

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE AGRONOMIA
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

JULIANA GURKEVICZ CAETANO

**USO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2015

JULIANA GURKEVICZ CAETANO

**USO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiani das Dores Abati Miranda.

Co-orientador: Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor.

DOIS VIZINHOS

2015



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



USO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

por

JULIANA GURKEVICZ CAETANO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 26 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Fabiani Das Dores Abati
Miranda
Prof.(a) Orientador(a)

Prof. Ms. Raoni Wainer Duarte
Bosquilia
Membro titular

Prof^a. Dr^a. Elisandra Pocojeski
Membro titular

Prof^a. Dr^a. Angelica Signor Mendes
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Laercio Ricardo Sartor
Coordenador(a) do Curso
UTFPR – Dois Vizinhos

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos colegas e professores que contribuíram de forma direta ou indireta para a minha formação acadêmica e pessoal, principalmente a minha família, que esteve sempre ao meu lado, incentivando e apoiando em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, e também pela família que me concedeu, a qual foi de extrema importância durante toda essa caminhada.

Aos meus pais Amélia Gurkevicz Caetano e Sidney Batista Caetano, e minha irmã Janaina Gurkevicz Caetano, por me apoiarem nas minhas decisões e me proporcionarem todo o auxílio necessário para a conclusão da graduação, que certamente foi de fundamental importância.

Agradeço ao Oiliam Carlos Stolarski, que mesmo nos momentos de dificuldades esteve me apoiando e incentivando. Reconheço, de maneira especial, que seu apoio foi essencial para a conclusão desta etapa.

A Prof^a. Dr^a. Fabiani Das Dores Abati Miranda que se dispôs a me orientar, e através de sua experiência me auxiliou a concluir este importante trabalho.

Ao Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor, que me co-orientou e disponibilizou sua área de pesquisa para a elaboração desse trabalho.

Aos demais professores, que ao longo da minha formação compartilharam do seu conhecimento.

Aos colegas e amigos que fiz ao longo da graduação, e principalmente aqueles que me auxiliaram na execução deste trabalho, sem a ajuda deles, com certeza este trabalho não poderia ser realizado.

Em especial, a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida, e que em algum momento contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Obrigada!

RESUMO

CAETANO, Juliana Gurkevicz. **Uso de ferramentas de geoprocessamento na análise da resistência mecânica do solo à penetração.** 2015. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

Com a expansão das fronteiras agrícolas e consequente aumento da demanda na produção agrícola, problemas relacionados à qualidade do solo começaram a surgir, um deles é a compactação. Buscando encontrar ferramentas que contribuam para a avaliação da resistência mecânica do solo a penetração (RMP), ocasionada pela compactação, o presente trabalho teve por objetivo a criação de um Sistema de Informações Geográficas que permita analisar e representar através de mapas o comportamento do solo em uma área experimental localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos. A área possui ao todo sete hectares e já vem sendo utilizada para fins de pesquisas. Para sua divisão foi utilizado o Delineamento Experimental de Blocos ao Acaso (DBA) com três repetições (blocos) em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocados os tratamentos de inverno, com pastejo e sem pastejo de uma pastagem composta por aveia + azevém + ervilhaca. Nas subparcelas foram alocadas as culturas de verão milho e soja. Avaliou-se após a saída dos animais e após a cultura de lavoura a resistência mecânica do solo a penetração, onde em cada parcela foram amostrados 30 pontos de forma aleatória. Para a coleta dos dados de resistência mecânica foi utilizado um penetrômetro digital, juntamente com um receptor GPS topográfico para a coleta das informações espaciais do ponto. Através dos dados obtidos foi possível criar de um banco dados SIG, o qual forneceu informações necessárias para a elaboração de mapas nas diferentes camadas de solo (0 – 10 cm; 10 – 15 cm; 15 – 20 cm e 20 – 40 cm) da área em estudo, além de permitir a identificação dos pontos mais críticos de resistência à penetração, para posterior correção. As áreas com pastejo e sem pastejo não apresentaram diferença na resistência mecânica do solo a penetração, no entanto observam-se através dos mapas, maiores pontos de altas RMP no pós pastejo. As culturas de verão atuaram positivamente sobre a resistência mecânica a penetração, favorecendo a menor RMP, especialmente o milho.

Palavras-chave: SIG. Mapas. Resistência mecânica do solo. Sistema de integração lavoura-pecuária.

ABSTRACT

CAETANO, Juliana Gurkevicz. **Use of geoprocessing tools in the analysis of mechanical resistance soil to penetration.** 2015. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

With the expansion of the agricultural frontier and the consequent increased demand in agricultural production, problems related to soil quality began to emerge, one is compaction. Trying to find tools that contribute to the assessment of soil mechanical resistance to penetration (RMP), caused by compaction, this study aimed to the creation of a Geographic Information System for the analysis and representation through maps soil behavior an experimental area at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos. The area has a total of seven hectares and is already being used for research purposes. For its division was used Experimental Design Blocks The Rebound (DBA) with three replications (blocks) in a split plot. In the main plots were allocated the winter treatments, grazing and no grazing in a pasture of oat + ryegrass + vetch. The subplots cultures of summer corn and soybeans were allocated. It was evaluated after removal of the animals and after the farming culture of the soil mechanical resistance to penetration, which in each plot were sampled 30 points randomly. To collect the strength of data it used a digital penetrometer, along with a topographic GPS receiver for the collection of spatial point information. Through the data obtained it was possible to create a bank GIS data, which provide information necessary for the preparation of maps in different layers of soil (0-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm and 20-40 cm) the study area, and allows the identification of the most critical points of penetration resistance, for further correction. Areas with no grazing and grazing showed no difference in soil mechanical resistance to penetration, however can be observed through the maps, major points of high RMP post grazing. The summer crops have acted positively on the mechanical resistance to penetration, favoring the lower RMP, especially maize.

Keywords: GIS. Maps. Mechanical soil resistance. System of integrated crop-livestock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variáveis visuais utilizadas para a representação de feições em mapas...	22
Figura 2: Semivariograma experimental.....	24
Figura 3: Croqui da área de estudo.....	27
Figura 4: Uso da área em estudo nos diferentes períodos. (a) Inverno. (b) Verão....	28
Figura 5: Perfil do Latossolo Vermelho.	29
Figura 6: Fluxograma com os procedimentos realizados.	30
Figura 7: Penetrômetro digital.	30
Figura 8: GPS geodésico utilizado como base.....	31
Figura 9: GPS topográfico utilizado para a coleta dos dados.....	32
Figura 10: Resistência do solo a penetração, após pastejo.....	35
Figura 11: Resistência do solo a penetração, após lavoura.....	35
Figura 12: Mapa de RMP após pastejo na camada de 0 - 10 cm.....	37
Figura 13: Mapa da RMP após pastejo na camada de 10 – 15 cm.....	38
Figura 14: Mapa da RMP após pastejo na camada de 15 – 20 cm.....	38
Figura 15: Mapa da RMP após pastejo na camada de 20 – 40 cm.....	39
Figura 16: Resistência do solo a penetração nas áreas com milho X áreas com soja.	40
Figura 17: Mapa da RMP após lavoura na camada de 0 – 10 cm.....	41
Figura 18: Mapa da RMP após lavoura na camada de 10 – 15 cm.....	42
Figura 19: Mapa da RMP após lavoura na camada de 15 – 20 cm.....	42
Figura 20: Mapa da RMP após lavoura na camada de 20 – 40 cm.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	12
2.1.1 Resistência Mecânica à Penetração	12
2.2 GEOPROCESSAMENTO.....	15
2.2.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	15
2.2.2 Técnica de Coleta de Dados - Posicionamento GPS	17
2.2.3 Cartografia.....	19
2.3 GEOESTATÍSTICA	22
2.3.1 Semivariograma	24
2.3.2 Krigagem	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA	27
3.1.1 Tipo de Solo	28
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.2.1 Verificação da Resistência Mecânica do Solo	30
3.2.2 Levantamento de Campo – Posicionamento GPS	31
3.2.3 Análise Geoestatística.....	33
3.2.4 SIG	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 EFEITO DO PISOTEIO ANIMAL.....	35
4.2 EFEITO DA CULTURA ANUAL.....	40
5 CONCLUSÃO	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
7 APÊNDICES	55

1 INTRODUÇÃO

O solo é a base de sustentação e desenvolvimento dos sistemas de produção agropecuários. Apresenta-se como um sistema dinâmico, que pode sofrer modificações de acordo com seu uso e práticas de manejo a que é submetido. Tais modificações vêm ocorrendo de maneira intensa devido à expansão das fronteiras agrícolas e o consequente aumento na demanda por produção agropecuária, ocasionando a degradação dos solos, que pode ser entendida como a perda de qualidade do solo decorrente de um manejo incorreto e consequente redução na sua capacidade produtiva. O aumento das áreas degradadas em regiões anteriormente produtivas tem sido registrado em todo o país (ANDRADE e CHAVES, 2012, p. 42), e uma das causas para essa degradação é a compactação do solo.

A compactação do solo ocorre principalmente a partir da gestão inadequada das terras, e é considerada um fator limitante à produção agrícola, pois há uma redução na aeração do solo e aumento de sua resistência mecânica à penetração, restringindo o crescimento radicular das plantas (ALBUQUERQUE, et al., 2001, p.718). Pode ser ocasionado tanto por meios externos (tráfego de veículos, animais ou pessoas), quanto por meios internos (textura, estrutura, ciclos de umedecimento e secagem e densidade do solo) (CAMARGO E ALLEONI, 2006).

Os efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo não influenciam apenas o crescimento e o desenvolvimento das plantas, mas seu efeito é mais extenso, abrangendo o meio ambiente, seja pontualmente ou em uma macroescala (REICHERT; SUZUKI e REINERT, 2007, p. 88).

A realização de medidas de amostragem de pontos de resistência em uma área é a principal alternativa para mensurar sua compactação e posteriormente dar início à tomada de decisão. A utilização de ferramentas que permitem a interpolação dos dados obtidos tende a facilitar na escolha do manejo a ser empregado.

Desta forma, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentam-se como uma ferramenta poderosa aos métodos tradicionais, integrando dados espaciais e seus atributos, permitindo a simulação e a visualização de informações associadas aos mapas de áreas de cultivo e proporcionando subsídios ao processo de tomada de decisões (SOUZA; VIEIRA; ALVES, 2004, p. 2-3). Esses dados

podem ser obtidos através de fotos aéreas, imagens de satélites ou levantamentos a campo com a utilização de receptores GPS ou estações totais.

Para a realização deste trabalho, a coleta dos dados foi realizada através de um levantamento a campo utilizando um receptor GPS topográfico. Foram amostrados 270 pontos distribuídos aleatoriamente em toda a área, onde o receptor permaneceu estático por um curto período de tempo em cada um deles. Após o processamento dos dados, os mesmos foram interpolados através do método Geoestatístico de krigagem ordinária, a fim de gerar mapas com a caracterização da resistência mecânica do solo, presente na área em estudo.

Neste sentido, a criação de um banco de dados geográficos permitirá avaliar sazonalmente o comportamento do solo, além de servir como base para a localização dos focos de maior resistência mecânica à penetração e proporcionar a visualização destes através de mapas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto do animal e da cultura de verão na resistência mecânica do solo a penetração, em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária, através de produtos gerados a partir do Geoprocessamento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar se a cultura de verão tem algum efeito sobre o grau de compactação causado pelos animais em pastejo e verificar se houve compactação;
- Criar um banco de dados da resistência mecânica do solo a penetração de um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP);
- Desenvolver um Sistema de Informações Geográficas que auxiliará no estudo da variabilidade espacial da compactação do solo;
- Demonstrar através de mapas os focos com maior ou menor grau de compactação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

2.1.1 Resistência Mecânica à Penetração

Para que uma planta se desenvolva e expresse o seu máximo potencial produtivo, é fundamental que ela tenha disponível em seu meio uma série de fatores favoráveis (MAGALHÃES, 2010, p. 22). De forma geral, os sistemas de uso e manejo, devem manter a capacidade do solo exercer as funções físicas para o crescimento e desenvolvimento das raízes, além de favorecer o suprimento de água, nutrientes e O₂ às plantas (BLAINSK et al., 2008, p. 976). De acordo com Blainski et al. (2008, p. 976) a perda de solo por erosão, a redução da matéria orgânica e a compactação são alguns dos fatores que concorrem para a degradação física do solo, com conseqüente perda de uma ou mais destas funções.

Segundo Albuquerque et al. (2001, p.718) uma das principais causas de degradação em áreas cultivadas é a compactação do solo ocasionada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal em áreas de integração lavoura-pecuária. Tal compactação ocorre quando o solo sofre determinada pressão, o que faz com que sua densidade e resistência mecânica aumentem, reduzindo conseqüentemente sua porosidade, limitando a emergência de plântulas e o crescimento radicular (STONE et al., 2002). As propriedades físicas do solo que influenciam diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas são o potencial matricial da água no solo (disponibilidade de água), a aeração (oxigênio), a temperatura e a resistência mecânica do solo à penetração (LETEY, 1985, p. 278).

O solo é considerado compactado quando a proporção de macroporos em relação à porosidade total é inadequada para o eficiente desenvolvimento da planta (ASSIS et al., 2009, p. 559). Para alguns autores, o solo ideal é aquele que apresenta porosidade total de 50%, sendo um terço, aproximadamente 17%, de macroporos, que são ocupados pelo ar do solo, e dois terços, aproximadamente

33%, de microporos, que são responsáveis pela retenção de água (KIEHL, 1979, p. 17).

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes (SILVEIRA et al., 2010, p. 660).

A resistência mecânica à penetração (RP) descreve o grau de resistência física que o solo apresenta à algo que necessite se movimentar em seu meio, podendo ser uma raiz ou ainda uma ferramenta agrícola (PEDROTTI et al., 2001, p. 522). Essa ação impeditiva que incide principalmente sobre o desenvolvimento das raízes, pode ser quantificada e monitorada para fins de tomada de decisão objetivando evitar maiores adensamentos do solo.

A mensuração da compactação de determinado local é realizada através de um método a campo, levando em conta a umidade do solo no momento da avaliação (MOURA et al., 2012, p. 213), pois o atributo umidade apresenta relação inversamente proporcional aos valores de resistência à penetração obtidos em condições de campo (MARCHÃO et al., 2007, p. 873-882).

Para determinar a camada compactada, utiliza-se um penetrômetro manual ou hidráulico-eletrônico, que é um instrumento capaz de quantificar a resistência do solo à penetração ao longo do perfil do solo. De acordo com Reinert (2007, p. 304) um aspecto que está associado ao uso desse equipamento manual, é a influência do operador nos resultados obtidos, uma vez que, existe uma dificuldade em manter-se uma taxa constante de penetração. Dessa forma, é interessante que ao se realizar essa mensuração da resistência do solo, o operador do equipamento esteja treinado, de forma a minimizar quaisquer tipos de erros.

De acordo com Torres et al. (1999, p. 20), as avaliações com penetrômetros são de fácil realização, sendo por esse motivo um instrumento muito utilizado na agricultura. Além disso, esses equipamentos medem a resistência do solo em pequenos incrementos de profundidade, sendo úteis para avaliar camadas de maiores resistências em profundidade (ROQUE, et al., 2008, p.1828).

