

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

Mario Sergio Wolski

**MODELAGEM DO TERRENO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS
POR EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM**

Santa Maria, RS
2016

Mario Sergio Wolski

**MODELAGEM DO TERRENO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS POR
EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de concentração em processos físicos e morfogenéticos do solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência do Solo**.

Orientador: Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Wolski, Mario Sergio
Modelagem do terreno e mapeamento digital de solos
por extrapolação das relações solo-paisagem / Mario Sergio
Wolski.- 2016.
255 p.; 30 cm

Orientador: Ricardo Simão Diniz Dalmolin
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2016

1. Mapeamento convencional de solos 2. Mapeamento
preditivo do solo 3. Área de referência e atributos de
terreno I. Dalmolin, Ricardo Simão Diniz II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Mario Sergio Wolski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: mariowolski@hotmail.com

Mario Sergio Wolski

**MODELAGEM DO TERRENO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS POR
EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de concentração em processos físicos e morfogenéticos do solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência do Solo**.

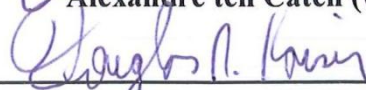
Aprovado em 31 de maio de 2016:




Ricardo Simão Diniz Dalmolin (UFSM)
(Presidente/ Orientador)



Alexandre ten Caten (UFSC)



Douglas Rodrigo Kaiser (UFFS)



Fabrício de Araújo Pedron (UFSM)



Ricardo Bergamo Schenato (UFSM)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Para
Silvia, João Henrique e Maria Laura

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Ricardo Simão Diniz Dalmolin, pela acolhida e por ter depositado confiança no meu trabalho. Agradeço, também, pela amizade, parceria, dedicação e entusiasmo em transmitir conhecimentos na área de pedologia e pedometria.

Ao professor Alexandre ten Caten, pelas relevantes discussões, incentivos e sugestões na área de mapeamento digital de solos.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em particular à equipe de servidores e professores do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela competência e seriedade com que conduzem seus trabalhos.

À equipe do laboratório de pedologia, aos colegas André Dotto, Ândrea Franco, Gabriel Deobald, João Pedro Flores e Pedro Paulo Ramos, pela agradável convivência. Em especial, ao colega Jean Michel Moura Bueno pelo grande auxílio, amizade e companheirismo durante todas as etapas dos trabalhos.

Aos professores da banca examinadora, Fabrício de Araújo Pedron e Ricardo Bergamo Schenato, pelas oportunas contribuições ao trabalho.

À Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), aos atuais diretores Ivann Carlos Lago, Lauren Zamin e Sandro Schneider e ao ex-diretor Edeimar Rotta, pelo grande incentivo recebido. Agradeço, também, aos coordenadores dos cursos de Agronomia e Engenharia Ambiental e aos colegas professores pela compreensão e apoio durante o período de realização do doutorado. Particularmente, aos professores Bruno Munchen Wenzel, Marcio Antonio Vendruscolo e Izabel Gioveli, pelo estímulo.

Ao professor Douglas Rodrigo Kaiser, colega da UFFS, pela amizade, troca de conhecimento, participação ativa nas atividades de campo e incentivo durante todo o curso.

Ao pesquisador Carlos Alberto Flores da Embrapa Clima Temperado que, sem medir esforços, se deslocou do extremo sul do Estado até a região das Missões com toda a vitalidade e a generosidade para contribuir com o trabalho, transmitindo sua grande experiência e conhecimento sobre o sistema solo.

Ao Ten Cel Marcis Gualberto Mendonça Junior, ex-chefe da 1ª DL, pelo apoio e empréstimo de material bibliográfico.

Ao amigo Ivan Petri e ao senhor Pedro Everling, proprietário da fazenda Bela Vista, pelo grande apoio proporcionado durante a realização dos trabalhos em sua propriedade em São Miguel das Missões-RS.

Ao amigo Daniel Rech Mascarin, servidor da Prefeitura Municipal de São Miguel das Missões, pelo suporte logístico nas campanhas de campo.

Ao amigo Adroaldo Gonçalves do Nascimento, pela cedência dos equipamentos utilizados nos levantamentos topográficos.

Aos professores e pesquisadores Eliseu Weber, Eliana Sarmento e Heinrich Hasenack, do Centro de Ecologia da UFRGS, pela amizade, ajuda, estímulo e contribuições, imprescindíveis para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Rovane Marcos França e Luis Fernando Chimelo Ruiz, pela troca de experiências e conhecimentos em geotecnologias.

À Silvia, pela sua generosidade e sua capacidade em apontar soluções, muito obrigado!

A viagem da descoberta consiste não em achar
novas paisagens, mas em ver com novos olhos.

(Marcel Proust)

RESUMO

MODELAGEM DO TERRENO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS POR EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM

AUTOR: Mario Sergio Wolski
ORIENTADOR: Ricardo Simão Diniz Dalmolin

As pesquisas em mapeamento digital de solos (MDS) realizadas no Brasil são dependentes da existência de dados legados de solos obtidos por métodos convencionais para extrapolação das relações solo-paisagem. Em áreas onde não há disponibilidade de mapas de solos, torna-se necessário desenvolver metodologias para aquisição desses dados em escala compatível com a necessidade dos usuários. Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver uma metodologia, por intermédio de técnicas de MDS para prever classes de solos em nível semidetalhado, numa região de relevo suave ondulado, tendo como limite uma carta topográfica na escala 1:50.000. Foram utilizadas técnicas de modelagem do relevo para a elaboração e a avaliação da qualidade dos modelos digitais de elevação utilizados na área de abrangência da carta topográfica e na área de referência (AR). A técnica de AR foi empregada para estabelecer as relações solo-paisagem no MDS. Foi construída uma base cartográfica, na escala 1:5.000, que serviu de apoio para executar o mapeamento de solos com técnicas convencionais para a AR. A técnica de árvore de decisão (AD) foi utilizada para construção do modelo preditivo com base no mapa de solos e em oito atributos de terreno da AR. Duas estratégias de MDS foram testadas com o objetivo de obter os dados para gerar as regras de classificação (MDS 1 e MDS 2), sendo que cada estratégia empregou os oito atributos de terreno como variáveis preditoras: elevação (ele), distância da hidrografia (dis), declividade (dec), orientação de vertente (asp), índice de umidade topográfica (twi), curvatura em perfil (per), curvatura planar (pla) e classes de geoformas (lan). A seleção prévia de modelos digitais de elevação para extrair os atributos de terreno agregou qualidade no uso das variáveis preditoras que participaram da construção do modelo. O uso da AR em locais com limitação de dados mostrou-se uma estratégia eficiente para aprimorar o conhecimento referente às relações solo-paisagem com vistas à predição de ocorrência de classes de solos geradas pelo método de MDS. A comparação entre a verdade de campo e o mapa digital de solos resultou numa exatidão global (EG) de 66,15% e Kappa de 0,35 para o MDS 1 e uma EG de 65,58% e Kappa de 0,27 para o MDS 2. A abordagem de levantamento de solos pelo método convencional na AR demonstrou ser apropriada, visto que contribuiu para o conhecimento dos tipos de solos predominantes, assim como reduziu a quantidade de observações de campo na área de abrangência da carta topográfica.

Palavras-chave: Mapeamento convencional de solos. Mapeamento preditivo do solo. Área de referência e atributos de terreno.

ABSTRACT

TERRAIN MODELING AND DIGITAL SOIL MAPPING THROUGH EXTRAPOLATION OF SOIL-LANDSCAPE RELATIONS

AUTHOR: MARIO SERGIO WOLSKI
ADVISOR: RICARDO SIMÃO DINIZ DALMOLIN

Research on digital soil mapping (DSM) in Brazil is subject to the existence of legacy soil data obtained through conventional methods for extrapolation of soil-landscape relations. In areas with no available soil maps, it is necessary to develop methodologies for the acquisition of these data in a scale compatible with the needs of the users. In this context, the main objective of this study was to develop a methodology, through techniques of DSM, to predict soil classes at semidetailed level, in a region of gently undulating relief delimited by a topographic map in a scale of 1:50,000. Techniques for relief modeling were used to elaborate and evaluate the quality of the digital elevation models used in the area covered by the topographic map and in the reference area (RA). The RA technique was used to establish soil-landscape relations in the DSM. A basemap in a scale of 1:5,000 was created to support the implementation of soil mapping by conventional methods for the RA. Decision Tree (DT) technique was used to build the prediction model based on the soil map and eight terrain attributes of the RA. Two DSM strategies were tested in order to obtain the data to create the classification rules (DSM 1 and DSM 2). Each strategy employed the eight terrain attributes as predictor variables: elevation (ele), distance to channel network (dis), slope (dec), aspect (asp), topographic wetness index (twi), profile curvature (per), plan curvature (pla), and landform classes (lan). The previous selection of digital elevation models to extract the terrain attributes aggregated quality to the use of the predictor variables that participated in the production of the model. The use of RA in areas with limitation of data proved to be an efficient strategy to improve the understanding of soil-landscape relations for prediction of occurrence of soil classes through the DSM method. The comparison between field data and the digital soil map resulted in a global accuracy (GA) of 66.15% and Kappa of 0.35 for the DSM 1, and GA of 65.58% and Kappa of 0.27 for the DSM 2. The approach of soil survey through the conventional method in the RA proved appropriate, since it contributed to the knowledge of predominant soil categories, as well as reduced the number of field observations in the area covered by the topographic map.

Keywords: Conventional soil mapping. Predictive soil mapping. Reference area and terrain attributes.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 – Fatores de formação do solo representados em geoprocessamento como covariáveis ambientais para uso em MDS (modelo SCORPAN).....	29
Figura 2 – Principais ramos do conhecimento vinculados ao desenvolvimento do MDS	36
Figura 3 – Passos empregados para a predição de mapas de solos em MDS	37
Figura 4 – Evoluções tecnológicas que dão suporte ao mapeamento de solos	39
Figura 5 – História e convergência de disciplinas relacionadas com o MDS	40
Figura 6 – Localização das cartas de solos do Rio Grande do Sul produzidas na escala 1:50.000 do mapeamento sistemático nacional	41
Figura 7 – Fases do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (KDD) e atividades aplicadas pela fase de mineração de dados	47
Figura 8 – Simulação de uma árvore de classificação, baseada em atributos de terreno para predição de classes de solos	50
Figura 9 – O papel do processo de levantamento de solos planejado	52
Figura 10 – Diferença entre MDE e MDT: (a) MDE; (b) MDT	54
Figura 11 – Discordância em quantidade e discordância em alocação	63

CAPÍTULO II – ESTUDO 1 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NA REGIÃO DAS MISSÕES (RS)

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no Estado do RS (a) e área de estudo (b).....	68
Figura 2 – Sequência da metodologia utilizada para o levantamento de solos pelo método convencional da AR	74
Figura 3 – Mapa da distribuição espacial dos dados amostrais de campo utilizados para treinamento e avaliação da AR	77
Figura 4 – Passos para a geração dos mapas digital de solos utilizando softwares livres	78
Figura 5 – Fases da construção do MDE de referência da AR	81
Figura 6 – MDE de referência obtido por levantamento de campo GNSS da AR (MDE GNSS).....	82
Figura 7 – MDE obtido da carta topográfica Carajzinho na escala 1:50.000 (MDE CARTA)	83
Figura 8 – MDE obtido do projeto Topodata (MDE TOPODATA).....	84
Figura 9 – MDE obtido da missão SRTM (MDE SRTM-C).....	85
Figura 10 – MDE obtido do Aster GDEM (MDE ASTER).....	86
Figura 11 – Representação dos cinco perfis topográficos extraídos MDE	90
Figura 12 – Representação das linhas de fluxo geradas para os MDE	93
Figura 13 – Mapa das classes de geoformas para a AR	95
Figura 14 – Mapa de classes de solos da AR pelo método convencional.....	98
Figura 15 – MDS GNSS obtido a partir do MDE GNSS com pixel de 5 metros de resolução	100
Figura 16 – MDS GNSS obtido a partir do MDE GNSS com pixel de 30 metros de resolução	102
Figura 17 – MDS SRTM obtido a partir do MDE SRTM-C com pixel de 30 metros.....	104

Figura 18 – MDS Carta obtido a partir do MDE Carta com pixel de 30 metros de resolução.....	106
Figura 19 – MDS Topodata obtido a partir do MDE Topodata com pixel de 30 metros de resolução.....	108
Figura 20 – MDS Aster obtido a partir do MDE Aster com pixel de 30 metros de resolução.....	110

CAPÍTULO III – ESTUDO 2 - MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS COM BASE NA EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM EM ÁREAS COM LIMITAÇÃO DE DADOS DE SOLOS

