pode permitir a obtenção de dados relacionados à resistência mecânica em qual o solo se encontra no momento da análise e desta forma utilizar essas informações para explicar o desenvolvimento e crescimento das raízes em resposta deste impedimento físico do solo e conseqüente potencial produtivo da cultura.(SAKO et al, 2016).

5.4 VARIABILIDADE ESPACIAL

As propriedades físicas do solo necessitam de um monitoramento intensivo, visto que cada vez mais existe uma variabilidade em função das mudanças indesejáveis nos sistemas produtivos (BERTOL et al., 2000). Sabe-se que qualquer prática de manejo no solo pode impactar em modificações no perfil, podendo ser de conservação ou desestruturação deste solo. Na semeadura direta as compactações subsuperficiais e superficiais são mais frequentes e tem a tendência de aumentar com o tráfego intensivo de máquinas (CORA et al., 2004).

Deste modo, para conhecer a distribuição espacial da variabilidade das propriedades do solo, podem ser construídos mapas através dos chamados Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Tais mapas são utilizados como ferramenta para aumentar a eficiência nos sistemas de manejo e produção (GREGO; VIEIRA, 2005), auxiliando na identificação de áreas onde possa haver a necessidade de correções para uma agricultura de precisão.

6 MATERIAL E METÓDOS

6.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é de propriedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, situada em latitude de 25° 42' 52" S e longitude de 53° 03' 94", a 520 metros de altitude. É utilizada para produção de grãos em plantio direto, sendo conduzida de forma semelhante ao uso da região, com cultivo de soja, milho, trigo, feijão e aveia em rotação e sucessão de culturas. O solo predominante na área é Nitossolo Vermelho (BHERING 2008), e teores médios de argila, silte e areia de 0,47, 0,45 e 0,08 kg kg⁻¹, respectivamente. A região sudoeste do Paraná se enquadra no clima subtropical úmido mesotérmico, com precipitação entre 1800 a 2200 mm/ano (ALVARES 2014).

O estudo realizado faz parte do projeto da rede de pesquisa mesorregional do sudoeste do Paraná em manejo e conservação do solo e água em bacias hidrográficas. Foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico da área, pelo grupo de pesquisa em manejo e conservação do solo e água (Figura 1), sendo dividida em duas parcelas.

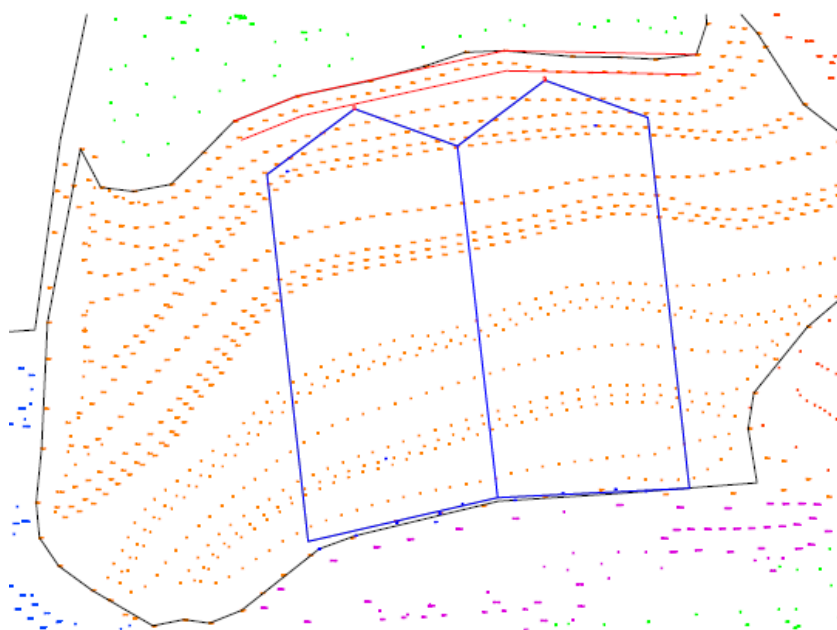


Figura 1: Detalhe da topografia das megaparcelsas - UTFPR-DV

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2019.

A área medida topograficamente para cada megaparcela é de 1,923 ha, obteve-se as áreas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Características fisiográficas da bacia

	Declividade média (%)	Comprimento da rampa (m)	Área acumulada (ha)
Com terraço (CT)	8,98	203,60	1,923
Sem terraço (ST)	8,62	206,50	1,923

Fonte: O autor (2019).

Para uma melhor visualização das megaparcelas após a instalação, foi realizado um voo com RPA (Aeronave Remotamente Pilotada) para registrar as modificações no terreno (Figura 2). Ao fundo é possível observar as dependências da Universidade, no centro da imagem as megaparcelas, com detalhe do solo exposto onde foi retirado os quatro terraços.



Figura 2: Imagem via *drone* nas megaparcelas da UTFPR-DV

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2019.

Foram retirados os 04 terraços existentes na área, realizando o trabalho de forma semelhante ao que foi feito por alguns agricultores na região, com o mínimo de movimentação de máquinas sobre a área, porém tornando a pendente constante novamente em formato original. Foi utilizado uma motoniveladora e retroescavadeira realizando a operação de quebrar o talude e recolocar a terra no canal de retenção e infiltração do terraço. Por fim foi utilizado trator com grade aradora e niveladora para desfazer o selamento superficial promovido pelos pneus da motoniveladora deixando o preparo semelhante ao feito na região.

Após terminar as obras de terraplenagem foi realizado novamente o levantamento topográfico planialtimétrico para determinar a área real de drenagem das megaparcelas e atualizar a altimetria da área sem terraços. O levantamento foi feito novamente com o uso de equipamento GNSS RTK, utilizando a mesma base de coordenadas determinada inicialmente na bacia hidrográfica. Segue abaixo a representatividade de todos os pontos quais foram realizadas as coletas (Figura 3).