Os dados fornecidos por um penetrômetro, são expressos em kgf/cm², MPa, Atm, dentre outras, que quando expressos em gráficos, oferecem ideia da intensidade da resistência do solo nas diferentes profundidades, permitindo a

identificação das camadas de solo revolvidas ou compactadas pelos diferentes sistemas de manejo e de cultivo.

Segundo Stefanoski (2013, p.1303) valores críticos de RP variam de acordo com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Alguns limites de resistência à penetração (RP) considerando o crescimento radicular, sob condições de laboratório, foram sugeridos por Canarache (1990, p. 61), que afirma que valores menores que 2,5 MPa não apresentariam limitações ao crescimento radicular de plantas, enquanto valores entre 2,6 e 10 MPa causariam algumas limitações, e valores superiores a 10 MPa não possibilitariam o crescimento radicular.

O efeito da alta RP de impedimento mecânico sobre o desenvolvimento radicular irá depender das características pedológicas e da prática de manejo, a qual o solo é submetido (MOURA, 2012, p. 163).

Sistemas de integração lavoura-pecuária podem contribuir de forma significativa para a compactação das áreas. Locais que apresentam uma intensidade e lotação de pastejo excessivos tendem a apresentar solos com elevados valores de RP, em função da grande força exercida pelo pisoteio animal no solo. Diante disso, pode-se dizer que duas medidas preventivas são essenciais para evitar a compactação: o controle da umidade na entrada de animais na área e manter a superfície do solo com cobertura vegetal, controlando a altura de pastejo (REICHERT; SUZUKI e REINERT, 2007, p. 88).

Cada solo apresenta um comportamento em relação à compactação, principalmente pela sua distribuição do tamanho de partículas e mineralogia. O incremento da matéria orgânica no solo, a escolha de culturas que apresentem sistema radicular agressivo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, além de contribuírem para maior atividade biológica e disponibilidade de nutrientes para as plantas, são fundamentais para manutenção da qualidade estrutural do solo e podem minimizar o efeito da compactação (REICHERT; SUZUKI e REINERT, 2007, p. 88).

Avaliar a resistência do solo a penetração é essencial quando se deseja estudar o efeito da compactação sobre as propriedades físicas do solo. Tal avaliação permite a utilização de um manejo adequado que mantenha a qualidade do solo, sendo o geoprocessamento um facilitador para a representação das informações a serem consideradas no planejamento e direcionamento das práticas de cultivo a serem utilizadas em uma propriedade.

2.2 GEOPROCESSAMENTO

A partir do surgimento da informática, tornou-se possível armazenar e representar informações geográficas em um ambiente computacional, permitindo uma análise simultânea de mapas e dados, originando o termo Geoprocessamento. Tal termo refere-se ao conjunto de tecnologias voltadas para a coleta, armazenamento, tratamento e análise de dados com referência geográfica (ROSA, 2005, p.81), as quais, através de ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são analisadas de forma complexa, e integradas em bancos de dados georreferenciados (CÂMARA e DAVIS, 2001, p.1). Esses, por sua vez, são sistemas capazes de gerenciar dados com representação geométrica, que podem ser utilizados tanto no Geoprocessamento, quanto em outras áreas (LISBOA FILHO, 1995, p.11).

Um SIG é constituído por um conjunto de ferramentas especializadas em manipular informações espaciais, que possibilitam descrever objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos qualitativos e quantitativos, e das relações topológicas existentes (MEDEIROS, 2008, p.6) As informações que irão compor o SIG podem ser oriundas de diversas fontes, como digitalização de mapas, aerofotogrametria, sensoriamento remoto, levantamentos de campo, entre outras (LISBOA FILHO, 1995, p. 14).

2.2.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de informação geográfica são sistemas computacionais, tidos como ferramentas utilizadas para a aquisição, manipulação, armazenamento e saída de dados geográficos, tendo como vantagem a capacidade de manipular dados espaciais (geográficos) e não espaciais (atributos) simultaneamente (LISBOA FILHO, 1995, p. 9). Além disso, um SIG permite trabalhar com um grande volume de informações através de bancos de dados, realizar operações analíticas de maneira mais eficiente que manualmente e ainda, elaborar mapas de forma automatizada (LONGLEY et al., 2013, p. 13).

Segundo Câmara e Davis (2001, p. 2), o SIG apresenta os seguintes componentes:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração dos dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem dos dados;
- Armazenamento e recuperação de dados, os quais são organizados

sob a forma de bancos de dados geográficos.

Os Bancos de Dados Geográficos são constituídos por uma coleção de dados georreferenciados e sua utilização facilita o manuseio dos dados de localização, que descrevem a localização geográfica e a topologia da característica (ponto, linha, área) e os dados de atributos, que descrevem as características dessas feições (AFFONSO, 2002, p. 21).

Ao se inserir os dados em um SIG, será proporcionada a visualização de um modelo acessível e realístico do real, de forma que o usuário tenha a identificação de objetos e sua localização geográfica (SEGANTINE, 2001, p. 14).

O campo de atuação de um SIG é muito amplo. Pode incluir, por exemplo, temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, luz, telefonia) (CAMARA e QUEIROZ, 2001, p. 1). Atualmente, esse sistema tem sido utilizado especialmente em órgãos públicos nos níveis federal, estadual e municipal, institutos de pesquisa, empresas de prestação de serviços públicos ou empresas privadas. Tais aplicações possuem o objetivo de oferecer respostas a problemas, permitindo uma melhor compreensão das variáveis dentro do espaço geográfico (OLIVEIRA JR, 2008, p. 39).

De acordo com Oliveira (1997, p. 17), as diversas áreas de aplicação do SIG são divididas em cinco grupos principais:

- Ocupação humana: através de redes de infra-estrutura, planejamento, e supervisão de limpeza urbana, mapeamento eleitoral, controle epidemiológico, sistemas de cartográfica náutica e controle de tráfego aéreo;
- Uso da Terra: mapeamento do uso e ocupação do solo, planejamento agropecuário; estocagem da produção agrícola; classificação de solos; gerenciamento de bacias hidrográficas; planejamento de barragens; cadastramento de propriedades rurais; levantamentos topográficos e planimétricos.

- Uso de Recursos Naturais: no controle do extrativismo vegetal, classificação e alocação de poços petrolíferos, identificação de mananciais, planejamento de gasodutos e oleodutos;
- Meio ambiente: controle de queimadas, estudos das modificações climáticas, gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento, acompanhamento da emissão e ação de poluentes;
- Atividades econômicas: planejamento de marketing, pesquisas socioeconômicas, transporte de matéria prima, distribuição de transportes e serviços.

No setor agrícola, a dinâmica e a complexidade das operações, requerem o controle e a atualização constante das informações. Tais informações estão relacionadas às propriedades agrícolas e suas particularidades, onde os detalhes, quase sempre estão associados a mapas das áreas, sua divisão em blocos e talhões, vias de acesso, relevo, tipo de solo, e uso da terra (SOUZA; VIEIRA; ALVES, 2004, p. 4).

Existe uma vasta quantidade de trabalhos que utilizam o SIG como gerenciador dos dados, desde monitoramento de pragas e doenças, para a melhor tomada de decisão quanto a que forma de controle utilizar, como também para o monitoramento da fertilidade e conservação do solo, permitindo que cada local da área de cultivo, receba a dosagem adequada de acordo com a sua necessidade.

2.2.2 Técnica de Coleta de Dados - Posicionamento GPS

Para a realização da coleta de dados, um planejamento deve ser feito antes da operação propriamente dita, pois é um fator indispensável para a simplificação do trabalho a campo. Para que a qualidade dos resultados seja garantida, é necessário que a equipe seja treinada e os equipamentos estejam configurados de modo que atendam as necessidades do usuário quanto ao levantamento, satisfazendo a precisão desejada (MONICO, 2008, p. 412-413).

A realização da coleta de dados para manipulação em um SIG é baseada em diferentes tecnologias, tais como fotogrametria, sensoriamento remoto e

levantamentos de campo, que é o mais utilizado até hoje (LISBOA FILHO, 1995, p. 18-19).

De acordo com Silva (2003, p. 101), um dos mais importantes avanços para os levantamentos a campo, foi o surgimento do GPS (*Global Positioning System*). Os receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) tem facilitado o trabalho em campo, deixando simples a obtenção da posição da feição, proporcionando uma maior atenção para a coleta dos atributos (MONICO, 2008, p. 412).

O sistema GPS inicialmente era voltado ao uso militar e dirigido à navegação, baseado em um sistema de rádio navegação, fornecendo as coordenadas de pontos no terreno, bem como a velocidade e direção do deslocamento entre os pontos. O sistema opera de forma ininterrupta, sob quaisquer condições meteorológicas, entretanto tem-se conhecimento de que tais condições podem afetar na precisão do resultado (ALBUQUERQUE, 2003, p. 3). Os satélites que o compõe estão distribuídos em seis órbitas diferentes ao redor da Terra, garantindo que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis a qualquer hora do dia e em qualquer local da superfície terrestre (BERNARDI et al., 2002, p.6).

O posicionamento de um ponto na superfície terrestre pode ser entendido como a definição da sua posição em relação a um referencial estabelecido, podendo ainda ser classificado como absoluto ou relativo. O método absoluto é quando o objeto tem suas coordenadas diretamente ligadas ao geocentro, já no método relativo, a determinação de suas coordenadas ocorre em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices de coordenadas conhecidas (BERNARDI et al., 2002, p. 20-21).

Para realizar o posicionamento relativo, dois ou mais receptores devem ser utilizados, os quais devem rastrear simultaneamente pelo menos dois satélites comuns (MONICO, 2008, p. 331-332). Segundo INCRA (2013, p. 9), o posicionamento relativo pode ser executado com diferentes formas de ocupações, sendo elas: posicionamento relativo estático, posicionamento relativo estático-rápido, posicionamento relativo cinemático e posicionamento semicinemático (*stop and go*).

O posicionamento relativo estático rápido é o mais indicado quando se deseja realizar um levantamento de alta produtividade (BERNARDI et al., 2002, p.25). Nele, tanto o receptor da estação de referência, quanto o receptor que realizará a coleta nos vértices de interesse devem ficar estacionados durante todo o

levantamento, sendo que cada sessão de rastreamento não deve ultrapassar a 20 minutos, fator que o difere do posicionamento relativo estático, onde cada sessão vai de 20 minutos a várias horas. Esse tipo de posicionamento serve como alternativa para casos onde existem obstruções no intervalo entre um vértice e outro, pois não há necessidade de se manter o receptor ligado durante o deslocamento entre os vértices de interesse.

No posicionamento relativo cinemático, o receptor da estação de referência deve permanecer estacionado enquanto o receptor que coleta dados de interesse permanece em movimento. Já no posicionamento relativo semicinemático, o receptor permanece estacionado no ponto de interesse, porém em um curto período de tempo, e ao se deslocar entre os vértices deve continuar coletando os dados da trajetória (INCRA, 2013, p.9).

2.2.3 Cartografia

A melhor definição para o termo cartografia foi criada pela Associação Cartográfica Internacional (ICA) em 1966, a qual caracteriza a Cartografia como um conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas, voltadas para a elaboração de mapas, cartas ou outras formas de representação, a partir de resultados de observações efetuadas ou análise de documentações (IBGE, 1998, p.10 e SILVA, 2003, p. 69).

A Cartografia consiste em reunir, analisar e representar graficamente, em escala reduzida, dados geográficos (ROSA, 2004, p.6) tratados através de ferramentas do geoprocessamento, tal como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), estabelecendo uma relação clara entre as duas áreas de conhecimento (D'ALGE, 2001, p.1). Tal representação, que coloca em evidência a superfície da Terra, é realizada através de um instrumento principal: o mapa (ROSA, 2004, p.6).

Um mapa pode ser definido como uma representação gráfica bidimensional, normalmente em escala reduzida, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície terrestre, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos (IBGE, 1998, p. 19). Logo, uma escala é a razão entre as distâncias no mapa e as distâncias do real (LISBOA FILHO, 1995,

p.16), e deve ser definida a partir da dimensão da menor feição a ser representada. Além disso, também é necessário que se adote um sistema geodésico de referência a fim de estabelecer uma relação entre um ponto determinado do terreno e um elipsóide de referência (FITZ, 2008a, p. 16).

Um sistema geodésico de referência é um sistema coordenado que serve para a obtenção de coordenadas (latitude e longitude), as quais possibilitam a representação e localização de qualquer elemento da superfície terrestre. Cada país estabelece por meio de normas específicas, um sistema de referência próprio (FITZ, 2008b, p. 32). Legalmente no Brasil, são bases do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), o SAD69 (South American Datum 1969) e o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), porém a partir do ano de 2015, apenas o SIRGAS 2000 será legalizado no país (SANTOS, 2008, p. 6).

O SAD69 teve sua materialização realizada através de técnicas de posicionamento terrestre, como a triangulação e a poligonação. Seu estabelecimento ocorreu antes do surgimento das técnicas espaciais de posicionamento, sendo considerado assim, um sistema clássico (ZANETTI, 2007, p. 44).

Já o SIRGAS 2000, adotado oficialmente no Brasil em 2005 (BRITO et al., 2013, p. 5847; SANTOS, 2008, p. 5), foi criado devido à necessidade de adoção de um sistema de referência geocêntrico compatível com as técnicas de posicionamento global (FITZ, 2008a, p. 16), e sua utilização garante a qualidade dos levantamentos GPS (ZANETTI, 2007, p. 52).

Para que os sistemas geodésicos de referência forneçam a localização precisa de pontos sobre a superfície da Terra, é necessário que se adote um sistema de coordenadas definido por duas posições principais, a latitude e a longitude. Este, através de valores angulares (coordenadas esféricas) ou lineares (coordenadas planas), possibilita a obtenção da posição precisa de um ponto em um sistema de referência (FITZ, 2008b, p.34-35).

No sistema de coordenadas planas, também conhecido como sistema de coordenadas cartesianas, a localização de um ponto do plano é baseada na escolha de dois eixos perpendiculares, onde sua intersecção é o ponto de origem. Nele, as coordenadas do ponto são fornecidas a partir de dois números reais, um correspondente ao eixo x (horizontal), e a o outro ao eixo y (vertical) (D'ALGE, 2001, p.7). O sistema de coordenadas planas utilizado no Brasil é o sistema Universal

Transversal de Mercator (UTM). Esse sistema adota coordenadas métricas planas, com características específicas que são representadas nas margens das cartas, acompanhado por uma rede de quadriculas planas (FITZ, 2008a, p. 69).

2.2.2.1 Comunicação cartográfica

Todos os mapas contêm elementos fundamentais para representar algo no espaço geográfico. Quando se deseja construí-lo, pretende-se que os usuários compreendam com facilidade o que nele está sendo representado, e para que isso ocorra faz-se necessário um processo chamado de comunicação cartográfica. A comunicação cartográfica ocorre através da linguagem cartográfica, ou seja, através de um conjunto de símbolos cartográficos empregados para representar feições do mapa. Esse conjunto de símbolos, bem como seus significados, é definido de acordo com as feições e características do mapa, que deve ser construído em função das necessidades do usuário. (SLUTER, 2004, p. 48).

Os símbolos cartográficos são elaborados a partir de três aspectos: a dimensão espacial da feição, a primitiva gráfica, as variáveis visuais e os níveis de medida.