Figura 1 – Mapa de situação e localização da carta Carajazinho, com a localização em detalhe da AR.....	115
Figura 2 – Mapa de Geologia referente à carta Carajazinho. Recorte da carta original do projeto RADAMBRASIL – carta Santo Ângelo 1:250.000.....	117
Figura 3 – Mapa de Vegetação referente à carta Carajazinho (recorte da carta original do projeto RADAMBRASIL – carta Santo Ângelo 1:250.000)	118
Figura 4 – Mapa de Solos referente à carta Carajazinho. Recorte da carta original do projeto RADAMBRASIL – carta Santo Ângelo 1:250.000.....	119
Figura 5 – Esquema de distribuição dos quadrantes para extrapolação do MDS.....	121
Figura 6 – Atributos de terreno utilizados na predição de classes de solos na carta Carajazinho.....	125
Figura 7 – Passos para construção do MDS da carta Carajazinho	127
Figura 8 – Detalhe do mapa de classes de solos da AR na carta Carajazinho.....	128
Figura 9 – Distribuição espacial dos 2.500 pontos da amostragem aleatória na AR.....	130
Figura 10 – Modelo digital de elevação gerado a partir da Carta topográfica na escala 1:50.000.....	135
Figura 11 – Modelo digital de elevação SRTM-C.....	136
Figura 12 – Orientação do sistema de drenagem na carta Carajazinho	137
Figura 13 – Mapa de declividade da carta Carajazinho.....	139
Figura 14 – Mapa de classes de geoformas da carta Carajazinho	141
Figura 15 – Mapa de classes de solos elaborado pelo método convencional para a carta Carajazinho.....	142
Figura 16 – Mapa do índice de umidade topográfica da carta Carajazinho	145
Figura 17 – Mapa da orientação de vertentes da carta Carajazinho	146
Figura 18 – Mapa da distância da hidrografia da carta Carajazinho	147
Figura 19 – Mapa da curvatura em perfil da carta Carajazinho	148
Figura 20 – Mapa da curvatura planar da carta Carajazinho	149
Figura 21 – MDS 1 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE Carta	151
Figura 22 – MDS 1 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE SRTM-C.....	152
Figura 23 – MDS 2 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE Carta	157
Figura 24 – MDS 2 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE SRTM-C.....	158

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1 – Informações descritivas de estudos em mapeamento digital de classes de solos realizados no Brasil a partir de 2006	43
Tabela 2 – Alguns dos principais algoritmos de indução de árvore de decisão	51
Tabela 3 – Exemplo de uma matriz de erro com as medidas estatísticas	60

CAPÍTULO II – ESTUDO 1 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NA REGIÃO DAS MISSÕES (RS)

Tabela 1 – Estatística descritiva dos valores de altitude e erros de altitude em relação aos PC para os cinco MDE avaliados	87
Tabela 2 – Padrão de exatidão cartográfica (PEC) altimétrico dos MDE avaliados	91
Tabela 3 – Distribuição e áreas observadas para as classes de geoformas	94
Tabela 4 – Legenda do mapa de solos convencional da AR	96
Tabela 5 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do mapa convencional ..	97
Tabela 6 – Proporção de amostras de solos representativas de cada classe de solo presente nos conjuntos de treinamento e validação	99
Tabela 7 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS GNSS com pixel de 5 metros	101
Tabela 8 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS GNSS com pixel de 30 metros	103
Tabela 9 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS SRTM-C com pixel de 30 metros	105
Tabela 10 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS Carta com pixel de 30 metros	107
Tabela 11 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS Topodata com pixel de 30 metros	109
Tabela 12 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS Aster com pixel de 30 metros	110

CAPÍTULO III – ESTUDO 2 – MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS COM BASE NA EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM EM ÁREAS COM LIMITAÇÃO DE DADOS DE SOLOS

Tabela 1 – Relação e descrição dos atributos de terreno derivados dos MDE para predição das classes de solos	126
Tabela 2 – Distribuição dos pontos de observação de campo na carta Carajazinho para utilização no MDS 1	131
Tabela 3 – Distribuição dos pontos de observação de campo na carta Carajazinho para utilização no MDS 2	132
Tabela 4 – Estatísticas da comparação entre as altitudes dos 31 pontos de controle e MDE SRTM –C e MDE Carta	133
Tabela 5 – PEC-PCD altimétrico dos MDE	134
Tabela 6 – Distribuição das classes de declividade	138
Tabela 7 – Distribuição das classes de geoformas	140

Tabela 8 – Legenda de identificação dos solos da carta Carajazinho	143
Tabela 9 – Percentual de ocorrência das classes de solos na carta Carajazinho pela técnica MDS 1	153
Tabela 10 – Acurácia dos modelos de predição das classes de solos para os quadrantes da carta Carajazinho usando dados extraídos do mapa convencional de classes de solos da AR com base nos MDE SRTM e MDE Carta (MDS 1: 2.500 amostras de treinamento)	153
Tabela 11 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 1 Carta (carta Carajazinho)	155
Tabela 12 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 1 SRTM-C (carta Carajazinho)	155
Tabela 13 – Percentual de ocorrência das classes de solos na carta Carajazinho pela técnica MDS 2	159
Tabela 14 – Acurácia dos modelos de predição das classes de solos para os quadrantes da carta Carajazinho usando dados de campo com base nos MDE SRTM-C e MDE carta (MDS 2: 247 amostras de treinamento).....	159
Tabela 15 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 2 Carta (carta Carajazinho)	160
Tabela 16 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 2 SRTM-C (carta Carajazinho)	161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.S.I.	Agência Espacial da Itália
AD	Árvore de Decisão
AE	Algoritmo evolutivo
AG	Algoritmo genético
ALS	Airborne Laser Scanning
AM	Aprendizado de Máquina
AP	Acurácia do Produtor
AR	Área de Referência
ARFF	Attribute-Relation File Format
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AU	Acurácia do Usuário
CART	Classification Tree Analysis
CLHS	Hipercubo Latino Condicionado (Conditioned Latin Hypercube Sampling)
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
CSV	Comma-Separated Values
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DA	Discordância de Alocação
DEM	Digital Elevation Model
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DP	Desvio Padrão
DQ	Discordância de Quantidade
DRM	Departamento de Recursos Minerais
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico
DSM	Digital Soil Mapping
EE	Estação Ecológica
EG	Exatidão Global
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EP	Erro Padrão
EQM	Erro Quadrático Médio
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FPT	Funções de Pedotransferência
GDA	General Discriminant Analysis
GDEM	Global Digital Elevation Model
GeoFIT	Geographic Tagged Image File Format
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPR	Ground-penetrating Radar
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IA	Inteligência Artificial
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID3	Iterative Dichotomizer 3
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Insar	Interferometric synthetic aperture radar
IUSS	International Union of Soil Science
KDD	Knowledge Discovery in Database

LBP	Padrões Binários Locais
LIDAR	Light Detection and Ranging
LTP	Padrões Ternários Locais
MD	Mineração de dados
MDE	Modelo digital de elevação
MDS	Mapeamento Digital de Solos
MDT	Modelo Digital do Terreno
MET	Modelo de Elevações do Terreno
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
MLR	Multiple Linear Regression
MLS	Mobile Laser Scanner
MNFT	Modelo Numérico de Feições do Terreno
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NGA	Agência de Inteligência Geo-Espacial
NIMA	National Imaging and Mapping Agency
PC	Ponto de Controle
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica - Produtos Cartográficos Digitais
PPP	Posicionamento por ponto preciso
PRONASOLOS	Programa Nacional de Solos do Brasil
RF	Random Forest
RMSE	Raiz do Erro Quadrático Médio
RNA	Redes Neurais Artificiais
RT	Regression Trees
RTK/UHF	Real Time Kinematic/Ultra High Frequency
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIR-C	Spaceborne Imaging Radar
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SLU	Second Level Units of WRB
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
TDIDT	Top-Down Induction of Decision Tree
TIN	Triangular Irregular Network
UM	Unidades de mapeamento
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis
WRB	World Reference Base for Soil Resources
X-SAR	Synthetic Aperture Radar

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	23
	CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA.....	27
1.1	O CONHECIMENTO DOS SOLOS	27
1.2	MAPEAMENTO DE SOLOS NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL.....	31
1.3	MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS – MDS.....	35
1.3.1	Técnicas utilizadas no mapeamento digital de solos brasileiro	42
1.3.2	Mineração de dados.....	46
1.3.3	Método de classificação de solos por Árvore de Decisão (AD).....	48
1.3.4	Área de referência (AR).....	51
1.4	DESENVOLVIMENTO DE MDE PARA OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS DE TERRENO.....	53
1.4.1	Missão SRTM	57
1.4.2	Projeto Topodata.....	57
1.4.3	ASTER GDEM V2	58
1.4.4	Avaliação da acurácia dos mapas de solos	58
	CAPÍTULO II – ESTUDO 1 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NA REGIÃO DAS MISSÕES (RS)	65
1	INTRODUÇÃO	65
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.1	Caracterização da área de estudo.....	68
2.2	Abordagem metodológica	69
2.2.1	Obtenção dos Modelos Digitais de Elevação (MDE)	69
2.2.2	Avaliação da qualidade altimétrica dos MDE.....	71
2.2.3	Obtenção dos atributos de terreno e do mapa de classes de geoformas	73
2.2.4	Obtenção do mapa de solos pelo método convencional.....	74
2.2.5	Amostragem de solo para o MDS	76
2.2.6	Geração dos mapas digitais de solos em ambiente SIG	78
2.2.7	Avaliação da qualidade dos mapas digitais de solos.....	79
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
3.1	OBTENÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTOS DOS MDE	80
3.2	Avaliação da qualidade altimétrica dos MDE.....	86
3.3	Obtenção dos atributos de terreno e classes de geoformas	94
3.4	Mapeamento de solos pelo método convencional e validação.....	95
3.5	Mapeamento digital de solos e validação.....	99
	CONCLUSÕES	111
	CAPÍTULO III – ESTUDO 2 - MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS COM BASE NA EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM EM ÁREAS COM LIMITAÇÃO DE DADOS DE SOLOS.....	113
1	INTRODUÇÃO	113
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	115
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	115
2.2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	119
2.2.1	Obtenção dos MDE da carta Carajazinho	122
2.2.2	Obtenção da hidrografia.....	122
2.2.3	Obtenção do mapa de declividade e do mapa de geoformas	123

2.2.4	Obtenção do mapa de solos pelo método convencional	124
2.2.5	Obtenção dos atributos de terreno para o MDS	124
2.2.6	Mapeamento digital de solos	126
2.2.6.1	MDS 1.....	128
2.2.6.2	MDS 2.....	131
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	133
3.1	OBTENÇÃO DOS MDE DA CARTA CARAJAZINHO	133
3.2	OBTENÇÃO DA HIDROGRAFIA	136
3.3	OBTENÇÃO DO MAPA DE DECLIVIDADE E CLASSES DE GEOFORMAS	137
3.4	OBTENÇÃO DO MAPA DE SOLOS PELO MÉTODO CONVENCIONAL	141
3.5	OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS DE TERRENO PARA O MDS	144
3.6	MAPA DIGITAL DE SOLOS.....	150
3.6.1	MDS 1.....	150
3.6.1.1	<i>Avaliação da acurácia dos MDS 1 (validação externa).....</i>	<i>153</i>
3.6.2	MDS 2.....	155
3.6.2.1	<i>Avaliação da acurácia dos MDS 2 (validação externa).....</i>	<i>159</i>
	CONCLUSÕES.....	162
	CONCLUSÕES GERAIS.....	163
	REFERÊNCIAS.....	165
	ANEXOS.....	183
	ANEXO A – PERFIS DE SOLOS.....	185
	ANEXO B – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO E CUSTO DO LEVANTAMENTO SEMIDETALHADO DE SOLOS DA CARTA CARAJAZINHO – ESCALA 1:50.000	253

INTRODUÇÃO GERAL

A pressão antrópica sobre os recursos naturais tem crescido com o aumento da população e dos padrões de consumo no mundo. No ano de 2011, a população mundial alcançou a cifra de sete bilhões de pessoas e, se persistir esse crescimento, o planeta Terra alcançará em 2050 nove bilhões de habitantes, segundo as estimativas apontadas pelo Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA, 2012). Questões como o suprimento de alimentação, de recursos energéticos, a ocupação dos espaços urbanos, entre outras, sem o comprometimento da sustentabilidade dos recursos naturais, estão na pauta dos pesquisadores e dos administradores das nações no mundo todo. Trata-se de um desafio gigantesco, que irá exigir soluções ambientais eficientes para gerir os recursos naturais ainda existentes.