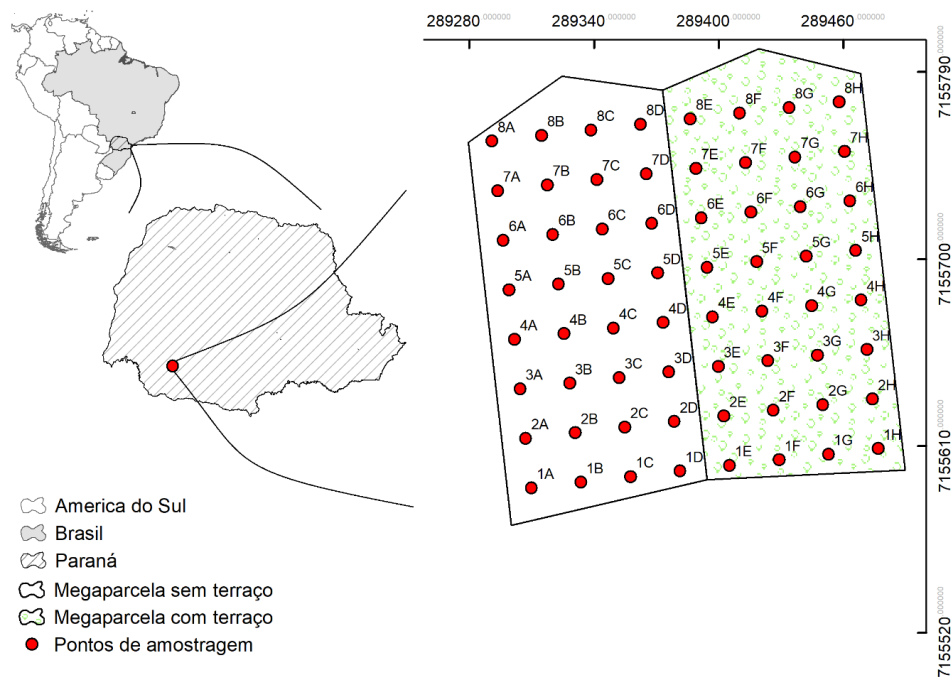


Figura 3: Localização das megaparcelas sem terraço (ST) e com terraço (CT) e dos pontos de amostragem, em Dois Vizinhos, Paraná, Sul do Brasil.

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS

6.2.1 Resistência à Penetração

Para a obtenção das coletas foram determinados 32 pontos para coleta distribuídos, através de um grid amostral tipo grade regular retangular, em cada megaparcela, totalizando 64 pontos. Esses pontos estão todos georeferenciados com o GNSS RTK para a geração da distribuição espacial dos resultados.

Na área experimental de 3,846 ha, foi realizado análises de resistência à penetração em todos os pontos com 5 repetições por ponto em um raio de 3 metros e coletado amostras de umidade

até 50 cm de profundidade para ser significativo o momento de coleta. Para a obtenção da resistência à penetração foi usado um penetrômetro digital da marca Falker[®], na leitura de 0 a 60cm, com resolução de 1cm.

Este procedimento foi realizado em época de zoneamento agrícola do plantio da cultura da soja da safra 2019/2020 para o Sudoeste do Paraná, na data 29 de novembro de 2019. A geração dos dados será através do PenetroLOG, software disponibilizado pela Falker[®] para leitura das informações

6.2.2 Umidade Volumétrica

A umidade do solo foi realizada juntamente com a resistência à penetração, feito a realização em todos os pontos, e no mesmo dia de coleta, isto para poder determinar o estado que o solo se encontra. Utilizou-se um trado holandês para a realização das coleta nos 64 pontos, até os 50cm de profundidade. Sua determinação foi feita em laboratório após secagem à estufa em 105°C. O volume de água será obtido após a determinação da umidade gravimétrica, multiplicada pela densidade do solo (Equação 1 e 2).

$$CGA = \frac{A-B}{B} \quad (1)$$

Onde:

CGA= Conteúdo gravimétrico de água em kg kg⁻¹

A = Massa de amostra úmida, em gramas.

B = Massa de amostra após 105 °C, em gramas

$$UV = CGA \times Ds \quad (2)$$

Onde:

UV: Umidade volumétrica

Ds: Densidade do solo

6.2.3 Densidade do solo

Nos mesmos 64 pontos realizou-se as coletas de solo com estrutura preservada para caracterizar a densidade do solo. A mesma foi efetuada no ano seguinte, na safra 2020/2021 em

19 outubro de 2020. O método utilizado foi de acordo com a Embrapa (2017), aonde usou-se os anéis volumétricos para coleta, em profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 sem repetições por ponto. Com os pontos georreferenciados e os dados de campo, foi avaliado a distribuição da variabilidade espacial desta propriedade física. (Equação 3)

$$D_s = \frac{M_a}{V} \quad (3)$$

Onde:

D_s = Densidade do solo em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3})

M_a = Massa de amostra de solo seco a 105°C , em gramas.

V = Volume do cilindro, em cm^3

6.3 PRODUTIVIDADE DA SOJA

Foram efetuados o acompanhamento da produção da safra de verão 2020/2021 da cultura da Soja (*Glycine Max*) nesta área experimental e a cultivar utilizada foi a Pioneer 95R51.

Os valores de produtividade da soja foram determinados através da coleta de três linhas de plantio com quatro metros de comprimento, referentes a cada ponto amostral. Posteriormente foram devidamente trilhados, realizado a limpeza e retirada de impurezas, pesadas e determinada a umidade das amostras para correção do valor de massa obtido.

6.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA

O teste Shapiro-Wilk foi aplicado para avaliar a normalidade dos dados, enquanto a homogeneidade de variâncias foi avaliada por meio do teste de Barlett. Os dados de densidade do solo (D_s), resistência do solo à penetração (RP) e umidade volumétrica (U_v) foram submetidos à análise de variância (ANOVA), quando houve diferenças significativas, as médias das megaparcela sem e com terraço para cada camada foram comparadas usando o teste de diferença mínima significativa (Least Significant Difference (LSD) test), ao nível de 5% de probabilidade, com uso do programa Statistical Analysis System, versão 9.4 (SAS, 1990).

6.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Os dados de densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP) e umidade volumétrica (Uv) foram submetidos à análise da variabilidade espacial, pela determinação e interpretação de semivariogramas para cada variável analisada em cada camada. O semivariograma consta de um gráfico de $\gamma(h)$ em função dos valores do vetor h , (Equação 4).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Onde:

$N(h)$ = número de pares dos valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$;

h = distância determinada a partir das coordenadas de $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$.

Os semivariogramas teóricos foram testados com modelos do tipo linear, esférico, exponencial e gaussiano. O melhor modelo teórico foi selecionado por meio do maior coeficiente de determinação (r^2 ; Equação 5) e pelo quadrado médio do erro (RMSE; Equação 6), por meio da técnica de validação cruzada.

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_m^{obs})(Y_i^{sim} - Y_m^{sim}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_m^{obs})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_m^{sim})^2} \quad (5)$$

Onde:

n = número de observações;

Y_i^{obs} e Y_i^{sim} = valores observados e preditos para cada ponto i ;

Y_m^{obs} e Y_m^{sim} = médias aritméticas dos valores.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2} \quad (6)$$

Onde:

RMSE = quadrado médio do erro;

Y_i^{obs} e Y_i^{sim} = valores observados e preditos para cada ponto i .