As dimensões espaciais são definidas em função das características espaciais a serem representadas do fenômeno, fazendo com que estes sejam classificados em pontuais, lineares ou de área. Conseqüentemente, feições que são definidas como pontuais, ou seja, que possuem sua localização definida a partir de um par de coordenadas (x, y) serão representadas pela primitiva gráfica ponto; feições que apresentam dimensão espacial linear podem ser representadas pela primitiva gráfica linha ou área; já as feições definidas com dimensão espacial área, podem ser representadas tanto pela primitiva gráfica área, quanto pelas primitivas linha ou ponto, dependendo do propósito definido para o mapa (SLUTER, 2004, p. 52-53).

As variações gráficas dos pontos, linhas ou áreas são realizadas, na Cartografia, pelas variáveis visuais. Dentre as variáveis visuais, encontram-se: a variação visual de formas, tamanho, orientação, cor, valor e granulação (Figura 1),

que ajudam a compor os arranjos gráficos necessários a expressão dos temas (CARVALHO e ARAUJO, 2008, p. 07).

Tamanho		Pequeno, médio, grande com proporção
Valor		Claro, médio, escuro
Granulação		Textura fina, média grosseira
Cor		Vermelho, amarelo, verde
Orientação		Horizontal, vertical, oblíqua
Forma		Retângulo, círculo, polígono estrelado

Figura 1: Variáveis visuais utilizadas para a representação de feições em mapas.
Fonte: adaptado de MARTINELLI (2003).

Em relação aos níveis de medida, pode-se dizer que são tentativas de estruturar as observações sobre a realidade, a fim de representar o nível de conhecimento que temos sobre as feições que serão representadas nos mapas, determinadas de acordo com o seu propósito (SLUTER, 2004, p. 57).

2.3 GEOESTATÍSTICA

Alguns pesquisadores da área agrônômica utilizavam a estatística clássica para estudar a variabilidade dos atributos do solo. Nela, pressupõe-se que as observações de um dado atributo são independentes entre si, tendo sua localização na área desconsiderada (CORRÊA; TAVARES; URIBE-OPAZO, 2009, p. 82). Porém, constatou-se que observações adjacentes de alguns atributos do solo, não são totalmente independentes, sendo necessário levar em consideração essa variabilidade espacial na análise estatística dos dados (CARVALHO; DECHEN; DUFRANC, 2004, p. 3).

De acordo com VIEIRA et al. (2002, p. 1), o interesse em se estudar a variabilidade espacial de propriedades do solo é antigo, entretanto, não existiam ferramentas adequadas que pudessem estudá-la.

A Geoestatística tem suas origens ligadas a KRIGE (1951), que ao trabalhar com dados referentes à concentração de ouro, percebeu que as distâncias das amostras deveriam ser consideradas para que as variâncias calculadas tivessem sentido (VIEIRA, 2002, p.). A partir disso, desenvolveu-se uma teoria chamada de Teoria das Variáveis Regionalizadas, que pode ser definida, como uma função espacial numérica, que apresenta uma continuidade aparente e que varia de um local para outro, mas que não pode ser representada por uma função matemática simples (MATHERON, 1971, p. 5), fazendo-se necessário a utilização de um semivariograma para estimar essa continuidade (VIEIRA; XAVIER; GREGO, 2008, p. 839).

Além disso, a Geoestatística é fundamentada na teoria de que os valores obtidos em determinado local estão em concordância com a sua distribuição espacial. Desta forma, medições que estão a uma curta distância são mais semelhantes que aquelas localizadas a maiores distâncias (VIEIRA et al., 2002, p.), tendo como condição absoluta para o uso da geoestatística, o conhecimento das coordenadas geográficas da posição de onde as amostras foram retiradas (VIEIRA; XAVIER; GREGO, 2008, p. 839).

De uma forma geral, a metodologia Geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais do fenômeno regionalizante, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado. (LANDIM, 2000, p. 108). Segundo Andriotti (2002, p. 3), a Geoestatística utiliza técnicas que buscam: descrever e modelizar padrões espaciais, através da variografia, prever valores em locais não amostrados, pela técnica de krigagem e estimar a incerteza associado a um valor estimado em locais não amostrados, pela variância de krigagem.

A Geoestatística tem sido uma importante e eficiente ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo, pois permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas, apresentando-se também como uma ótima ferramenta no suporte da decisão do manejo (VIEIRA e GREGO, 2005, p. 170).

2.3.1 Semivariograma

O semivariograma é a principal ferramenta utilizada para estudar a estrutura de dependência espacial em Geoestatística (SEIDEL; OLIVEIRA, 2013, p.125). Ele analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem (SALVIANO, 1996, p.117).

O semivariograma é expresso por um gráfico (Figura 2), chamado semivariograma experimental, que mostra o comportamento dos dados no campo, onde relaciona semivariâncias (γ) com distâncias (h) (SEIDEL; OLIVEIRA, 2013, p.125). Nele, constam os seguintes elementos:

- C_0 – efeito pepita (*nugget effect*), descontinuidades que acontecem na origem, podendo estar associado a erros de medições ou descontinuidades do semivariograma para distâncias menores do que do que a menor distância entre as amostras;
- a – alcance (*range*), a partir desse ponto, não existe mais dependência espacial entre as amostras. Os valores do semivariograma permanecem constantes a partir dessa distância;
- $C_0 + C_1$ – patamar (*sill*), ponto máximo onde os valores da semivariância se estabilizam. Esse valor corresponde ao alcance;
- C_1 – contribuição, diferença entre o patamar ($C_0 + C_1$) e o efeito pepita (C_0) (MIRANDA, 2010, p. 289).

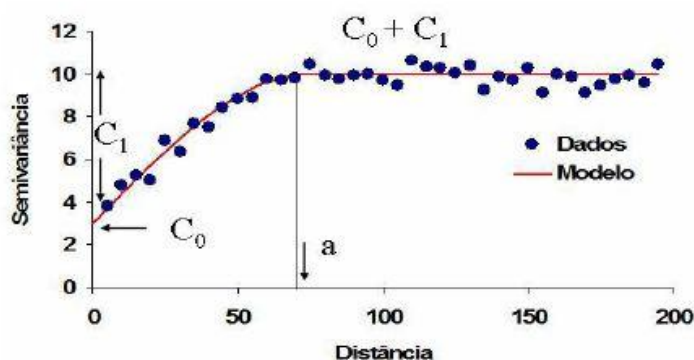


Figura 2: Semivariograma experimental.
Fonte: GUEDES FILHO (2009).

O gráfico do semivariograma experimental (Figura 2) é formado por uma série de valores, sobre os quais se objetiva ajustar uma função, dada por:

$$y(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x+h) - z(x)]^2$$

Onde:

- h representa um vetor entre dois pontos x_1 e x_2 no espaço tridimensional;
- $[Z(x+h) - z(x)]$ é a variância do incremento;
- n é o número de pontos amostrados (CAMARGO, 1998, p.10).

É importante que o modelo ajustado represente a tendência da semivariância (γ) em relação à distância (h). Desta forma, as estimativas obtidas a partir da krigagem serão mais exatas, ou seja, mais confiáveis (CAMARGO, 1998, p.10).

Para a determinação do modelo de correlação espacial, calcula-se experimentalmente essa correlação usando os pontos amostrais e, posteriormente, ajusta-se um modelo teórico. Esse modelo permite que seja determinado o valor da correlação espacial para qualquer distância dentro do espaço amostrado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013, p.33). De acordo com o ajuste obtido, pode-se ou não redefinir o modelo, até que um modelo seja considerado satisfatório (CAMARGO, 1998, p. 10), pois cada modelo é projetado para atender diferentes tipos de fenômenos com maior precisão (MATHEUS et al., 2014, p. 3).

Dentre os vários modelos existentes na literatura, as funções de correlações mais usuais escolhidas para ajustar aos dados em estudo são o Matérn com kappa (0,5; 1,0 e 2,0), o Esférico, o Gaussiano e o Circular (CORREIA; MENEZES, OLINDA, 2014, p.19). De acordo com alguns autores (CAMBARDELLA et al., 1994, p. 1508; BERTOLANI et al., 2000, p. 233), tais modelos são os utilizados com maior frequência, para avaliar os atributos do solo.

2.3.2 Krigagem

É um método de interpolação que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer

posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000, p. 21). Trata-se de um dos mais complexos e poderosos interpoladores (MATHEUS et al., 2014, p. 3). Esse método pressupõe que fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados (VENDRUSCULO, 2001, p.19).

A técnica consiste em adicionar a média local, no ponto estimado, uma combinação linear dos resíduos calculados nos pontos amostrais adjacentes. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto. (BETTINI, 2007, p. 221-222).

O estimador da krigagem fornece estimativas não tendenciosas, ou seja, em média, a diferença entre valores estimados e verdadeiros de um ponto deve ser nula. Embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor estimado e medido, tais diferenças devem ser mínimas (VENDRUSCULO, 2001, p. 19). Existem diversos tipos de krigagem: simples, ordinária, universal, indicadora, probabilística, entre outras (RODRIGUES, 2014, p. 18).

As formas mais usuais são a krigagem simples e a krigagem ordinária. A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área, e a krigagem ordinária, por sua vez, considera a média flutuante ou móvel por toda a área (LANDIM; STURARO, 2002, p. 4).

A krigagem ordinária estima em qualquer lugar, exceto nos locais onde se dispõe de observações de campo, nos quais ela reproduz o valor medido, fazendo com que nesses pontos, o erro quadrático médio desapareça. Na krigagem simples, a informação sobre a média dos pontos é incorporada, representando uma informação obtida separadamente dos dados disponíveis para trabalho. Desta forma, por não exigir conhecimento nem estacionariedade da média sobre a área, a krigagem ordinária é a mais utilizada, pois para se obter o conhecimento da média dos pontos, é necessário que se tenha muitos dados anteriores da região estudada (ANDRIOTTI, 2002, p. 12).

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA

O trabalho foi realizado no Câmpus Dois Vizinhos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A área está localizada a 25°42' Sul e 53°06' Oeste e tem altitude média de 530 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical sem estação seca, com as quatro estações do ano bem definidas (MAACK, 1981, p.1- 450). O solo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (Embrapa, 2006, p.74).

A área experimental é de sete hectares, divididos em três blocos, com aproximadamente 2,3 ha cada, onde cada bloco contém três parcelas com diferentes tratamentos (Figura 3), os quais já estão implantados na área, que vem sendo utilizada para outras pesquisas desde o ano de 2013.

Trata-se de um experimento no delineamento de blocos ao acaso com três repetições em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocados os tratamentos de inverno, determinados pelo uso ou não do pastejo com bovinos em pastagem de aveia + azevém + ervilhaca. Nas subparcelas foram alocadas as culturas de verão milho e soja. Avaliou-se, após a saída dos animais e após a cultura de lavoura, a resistência mecânica do solo a penetração, onde em cada parcela foram amostrados 30 pontos de forma aleatória.



Figura 3: Croqui da área de estudo.
Fonte: Extraído do Google Earth (2015).

Cada unidade experimental possuiu em média 0,7 ha. Na pastagem de inverno, que é composta pelo consórcio de por aveia, azevém e ervilhaca, uma área com aproximadamente 100 m² foi excluída do pastejo, a fim de comparar o sistema de Integração Lavoura Pecuária com o Sistema de Plantio Direto (Figura 4a). O sistema de pastejo é de lotação contínua com taxa de lotação variável.

Após a saída dos animais, no fim do período de inverno, foram implantadas as culturas do milho juntamente com a soja (Figura 4b), nas épocas recomendadas conforme cultivar e zoneamento climático para respectivas culturas. Essas foram conduzidas conforme recomendações agrônômicas de fertilização e tratamentos fitossanitários.

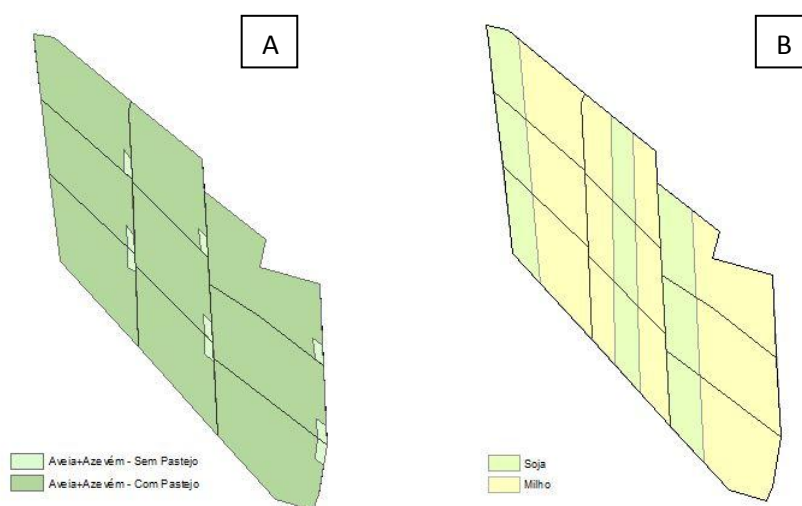


Figura 4: Uso da área em estudo nos diferentes períodos. (a) Inverno. (b) Verão. Fonte: o autor (2015).

3.1.1 Tipo de Solo

O solo que compõe a área em estudo é do tipo Latossolo Vermelho Distroférico típico (Figura 5), que compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizontes A, B, C, com pouca

diferenciação de subhorizontes, e transições usualmente difusas ou graduais (Embrapa, 2006, p. 82).

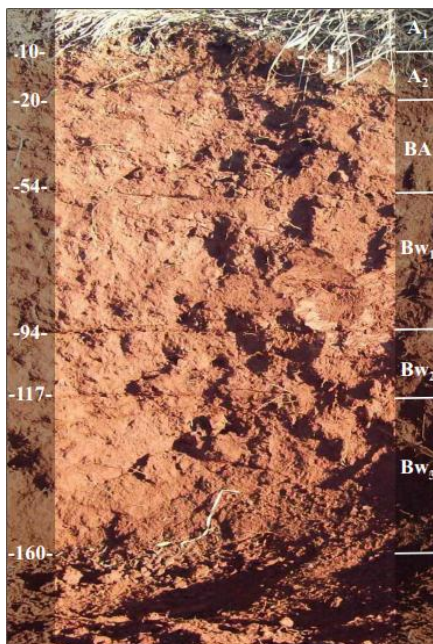


Figura 5: Perfil do Latossolo Vermelho.
Fonte: CABREIRA (2015).

Apresenta como descrição morfológica:

Horizonte A (0 - 10 cm) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4 úmida); argila; forte, pequena a muito pequena; blocos subangulares, friável, muito plástica e muito pegajosa;

Horizonte Bt (10 - 40 cm) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4 úmida); argila; forte, blocos subangulares que se desfazem em granular, de médio a grande; firme, muito plástica e muito pegajosa; cerosidade comum de moderada a forte.

Horizonte Bw1 (40 - 65 cm) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4 úmida); argila; forte, blocos subangulares que se desfazem em granular, de médio a pequeno, solta, muito plástica e muito pegajosa; cerosidade pouca e fraca.

Horizonte Bw2 (65 - 1,60+ cm) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4 úmida); argila; blocos subangulares, de média a grande, forte; friável, muito plástica e muito pegajosa, com cerosidade pouca e fraca (Embrapa, 2006, p. 82).