O recurso solo, objeto deste estudo, tem função agrícola, geotécnica e ambiental muito expressiva. Além de servir como base da produção agrícola e de toda ocupação na superfície terrestre, presta importantes serviços ambientais, atuando como filtro de efluentes, acomodando os resíduos gerados pelos diferentes meios de produção, mitigando gases de efeito estufa e agindo na regulação do clima na Terra (SANCHEZ et al., 2009; PAUSTIAN et al., 2016). Na área agrícola, o solo, associado a outros fatores, é parte essencial na geração das riquezas produzidas no Brasil, caracterizando-se, principalmente, por dar suporte, nutrição, aeração e hidratação às plantas.

Embora o recurso solo tenha toda essa importância econômica, social e ambiental, pode-se afirmar que há ainda uma carência muito grande de informações mais detalhadas dos tipos e propriedades dos solos em todos os níveis, dificultando o planejamento de ações que garantam a sustentabilidade desse importante recurso natural (HARTEMINK; McBRATNEY, 2008; SANCHEZ et al., 2009; HARTEMINK; KRASILNIKOV; BOCKHEIM, 2013; DALMOLIN; ten CATEN, 2015).

Os mapas de solos, por apresentarem informações básicas sobre o solo e sua distribuição no ambiente, são fundamentais para agregação de conhecimento sobre esse recurso, visando ao manejo sustentável das terras, desde que apresentem escala compatível e informações detalhadas do ambiente (KLAMT et al., 2000; DALMOLIN et al., 2004; HARTEMINK; KRASILNIKOV; BOCKHEIM, 2013).

O Brasil registra um déficit de mapas de solos em escalas e níveis de detalhes, possuindo apenas informações, com maior cobertura de seu território, em níveis generalizados. A situação do Rio Grande do Sul não é diferente: o Estado está coberto com mapas de solos realizados na década de 70 na escala 1:750.000, escala essa incompatível com

as necessidades dos governos estadual, municipais e do agronegócio em geral (SANTOS et al., 2013b). É bem conhecido dos pesquisadores da ciência do solo que o território nacional não está satisfatoriamente coberto com mapas de solos e muitos esforços têm sido empreendidos para mudar este cenário.

Exemplo desta preocupação, o Programa Nacional de Solos do Brasil (PRONASOLOS) é uma iniciativa brasileira que se apresenta como um caminho viável para auxiliar no enfrentamento dos problemas do déficit de mapas pedológicos, tanto de classes como de propriedades dos solos. O projeto foi criado na esteira das ações globais para melhorar o entendimento e fortalecer a importância do recurso solo para toda humanidade e incorpora os objetivos da “Aliança Global para os Solos”, lançada em 2011 pela FAO. Entre as diretrizes da Aliança, está o desenvolvimento de capacidades no mapeamento digital de solos em países em desenvolvimento.

No entanto, não há protocolos regionais definidos para sistematizar, de maneira exequível, a aplicação do MDS e muita pesquisa deve ainda ser realizada neste sentido. Dentro desta perspectiva, o trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia, por intermédio de técnicas de MDS e uso de atributos de terreno, que avalie a distribuição espacial de classes de solos em nível semidetalhado, numa região de relevo suave ondulado (Região das Missões), tendo como limite uma carta topográfica na escala 1:50.000.

Para alcançar este objetivo, a presente tese está estruturada em três capítulos. O capítulo I apresenta um referencial teórico versando sobre o conhecimento dos solos, a situação do mapeamento de solos no Brasil e no Rio Grande do Sul e a importância do MDS para o avanço da pedologia. Esse primeiro capítulo também aborda os conhecimentos básicos necessários para a aplicação de técnicas de MDS na Ciência do Solo.

No capítulo II, a utilização de técnicas de modelagem do terreno é desenvolvida. A aplicação destas técnicas teve como propósito a elaboração e a avaliação da qualidade dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) utilizados na área de abrangência da carta topográfica e na área de referência. Para tanto, MDE oriundos de levantamento de campo com tecnologia GNSS RTK, da missão SRTM-C (um segundo de arco), do projeto Topodata, do ASTER GDEM V2, gerados por meio de curvas de isovalor e de pontos cotados da carta topográfica, foram avaliados. A produção de mapas de solos pelo método convencional para suprir a limitação de dados de solos em níveis mais detalhados também foi objeto deste capítulo.

O capítulo III, por sua vez, trata do mapeamento digital de classes solos com base na extrapolação das relações solo-paisagem em áreas geográficas similares com limitação de dados de solos. O objetivo do estudo desenvolvido nesse capítulo foi testar a extrapolação das

relações solo-paisagem para mapeamento de classes de solos, na carta topográfica Carajzinho na escala 1:50.000, utilizando para predição um conjunto de pontos amostrais de campo e a técnica de AR.

A hipótese considerada para a tese foi baseada na premissa de que não existe uma equação universal ou um modelo de predição digital de solos que sirva para todas as regiões do globo e que os métodos preditivos são extremamente dependentes da qualidade e da disponibilidade dos dados utilizados e/ou gerados.

A partir dos atributos de terreno, derivados de um modelo digital de elevação (MDE), é possível estabelecer as relações solo-paisagem para inferir, por intermédio de mapeamento digital de solos (MDS), a distribuição espacial de classes de solos que facilitem a produção de mapas com qualidade e precisão adequada para mapeamento de solos semidetalhados na escala 1:50.000.

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

1.1 O CONHECIMENTO DOS SOLOS

O solo é considerado a epiderme da Terra (TRICART, 1972). Caracteriza-se como um capital natural de importância fundamental para a vida, que fornece condições para o crescimento de plantas para provisão de fibras, alimentos e combustíveis. Atua como regulador climático, sistema de ciclagem de nutrientes, habitat para seus organismos, meio de suporte para obras de engenharia, fonte de produtos farmacêuticos, recursos genéticos, herança cultural, entre outras funções (LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013; PAUSTIAN et al., 2016).

Embora o recurso solo tenha toda essa importância ambiental, social, econômica e cultural, pode-se afirmar que há ainda carência de informações referentes à distribuição espacial do solo, e esse déficit tem dificultado o planejamento de ações que garantam a sustentabilidade desse importante recurso natural (MENDONÇA-SANTOS; SANTOS, 2007; HARTEMINK; McBRATNEY, 2008; SANCHEZ et al., 2009; HARTEMINK; KRASILNIKOV; BOCKHEIM, 2013). Para reduzir essa carência, os cientistas do solo vêm pesquisando metodologias e introduzindo novas tecnologias para o avanço do conhecimento sobre os solos, buscando também difundir e ampliar o entendimento e domínio da pedologia.

A obtenção da distribuição espacial de classes e/ou propriedades do solo é a fase final de um processo que envolve pesquisas de gabinete, levantamento de campo e de laboratório, juntamente com o registro de observações, análises e interpretações de aspectos do meio físico e de características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos, visando à sua caracterização e classificação (IBGE, 2015).

Para melhor compreender os avanços da ciência do solo, alguns registros de consenso entre os pesquisadores são importantes. No final do século XIX, em 1886, o cientista russo Vasili Vasilevich Dokuchaev (1846-1903), considerado o pioneiro da ciência do solo, apresentou a primeira classificação dos solos. Posteriormente, relacionou as correlações ambientais presentes na formação dos solos, determinando que o solo se forma em consequência da interação entre o clima (*Climate - Cl*), organismos (*Organisms - O*), relevo (*Relief - R*), material de origem (*Parent material - P*) e tempo (*Time - T*). A partir dessa concepção, Dokuchaev estabeleceu a hipótese dos cinco “fatores de formação dos solos”, na qual os quatro primeiros fatores, interagindo no tempo, criam uma série de processos específicos que levam à diferenciação em horizontes e, conseqüentemente, à formação do solo

propriamente dito. Este foi considerado, conforme Espindola (2014), o início de uma ciência autônoma, com denominação própria e classificação genética emersa da geologia.

Na metade do século XX, Hans Jenny avançou no entendimento referente à gênese do solo, desenvolvendo o conceito clássico de que o solo é uma função de seus fatores ambientais. A equação chamada de modelo “CLORPT” (equação 1) descreve o processo de formação do solo na visão de Jenny (1941):

$$S = f(\text{cl, o, r, p, t...}) \quad (1)$$

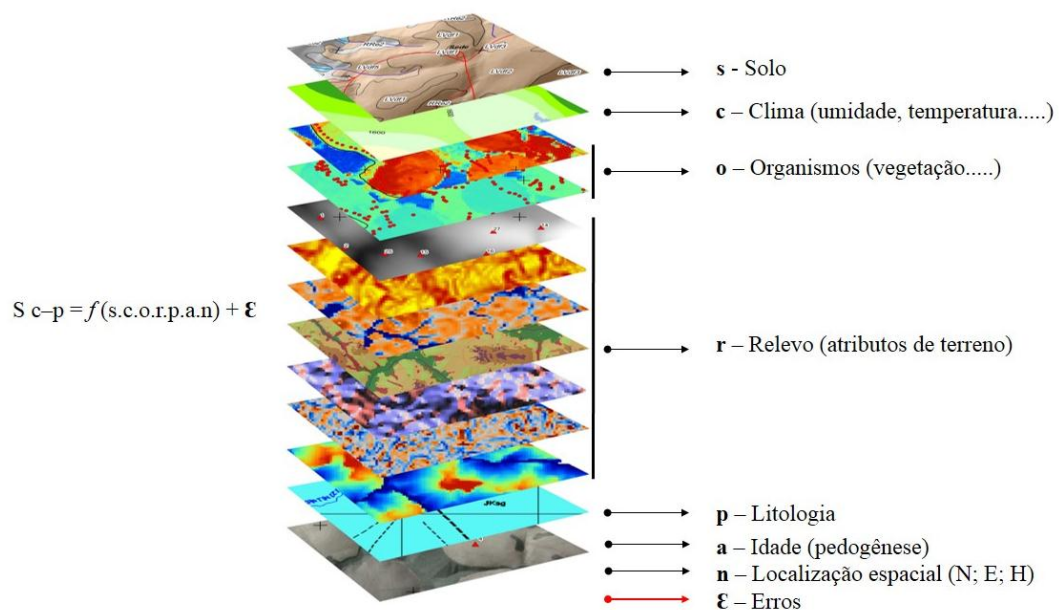
Nessa equação, o solo (S) é representado por uma função (f), em que participam as cinco variáveis descritas por Dokuchaev, sendo: o clima (cl), os organismos (o), o tempo (t), o relevo ou topografia (r) e o material de origem (p). O clima e os organismos (vegetação, fauna e atividades humanas) são considerados fatores ativos, enquanto que o material de origem (geologia) representa um fator de resistência. As reticências registradas na equação representam outros fatores não especificados na equação, abrindo a possibilidade de inserção de novas variáveis, como o manejo do solo, por exemplo. Essas cinco variáveis são usadas em pedologia para formar um “modelo mental”, considerado como o conhecimento tácito do pedólogo para determinar as classes e/ou propriedades dos solos em uma determinada área.

Partindo do mesmo raciocínio anterior e agregando os avanços tecnológicos, McBratney; Mendonça-Santos; Minasny (2003) atualizaram esse conceito e sugeriram um novo modelo denominado de SCORPAN (equação 2). O modelo SCORPAN foi concebido para “integrar dados”, atualmente com maior disponibilidade devido aos avanços tecnológicos, e trabalhar quantitativamente a equação de Hans Jenny (1941). Nesse modelo, duas novas variáveis dependentes são inseridas: o próprio solo (s) e a sua posição espacial (n). Para os autores, o solo (S_c = Classes e S_p = Propriedades) é uma função do próprio solo (s), do clima (c), dos organismos (o), do relevo ou topografia (r), do material de origem ou litologia (p), do fator tempo (a), e da posição espacial (n). O “ ϵ ” representa a estimativa de erros associados ao modelo SCORPAN (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003; ADHIKARI et al., 2014; MINASNY; McBRATNEY, 2015).

$$S_c = f(s, c, o, r, p, a, n) + \epsilon \quad S_p = f(s, c, o, r, p, a, n) + \epsilon \quad (2)$$

O modelo SCORPAN requer o conhecimento prévio das classes e/ou propriedades dos solos e necessita de dados de campo, de mapas e de relatórios de referência para cada região que está sendo estudada. Esse modelo tem sido utilizado com frequência para prever classes e/ou propriedades de solos em locais não amostrados (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003; GRUNWALD, 2009; ADHIKARI et al., 2014). A Figura 1 ilustra a equação do modelo SCORPAN com as covariáveis ambientais utilizadas no mapeamento digital de solos. Na função “*f*” podem ser utilizados modelos de regressão linear, modelos lineares generalizados, modelos aditivos generalizados, modelos de árvore de decisão (classificação ou regressão), redes neurais artificiais, sistemas de lógica *Fuzzy*, entre outros modelos de descoberta de conhecimento em banco de dados (MENDONÇA-SANTOS; ten CATEN, 2015).