Os dados que tiveram dependência espacial foram interpolados pelo método de krigagem ordinária, para a geração dos mapas de distribuição espacial. Os procedimentos geoestatísticos

foram realizados com o plug-in Smart-Map, versão 1.0.1 (Pereira et al., 2021) no programa QGIS, versão 3.10.11 (QGIS, 2020).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na representatividade de variabilidade espacial de resistência à penetração do solo foi possível perceber que na primeira camada de 0,00 – 0,10m não houve diferença de variabilidade entre as megaparcelas com e sem terraço. Os valores atribuídos nesta profundidade foram de 0,6 MPa à 1,1 MPa.

Já na profundidade de 0,10 – 0,20m se obteve valores mais próximos e superiores aos níveis críticos considerados para um sistema de plantio direto que é aproximadamente 1,3 Mpa (LIMA et al, 2010). Nesta ocasião os valores ficaram entre 1,8 MPa e 2,8 MPa, valores mais elevados entre todas as profundidades, já com algumas diferenças de variabilidade entre as parcelas.

Os valores de resistência à penetração foram diminuindo a partir da camada de 0,10 – 0,20m. Nas camadas 0,20 – 0,30m, 0,30 – 0,40m e 0,40 – 0,50m, a representatividade de distribuição é semelhante, alterando apenas os valores de MPa. Mas nessas últimas profundidades pode se verificar que houve uma semelhança com outra propriedade física, a densidade do solo. Em ambas as distribuições espaciais apresentaram valores mais elevados nas últimas linhas da megaparcela com terraço. Este acontecimento pode ser notado quando comparado a camada de 0,30 – 0,40m da densidade do solo com as três últimas profundidades de resistência à penetração.

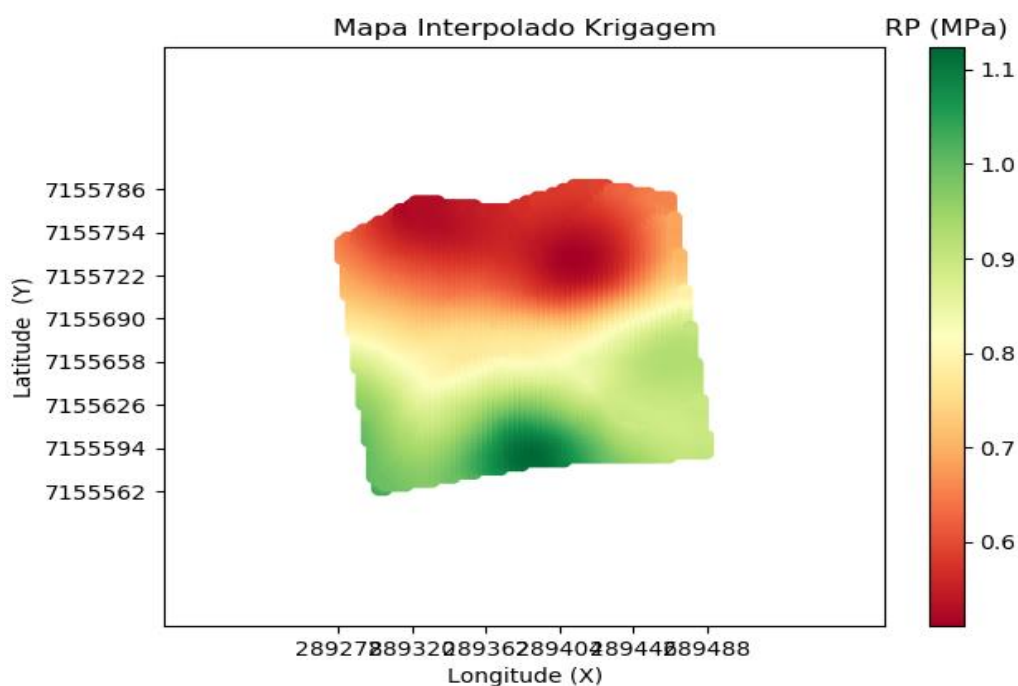


Figura 4: Distribuição espacial da resistência a penetração na profundidade 0-0,10m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

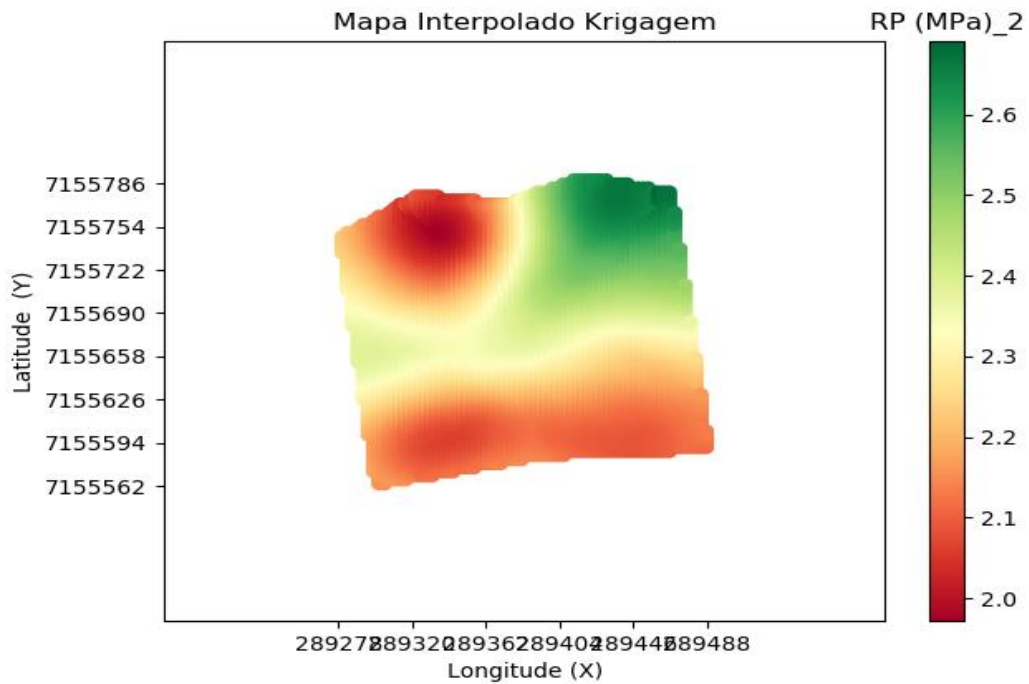


Figura 5: Distribuição espacial da resistência a penetração na profundidade 0,10-0,20m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