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 6 ilustra os procedimentos utilizados para a obtenção dos produtos finais, os mapas.

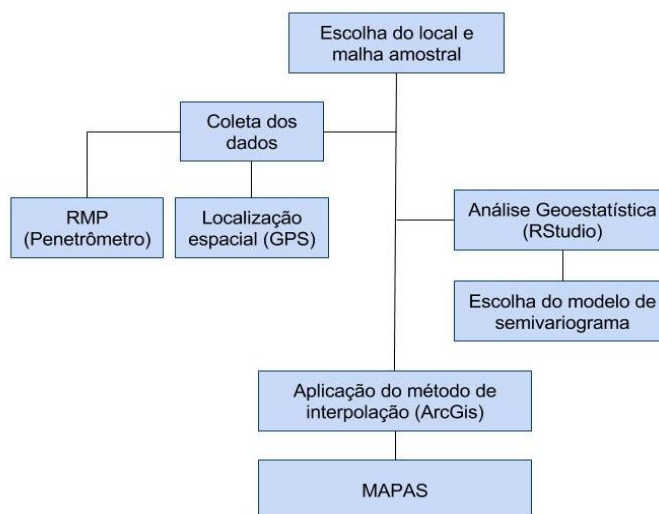


Figura 6: Fluxograma com os procedimentos realizados.
Fonte: o autor (2015).

3.2.1 Verificação da Resistência Mecânica do Solo

Na coleta de dados de resistência mecânica do solo a penetração, o equipamento utilizado foi um penetrômetro digital Falker modelo PLG1020 (Figura 7).



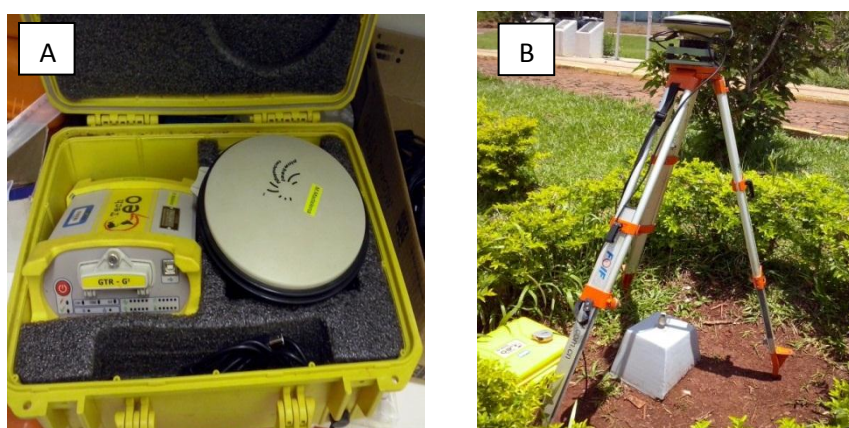
Figura 7: Penetrômetro digital.
Fonte: o autor (2015).

As coletas foram realizadas após a saída dos animais e após a colheita da cultura de verão (milho e soja). Em cada parcela, foram amostrados trinta (30) pontos, totalizando 270 pontos em toda a área, escolhidos de forma aleatória. Em cada ponto definido, foi realizada a coleta dos dados de resistência à penetração (MPa) em até 40 cm de profundidade. Posteriormente, os dados obtidos foram separados em classes nos perfis de 0 - 10 cm; 10 - 15 cm; 15 - 20 cm e 20 - 40 cm, através de médias dos valores obtidos para cada profundidade.

Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de significância de 5% de probabilidade utilizando o pacote estatístico Statigraph Plus e, posteriormente, as médias de efeito qualitativo foram comparadas pelo teste DMS (Diferença Mínima Significativa) a 5% de probabilidade.

3.2.2 Levantamento de Campo – Posicionamento GPS

Inicialmente, para a coleta dos dados, foi utilizado um receptor de GPS geodésico da marca TechGeo® modelo GTR-G² (Figura 8a e 8b), que foi instalado como base no marco geodésico da UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



**Figura 8: GPS geodésico utilizado como base.
Fonte: o autor (2015).**

Posteriormente, para a determinação das coordenadas de cada ponto do foco de resistência mecânica do solo a penetração, utilizou-se um receptor de GPS topográfico, também da marca TechGeo® modelo GTR-A bt (Figura 9a e 9b). Para a

coleta dos dados foi adotado o posicionamento relativo estático rápido, onde o receptor permaneceu sobre o ponto durante um período de 3 a 5 minutos.

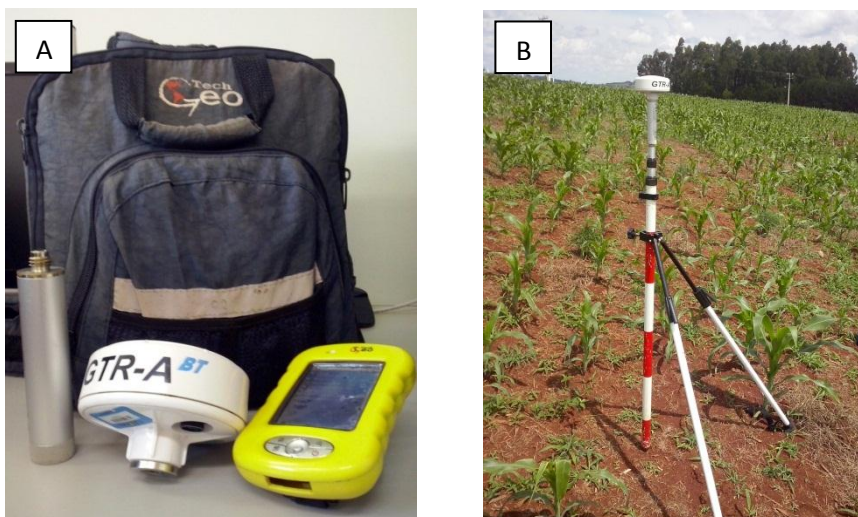


Figura 9: GPS topográfico utilizado para a coleta dos dados.
Fonte: o autor (2015).

Já para a demarcação dos limites da área e das parcelas, optou-se por utilizar o posicionamento relativo cinemático, onde a antena do receptor do GPS topográfico percorreu todo seu perímetro, permanecendo em movimento.

Após a coleta dos dados, com a utilização de seus respectivos softwares NovAtelCDU® e Util®, os mesmos foram descarregados e posteriormente processados no programa GTR Processor. Durante o processamento, foram utilizadas bases que fazem parte da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), distribuídas de forma geométrica ao redor da área de estudo, sendo elas: Chapecó - SC ao sul, Guarapuava – PR ao leste e Maringá – PR ao norte, estabelecendo uma boa geometria para a maximização da precisão. Em seguida, os dados resultantes do processamento foram convertidos em formatos *Shapefile* (.shp), onde puderam ser manipulados e armazenados em um banco de dados, que permitiu a elaboração dos mapas em ambiente SIG.

3.2.3 Análise Geoestatística

Os dados de penetração do solo após serem tabelados juntamente com suas respectivas coordenadas, foram analisados através do software R Studio e do pacote de análise geoestatística geoR, ambos de acesso livre.

Neste software foi possível verificar se os dados apresentavam uma distribuição normal e analisar qual o melhor modelo de semivariograma representaria a dependência espacial existente para cada profundidade. A escolha do modelo foi baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC), apresentada por Akaike (1974, p. 717), que segue a seguinte fórmula: $AIC = -2 \log(\text{Máxima Verossimilhança}) + 2p$, onde p é o número de parâmetros do modelo. Nele, relaciona-se a discrepância que existe entre o modelo verdadeiro e o aproximado, por meio da máxima verossimilhança (OLINDA; SCALON, 2010, p. 44). Por sua fórmula ser baseada em $-\log$, quanto menor for o valor de AIC para o modelo, maior será sua verossimilhança, ou seja, o modelo estará mais próximo do real.

Em Geoestatística, a escolha do melhor modelo de semivariograma é crucial para a correta interpretação de fenômenos que apresentem dependência espacial. A esta escolha, repercute diretamente a confiabilidade dos resultados oriundos do processo de interpolação (krigagem), ou seja, na confiabilidade dos valores estimados em pontos não amostrados (VENDRUSCULO; CARVALHO, 2004, p. 1).

Todas as variáveis foram submetidas a testes com diversos modelos de semivariogramas (gaussiano, esférico, exponencial, K-bessel, circular), os quais foram analisados de acordo com os valores de AIC.

Cada conjunto de dados (profundidades) teve uma estrutura de dependência espacial específica, o que tornou necessário definir modelos específicos de semivariogramas. Portanto, não foi possível definir um modelo padrão; ao invés disso, dois modelos teóricos que apresentaram menores valores de AIC foram selecionados: exponencial e K-Bessel. As Tabelas 1 e 2 mostram quais modelos representaram de forma melhor a dependência espacial para cada conjunto de dados nos diferentes períodos de avaliações.

Tabela 1: Modelos definidos para as camadas da avaliação de pós pastejo.

PÓS PASTEJO	
Profundidade (cm)	Modelo
0 a 10	Exponencial
10 a 15	K-Bessel
15 a 20	K-Bessel
20 a 40	Exponencial

Fonte: o autor (2015).

Tabela 2: Modelos definidos para as camadas da avaliação de pós lavoura.

PÓS LAVOURA	
Profundidade (cm)	Modelo
0 a 10	K-Bessel
10 a 15	K-Bessel
15 a 20	K-Bessel
20 a 40	K-Bessel

Fonte: o autor (2015).

Selecionado o melhor modelo para verificar a dependência espacial, procedeu-se a geração de mapas utilizando-se a krigagem ordinária como interpolador, possibilitando à visualização da variabilidade espacial da resistência mecânica do solo a penetração.

3.2.4 SIG

Em ambiente SIG foram inseridos os dados de penetração e de localização espacial dos pontos de coleta. A partir disso, *shapes* foram criados de acordo com a variável visual adequada para representar os pontos de amostragem e a área total, de forma que atendessem da melhor maneira possível à finalidade dos mapas que posteriormente foram elaborados.

Com o modelo definido através do software R, o método de interpolação por krigagem ordinária pode ser aplicado, para predizer e mapear os valores do atributo em estudo. Foi realizada a interpolação para todos os conjuntos de dados das diferentes épocas de avaliação. Após a interpolação dos pontos amostrados, um mapa para cada profundidade avaliada foi criado.

Os mapas foram divididos em classes que representaram o grau de resistência daquele local, bem como o perímetro da área em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EFEITO DO PISOTEIO ANIMAL

O efeito do pisoteio animal sobre a RMP do solo não foi significativamente diferente das áreas sem pastejo. Nas Figuras 10 e 11 estão apresentados os valores para a RMP após a saída dos animais, nas áreas com e sem pastejo, e após a saída da lavoura, também considerando as áreas com pastejo e sem pastejo.

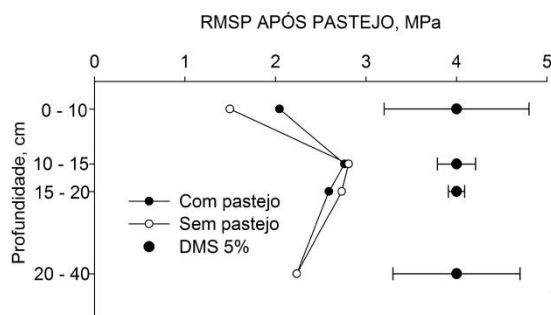


Figura 10: Resistência do solo a penetração, após pastejo.
Fonte: o autor (2015).

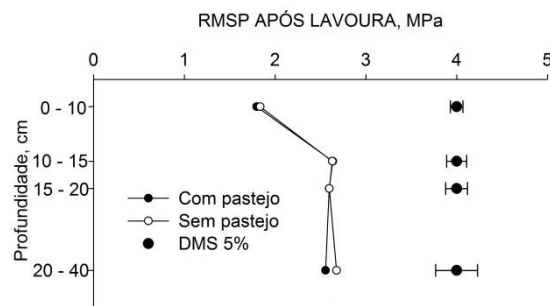


Figura 11: Resistência do solo a penetração, após lavoura.
Fonte: o autor (2015).

Nota: Ug. do solo no pós-pastejo = 0,44 kg kg⁻¹; pós-lavoura = 0,38 kg kg⁻¹.
Onde: Ug = umidade gravimétrica.

As Tabelas 3 e 4, respectivamente, apresentam a análise de variância realizada para os valores de resistência mecânica do solo a penetração no período de pós-pastejo e pós-lavoura.

Tabela 3: Tabela ANOVA para RMP após saída dos animais em pastejo.

Resistência Mecânica do Solo a Penetração - Pós Pastejo					
	GL	0 a 10 cm	10 a 15 cm	15 a 20 cm	20 a 40 cm
Com/Sem pastejo	1	0,449074ns	0,00283993ns	0,0306548ns	1,25874E-7ns
Blocos	2	0,525221ns	0,457366ns	0,0860594*	0,00341586ns
Residual	6	0,113919	0,162781	0,00317527	0,0148507
CV		19,05	14,47	2,12	5,46

Fonte: o autor (2015).

Tabela 4: Tabela ANOVA para RMP após o período de lavoura.

Resistência Mecânica do Solo a Penetração - Pós Lavoura					
	GL	0 a 10 cm	10 a 15 cm	15 a 20 cm	20 a 40 cm
Com/Sem pastejo	1	0,00214764ns	0,000041555ns	0,000003053ns	0,0220777ns
Blocos	2	0,00223525ns	0,00190393ns	0,00212047ns	0,0222119ns
Residual	6	0,00180199ns	0,00402858ns	0,00436478	0,0175327
CV		2,3367	2,41	2,54	5,06

Fonte: o autor (2015).

Percebe-se que as áreas sem pastejo e com pastejo não diferiram a um nível de 5% de probabilidade em nenhum dos períodos. Contudo, na camada de 0 a 10 cm de profundidade do solo, no período de pós pastejo observa-se um elevado coeficiente de variação (CV), o que caracteriza, conforme Figura 12, grande variabilidade na RMP do solo em superfície (camada de 0 – 10 cm de profundidade), o que é atribuído ao efeito do animal em pastejo.

A partir da utilização do SIG, foi possível elaborar o banco de dados com os valores das resistências mecânicas do solo para cada profundidade. As ferramentas do programa ArcGis possibilitaram a interpolação dos dados referente aos pontos amostrados e a confecção de mapas que auxiliaram na visualização das informações.

A Figura 12 mostra que a presença do animal pode ter causado efeito negativo em parte da camada superficial do solo (0 – 10 cm), apresentando valores que variaram de 0,0 a 4,0 MPa. No entanto, percebe-se que a RMP se eleva em focos ao longo da área, e que grande parte do bloco um, apresentou valores de RMP entre 0,0 e 2,0 MPa, e também estava ocupado por animais em pastejo. Nas áreas sem pastejo, a variação de RMP não ultrapassou a 3,0 MPa.