Figura 1 – Fatores de formação do solo representados em geoprocessamento como covariáveis ambientais para uso em MDS (modelo SCORPAN)



Fonte: Adaptado de Mendonça-Santos e ten Caten (2015).

Apesar de representar um método quantitativo testado cientificamente, a execução desse modelo de mapeamento do solo é uma tarefa bastante complexa, na qual o pedólogo, além de possuir o domínio da gênese, da morfologia e da classificação do solo, deve desenvolver uma percepção acurada da relação do solo com o ambiente. Ao final de todo o processo, após minerar todos os dados necessários para produzir conhecimento, necessita

armazenar essas informações numa base de dados cartográficos confiável, exigindo o domínio de geotecnologias.

Campos (2012) discute a importância das relações solo-paisagem para mapear solos e enfatiza que estudos detalhados dos atributos de terreno e das classes de solos são potencialmente úteis para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos nas paisagens. Aspectos pedológicos são fortemente associados às formas de relevo e nesse sentido é imprescindível investigar as relações solo-paisagem para melhorar a percepção das relações entre as variáveis ambientais e o solo existente.

A relação solo-paisagem é válida para estreitar conhecimentos entre a pedologia e a geomorfologia. Dessa união, nasceu a geopedologia, usada como fator integrador para inferir a posição do solo na paisagem. A ideia implica na integração das geoformas e de tipos de solos considerando o uso de critérios geomorfológicos para o entendimento das relações solo-paisagem. Com respeito a estes conceitos, Zinck (2012) realizou um amplo trabalho dedicado ao estudo das relações entre geomorfologia e pedologia e vice-versa, concluindo que, entre os pesquisadores, há certo consenso que “as formas do terreno controlam a formação e a distribuição dos solos, em contrapartida, o desenvolvimento dos solos tem influência na evolução da paisagem”. Contudo, salientou que existem poucas referências, em publicações internacionais, que apresentem os procedimentos para realizar uma cartografia associando a pedologia e a geomorfologia. Esta concepção integradora embasa o presente trabalho, procurando agregar conhecimentos da geomorfologia e o uso das geoformas como atributos de terreno na predição das classes de solos.

De acordo com McBratney et al. (2000), os cientistas do solo baseavam a sua abordagem sobre a avaliação qualitativa da paisagem por meio da análise fisiográfica e/ou pela interpretação de um par de fotografias aéreas verticais. Com o avanço da tecnologia, novas técnicas em levantamento de solos vêm sendo construídas, por meio de estudos interdisciplinares que unem a Ciência do Solo às ciências da Geoinformação, Matemática e Estatística (HENGL, 2003).

Dentro dessa ótica, Brevik et al. (2015a), discutem que o desafio atual para os cientistas do solo é apresentar novas formas de expor os conhecimentos adquiridos sobre solos nos mapas, avançando além da produção agrônômica e da segurança alimentar, com contribuições ao ordenamento do território, ao planejamento ambiental, à segurança energética e hídrica, à saúde humana, entre outras funções. Essa amplitude de possibilidades abre novos caminhos para a pedologia, a partir de uma visão integradora entre diferentes áreas do conhecimento.

1.2 MAPEAMENTO DE SOLOS NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL

Os mapas representam a mais antiga forma de comunicação. Na antiguidade, serviam para indicar caminhos na coleta de alimentos, caçadas e posteriormente para o cadastro de áreas agrícolas nos primórdios das civilizações ocidentais.

Uma das primeiras representações cartográficas do território brasileiro ocorreu no início do século XVI (Brasil Colonial), ficando conhecida como planisfério de Cantino (1502). De acordo com Gaspar (2009), essa é a mais antiga carta baseada em observações astronômicas da latitude, sendo considerada uma compilação de informações cartográficas provenientes de épocas, de modelos e de origens distintos.

A primeira organização oficial de Cartografia do Brasil aconteceu em 1825, com a criação da Comissão do Império do Brasil. Em 1873, com o objetivo de mapear o país, foi instituída a Comissão da Carta Geral do Império (ARCHELA; ARCHELA, 2008). O mapeamento científico, contudo, iniciou somente no Brasil República, com a Comissão da Carta Geral do Brasil, em 1903, considerado o primeiro projeto de caráter sistemático para a Cartografia terrestre brasileira.

Historicamente, a origem de instituições de mapeamento no mundo sempre esteve relacionada ao contexto militar (LONGLEY et al., 2013). No Brasil, logo após a primeira guerra mundial (1914-1918), o estado maior do exército contratou uma missão cartográfica imperial militar Austríaca, que chegou ao Rio de Janeiro em 1920 com o objetivo de transferir conhecimentos relativos ao uso de técnicas aerofotogramétricas, para intensificar o mapeamento do território brasileiro (SILVA, 2011). Somente após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), no entanto, é que o exército brasileiro alavancou a produção de cartas topográficas com precisão, com o intuito de atender possíveis operações militares (MARTINELLI; GRAÇA, 2015). Além de servir de base para as operações militares e garantir a soberania nacional, exigindo um adequado mapeamento do território brasileiro (EVANGELISTA, 2014), o acervo cartográfico, gerado para atender esse objetivo extremamente estratégico, indiretamente auxiliou o mapeamento temático de recursos naturais, que necessitava de uma base cartográfica compatível com os levantamentos de campo e resultantes de interpretação de fotografias aéreas verticais.

O mapeamento sistemático nacional serviu de base para os levantamentos temáticos executados no século XX. A história dos levantamentos de solos no Brasil, por sua vez, acompanha a evolução da cartografia e tem origens bastante recentes. A cartografia temática como um todo e, em especial, a cartografia de solos, surgiram na esteira do desenvolvimento

da cartografia topográfica, explicam Martinelli e Graça (2015). A partir desse desenvolvimento, a pedologia também passou a dispor de um material cartográfico confiável, em diferentes escalas, para dar suporte ao mapeamento de solos.

Paralelamente ao desenvolvimento da cartografia no Brasil, iniciavam-se os primeiros estudos de solos, chamados de estudos agrológicos¹, no início da década de 30, como tentativa de minimizar o problema da seca no nordeste do Brasil (CARVALHO; NUNES; ANTUNES, 2013).

A criação da seção de Agro-Geologia do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), em 1935, é considerada, por muitos, como o principal passo para o levantamento de solos no Brasil. Os trabalhos desenvolvidos pelo IAC resultaram no lançamento, em 1943, do “Esboço-Agro-Geológico do Estado de São Paulo”, representando o primeiro mapa sistemático de solos elaborado no país (RAMOS, 2003; MENDONÇA-SANTOS; SANTOS, 2007; ESPINDOLA, 2009; CARVALHO et al., 2013).

Na década de 1940, o Brasil era predominantemente rural (o censo demográfico do IBGE da época registrava uma população urbana de 32% do total), e os mapeamentos e as pesquisas em solos ganharam impulso, em diferentes regiões brasileiras, em decorrência de uma política de incentivo à irrigação iniciada nessa época (ESPINDOLA, 2014). Mais à frente, em 1953, o governo oficializou o Programa de Levantamento em nível de Reconhecimento dos Solos Brasileiros² (CARVALHO et al., 2013). Isso só foi possível em função do intercâmbio de conhecimentos entre a comunidade científica internacional, que estava interessada na elaboração de um mapa de solos global para a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura).

O auge da cartografia sistemática (básica e temática) no Brasil aconteceu na década de 70, estendendo-se até meados da década 80 (século XX), período em que ocorreram as grandes campanhas institucionais de levantamento integrado dos recursos naturais. Estas campanhas cobriram quase todo o território brasileiro e foram executadas, principalmente, pelo projeto RADAM/RADAMBRASIL (IBGE, 1986). Foi também na segunda metade do século XX que se deu o maior crescimento da cartografia temática de solos, com o propósito de apoiar projetos de desenvolvimento agrícola no Brasil e nos países em desenvolvimento, principalmente naqueles situados em zonas intertropicais (ZINCK, 2012).

¹ O termo agrologia foi inserido na metade do século XIX, referindo-se ao estudo dos solos em relação às aplicações agrícolas (Calzolari, 2013). De acordo com Espíndola (2014), o uso do termo “agrologia” é reflexo da obra do alemão Friedrich Albert Fallou (1794-1877) na pedologia brasileira.

² Esse trabalho resultou na primeira carta dos Grandes Grupos de Solos do Brasil. Iniciou no Rio de Janeiro devido à existência de cartas geográficas na escala 1:400.000.

Essa fase produtiva de levantamento e mapeamento temático de recursos naturais encerrou em 1987, ano em que o IBGE³ publicou o volume 34 (Folha SE.24 Rio Doce) do Projeto RADAM. Na segunda metade da década de 80, o Brasil iniciou uma fase estacionária nos trabalhos de levantamento de solos, ocorrendo um período de estagnação, que gerou um “vazio cartográfico” no contexto da escala de mapeamento. A falta de investimentos em levantamentos de solos persiste e pode ser percebida nos dias atuais. Esta constatação também é válida para outras partes do mundo, nas quais os recursos financeiros para levantamento de solos diminuíram na década de 1980, trazendo prejuízos para o avanço das pesquisas nessa área (BASHER, 1997; HARTEMINK; McBRATNEY, 2008).

Em relação ao Rio Grande do Sul, o trabalho mais importante e abrangente de mapeamento temático de solos ocorreu entre as décadas de 60 e 70. Nesse período foi realizado o “Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul”, na escala de 1:750.000, configurando-se como um levantamento de reconhecimento de baixa intensidade (BRASIL, 1967; BRASIL, 1973). A execução desse trabalho foi coordenada pelo professor Raimundo Costa Lemos, que também fez parte da equipe que elaborou a Carta de Solos do Brasil, iniciada em 1953. A etapa do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do RS, que representa também uma etapa da confecção da carta de solos do Brasil, iniciou em 1961 na região do planalto rio-grandense, culminando com a publicação do mapa geral do Estado do Rio Grande do Sul em 1973, também na escala 1:750.000 (BRASIL, 1967; BRASIL, 1973).

Até a segunda metade da década de 90, os mapas de solos produzidos em várias partes do mundo foram elaborados pelo método de mapeamento convencional (baseado na fotointerpretação e delineamento de unidades de mapeamento de solos) e publicados em meio analógico (HENGL, 2003; HARTEMINK; KRASILNIKOV; BOCKHEIM, 2013; LIMA et al., 2013).

No Brasil, alguns desses mapas foram convertidos para meio digital, pelo processo de vetorização. Essa conversão teve por objetivo permitir o uso desses mapas como base de dados, topologicamente estruturada, em SIG (Sistema de Informações Geográficas) e também para facilitar as atualizações de legenda, tendo em vista as novas edições do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS).

Em boa parte desse período de transição entre o analógico e o digital, as instituições de levantamento de solos dedicaram seu tempo para a conversão dos mapas de solos em papel

³ Em 1985, o projeto RADAMBRASIL foi extinto e incorporado à Fundação IBGE.

(mapas de traço) para mídia digital, pelo processo de digitalização manual. Segundo Rossiter (2004), a utilização de métodos automatizados para mapeamento de solos, no contexto do MDS, ficou restrita à pesquisa científica em vários países. No Brasil, esta constatação é válida até hoje, já que o MDS começou a se popularizar a partir de 2006 com as primeiras publicações de artigos científicos (GIASSON et al., 2006) e até o momento não se tem constatado a disponibilização de mapas oficiais (mapas de classes), validados, produzidos integralmente com técnicas de MDS.

Por sua vez, o processo de conversão dos mapas de traço resultou na publicação, em mídia digital, do mapa de solos do Rio Grande do Sul, nas cartas do mapeamento sistemático 1:250.000, por meio de convênio firmado entre a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Rio Grande do Sul e o IBGE, Divisão de Geociências do Sul – DIGEO/SUL (SAA/IBGE, 2003). A carta original desse projeto foi elaborada pelo RADAMBRASIL com base na interpretação de mosaicos semicontrolados de imagens de radar e apoio de campo. A compatibilização intertemática das unidades de mapeamento foi executada entre 1998 e 2000, com apoio das imagens de radar e de atividade de campo expedita.

Em termos nacionais, a cartografia digital de solos é ainda mais deficitária, visto que o único mapa global de solos do Brasil foi publicado somente em 2011 e apenas na escala 1:5.000.000. A legenda desse mapa foi atualizada com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006), e é uma compilação dos mapas de solos do Brasil produzidos pela EMBRAPA (1981), IBGE/EMBRAPA (2001) e SAA/IBGE (2003).