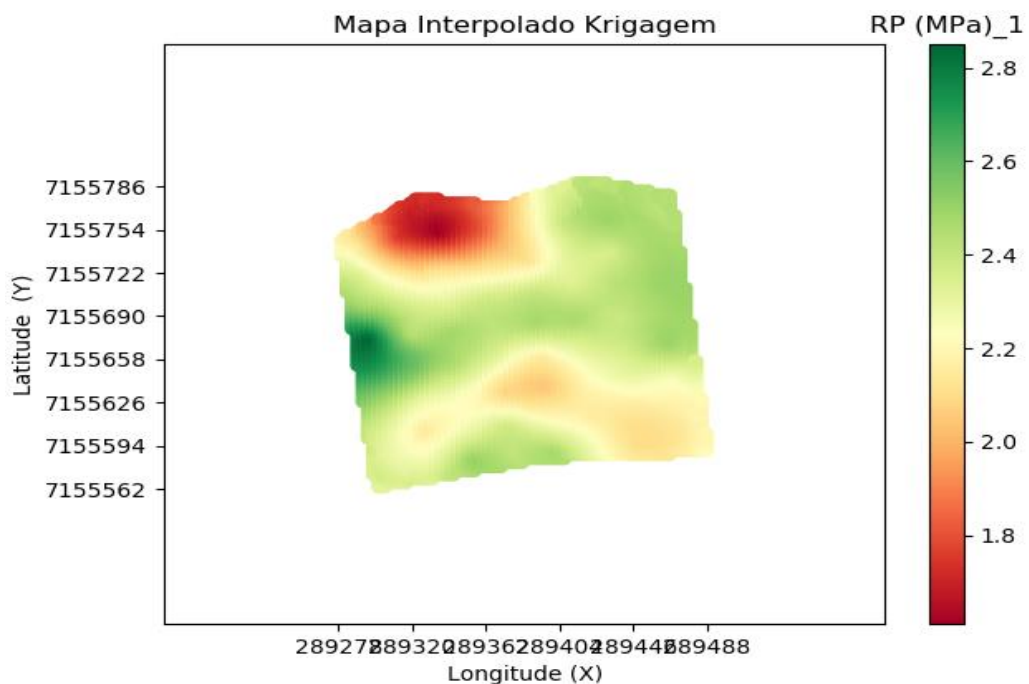


Figura 6: Distribuição espacial da resistência a penetração na profundidade 0,20-0,30m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

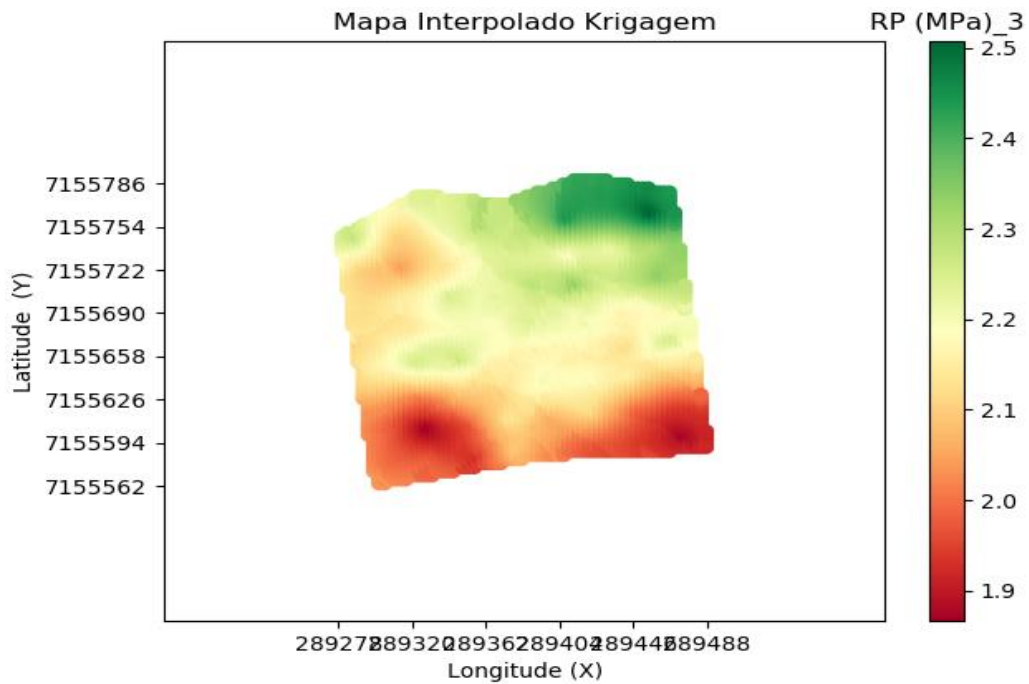


Figura 7: Distribuição espacial da resistência a penetração na profundidade 0,30-0,40m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

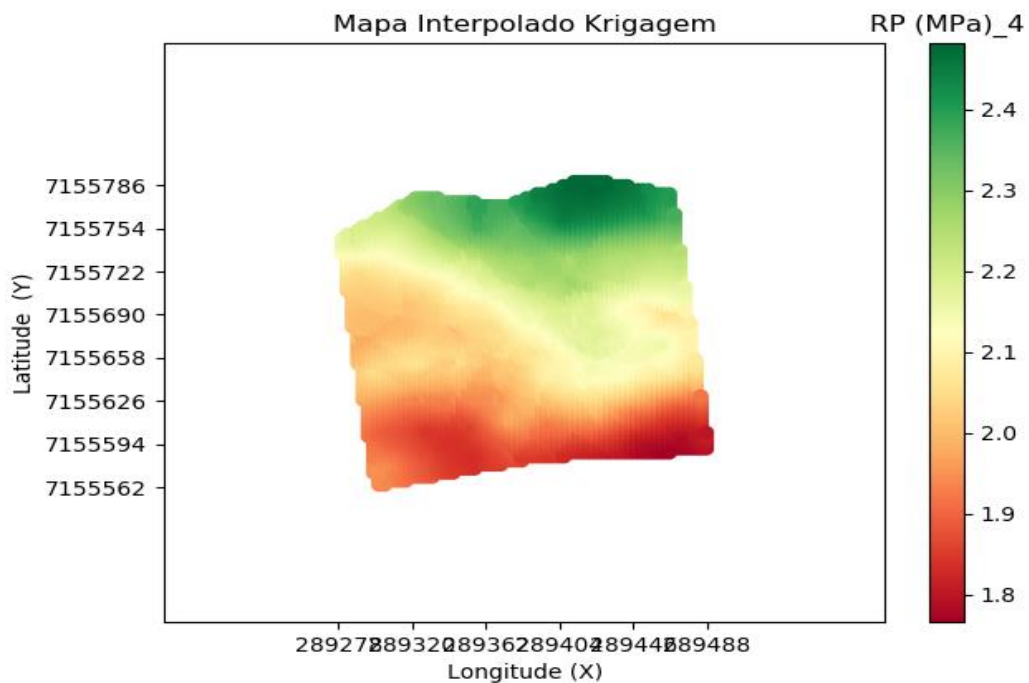


Figura 8: Distribuição espacial da resistência a penetração na profundidade 0,40-0,50m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

As avaliações de densidade do solo, de maneira geral, em todas as profundidades encontram-se com valores mais altos nas últimas linhas do grid amostral. A distribuição espacial desta análise física do solo pode ser identificada nos pontos de maior dificuldade de coleta em função do estado da amostra no momento da coleta. Isto porque alguns pontos do grid amostral ficaram localizados em cima do terraço, como por exemplo na linha 8, o ponto 8 H, nas camadas de 0,20 – 0,30m e 0,30 – 0,40m com valores mais elevados. Os valores de densidade que alcançaram os níveis críticos (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007) em alguns pontos foram nas duas primeiras profundidades, 0,00 – 0,10m e 0,10 – 0,20m, mas em menor proporção comparando a área total. O maior valor de densidade encontrado foi 1,35 Mg m⁻³.