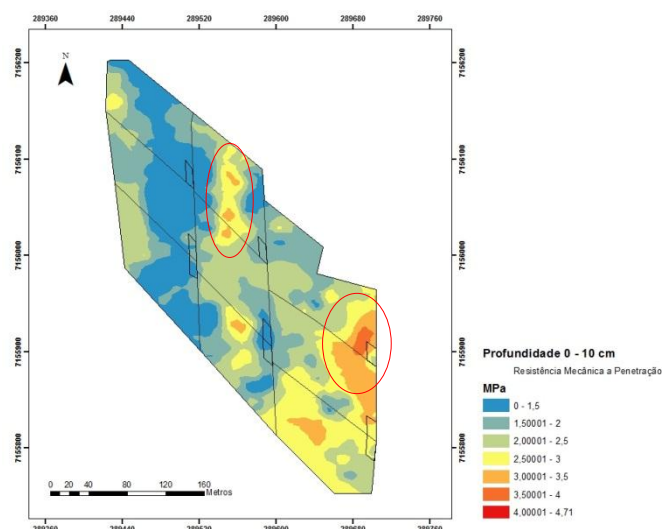


Figura 12: Mapa de RMP após pastejo na camada de 0 - 10 cm.
Fonte: o autor (2015).

Segundo Cassol (2003, p. 66), o efeito do animal sobre a compactação do solo ocorre nas camadas mais superficiais, e podem ser temporárias ou reversíveis, sendo o grau de compactação influenciado pela textura do solo, sistema de pastejo, altura de manejo da pastagem, quantidade de resíduo vegetal sobre o solo e umidade do solo. No entanto, Spera et al., (2004, p. 541) observaram em seus estudos, que a compactação resultante do pisoteio animal não interferiu negativamente na RMP do solo, contudo houve um aumento da densidade do solo.

Para Canarache (1990, p. 61), valores de RMP menores que 2,5 MPa não apresentariam limitações ao crescimento radicular de plantas. Segundo trabalho realizado por Hamza & Anderson (2005, p. 124), valores acima de 2,0 MPa restringem o desenvolvimento de raízes. Porém, de acordo com Sá e Santos (2005, p. 20), têm sido considerados como limitantes ao crescimento radicular os valores de 2,0 MPa para culturas anuais; 2,5 MPa para pastagens; e 3,0 MPa para espécies arbóreas. Entretanto, esses valores são apenas uma referência, uma vez que podem variar entre culturas, cultivares e variedades de plantas.

Na camada de 10 a 15 cm, os focos com alta RMP diminuem, e uma distribuição mais homogênea dos valores começa a ocorrer (Figura 13). Pode-se observar que o bloco três, apresenta maiores valores de resistência mecânica do solo, entre 2,5 e 4,0 MPa. A altura de manejo da pastagem pode ter influenciado, pois alturas de pastagem muito baixas correspondem a altas pressões de pastejo (CASSOL, 2003, p.65).

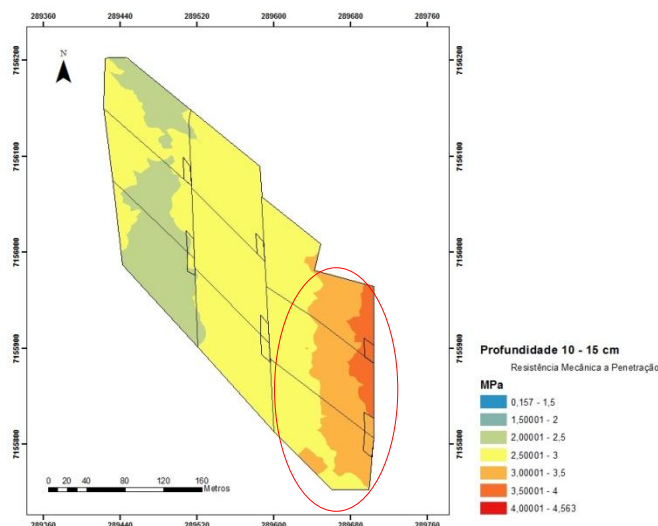


Figura 13: Mapa da RMP após pastejo na camada de 10 – 15 cm.
Fonte: o autor (2015).

A Figura 14 ilustra a variação espacial da RMP na camada de 15 a 20 cm, onde, o comportamento dos valores, acompanha a mesma tendência da camada de 10 a 15 cm, entretanto ocorre uma maior faixa de RMP entre 2,0 e 2,5 MPa. O bloco três continua apresentando os maiores valores de RMP (3,0 – 4,0 MPa), porém, de acordo com Canarache (1990, p. 61), RMP menores que 5,0 trazem poucas limitações para a planta. Um fator que pode ter estar associado à ocorrência desse fenômeno é a topografia do terreno, uma vez que tal bloco apresenta uma altitude maior.

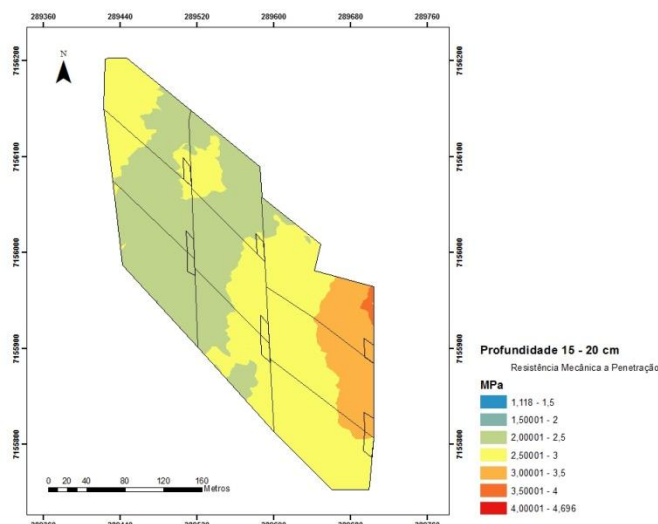


Figura 14: Mapa da RMP após pastejo na camada de 15 – 20 cm.
Fonte: o autor (2015).

Em subsuperfície (10 – 20 cm) foram observados valores altos de RMP (2,5 à 4,0 MPa) em praticamente toda a área, que podem ser resultados do sistema de

plântio direto empregado sobre a área, ou ainda estar relacionados a ocorrência de um provável “pé-de-arado” nessa camada de solo. Isso faz com que o solo se torne bem estruturado e proporcione maior capacidade de carga (BERGAMIN et al., 2010, p. 685).

Na camada que vai de 20 a 40 cm, a partir do qual se observa (Figura 15), houve uma redução da resistência mecânica do solo com a profundidade, comportamento normal de um solo classificado como Latossolo, podendo estar associado às condições mais úmidas nas camadas mais profundas. Apesar de apresentar valores mais baixos de RMP se comparado com as camadas 10 a 15 cm e 15 a 20 cm, novos picos de RPM voltam a aparecer na bordadura.

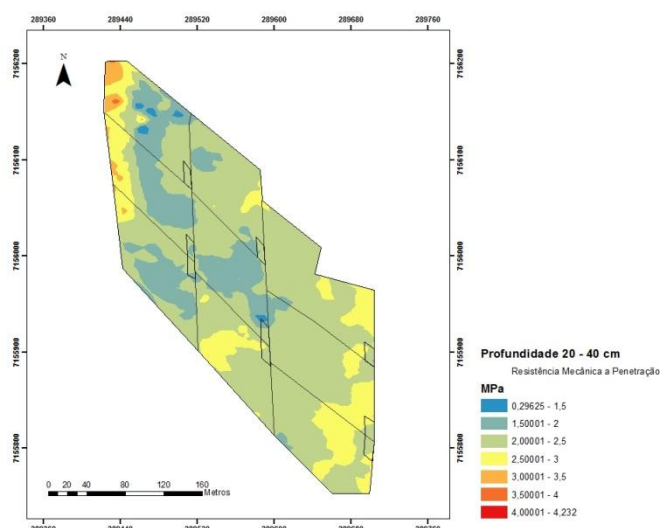


Figura 15: Mapa da RMP após pastejo na camada de 20 – 40 cm. Fonte: o autor (2015).

Analisando a RMP nas diferentes camadas de solo, verifica-se que os possíveis efeitos do pisoteio animal se dá em superfície ou até 10 cm de profundidade, visto que abaixo dessa camada os valores são relativos ao histórico da área ou mesmo da própria topografia do terreno.

Todos os mapas confeccionados a partir das RMP das diferentes camadas do período de pós pastejo, estão apresentados nos apêndices A ao D.

4.2 EFEITO DA CULTURA ANUAL

Na Figura 16 pode-se observar que, no período de pós-lavoura, a cultura do milho apresentou melhores resultados, de forma a melhorar o ambiente para o desenvolvimento de raízes ao resultar em menores valores de RMP quando comparado a áreas avaliadas após a cultura da soja. Para as camadas de 0 a 10 cm e 10 a 15 cm, foi possível verificar que as culturas do milho e da soja se diferiram a um nível de 5% de significância (Tabela 5).

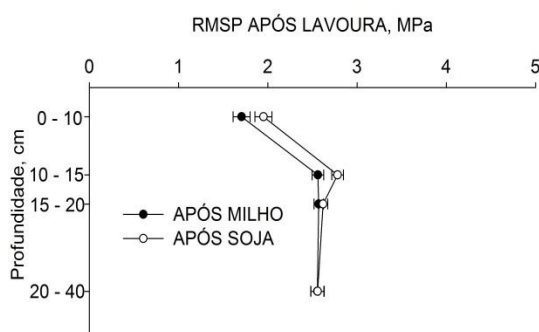


Figura 16: Resistência do solo a penetração nas áreas com milho X áreas com soja.
Fonte: o autor (2015).

Nota: U_g do solo no período de pós-lavoura = $0,38 \text{ kg kg}^{-1}$.
 Onde: U_g = umidade gravimétrica.

Tabela 5: Resistência do solo a penetração nas áreas com milho X áreas com soja.

Resistência Mecânica do Solo a Penetração - Pós Lavoura					
	GL	0 a 10 cm	10 a 15 cm	15 a 20 cm	20 a 40 cm
Milho/Soja	1	3,30279*	2,66376*	0,12826ns	0,000513148ns
Blocos	2	0,109454ns	0,609982ns	0,624501*	3,39665*
Residual	267	0,519963	0,239172	0,156525	0,30727
CV		39,41	18,25	15,27	21,67

Fonte: o autor (2015).

Segundo Silva et al. (2000, p. 195 -196), 83% do sistema radicular do milho está na camada de 0 a 20 cm indicando que o desenvolvimento das raízes se dá na camada superficial, neste caso contribuiu para a diminuição da compactação.

Em trabalho realizado por Nicoloso et al., (2008, p. 1733), as raízes das plantas atuaram como uma escaificação biológica, sendo eficiente em aumentar a macroporosidade e diminuir a resistência do solo à penetração em um Latossolo inicialmente compactado. No entanto, de acordo com Busscher et al. (2002, p. 56), o

seu efeito é temporário e o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original, exigindo a repetição da operação regularmente.

Na primeira camada, em uma profundidade de 0 a 10 cm de solo (Figura 17), os valores da resistência mecânica do solo a penetração, não ultrapassaram a 2,5 MPa, ou seja, a cultura teve influência na recuperação do solo. Comparando com a Figura 11, observa-se maior uniformidade na RMP do solo nas áreas após lavoura, o que caracteriza o efeito benéfico das culturas de lavoura sobre a RMP do solo.

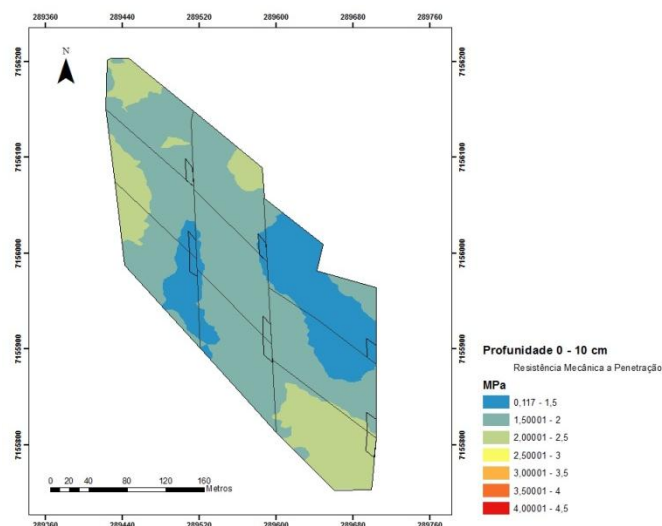


Figura 17: Mapa da RMP após lavoura na camada de 0 – 10 cm.
Fonte: o autor (2015).

As menores resistências à penetração na camada superficial (0 - 10 cm) podem estar relacionadas com o seu maior aporte de matéria orgânica, contribuindo para a maior agregação do solo (CUNHA et al., 2007, p. 671).

Na camada de 10 – 15 cm (Figura 18), a RMP aumentou se comparada com a camada de 0 – 10 cm, pois os valores variaram entre 2,0 e 3,5 MPa. Valores de resistência do solo à penetração de 2,0 a 4,0 MPa, de acordo com Tavares Filho; Tessier (2009, p. 1528), podem restringir, ou mesmo impedir, o crescimento e o desenvolvimento das raízes, no entanto, a compactação do solo se torna mais prejudicial em solo seco, pois em condições de maior umidade pode haver crescimento radicular em valores de resistência do solo à penetração superiores a 4,0 MPa. De acordo com Ehlers et al. (1983, p. 267) valores de RMP até 5,0 Mpa

são admitidos em plantio direto, pois as raízes crescem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto.

Por estar diretamente relacionada à umidade do solo, é difícil se estabelecer um limite crítico no campo (ROSSETTI; CENTURION, 2013, p. 477), pois a partir da variação da umidade do solo, a RMP pode mudar rapidamente, passando de uma condição limitante para uma condição não limitante, e vice-versa.

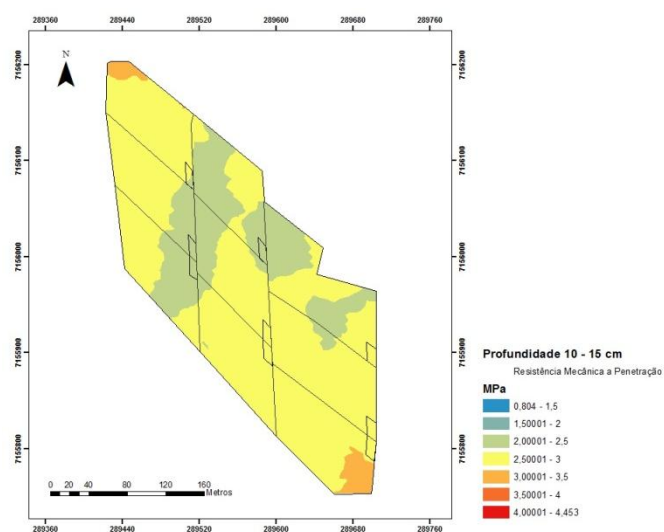


Figura 18: Mapa da RMP após lavoura na camada de 10 – 15 cm.
Fonte: o autor (2015).

Nas demais camadas, praticamente não houve diferença, porém observou-se uma tendência de aumento da RMP até a profundidade de 20 cm (Figura 19), onde os valores variaram de 2,0 a 3,0 MPa.