De acordo com Santos H. et al. (2013), as informações pedológicas existentes no Brasil estão dispersas, na sua grande maioria não estão validadas, e encontram-se arquivadas em acervos de instituições públicas e privadas espalhadas pelo país. Não existem levantamentos semidetalhados, detalhados ou ultradetalhados que supram as demandas por informações de solos no Brasil. Com abrangência nacional, como dito, tem-se apenas o mapa de solos na escala 1:5.000.000, que é uma escala extremamente pequena e muito aquém das necessidades atuais de planejamento de uso dos solos (DALMOLIN et al., 2004; SANTOS H. et al., 2013).

Em artigo publicado recentemente, Streck; Dalmolin; Flores (2014) analisam a utilidade social dos mapas de solos produzidos no Brasil e mais especificamente no Estado do Rio Grande do Sul. Os autores questionam se os mapas de solos, produzidos até o momento, atendem às necessidades da sociedade e sugerem a produção de mapas de solos mais interativos e atraentes que possam ser consultados no campo de diferentes formas.

No entendimento de Brevik et al. (2015b), apesar de todos os avanços tecnológicos ocorridos desde o início do século XIX, que ajudaram na compreensão do sistema solo, existem ainda muitas respostas para apresentar à sociedade no que diz respeito à representação eficiente desse recurso natural. Atualmente, os cientistas do solo estão direcionando esforços para agregar os avanços tecnológicos ao mapeamento de solo, buscando utilizar novos dados e novas técnicas de modelagem pedológica para avançar no mapeamento digital de solos e reduzir esse déficit existente.

Sob essa ótica, a aplicação de geotecnologias para a produção de mapas de solos apresenta-se como uma possibilidade para reduzir essa carência e seu uso tem crescido nos últimos anos (LAGACHERIE; McBRATNEY, 2007; FLORES et al., 2012; SANTOS H. et al., 2013; ten CATEN; DALMOLIN, 2014). Para Dalmolin e ten Caten (2015), o desafio para a pedologia está na integração dessas abordagens, complementares, para a geração de informação espacial em solos.

1.3 MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS – MDS

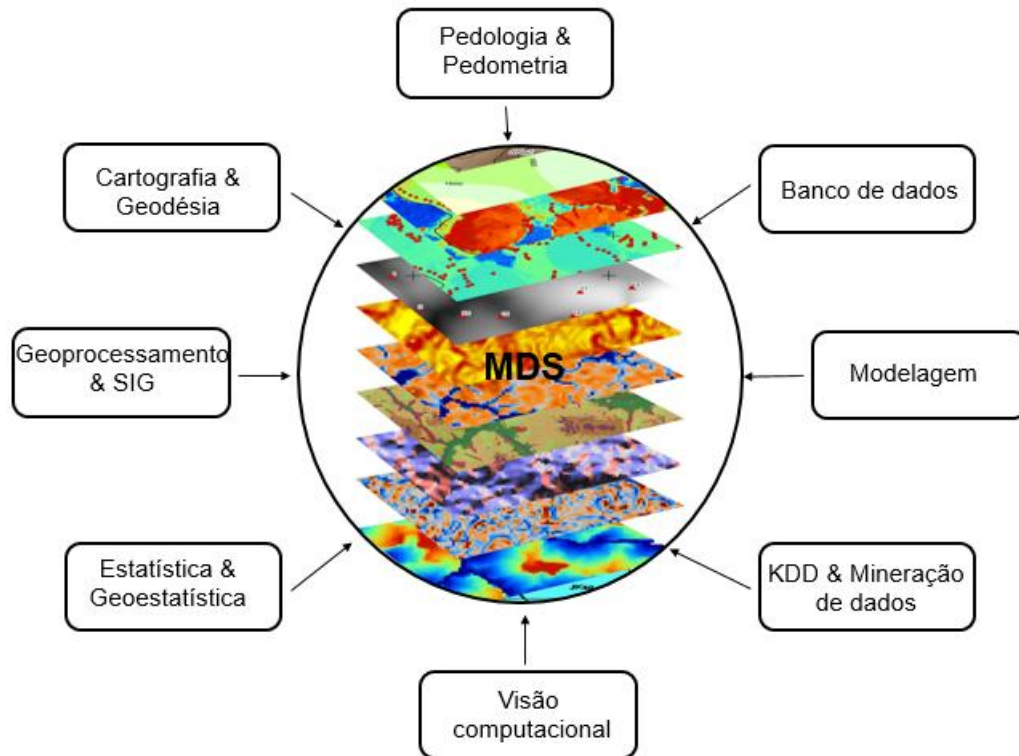
O conceito clássico de mapeamento digital de solos foi instituído por Lagacherie e McBratney em 2007 como “criação e alimentação de sistemas espaciais de informações de solos por meio do uso de métodos observacionais de campo e de laboratório acoplados com sistemas de inferência espaciais e não espaciais”.

O MDS tem como princípio o uso de técnicas quantitativas, conhecidas como pedometria, em substituição ao uso das técnicas qualitativas, para predição espacial. O emprego conceitual do termo pedometria é recente e foi formalmente proposto por Webster (1994). Na concepção do autor, o termo pedometria é um neologismo derivado do Grego: *pedos*, solo e *metron*, medida. Já a comissão de pedometria da União Internacional de Ciência do Solo define o termo como a “aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para a modelagem quantitativa de solos, com o objetivo de analisar sua distribuição, propriedades e comportamentos”.

A pedometria une a ciência do solo, o geoprocessamento, a matemática e a estatística, incorporando técnicas de estatística espacial, de cartografia do solo e de métodos quantitativos, permitindo também caracterizar a variabilidade espacial do solo. Seu uso possibilita estabelecer relações numéricas entre classes e ou propriedades de solos e suas variáveis preditoras para o estudo da distribuição e gênese de solos na paisagem (McBRATNEY et al., 2000; McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003;

LAGACHERIE; McBRATNEY, 2007; GRUNWALD, 2009). Ilustrando essas premissas, a Figura 2 apresenta as informações que podem ser necessárias para o MDS de classes ou propriedades de solos.

Figura 2 – Principais ramos do conhecimento vinculados ao desenvolvimento do MDS

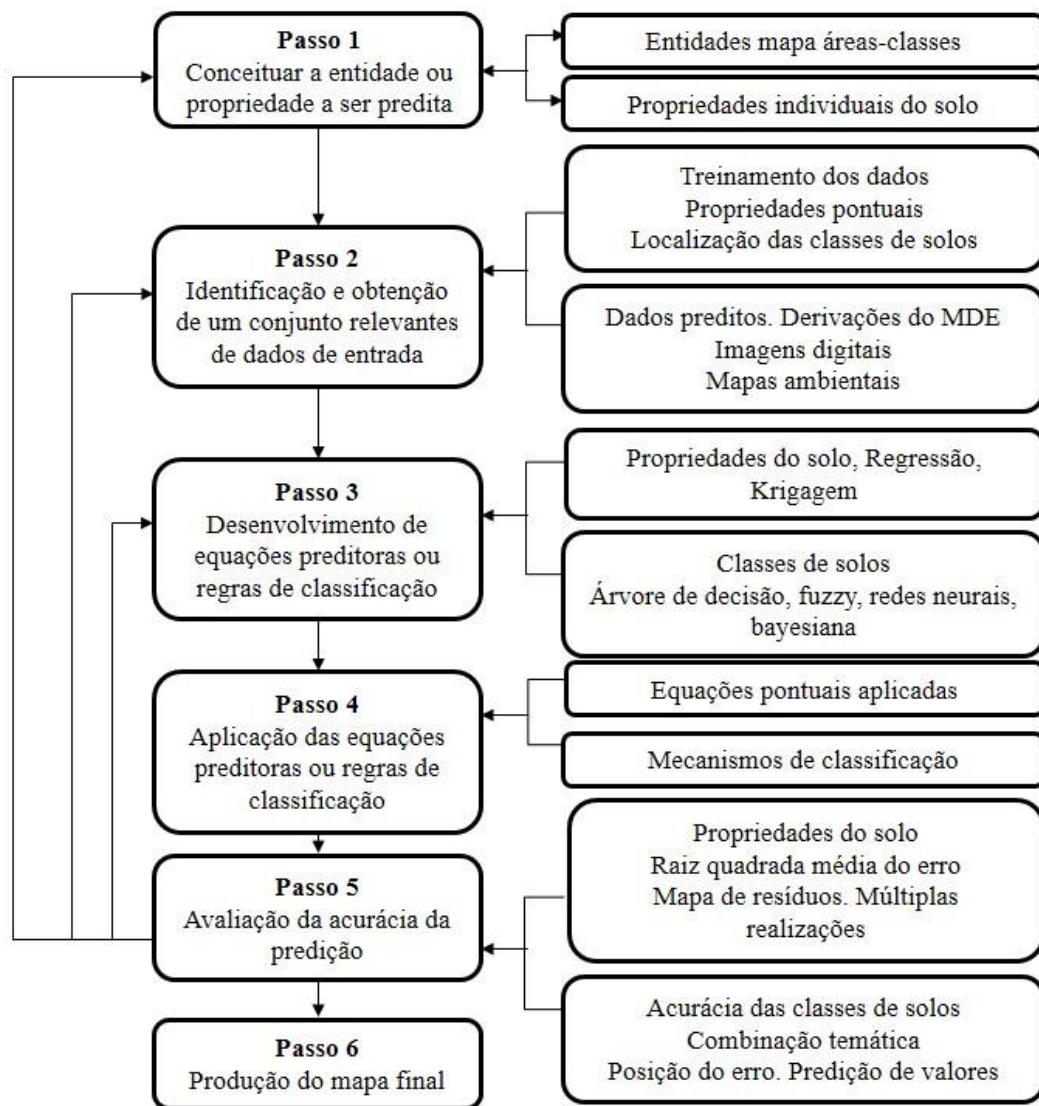


Pesquisadores como ten Caten et al. (2012), Cavazzi et al. (2013) e Hartemink e Minasny (2014) destacam que o MDS está construindo uma nova identidade para pedologia, colocando-a na era digital e assumindo um enfoque pedométrico (HENGL, 2003). Com igual ênfase, Dalmolin e ten Caten (2015) salientam que a produção de mapas de classes e atributos, com maior nível de detalhamento e em tempo relativamente curto, só será possível com a utilização de geotecnologias combinadas com dados coletados no campo.

A confecção de um MDS, conforme MacMillan (2008) pressupõe seis passos essenciais (Figura 3). O passo inicial consiste em conceituar a entidade ou propriedade a ser predita, isto é, definir se o mapeamento preditivo será de classes ou de propriedades de solos. O segundo passo implica na geração ou obtenção de dados de predição (variáveis ambientais) e dados de referência (dados legados ou dados de campo). O terceiro passo trata do desenvolvimento de equações predictoras, utilizando algoritmos de classificação com as

covariáveis selecionadas na fase anterior. O passo seguinte refere-se à aplicação das equações preditoras ou regras de classificação que possibilitam a predição de classes de solos em áreas de interesse não visitadas. A avaliação da acurácia da predição é o objetivo do quinto passo, que deve ser implementado em todos os levantamentos temáticos. Neste passo, são aferidas as discordâncias entre os dados de comparação e os dados de referência, possibilitando aos produtores e aos usuários conhecerem as incertezas associadas a essas informações. Por fim, o último passo trata da confecção dos mapas de solos balizados pelas normas de representação cartográfica vigente.