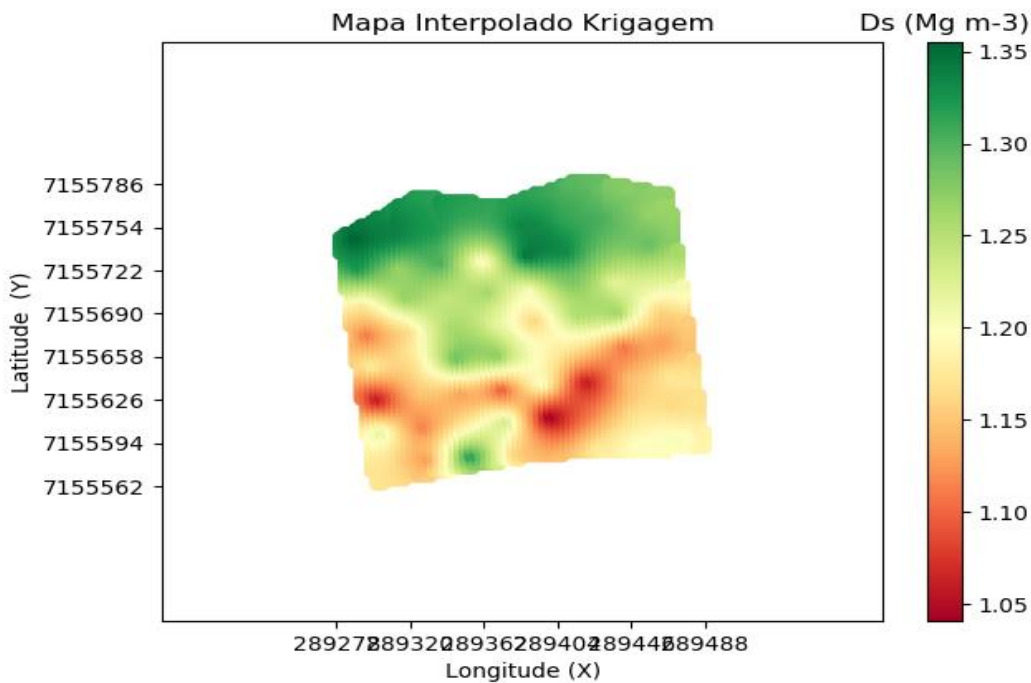


Figura 9: Distribuição espacial da densidade do solo na profundidade 0-0,10m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

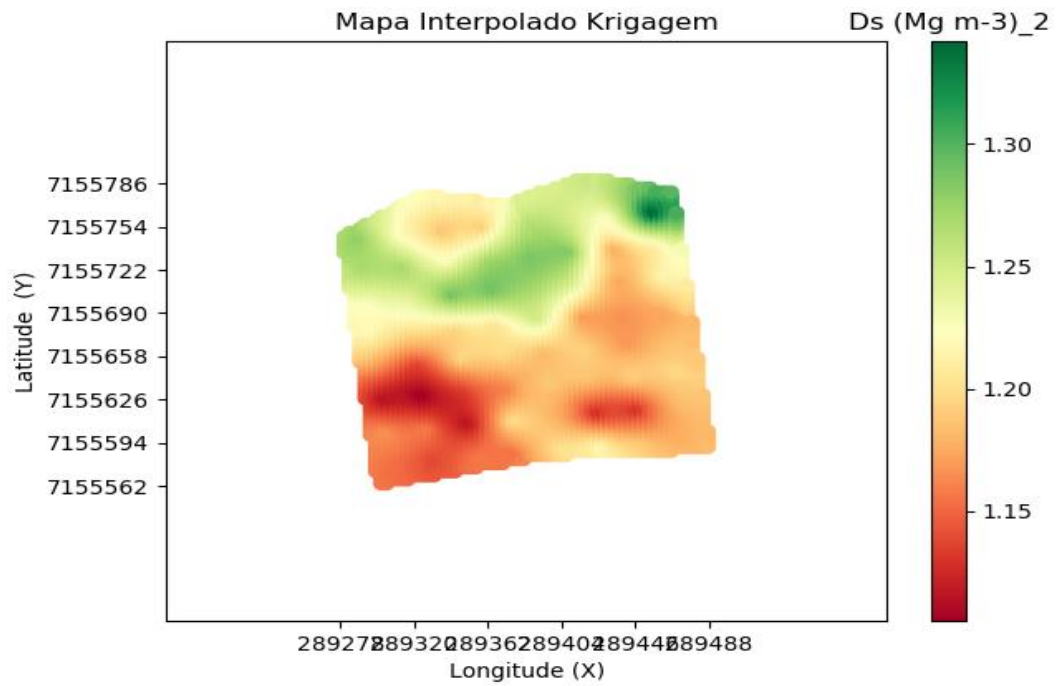


Figura 10: Distribuição espacial da densidade do solo na profundidade 0,10-0,20m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