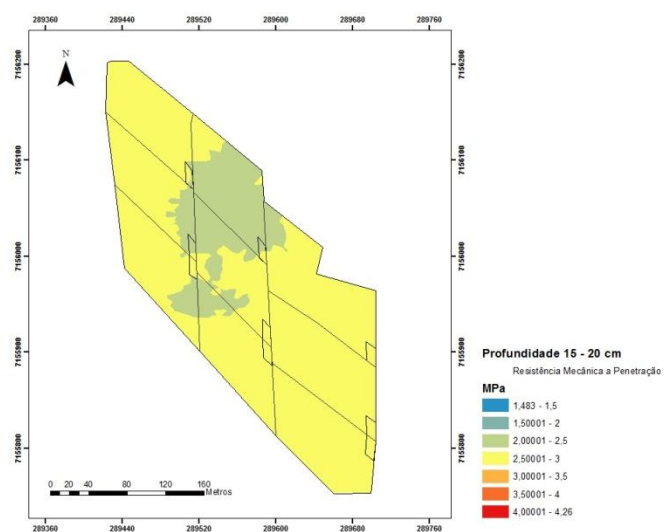
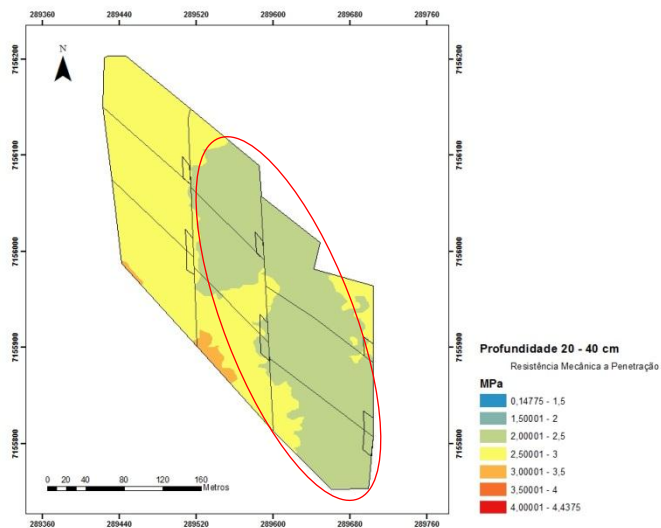


Figura 19: Mapa da RMP após lavoura na camada de 15 – 20 cm.
Fonte: o autor (2015).

Para a profundidade de 20 a 40 cm (Figura 20), o bloco três, quase que em sua totalidade, e praticamente 50% do bloco dois, apresentaram uma RMP de 2,0 a 2,5 MPa, sendo o restante da área representado por uma RMP de 2,5 a 3,0 MPa, com alguns pontos na bordadura atingindo 3,5 MPa.



**Figura 20: Mapa da RMP após lavoura na camada de 20 – 40 cm.
Fonte: o autor (2015).**

Todos os mapas confeccionados a partir das RMP das diferentes camadas do período de pós-lavoura, estão apresentados nos apêndices E ao H.

5 CONCLUSÃO

As áreas com pastejo e sem pastejo não apresentaram diferença na resistência mecânica do solo a penetração, no entanto, pode-se observar através dos mapas pontos de maior resistência nas áreas pastejadas.

As culturas de verão atuaram positivamente sobre a resistência mecânica a penetração, funcionando como uma escaificação biológica, favorecendo a menor RMP em superfície, especialmente o milho.

Os dados amostrados podem incrementar um banco de dados SIG, e juntamente com os mapas gerados, servirão como suporte para futuras análises e tomada de decisões quanto a procedimentos de manejo do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, A. **Introdução ao geoprocessamento e ao sensoriamento remoto**. 2002. 52 f. Estágio de docência (Programa de Pós-graduação no INPE - Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade de Taubaté – UNITAU, Taubaté, 2002.

AKAIKE, H. A new look at statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Tokyo, v. 19, n. 6, p. 717-723, 1974.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M.. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Lages, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C. dos. GPS para Iniciante. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p. 1- 29.

ANDRADE, A. G. de; CHAVES, T. de A. Manejo contra a erosão: para evitar a degradação do solo é preciso planejar as atividades de acordo com as fragilidades e potencialidades da área explorada. **Revista Agro DBO**. [S. l.], p 42-46, agosto de 2012.

ANDRIOTTI, J. L. S.. **Notas de geoestatística**. Serviço Geológico do Brasil e UNISINOS, p. 3 – 14, 2002.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A. de; SOUZA, F. R. Compactação em um latossolo vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. UNESP - Rio Claro, Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, Laboratório de Geomatemática. Rio Claro, 2002, 31 p.

BERTOLANI, F. C.; GONZÁLEZ, A. P.; LIÑARES, M. L.; VÁZQUEZ, E. V.; MIRANDA, J. G. V. Variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo medida com rugosímetros de agulhas e laser. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 227-234, 2000.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de (Org.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, p. 193-234.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 975-983, 2008.

BRITO, B. V. de; SILVA, P. V. da; SILVA, J. O. da; MAGNA JR, J. P. Mudança de referenciais geodésicos utilizando grades de transformação integradas em programas computacionais SIG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J. & FREDERICK, J.R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil & Tillage Research**, USA, v. 68, p. 49 - 57, 2002.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1– 5.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. de. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1 – 12.

CAMARGO O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Causas da Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>>. Acesso em dezembro de 2014.

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de (Org.). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2ª ed; São José dos Campos, SP: INPE, 1998, cap. 5, p. 1 - 36.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.).

Análise espacial de dados geográficos. Brasília, DF: Embrapa, 2004, cap. 3, p. 1 - 26.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1501 – 1511, 1994)

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Florence, v. 16, p. 51-70, 1990.

CARVALHO, E. A. de; ARAUJO, P. C. de. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas I : geografia.** EDUFRRN: Natal, 2008, 248 p.

CARVALHO, J. R. P.; DECHEN, S. C. F.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial da agregação do solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2004.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** 2003. 144 f. Tese (Pós Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2003.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

CORREIA, M. D.; MENEZES, R. S. C.; OLINDA, R. A. de. Modelagem geoestatística da distribuição de carbono do solo e biomassa de herbáceas em sistema silvopastoril na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 31, n. 2, p 116 – 129, 2014.

CUNHA, E. Q.; BALBINO, L. C.; STONE, L. F.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA, G. C. de. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico hídricas de um latossolo vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 665-674, 2007.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para Geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 1 – 32.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 261-275, 1983.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006, 306 p.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de textos, 2008a.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008b.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 97 fls. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, SP, 2009.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research**, Florence, v. 82, p. 121-145, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Diretoria de Geociências – DGC e Departamento de Cartografia – DECAR. Rio de Janeiro: 1998, 127 p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Manual técnico de posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. Diretoria de Ordenamento da Estrutura Fundiária e Coordenação Geral de Cartografia. 1ª ed. Brasília: 2013, 34 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo, SP: Editora Agrônoma Ceres Ltda, 1979, 261 p.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Laboratório de Geomatética,

Departamento de Geologia Aplicada, IGCE, - UNESP/Rio Claro, Texto Didático 06, 19 p., 2002.

LANDIN, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados.** Laboratório de Geomatématica, Departamento de Geologia Aplicada, IGCE, - UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 p., 2000.

LISBOA FILHO, J. **Introdução a SIG – Sistemas de Informações Geográficas.** 1995. 69 f. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática - Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1995.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** Tradução de: André Schneider; Eliseu José Weber; Heinrich Hasenack; Jurguta Lisboa Filho; Luis Cavalcanti da Cunha Bahiana; Paulo Roberto Fitz. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Título original: Geographic information systems e science.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro, J. Olympio, 442p. 1981.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N.C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p.21-32, 2009.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JR; J. de D. G. dos; SÁ, M. A. C. de; VILELA, L.; BECQUER, T.. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.6, p. 873 – 882, jun. 2007.

MARTINELLI, M. **Cartografia Temática:** caderno de mapas. São Paulo: Edusp, 2003.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications.** Le Cahies du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Paris, n. 5, 218 p., 1971.

MATHEUS, L. P.; STRAUCH, J. C. M.; GOMES, D. T.; AJARA, C. Aplicação da geoestatística para mensuração da segregação espacial no Rio de Janeiro, RJ. In:

XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva, Gramado, RS. **Anais...** Gramado: 2014.

MEDEIROS, C. N. de. Sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta de apoio à gestão pública: caso do município de Caucaia-CE. **Texto para discussão nº 52**. Governo do Estado do Ceará, Secretaria do Planejamento e Gestão (SEPLAG) e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Fortaleza, nov. 2008.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, 425 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2008.

MOURA, J. B.; MARASCA, I.; MENESES, L. A. da S.; PIRES, W. M.; MEDEIROS, L. C. Resistência à penetração do solo em pastagem cultivada com *brachiaria decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. **Global Science and Technology**. Rio Verde, v. 05, n. 03, p. 162–169, set/dez 2012.

NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S. LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

OLINDA, R. A. de; SCALON, J. D. Métodos de Monte Carlo para análise de processos pontuais marcados. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo/SP, v. 28, n. 1, p. 39 - 56, 2010.

OLIVEIRA JR, M. A. R. de. **Geoprocessamento como ferramenta de análise integrada de riscos de acidentes industriais**. 2008. 119 f. Dissertação (Pós-graduação em saúde pública) – Faculdade de saúde pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, M. P. G. **Sistema espacial de apoio à decisão: modelos para análise do adensamento de atividades econômicas no espaço urbano**. 1997, 71 fls. Dissertação (Mestrado Tecnologias da Informação) - Escola de Governo de Minas Gerais da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001.

REINERT, D. J.; COLLARES, G. L.; REICHERT, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 304–316, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 49-134, 2007.

RODRIGUES, F. S. **Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em área sob sistema plantio direto**. 2014, 47 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M. de; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. de. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1827-1835, 2008.

ROSA, R. **Cartografia Básica**. Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Geociências, Uberlândia, 2004, 72 p. Apostila.

ROSA, R. Geotecnologia na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. [S. l.] v. 16, p. 81 – 90, 2005. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

ROSSETTI, K. de V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 472–479, 2013.

SÁ, M. A. C. de; SANTOS JR., J. D. G. dos. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005, 26p., Documentos.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 115-122, 1998.

SANTOS, M. SIRGAS 2000: O referencial geocêntrico do Brasil. **Revista Ponto de Referência**. IBGE, n. 1, 21 ago. 2008. Editorial, p. 5 – 6.

SEGANTINE, P. C. L. **Estudo do sinergismo entre os sistemas de informação geográfica e o de posicionamento global**. Universidade de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de transportes, São Carlos: 2001, 224 p.

SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. Proposta de uma generalização para os modelos de semivariograma Exponencial e Gaussiano. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 125-132, 2013.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um latossolo vermelho-escuro e de um podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 24, n. 2, p. 239-249, 2000.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SLUTER, C. R. Projeto de símbolos. In: VIEIRA, A. J. B.; SLUTER, C. R.; FIRKOWSKI, H.; DELAZARI, L. S.; DALMOLIN, Q. (Org.). **Curso de georreferenciamento de imóveis rurais – modalidade aperfeiçoamento em EAD (ensino a distância)**: Módulo III: cartografia e ajustamento de observações. Curitiba: UFPR, 2004, p. 46-66.

SOUZA, V. C. O. de; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.. Uso do Sistema de Informação Geográfica para a Implementação de um Banco de Dados da Cafeicultura Mineira e sua Divulgação via WEB. **Research Gate**. San Francisco, p. 1 – 9, 2004.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos

atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 533-542, 2004.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; 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**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A.. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1525-1533, 2009.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. Circular Técnica, 23.

VENDRUSCULO, L. G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geo-estatística**. 2001, 87 fls. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2001.

VENDRUSCULO, L. G.; CARVALHO, J. R. P. Uso de indicadores para escolha do melhor modelo de semivariograma. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2004, São Pedro-SP.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54, 2000.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: MIRANDA, L. L. D.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Org.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, p. 839 – 852.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez, V.V.H.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V.; Costa, J.M (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 1-45, 2002.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215 p.

ZANETTI, M. A. Z. **Geodésia**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.georeferencial.com.br/old/material_didatico/apostila_geodesia_UFPR.pdf>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós pastejo, na profundidade de 0 a 10 cm.

APÊNDICE B – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós pastejo, na profundidade de 10 a 15 cm.

APÊNDICE C – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós pastejo, na profundidade de 15 a 20 cm.

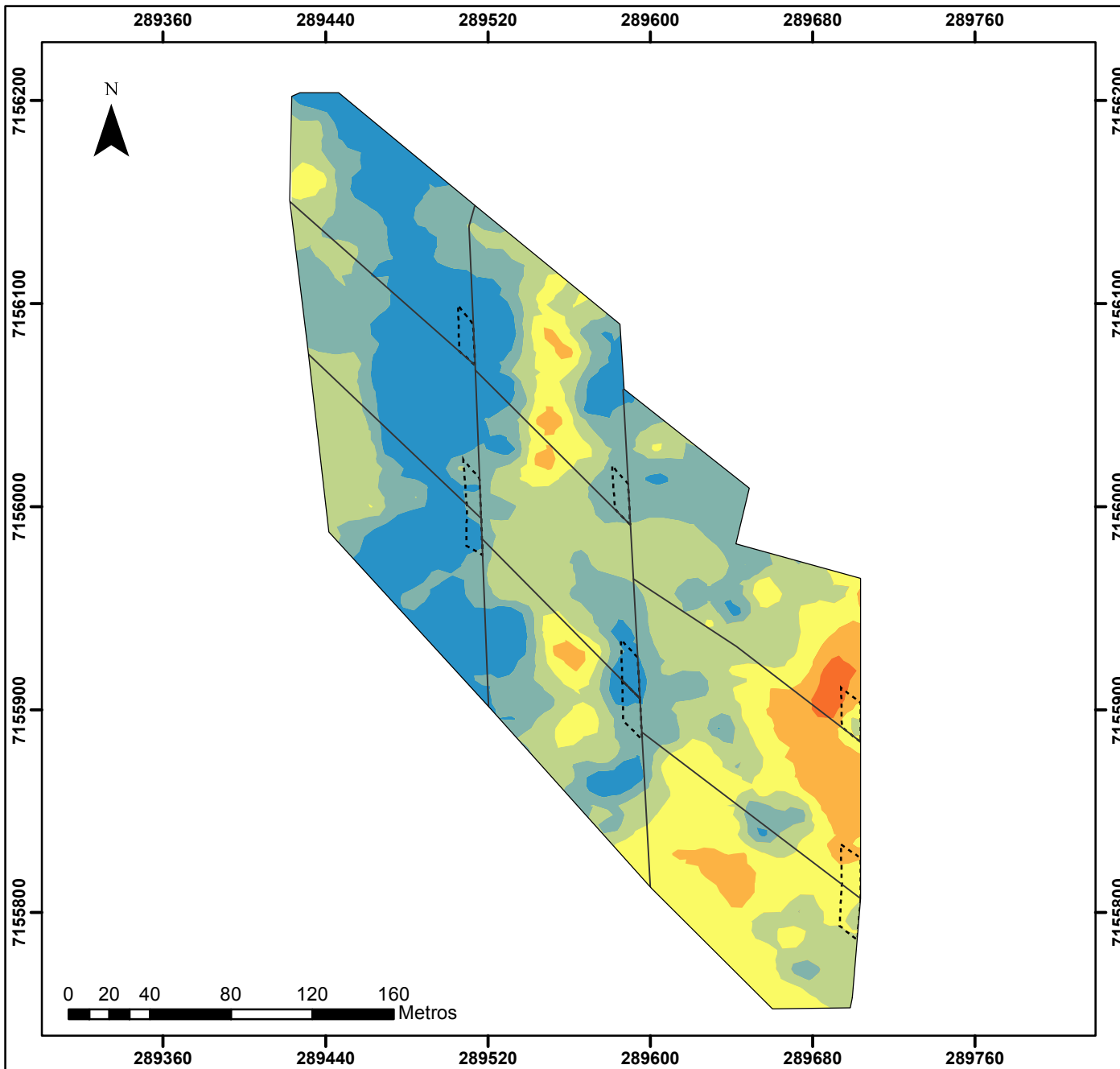
APÊNDICE D – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós pastejo, na profundidade de 20 a 40 cm.