Figura 3 – Passos empregados para a predição de mapas de solos em MDS

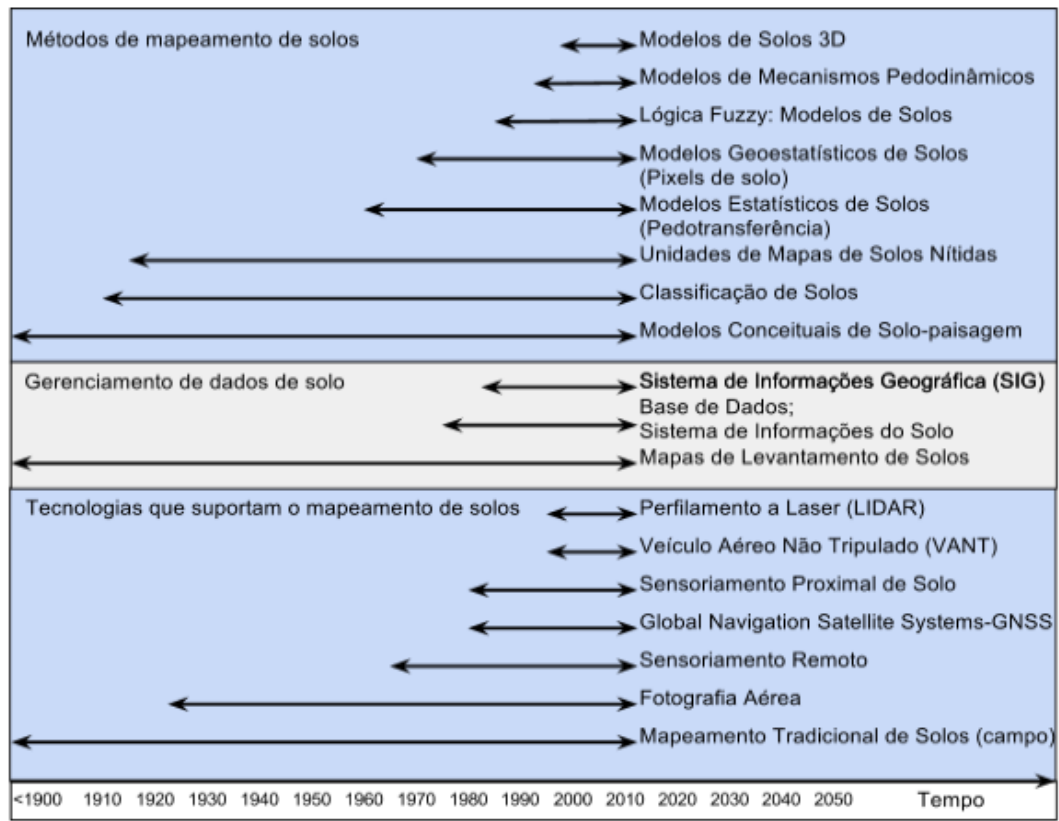


Fonte: Traduzido de MacMillan (2008).

A evolução tecnológica ao longo do tempo, que vem dando suporte ao mapeamento de solos, foi sistematizada de forma bastante elucidativa por Grunwald; Thompson; Boettinger (2011), como ilustra a Figura 4. Fundamentalmente, o progresso alcançado no mapeamento de solos executado com geotecnologias, aliado ao uso de sistemas de informação geográfica, vem permitindo a obtenção de dados de forma mais eficiente, contribuindo de maneira significativa ao avanço do conhecimento da pedologia. Tal avanço avaliam os autores, tem desafiado os cientistas do solo a ampliar o leque de conhecimento em outras áreas para aprofundar análises quantitativas na busca de resultados consistentes baseados em processos metodológicos especializados.

Em consonância com essa ótica, é importante lembrar que as novas tecnologias que dão suporte ao mapeamento de solos - como GNSS, sensoriamento proximal e remoto, VANT (Veículo Aéreo não Tripulado), LIDAR (*Light Detection And Ranging*), MLS (*Mobile Laser Scanner*), radar de penetração no solo (GPR - *Ground-penetrating radar*), entre outros –, assim como o gerenciamento de dados com SIG apoiados em métodos estatísticos e geoestatísticos têm aumentado a capacidade de coletar, analisar e prever informações espaciais relacionadas a solos.

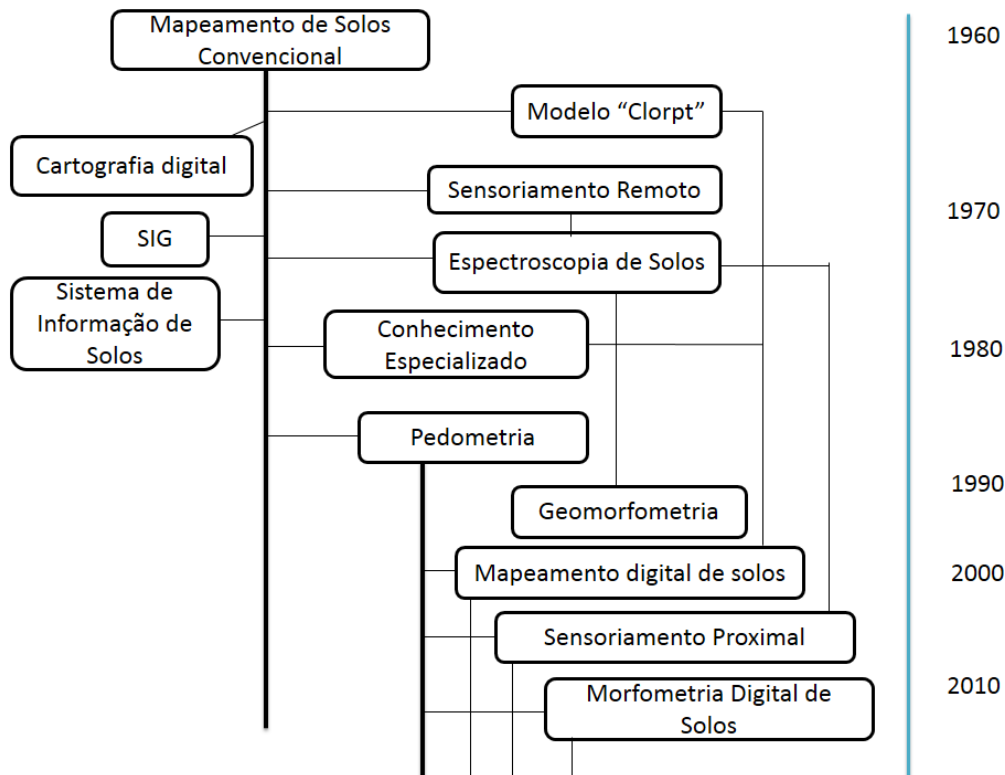
Figura 4 – Evoluções tecnológicas que dão suporte ao mapeamento de solos



Fonte: Adaptado de Grunwald; Thompson; Boettinger (2011).

Dentro desta mesma abordagem, Minasny e McBratney (2015) expõem que o mapeamento digital do solo é resultante da confluência de diversos fatores: a disponibilidade de dados digitais espaciais, os computadores com capacidade de processar grandes volumes de dados, o desenvolvimento de ferramentas de mineração de dados e os sistemas de informações geográficas, entre outros (Figura 5). Na figura, o mapeamento convencional de solos e a pedometria estruturam os dois eixos principais, a partir dos quais se inserem as disciplinas relacionadas ao mapeamento de solos e a evolução deste ao longo das últimas décadas, até o desenvolvimento do conceito de mapeamento digital de solos.

Figura 5 – História e convergência de disciplinas relacionadas com o MDS



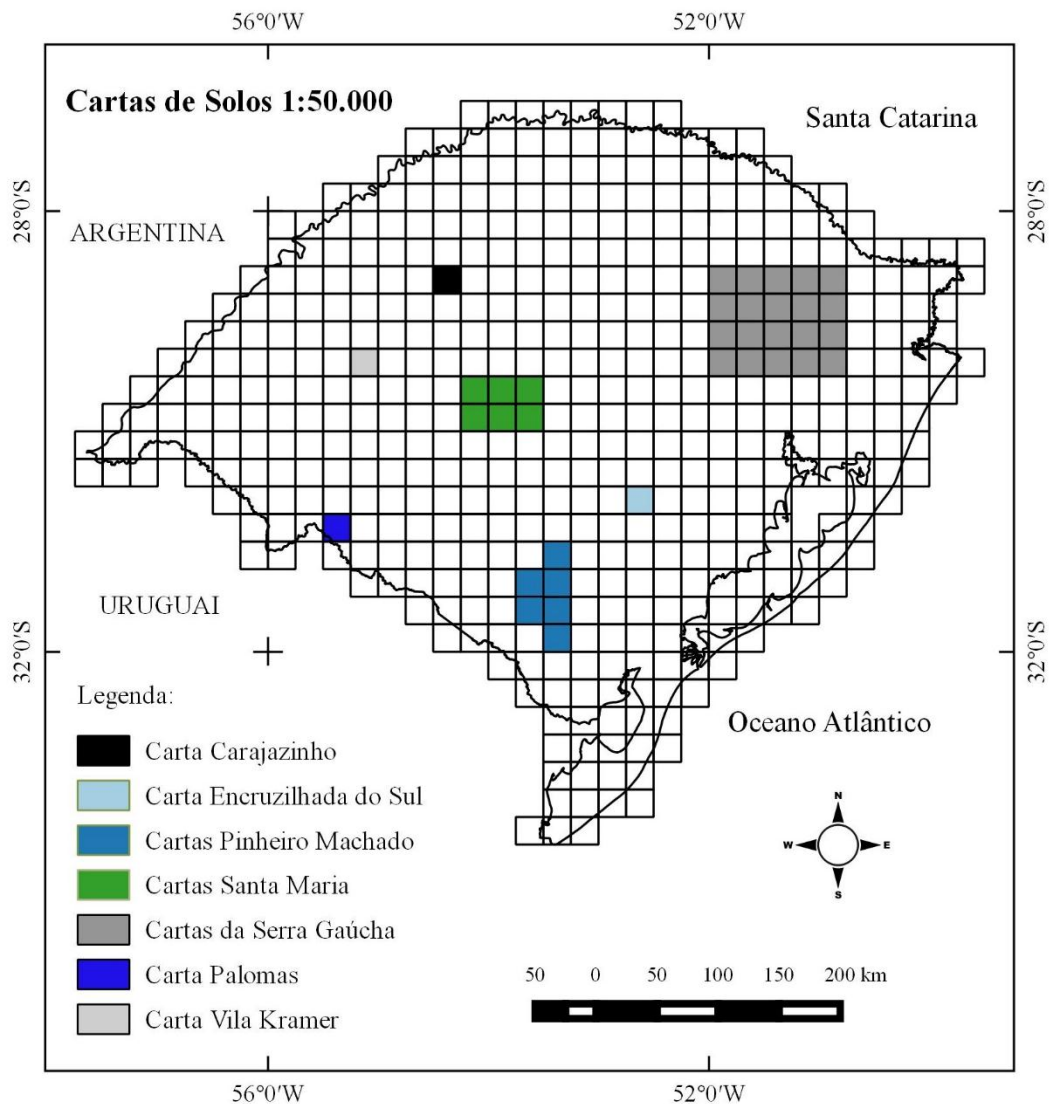
Fonte: Adaptado de Minasny e McBratney (2015).

Apesar do cenário tecnológico positivo atual para o mapeamento de solos, o acervo de mapas oficiais de solos não tem apresentado crescimento importante. Em virtude disso, a intenção das pesquisas recentes em mapeamento de solo tem sido a de contribuir para mudar esse panorama, em resposta à crescente demanda por dados dessa natureza, que exigem níveis de levantamentos e acurácia cada vez mais elevados e coerentes com as distintas aplicações a que se destinam (KLAMT et al., 2000; MENDONÇA-SANTOS; SANTOS, 2003; McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003; DALMOLIN et al., 2004; EMBRAPA, 2008; BAZAGLIA FILHO, 2012). Como exemplo de aplicações prementes de mapas de solos, demandadas tanto por áreas rurais como por áreas urbanas, têm-se os projetos executivos de agricultura de precisão, a contenção de encostas, o planejamento de áreas urbanas, os projetos de irrigação e drenagem, entre outras.

Em atenção a essas demandas, Flores et al. (2012) vêm trabalhando em um método de mapeamento de solos, que utiliza geotecnologias e sistemas de informações geográficas para mapeamento de classes de solos. Com o uso dessa metodologia, o autor realizou estudos em quatro regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 6). O método desenvolvido pressupõe a utilização das cartas do levantamento sistemático nacional na escala

1:50.000 para gerar conhecimentos de solos nas diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul, permitindo um entendimento aprofundado de cada região e servindo como fonte de informação e subsídio à calibração de modelos de predição, que poderão ser estendidos para áreas geográficas similares.

Figura 6 – Localização das cartas de solos do Rio Grande do Sul produzidas na escala 1:50.000 do mapeamento sistemático nacional



A necessidade do desenvolvimento de estudos de modelagem do solo e de suas características em locais/regiões modais, como forma de compreender sua relação com o ambiente, é uma questão importante que se apresenta para os pesquisadores (GRUNWALD, 2009). Como resultado, os modelos de correlação ambiental gerados poderão ser utilizados no MDS de áreas mais extensas, depois de testados e validados.

Abordando o estado da arte do MDS, Lagacherie (2008) sintetizou os dois principais desafios que o MDS terá que enfrentar nos próximos anos: o aumento das escalas espaciais (resoluções) e a necessidade de apresentar uma informação relevante do solo para sociedade.

Outro aspecto que requer análise está relacionado ao alto custo para obtenção de dados de solos. Para McBratney; Mendonça-Santos; Minasny (2003), o elevado custo e a demanda de tempo requerida para a realização dos levantamentos convencionais, configura-se como uma das razões do pouco conhecimento sobre a variabilidade dos atributos do solo.