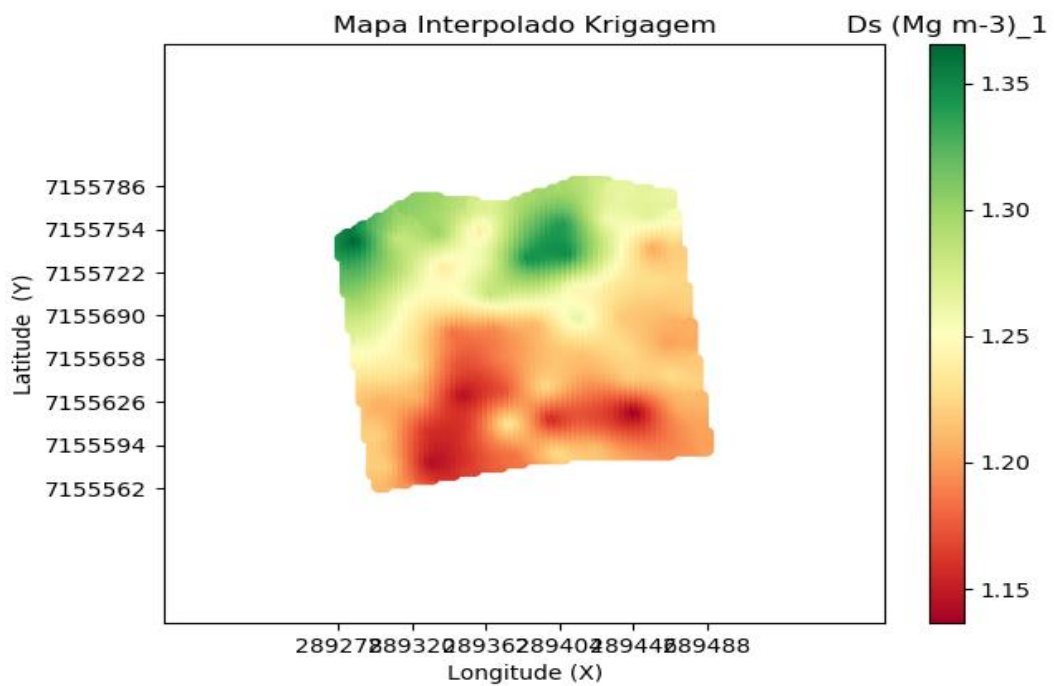


Figura 11: Distribuição espacial da densidade do solo na profundidade 0,20-0,30m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

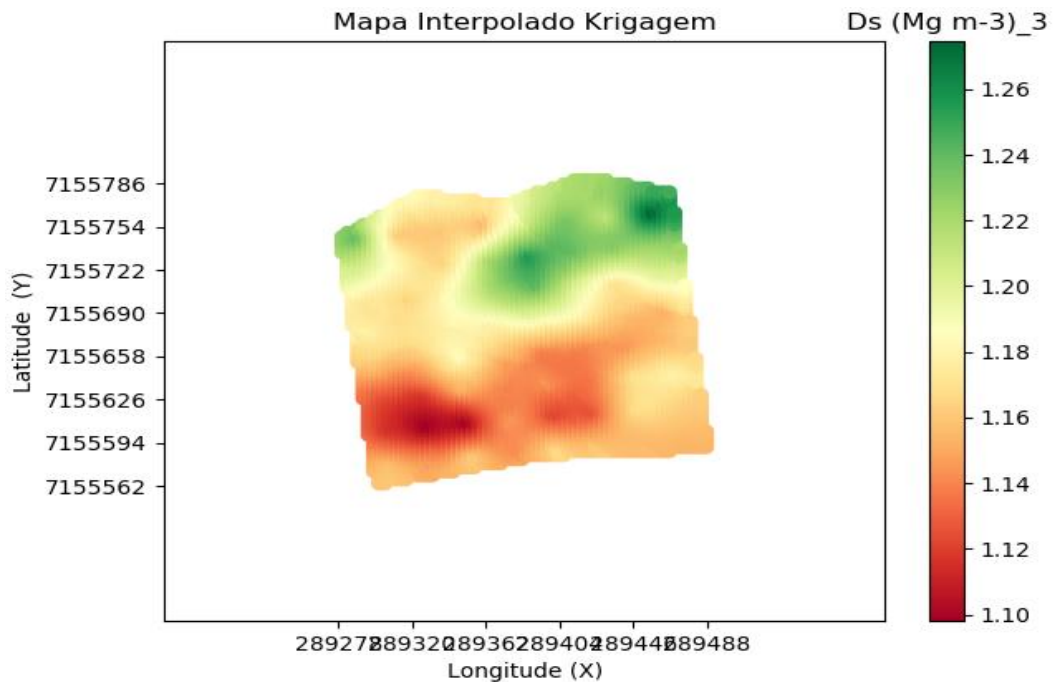


Figura 12: Distribuição espacial da densidade do solo na profundidade 0,30-0,40m

Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

Para uma melhor comparação entre as megaparcelas, foram analisados os valores de resistência à penetração e umidade volumétrica do solo à cada linha do grid amostral, ou seja, para reduzir a área significativa de avaliação, mas os valores estão representados nos gráficos. Neste resultado pode-se observar que algumas linhas, em algumas profundidades, apresentaram diferença significativa, representados nos gráficos a Linha 3, Linha 6, Linha 7 e Linha 8.

Novamente pode ser verificado o aumento dos valores de resistência a penetração próximos aos 0,20m em todas as linhas, confirmando que no sistema de plantio direto em função das cargas pesadas dos maquinários agrícolas, a pressão maior ocorre nesta profundidade. Isto também ocorre em função das raízes das culturas cultivadas, que realizam a descompactação superficial, representada pela camada de 0,00 - 0,10m.

De maneira geral as análises das áreas com e sem terraço apresentam poucas diferenças significativas, mas o que chama atenção são as linhas 6, 7 e 8, as quais os valores de resistência à penetração são maiores na megaparcela com terraço, mas mesmo assim os valores de umidade são superiores nesta área. Isto pode ter acontecido, porque os pontos das últimas linhas estão localizados bem acima de onde foi retirado os terraços, sofrendo efeitos de revolvimento e desestruturação do solo, se encontrando ainda em processo de adensamento dessas áreas (Reichert; Suzuki; Reinert, 2007).

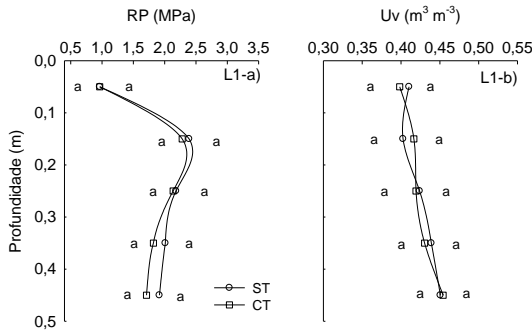


Figura 13: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 1.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

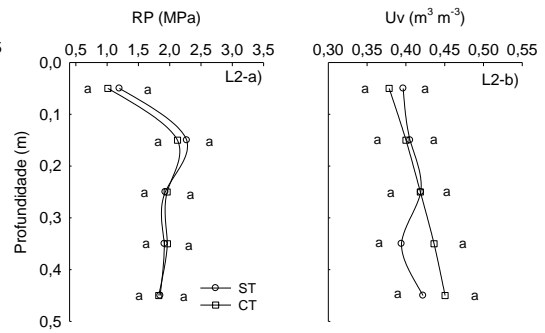


Figura 14: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 2.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

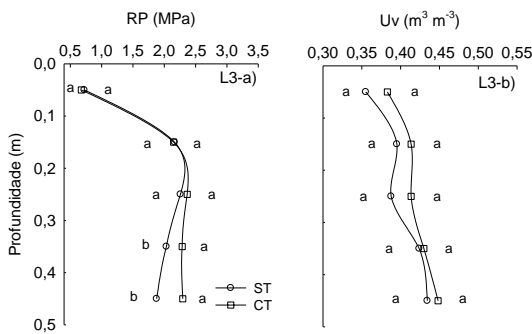


Figura 15: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 3.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