APÊNDICE E – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós lavoura, na profundidade de 0 a 10 cm.

APÊNDICE F - Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós lavoura, na profundidade de 10 a 15 cm.

APÊNDICE G – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós lavoura, na profundidade de 15 a 20 cm.

APÊNDICE H – Mapa de Resistência Mecânica do Solo Penetração no período de pós lavoura, na profundidade de 20 a 40 cm.



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 0 à 10 cm



LEGENDA

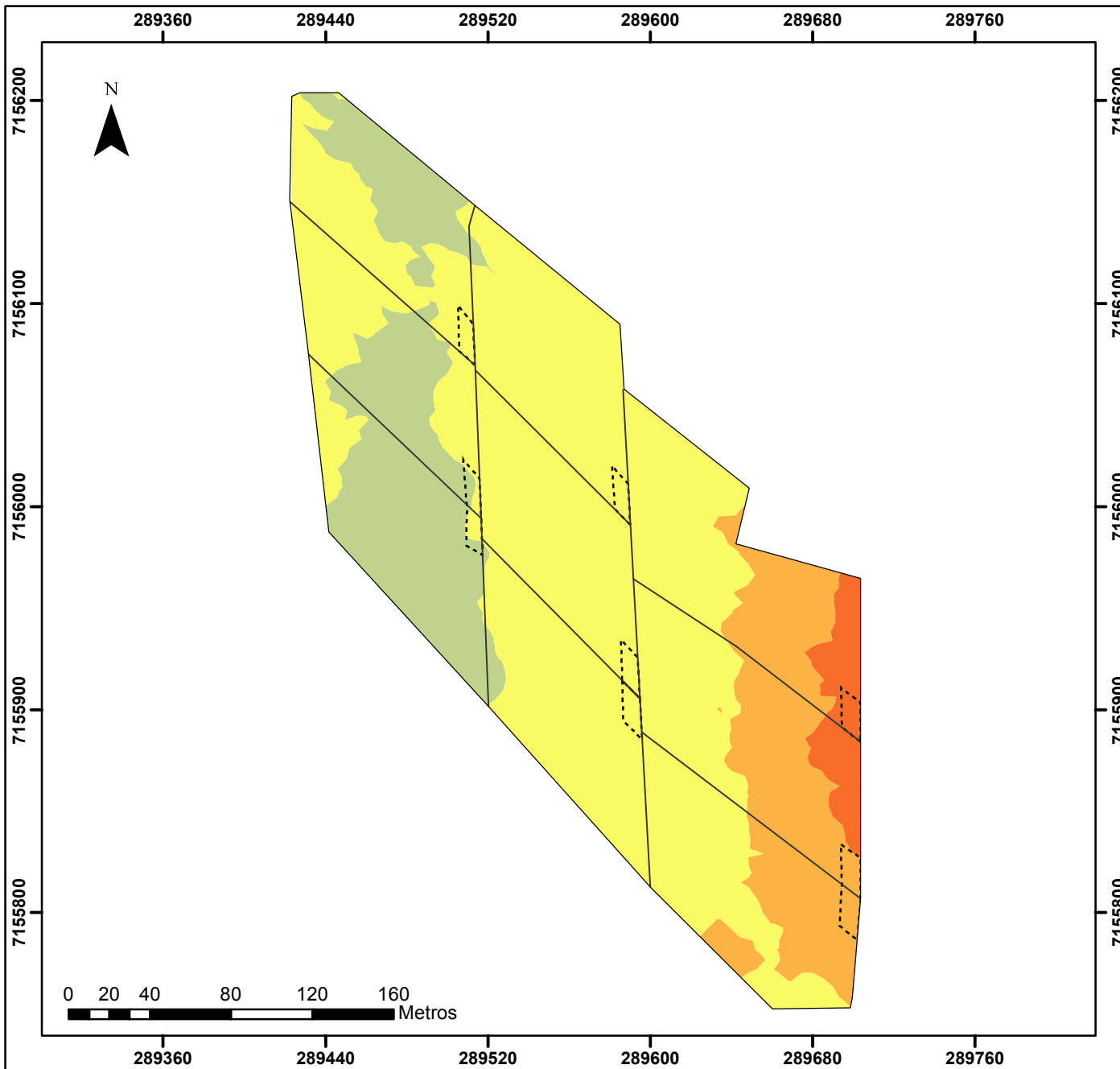
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 0 - 10 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
				Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO			Estrada para Boa Esperança, km 04 Comunidade de São Cristóvão		
			Obs.: Apêndice A		
ASSUNTO					
Mapaeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 0 à 10 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Nov. / 2014		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 10 à 15 cm



LEGENDA

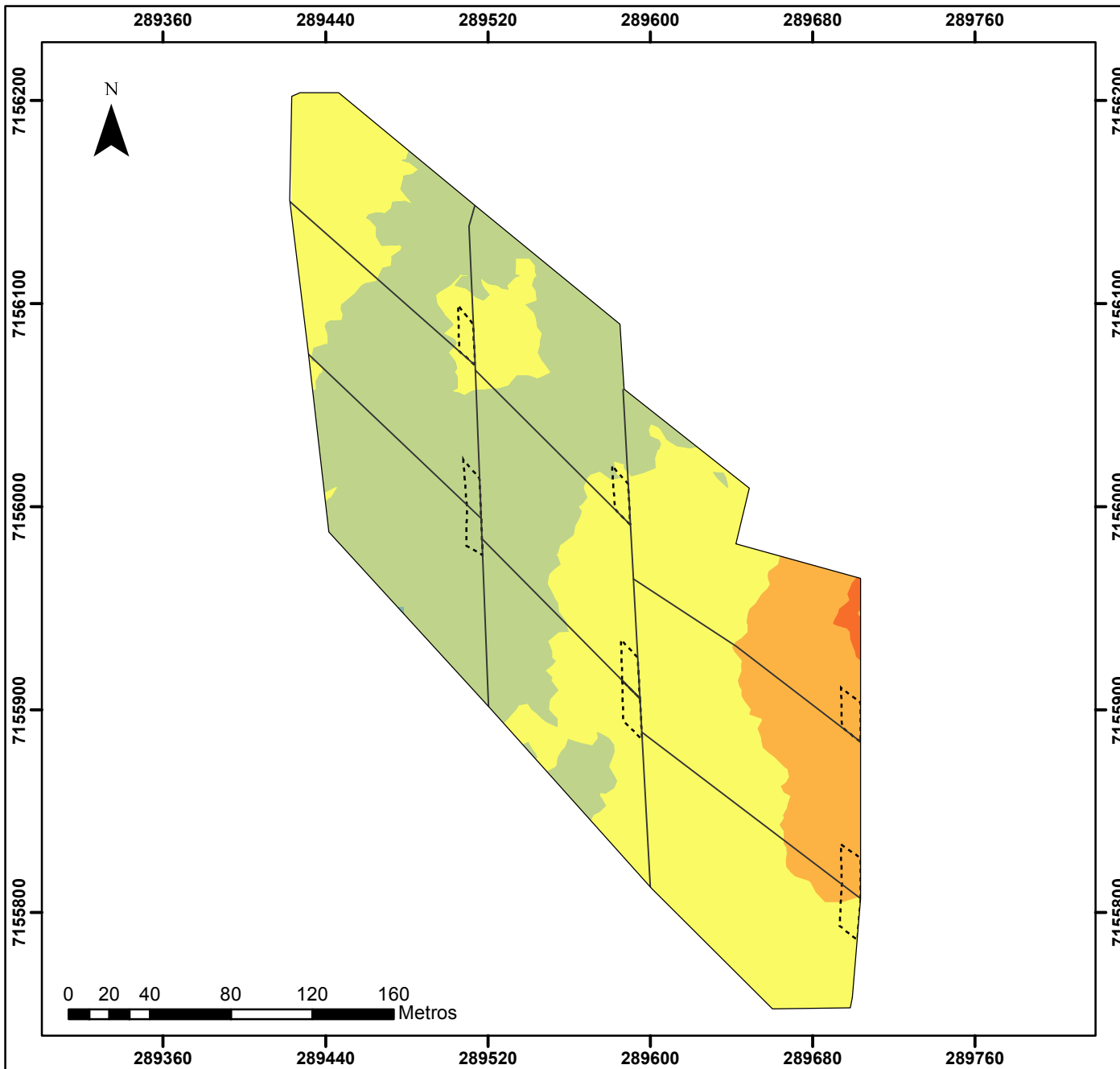
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 10 - 15 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
				Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO			Estrada para Boa Esperança, km 04		
			Comunidade de São Cristóvão		
OBS.:			Apêndice B		
ASSUNTO					
Mapeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 10 à 15 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Nov. / 2014		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 15 à 20 cm



LEGENDA

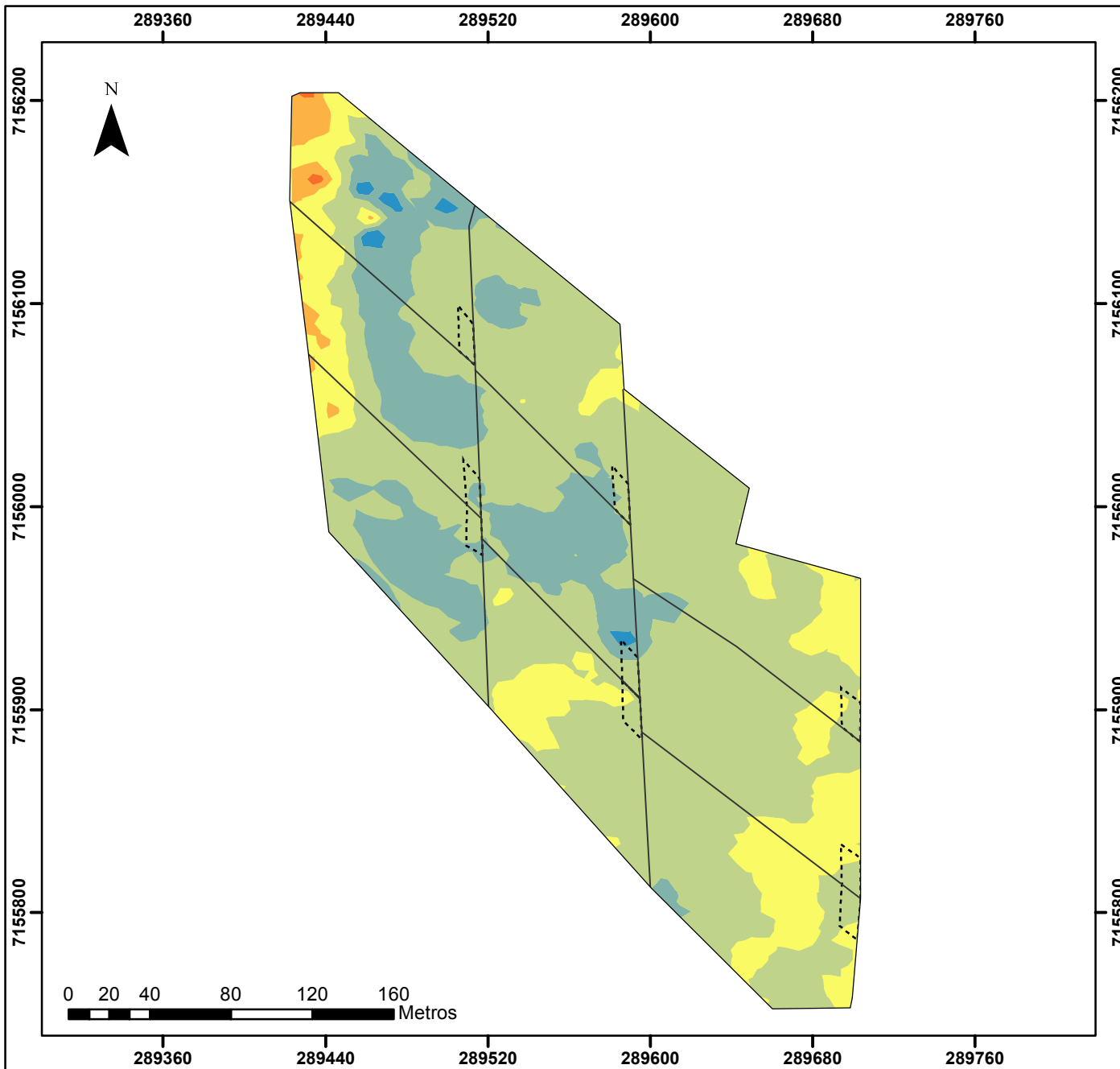
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 15 - 20 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
		Estrada para Boa Esperança, km 04 Comunidade de São Cristóvão		Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO		Obs.: Apêndice C			
ASSUNTO					
Mapeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 15 à 20 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Nov. / 2014		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 20 à 40 cm



LEGENDA

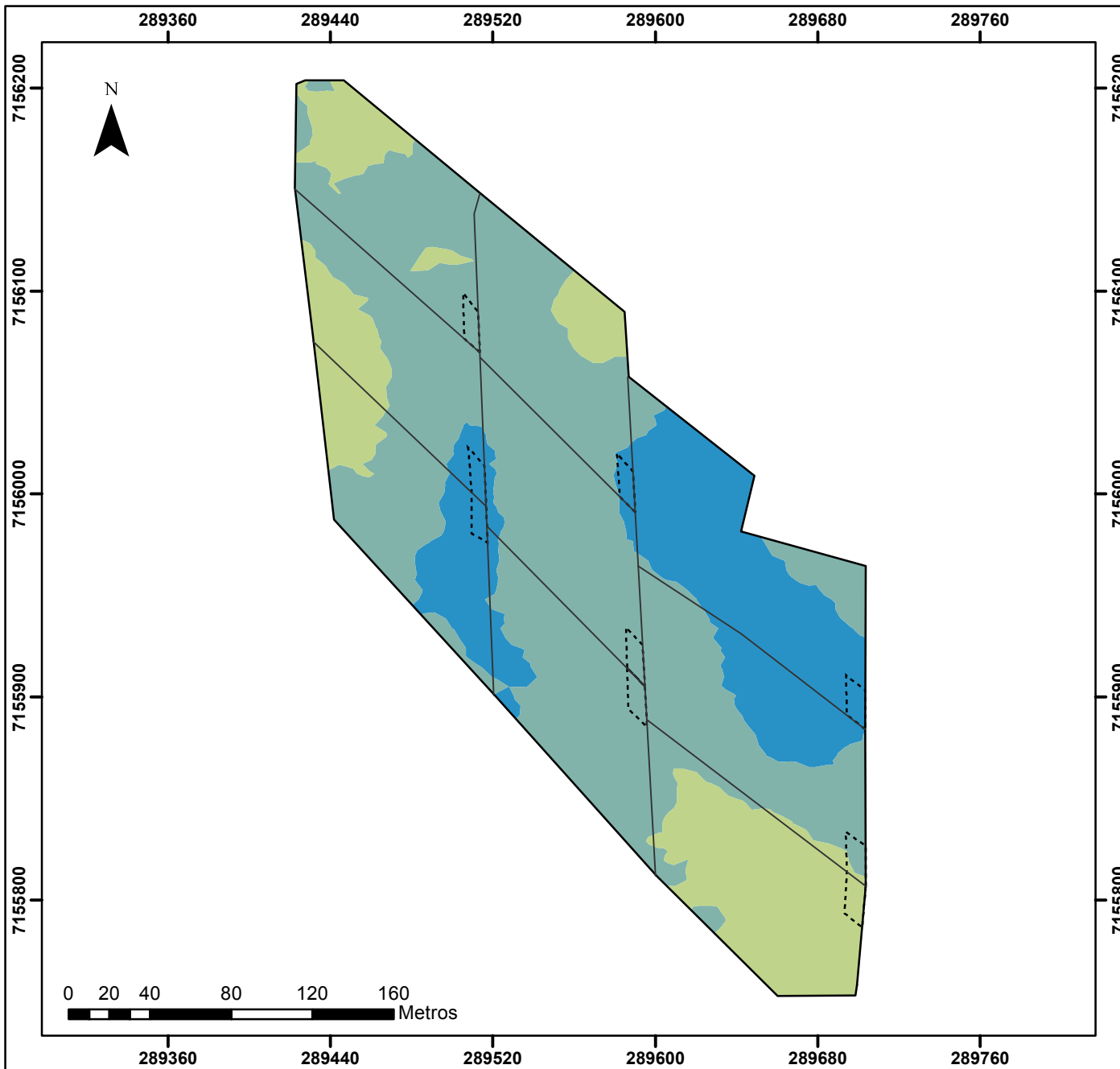
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 20 - 40 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
		Estrada para Boa Esperança, km 04		Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO		Comunidade de São Cristóvão		Obs.: Apêndice D	
ASSUNTO					
Mapaeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 20 à 40 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Nov. / 2014		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 0 à 10 cm