Brevik et al. (2016), analisando as necessidades futuras e perspectivas históricas da classificação, mapeamento e modelagem pedológica, destacaram que os trabalhos futuros necessitam tratar da qualidade dos dados e reduzir incertezas que influenciam nos resultados. Nessa linha, Dalmolin e ten Caten (2015) fazem uma abordagem sobre a importância dos levantamentos de solos dentro de um novo paradigma, denominado Mapeamento Digital de Solos (MDS). Entre os aspectos enfatizados por Dalmolin e ten Caten (2015), destaca-se a possibilidade do MDS em ser o grande aliado para o aprofundamento do conhecimento sobre as relações solo-paisagem.

1.3.1 Técnicas utilizadas no mapeamento digital de solos brasileiro

Em uma ampla revisão sobre MDS no Brasil, ten Caten et al. (2012) observaram que as principais técnicas empregadas nos estudos realizados até o ano de 2011 foram: regressões logísticas múltiplas (GIASSON et al., 2006; FIGUEIREDO et al., 2008; COELHO; GIASSON, 2010; ten CATEN et al., 2011); árvore de decisão (CRIVELENTI et al., 2009; COELHO; GIASSON, 2010; GIASSON et al., 2011); classificação Bayes (COELHO; GIASSON, 2010); classificação hierárquica (COELHO; GIASSON, 2010); redes neurais (CHAGAS et al., 2010; CARVALHO JUNIOR et al., 2011) e lógica nebulosa (CARVALHO et al., 2009). Os autores concluíram que, entre as funções preditivas utilizadas, predominou o emprego da técnica de regressões logísticas e que o fator de formação relevo foi empregado na totalidade dos estudos revisados.

Nesse sentido, foi realizada uma atualização (Tabela 1) dos trabalhos de MDS até a presente data, adotando os mesmos critérios de ten Caten et al. (2012). A partir de 2009, o emprego de árvores de decisão (árvore de classificação) para a construção de modelos de predição de classes de solos começou a ser estudado no Brasil. Nos anos seguintes, seu emprego foi intensificado, passando a produzir resultados com êxito. O emprego dos algoritmos de classificação J48 e SimpleCart foi verificado em grande parte dos trabalhos.

Tabela 1 – Informações descritivas de estudos em mapeamento digital de classes de solos realizados no Brasil a partir de 2006

Estudos	Modelos	Fatores SCORPAN	Atributos usados	Locais	(continua)	
					Escalas Res.	Área (km ²)
Arruda et al. (2016)	RNA	r, p, s	ele, dec, pla, per, icv, geo, sge	Barra Bonita (SP)	AR 1:10.000	110,72
Silva et al. (2016)	ADE	r, s	dec, twi, per, pla, vdd, ana, asp, val, swi, mrv, mrr	Nazareno (MG)	1:12.500	4,85
Bagatini; Giasson; Teske (2015)	ADE	r, s	ele, dec, cur, com, acu, twi, deh	Bacia hidrografica do rio Santo Cristo e lageado Grande (RS)	1:50.000	898 532
Giasson et al. (2015)	ADE	r, s	dec, pla, per, dir, twi, dir, acu	Bacia hidrografica do rio Santo Cristo (RS)	1:50.000	898
Teske; Giasson; Bagatini (2015)	ADE	r, s	ele, dec, dir, acu, com, twi, cur, dis	Bacia hidrografica do rio Santo Cristo S)	1:50.000	898
Braz et al. (2014)	RNA	r, o, p, s	ele, dec, asp, cur, pla, per, twi, fls, rad, ndv, cmi, ioi, geo	Região serrana do Rio de Janeiro (RJ)	1:50.000	484,69
Teske et al. (2014)	ADE	r, s	ele, dec, cur, per, pla, dir, com, acu, asp, twi, icv, ipt, dis	Dois Irmãos (RS)	1:20.000	68,5
Höfig; Giasson; Vendrame (2014)	ADE	r, p, s	ele, dec, cur, asp, dis, dir, acu, com, twi	Sentinela do Sul (RS) e Cerro Grande do Sul (RS)	1:50.000	281,96 324,74
Silva et al. (2013)	ADE	r, p, s	pla, per, dec, dis, ele, dir, cti, geo	Folha Botucatu SF.22-Z-B-VI-3	1:50.000	710
Giasson et al. (2013)	ADE	r, s	ele, dec, pla, acu, twi, dis, cfm, cfj	Bacia hidrográfica do Lageado Grande (RS)	1:50.000	532
Chagas et al. (2013)	RNA MAX	r, o, s	ele, dec, asp, pla, cti, ndv, cmi, ioi	Bacia hidrográfica do Rio São Domingos (RJ)	1:50.000	100
Bazaglia Filho et al. (2013)	NEB	r, s	ele, dec, pla, per, fls, acu	Mumbuca (SP)	-----	1,82
Arruda; Demattê; Chagas (2013)	RNA	r, p, s	ele, dec, per, pla, icv, geo, sge	Barra Bonita (SP)	1:50.000	120
ten Caten et al. (2013)	ADE	r, o, s	ele, dec, twi, dis, pla, per, sed, tri, ndv	Erechim (RS)	1:50.000	889,33
Sarmiento et al. (2012)	ADE NEU NEB	r, s	ele, dec, asp, per, acu, dir, dis	Serra gaúcha (RS)	1:10.000	6,73
ten Caten et al. (2012)	ADE	r, o, s	ele, dec, twi, per, pla, sed, tri	São Pedro do Sul (RS)	1:50.000	874
Carvalho Junior et al. (2011)	NEU	r, s	ele, dec, pla, per, cur, asp, acu, dir, elr, deh	Extremo norte do Estado do Rio de Janeiro (RJ)	1:250.000	164,7
Giasson et al. (2011)	ADE	r, s	dec, pla, per, twi, cur, dir, acu, com, pod	Bento Gonçalves (RS)	1:10.000	6,14
ten Caten et al. (2011a)	REG	r, c, s	ele, dec, pla, per, dis, con, twi, sed, rad	São Pedro do Sul (RS)	1:50.000	874
ten Caten et al. (2011b)	REG	r, c, s	ele, dec, pla, per, dis, con, twi, sed, rad	São Pedro do Sul (RS)	1:50.000	874
ten Caten et al. (2011c)	REG	r, c, s	ele, dec, pla, per, dis, con, twi, sed, rad	São Pedro do Sul (RS)	1:50.000	874
Chagas et al. (2010)	NEU	r, p, o, s	ele, dec, pla, twi, asp, geo, cmi, ioi, ndv	Bacia hidrográfica do Rio São Domingos (RJ)	1:100.000 a 1:50.000	9,9
Coelho e Giasson (2010)	REG, ADE, BAY, CAR, LMT	r, s	dec, pla, per, twi, cur, dir, acu	Ijuí, Bozano e Coronel Barros (RS)	1:50.000	1.018

Estudos	Modelos	Fatores SCORPAN	Atributos usados	Locais	(conclusão)	
					Escalas Res.	Área (km ²)
Crivelenti et al. (2009)	ADE	r, p, s	dec, pla, per, dis, con, geo	Carta topográfica Dois Córregos (SP)	1:100.000	772
Carvalho; Rocha; Ucha (2009)	NEB	r, p, o, s	ele, dec, geo, veg	Mucugê (BA)	1:50.000	382,2
Figueiredo et al. (2008)	REG	r, s	dec, pla, per, dis, twi, dir, acu, com	Ibirubá e Quinze de Novembro (RS)	1:80.000	720
Giasson et al. (2006)	REG	r, s	dec, pla, per, twi, cur, dir, acu, com, pod	Sentinela do Sul (RS)	1:50.000	253

AR: área de referência, **REG:** regressões logísticas múltiplas, **ADE:** árvore de decisão, **BAY:** classificação Bayes, **CAR:** classificação hierárquica **CART**, **LMT:** classificação hierárquica **LMT**, **NEU:** redes neurais, **NEB:** lógica nebulosa, **RNA:** redes neurais artificiais, **GEO:** Geoestatística, **MAX:** máxima verossimilhança (MAXVER). **r:** relevo, **c:** clima, **s:** solo, **p:** material de origem, **o:** organismos, **t:** tempo. **ele:** elevação, **dec:** declividade, **pla:** curvatura planar, **per:** curvatura de perfil, **dis:** distância da hidrografia, **con:** área de contribuição, **sed:** capacidade de transporte de sedimento, **cur:** curvaturas combinadas, **dir:** direção de fluxo, **acu:** fluxo acumulado, **com:** comprimento de fluxo, **cfm:** comprimento de fluxo a montante (*upstream*), **cfj:** comprimento de fluxo a jusante (*downstream*), **pod:** índice de poder de córrego, **val:** profundidade do vale, **asp:** orientação de vertentes, **ana:** *analytical hillshading*, **veg:** vegetação, **rad:** radiação relativa disponível, **elr:** elevação relativa, **deh:** distância euclidiana à hidrografia, **icv:** índice de convergência topográfica, **ipt:** índice de posição topográfica, **sge:** superfície geomórfica, **twi:** índice de umidade topográfica, **swi:** índice de umidade Saga, **cti:** índice de umidade (índice topográfico combinado), **fls:** fator LS, **tri:** índice de rugosidade do terreno, **geo:** geologia, **gem:** geomorfologia, **uso:** mapa de uso e cobertura do solo, **vdd:** distância vertical à drenagem, **mrvt:** *multiresolution index of valley bottom flatness*, **mrrt:** *multiresolution index of ridge top flatness*. **(SR) ndv:** NDVI, **cmi:** *clay minerals index*, **ioi:** *Iron oxide index*. **Obs.:** A árvore de decisão (AD) é também conhecida como “**árvore de classificação**” (quando a AD é usada em trabalhos de predição categórica) e “**árvore de regressão**” (quando a AD é usada em trabalhos de predição numérica).

Fonte: Adaptado de ten Caten et al. (2012) e atualizado.

Na Tabela 1 também são mostrados os principais atributos de terreno que foram utilizados nestes trabalhos. De fato, levantamentos de solos têm sua base no paradigma da relação solo-paisagem (HUDSON, 1992) e, assim, também em MDS os atributos de terreno são os preditores mais amplamente utilizados (BEHRENS et al., 2010; HÖFIG; GIASSON; VENDRAME, 2014; SARMENTO, 2015). Também chamadas de covariáveis ambientais preditoras do relevo, essas informações são as que possuem maior peso para identificar e descrever a ocorrência e distribuição espacial dos solos na paisagem, o que confirma a afirmação de Lepsch (2011): “paisagens são usadas para mapear solos”.

Na revisão dos estudos, foi possível identificar os atributos de terreno mais utilizados como preditores no treinamento dos modelos utilizados em MDS de classes no Brasil: declividade (dec), elevação (ele), curvatura planar (pla), curvatura de perfil (per), índice de umidade topográfica (twi), distância da hidrografia (dis), fluxo acumulado (acu), direção de fluxo (dir), curvaturas combinadas (cur) e a orientação de vertentes (asp). Por fim, merece destaque ainda o uso da escala 1:50.000 como a mais frequente devido à disponibilidade de base cartográfica compatível com o nível de levantamento semidetalhado.

O uso de AR para a predição de classes de solos em áreas com similaridade geográfica, utilizando técnicas de mineração de dados, também foi levantado na atualização

da Tabela, aparecendo nos trabalhos de ten Caten et al. (2011c), Villela (2013), Arruda; Demattê; Chagas (2013), Silva et al. (2016) e Arruda et al. (2016). Foi possível perceber, nos estudos apresentados, que não há um padrão de comportamento considerando o tamanho da AR em relação à AT de extrapolação e a acurácia do MDS.

Silva et al. (2016) encontraram bons valores de acurácia (EG 70,97% e índice Kappa 0,55) utilizando uma relação AR/AT de apenas 0,27%, para extrapolar classes de solos em uma área de relevo ondulado.

No trabalho de Arruda et al. (2016) foi utilizada uma AR de 500 ha, planejada no centro da área de estudo (mapa de solos na escala 1:10.000), com o objetivo de obter um mapa digital de solos utilizando redes neurais artificiais (RNA) e variáveis ambientais que expressaram a relação solo-paisagem para uma área de 110,72 km². O trabalho foi realizado em uma região de relevo ondulado, gerando valores elevados de EG de 83,7% e índice Kappa de 0,80.

O estudo desenvolvido por Arruda; Demattê; Chagas (2013), com cinco ARs (total de 12 km²), selecionadas por agrupamento, para extrapolar as relações solo-paisagem para uma área de 120 km², obteve uma EG de 77,5% e a um índice Kappa de 0,74.