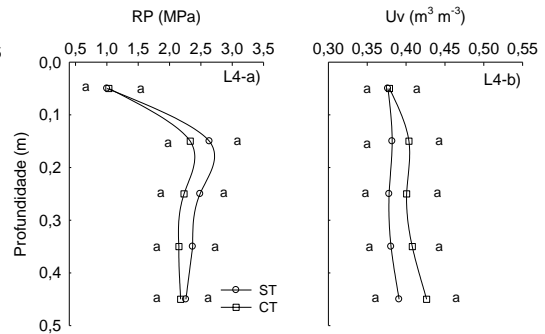


Figura 16: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 4.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

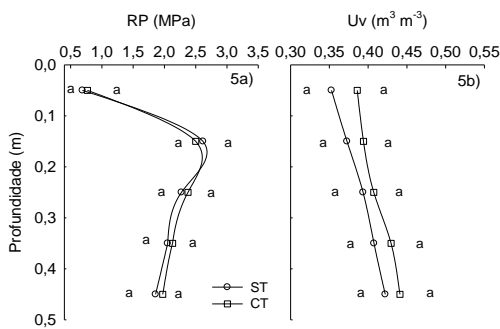


Figura 17: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 5.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

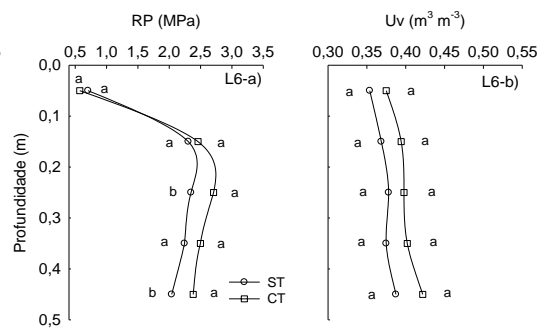


Figura 18: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 6.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

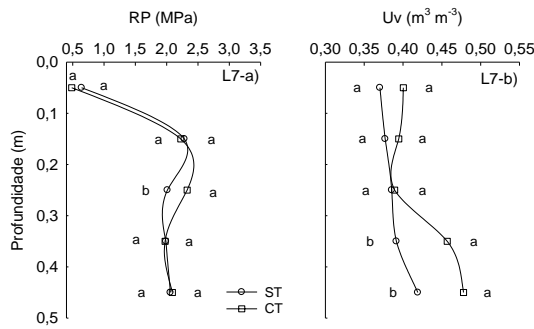


Figura 19: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 7.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

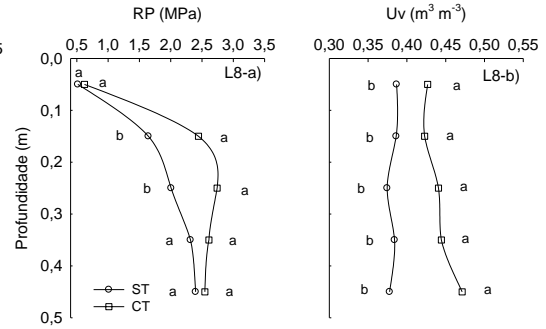


Figura 20: Valores de Resistencia à Penetração e Umidade volumétrica do solo / Linha 8.

Fonte: Grupo MBH, 2021.

Por fim realizou-se análises de produtividade da soja na safra 2020/2021, na qual avaliou a produção de todos os pontos das áreas. Nas megaparcelas com terraço teve melhores índices de produção. Na avaliação geral da área analisou-se diferença significativa de produção, e na maioria das avaliações separadas por linha obteve esta mesma diferença significativa (Figura 21).

Ao analisar esta diferença de produção entre as áreas com e sem terraço, pode comparar com os valores de umidade linha por linha. Pois as variações de resistência à penetração do solo e densidade do solo, ainda não podem ser considerados limitantes nesta produtividade. Mas já a umidade do solo, pode sim ter sido um condicionador para este aumento de produtividade na megaparcela com terraço, pois vai apresentar melhores condições para o enraizamento das plantas, e fornecimento de nutrientes.

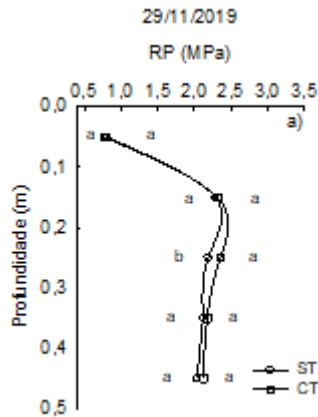


Figura 21: Valores de Resistencia à Penetração da área total – Com Terraço e Sem terraço.
Fonte: Grupo MBH, 2021.

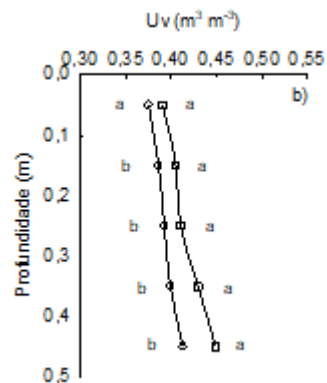


Figura 22: Valores de umidade volumétrica da área total – Com Terraço e Sem terraço.
Fonte: Grupo MBH, 2021.

Como o sistema produtivo depende de inúmeros fatores no seu desenvolvimento, é necessário ter cuidados para determinar qual foram os pontos limitantes para este desenvolvimento. Mas neste caso avaliou estas características físicas do solo, as quais em alguns pontos obtém diferença significativa, ou seja, no caso de correções, pode fazê-las localizadas, e não na área total, um indicio da agricultura de precisão.