LEGENDA

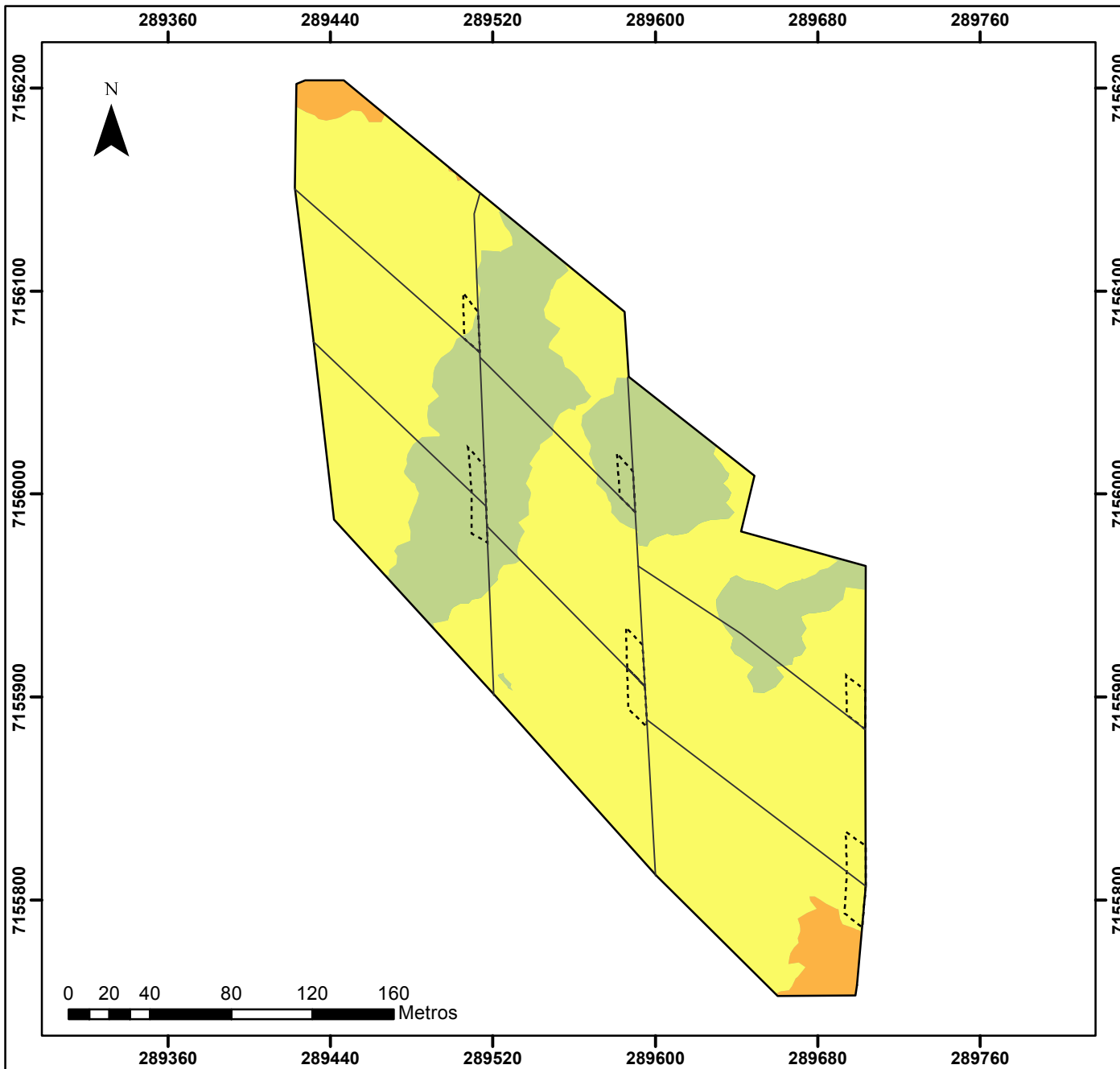
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 0 - 10 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
				Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO			Estrada para Boa Esperança, km 04 Comunidade de São Cristóvão		
			Obs.: Apêndice E		
ASSUNTO					
Mapaeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 0 à 10 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Jun. / 2015		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 10 à 15 cm



LEGENDA

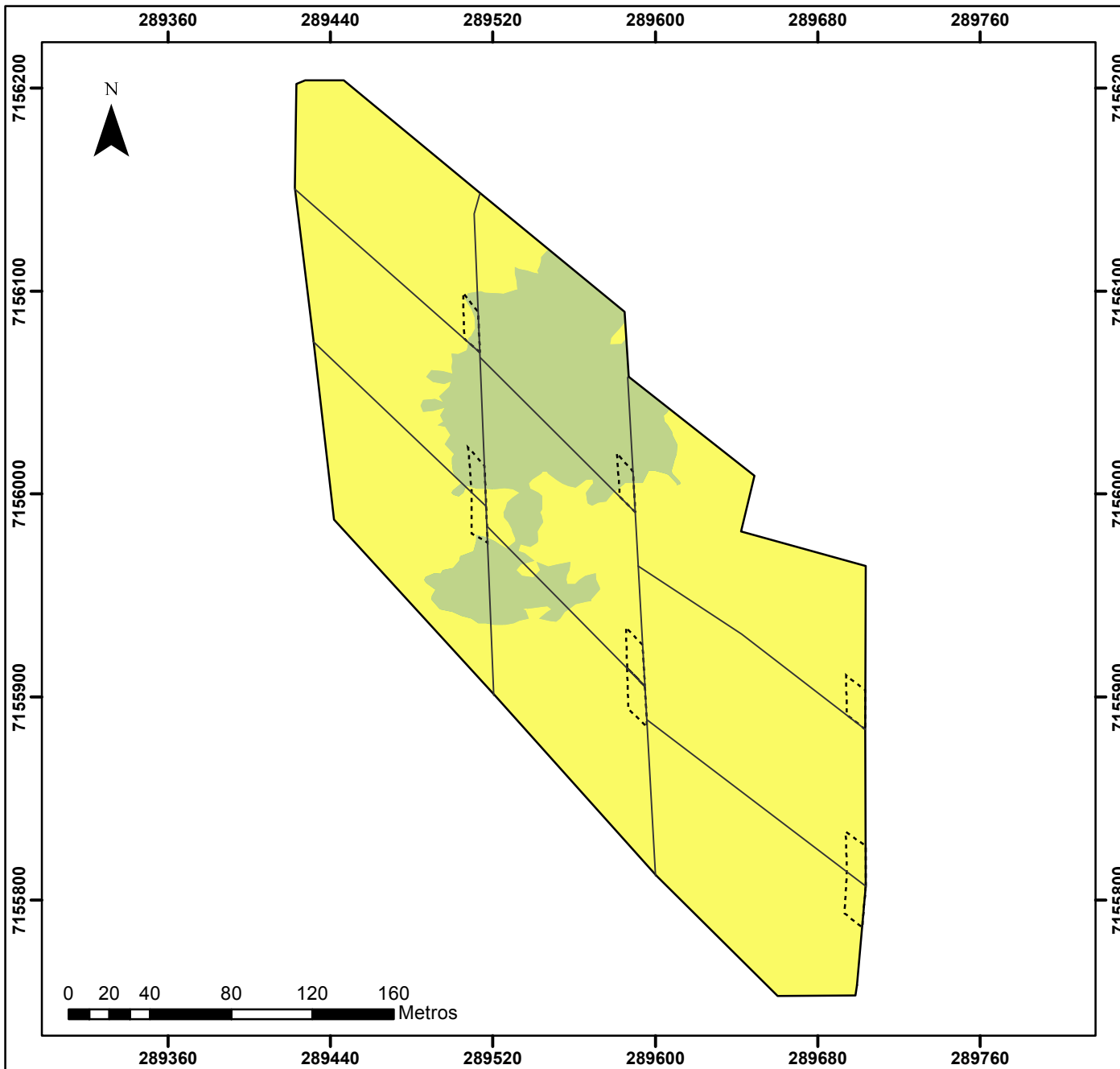
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 10 - 15 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
				Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO			Estrada para Boa Esperança, km 04 Comunidade de São Cristóvão		
OBS.			Apêndice F		
ASSUNTO					
Mapeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 10 à 15 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Jun. / 2015		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 15 à 20 cm



LEGENDA

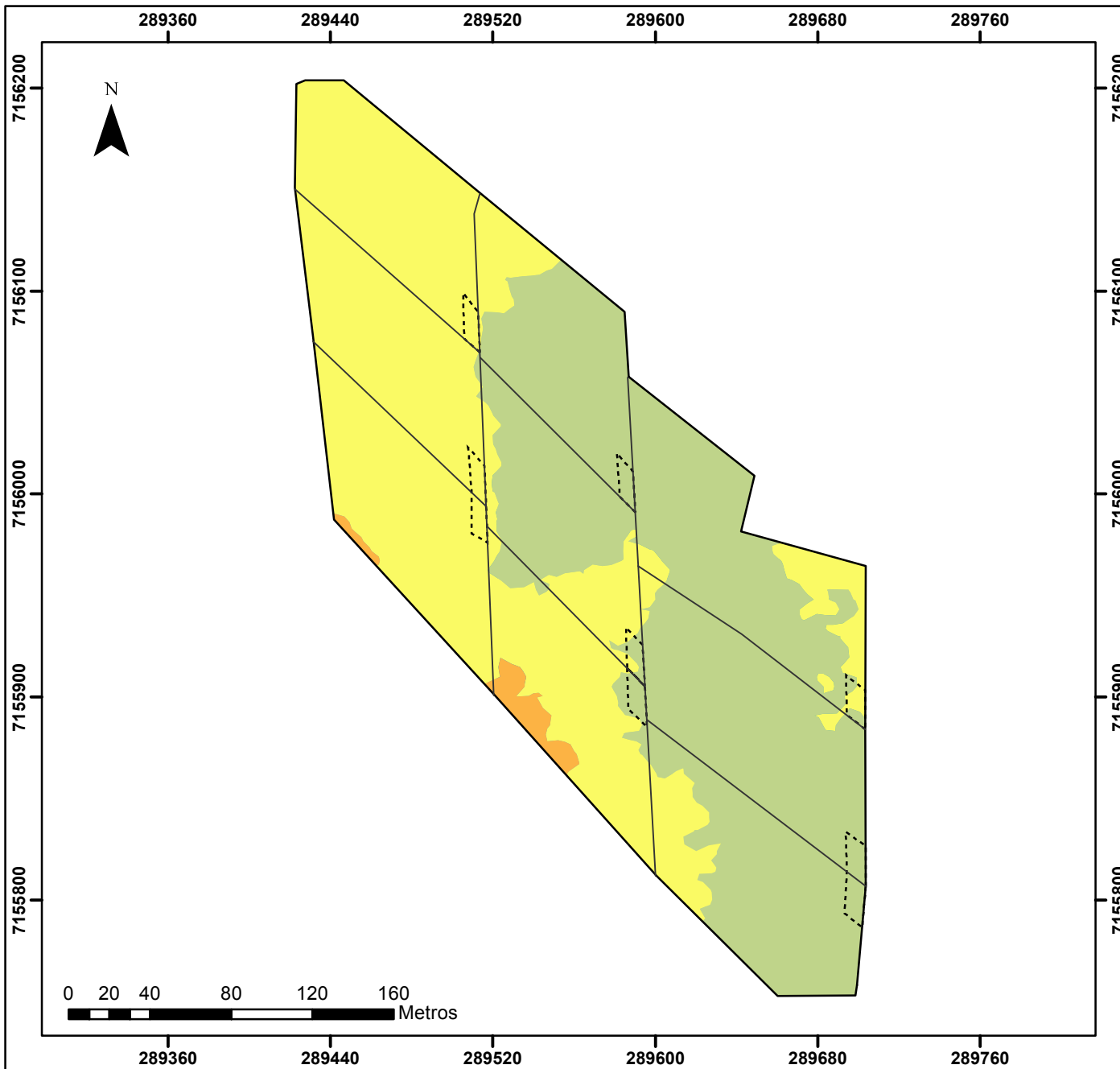
--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 15 - 20 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
				Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO			Estrada para Boa Esperança, km 04 Comunidade de São Cristóvão		
			Obs.: Apêndice G		
ASSUNTO					
Mapeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 15 à 20 cm					
ESCALA		DATA		SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO	
1:3.000		Jun. / 2015		SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S	



Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 20 à 40 cm



LEGENDA

--- Área Sem Pastejo

Resistência do Solo
Profund. 20 - 40 cm

MPa

- 0 - 1,5
- 1,50001 - 2,0
- 2,00001 - 2,5
- 2,50001 - 3,0
- 3,00001 - 3,5
- 3,50001 - 4,0
- 4,00001 - 5,0

LOCAL			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		
RESPONSÁVEL		Juliana Gurkevicz Caetano		MUNICÍPIO/UF	
				Dois Vizinhos/PR	
LOCALIZAÇÃO			Estrada para Boa Esperança, km 04 Comunidade de São Cristóvão		
			Obs.: Apêndice H		
ASSUNTO					
Mapeamento de Resistência Mecânica do Solo a Penetração na profundidade de 20 à 40 cm					
ESCALA		DATA	SISTEMAS DE REFERÊNCIA E PROJEÇÃO		
1:3.000		Jun. / 2015	SIRGAS 2000 - UTM Fuso 22S		