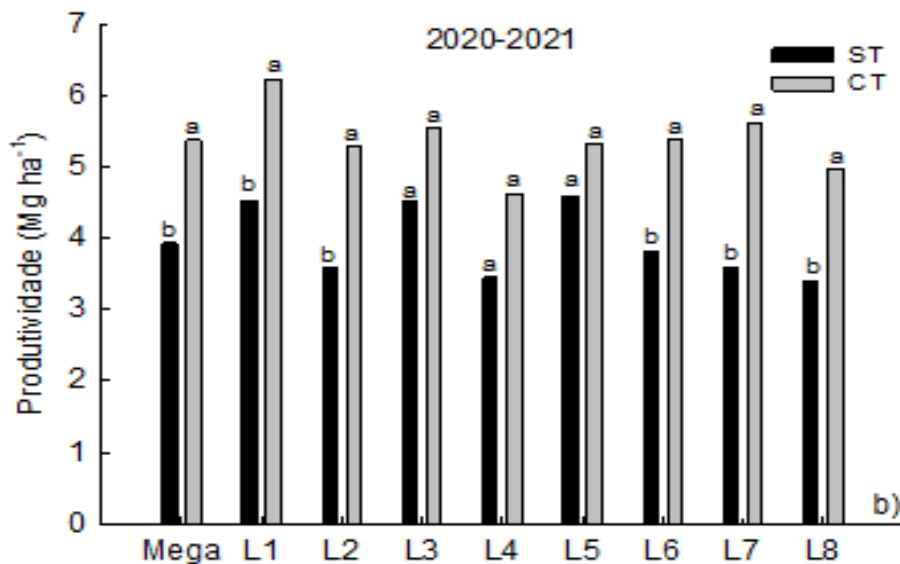


Figura 23: Produtividade da Soja nas parcelas Com terraço e Sem terraço e por linha
Fonte: Grupo de Pesquisa em manejo e conservação de solo e água, UTFPR-DV, 2021.

Com o intuito de verificar se com a retirada dos terraços haveria variabilidade entre as propriedades físicas e na produtividade da soja, resultou que nas avaliações de resistência a penetração e densidade os valores foram semelhantes entre as áreas, não obtendo diferença significativa, diferente da produção da soja (figura 23), onde a megaparcela com terraço como um todo apresentou maior valor de produtividade, podendo ser observada esta diferença também quando comparadas as linhas de coleta de forma separada, com destaque para a linha 7 das megparcelas que apresentou a maior diferença de valor.

8 CONCLUSÕES

Desta maneira conclui que deste trabalho, a produtividade da soja foi a análise que apresentou mais representativamente as diferenças nos tratamentos, apresentando uma produção inferior na área sem terraço, principalmente pelos índices de umidades mais baixos e falta de estrutura de solo nas camadas superficiais nos locais onde foram retirados os terraços.

Os valores de resistência à penetração mostraram a situação momentânea do solo em resposta da força mecânica aplicada pelo penetrômetro digital, dependente com os dados de umidade volumétrica. Neste caso foi possível verificar que nas camadas subsuperficiais, 0,20m, um maior índice de compactação. Mas não houve diferença significativa entre as áreas, mas podendo observar através da distribuição espacial as linhas em destaques onde relatam os diferentes valores.

Na distribuição espacial dos valores de densidade, chamam atenção nas últimas camadas, as quais tem uma representatividade de dados compatíveis quando comparados com os valores de resistência a penetração, podendo-se dizer que não houve esta mesma compatibilidade nas primeiras camadas porque a condição que o terreno se encontra, na área sem terraço, pode haver o carregamento de partículas de solo através de eventos pluviométricos, juntamente com percentual de declive que a área se encontra.

Sendo assim conclui com este estudo, que áreas de plantio com declive necessitam do uso de terraços, para a contenção de água no sistema e melhorando os resultados de produção de grãos. Além disso deve seguir o manejo com o uso de práticas conservacionistas, para melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:519- 531, 2004.

ANDRADE, R da S.; Stone, L. F.; Godoy, S. G.; Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.932–937, 2013.

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.

BERTOL, I.; Almeida, J. A. de; Almeida, E. X.; Kurtz, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-Elefante-Anão cv. Mott. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Legenda atualizada. Rio de Janeiro, Embrapa Florestas/Embrapa Solos/Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.
CAMARGO, E. C. G.. Geoestatística: fundamentos e aplicações. *In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S.. Geoprocessamento para projetos ambientais*. 2 ed rev. ampl. São José dos Campos: INPE, 1998.

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.

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

CORA, J.E.; ARAÚJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1013-1021, 2004.

DA ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; et al. Demanda de tração e propriedades físicas de um Argissolo em diferentes manejos e intensidades de tráfego. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 1, p. 118-126, 2012.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; CONTE, O.; et al. Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. , 2013.

DE LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 89–98, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Indicadores físicos e químico de qualidade do solo de interesse agrícola**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

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.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA, Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manejo de solos: preparo convencional do solo. 4 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.
FRANCHINI, Julio Cezar *et al.* **Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definições de ambientes de produção**. Londrina, Pr: Embrapa Soja, 2016.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 28:477-484, 2004.

GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e resposta espectral da cultura de feijão irrigado, em imagens aéreas digitais. Piracicaba: ESALQ/USP. 1997. 118p. Tese Doutorado.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental, Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.169-177, 2005.

GUANZIROLI, C. E.; CARDIM, S. E. DE C. S. Novo Retrato da Agricultura Familiar: O Brasil Redescoberto. **Incra/Fao**, p. 74, 2000.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 1–10, 2013.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 994–1000, 2014.

JUNIOR, R. C.; DE ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no sul do Brasil**. 2012.
LIMA, Cláudia Liane Rodrigues de *et al.* Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, Df, v. 45, n. 1, p. 89-98, jan. 2010.

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.

MERTEN, G.H. & MINELLA, J.P.G. Projeto de monitoramento ambiental de microbacias hidrográficas – RS-RURAL subprojeto 7. Porto Alegre, RS, IPH-UFRGS, 2003.89p.

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

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches; REINERT, Dalvan José. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** [s. L.]: Tópicos Ciência do Solo, 2007.

REICHERT, J. M.; DA ROSA, V. T.; VOGELMANN, E. S.; et al. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123–136, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.11.010>>. Acesso em 30 de outubro de 2019.

SAKO, Henry *et al.* **Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha Novembro de.** 2. ed. [S. L.]: Circular Técnica, 2016.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. S.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-309, 2013.

TIECHER, T. (organizador). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil.** Porto Alegre, RS: UFRGS, 2016.

VOGELMANN, E. S.; MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; et al. Compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo trafegado e escarificado. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 291–297, 2012.

YAGI, R.; BITTENCOURT, H.H.; et al. Diagnóstico de atributos químicos e físicos de solos sob plantio direto em propriedades agrícolas familiares do Sudoeste do Paraná. **Revistas.utfpr.edu.br**. v.6,n.1 2011.

QGIS Development Team. QGIS 3.10 User Guide: QGIS Project. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation, 2020. <https://qgis.org/en/site/>

Pereira, G.W.; Valente, D.S.M.; Queiroz, D.M.; Coelho, A.L.F.; Hurtado, S.M.C. Smart-Map: Plugin Qgis3.10.x for interpolation using Ordinary Kriging and Machine Learning (Support Vector Machine), Generate Management Zones. 2021. <https://github.com/gustavowillam/SmartMapPlugin>

SAS Institute Inc. 1990. SAS/STAT. In: User' Guide. Version G., fourth ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Busscher, W.J. 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Trans. ASAE* 3, 519–524. <http://dx.doi.org/IND90052220>.