Villela (2013), por sua vez, executou um levantamento pedológico convencional de uma área com 80 km², em nível de detalhe, e a utilizou como AR para a ampliação do mapa, com técnicas de MDS para uma área de 730 km² com redução de escala e agrupamento de legenda. Foram desenvolvidas quatro cartas MDS, sendo duas treinadas por modelos baseados no modelo conceitual do pedólogo sobre a região em estudo, e duas treinadas por modelos baseados em análise estatística de informações sobre a área de referência. O autor observou que as técnicas mostraram-se eficientes para predição de UM na região de estudo, com EG variando entre 74,62% a 88,81% e índice Kappa entre 0,68 e 0,85. ten Caten et al. (2011), em trabalho realizado com condições heterogêneas de relevo, utilizaram uma AR de 143 km² para extrapolação das relações solo-paisagem em uma área de 874 km² e obtiveram uma EG de 61,79% e índice Kappa de 0,46.

O melhor desempenho entre a qualidade (EG e Kappa) foi observado no trabalho de Villela (2013), que registrou bons índices de qualidade em um relevo plano e com a AR equivalendo a 11% da AT, valores muito próximos aos obtidos por Arruda; Demattê; Chagas (2013) e Arruda et al. (2016). A análise dos trabalhos não permitiu identificar quais as variáveis responsáveis pelos diferentes resultados apresentados nos estudos. Assim, apesar dos valores de Kappa serem considerados, no mínimo, satisfatórios, não foi possível estabelecer uma relação conclusiva a cerca do tamanho da AR em relação à AT a partir dos trabalhos pesquisados.

As informações obtidas apontam para a necessidade de mais pesquisas abordando temas como: área de abrangência ideal para compor uma AR considerando diferentes configurações de relevo, posicionamento da AR em relação à área a ser extrapolada e estratégias de obtenção da base cartográfica e do mapa de solos da AR em locais com limitação de dados de solos.

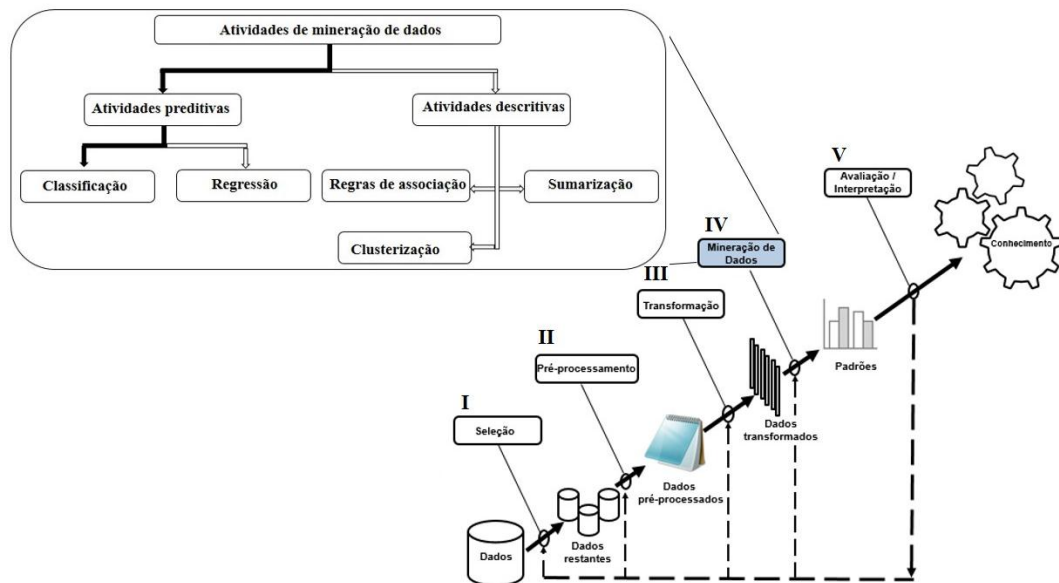
1.3.2 Mineração de dados

Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados (Knowledge Discovery in Database - *KDD*) pode ser definida como “um processo não trivial de identificar, em dados, padrões que sejam válidos, previamente desconhecidos, potencialmente úteis e compreensíveis, visando melhorar o entendimento de um problema ou processo de tomada de decisão” (FAYYAD et al., 1996).

O termo KDD foi cunhado em 1989 por Gregory Piatetsky-Shapiro e surgiu devido ao aumento na disponibilidade de dados armazenados em computadores e a necessidade de transformar esses dados em informações úteis e em conhecimento nas mais variadas áreas. A década de 90 foi o divisor de águas para o desenvolvimento de ferramentas de mineração de dados devido ao momento tecnológico vivido na época e sua importância ganha espaço cada vez mais nos dias atuais. Para Piatetsky-Shapiro (2007), “enquanto o mundo continuar a produzir dados de todos os tipos (incluindo texto, páginas web, imagens, sons, etc.) a um ritmo cada vez maior, a demanda por mineração de dados vai continuar a crescer”.

O processo de KDD é interativo e iterativo, envolvendo vários passos, com muitas decisões feitas pelo utilizador (FAYYAD et al., 1996). Suas fases (Figura 7) envolvem, em essência: (I) seleção; (II) pré-processamento; (III) transformação; (IV) mineração de dados e (V) avaliação e interpretação (pós-processamento).

Figura 7 – Fases do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (KDD) e atividades aplicadas pela fase de mineração de dados



Fonte: Adaptado de Fayyad et al. (1996).

De acordo com Han; Kamber; Pei (2012), grande parte do tempo gasto na KDD – cerca de 80% - acontece nas fases de I a III, com as tarefas de seleção de atributos, limpeza dos dados, discretização, binarização, construção de atributos e transformação de variáveis para adequá-las aos algoritmos que serão utilizados na fase seguinte. Dentre todas essas fases, no entanto, a fase de mineração de dados (do inglês *Data Mining*⁴), é considerada o “cerne” da KDD, uma vez que utiliza algoritmos (sistemas de aprendizagem de máquina) para obter conhecimento, que são informações obtidas por meio de análise da base de dados selecionada. Nesse processo essencial, técnicas de inteligência computacional são utilizadas para extração de padrões de dados de forma automática.

Sob esta ótica, Fayyad et al. (1996), avalia a mineração de dados como “um passo no processo de descoberta de conhecimento que consiste na realização da análise dos dados e na aplicação de algoritmos de descoberta que, sob certas limitações computacionais, produzem um conjunto de padrões de certos dados.”

A escolha da técnica de mineração de dados é, deste modo, um ponto de importância extrema dentro do MDS e depende, muitas vezes, da tarefa de KDD a ser realizada (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005). Se a atividade for preditiva, isto é, se os dados serão trabalhados para construir modelos com funções preditivas a fim de obter novos dados,

⁴ É comum alguns autores usarem KDD e mineração de dados (MD) como sinônimos, mas a MD é considerada uma fase do processo de KDD (Fayyad et al., 1996; Han; Kamber; Pei, 2012).

poderão ser utilizadas árvores de classificação ou de regressão. Nos casos em que a atividade de mineração de dados for descritiva, ocupando-se em encontrar padrões que apresentem os dados de maneira que possam ser interpretados pelo usuário, serão utilizadas regras de associação, sumarização ou clusterização.

As técnicas de classificação (de aprendizagem supervisionadas e não-supervisionadas) são usadas para prever valores de variáveis do tipo categóricas (resultados discretos). A classificação é um processo de aprendizagem que tem por objetivo encontrar um modelo (ou função) que descreve e distingue classes de dados ou conceitos. O modelo é derivado a partir da análise de um conjunto de dados de treinamento (contém elementos de referência conhecidos), sendo usado para prever a classe de elementos desconhecidos e esses elementos não foram utilizados na construção desse modelo (HAN; KAMBER; PEI, 2012).

Em consonância com estes princípios, o MDS emprega modelos preditivos em seu processo, sendo que normalmente o treinamento do modelo é realizado a partir da análise de um conjunto de dados legados e implementados por algoritmos de classificação (ten CATEN et al., 2012).

Em síntese, as técnicas de mineração de dados são executadas pelas tarefas de reconhecimento de padrões mostradas na Figura 8, tais como a classificação, a regressão (ou estimativa), as regras de associação, a clusterização (ou segmentação) e a sumarização. A classificação é uma das técnicas de mineração de dados mais comumente aplicada e envolve os seguintes modelos de classificação: classificação por indução de árvore de decisão (AD); classificação Bayesiana; rede neural; Máquinas de Vetores Suporte (Support Vector Machines - SVM) e classificação baseada em associações (descoberta de regras de associação) (RAMAGERI, 2010).

A escolha do classificador vai depender de vários fatores, sendo o mais importante a habilidade em classificar corretamente os padrões do conjunto de treinamento. O modelo de predição baseado em árvore de decisão tem se apresentado como uma forte tendência no MDS desenvolvido no Brasil (ten CATEN et al., 2012; VILLELA, 2013; TESKE et al., 2014; HÖFIG; GIASSON; VENDRAME, 2014).

1.3.3 Método de classificação de solos por Árvore de Decisão (AD)

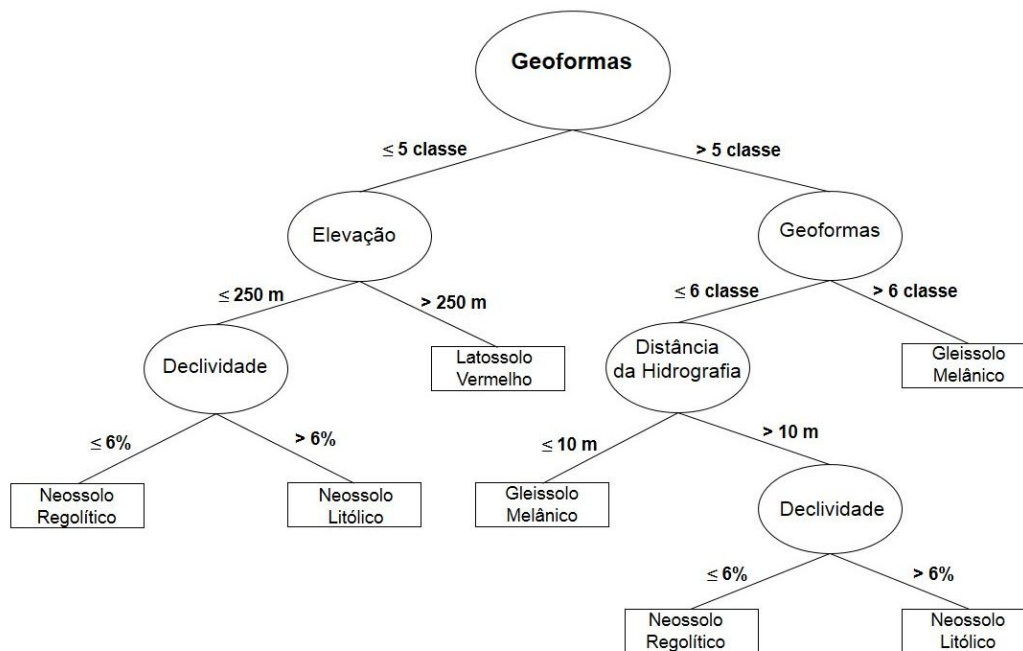
Árvores de decisão são métodos de aprendizado de máquina muito utilizados em problemas de classificação e seu objetivo principal é separar classes (BASGALUPPI, 2010). Trata da classificação dos dados, baseada em fases de decisão e na separação de classes e

subconjuntos (GOEBEL; GRUENWALD, 1999). Um dos motivos que levam a essa utilização é que o conhecimento adquirido pode ser representado por meio de regras. No caso do MDS, essas regras podem relacionar os fatores de formação e classes de solos, por exemplo, de forma similar ao raciocínio do pedólogo (GIASSON et al., 2011)

Para Han; Kamber; Pei (2012), a construção de modelos de predição de dados se baseia em recursiva de cima para baixo de divisão e conquista, funcionando como um fluxograma em forma de árvore, com uma estrutura hierárquica composta por nós (nodos) e arestas. Em linhas gerais, a organização se dá da seguinte maneira: o ponto inicial de uma árvore de classificação é chamado de nó raiz e está no topo da árvore, não possui nenhuma aresta de entrada e zero ou mais arestas de saída. Os nós internos possuem uma aresta de entrada e duas ou mais arestas de saída. Cada nó subsequente ao nó raiz indica um teste feito sobre um valor (estágios de decisão). As ligações entre os nós representam os valores possíveis do teste do nó superior, e os nós folhas (ou terminais), possuem uma única aresta de entrada e nenhuma de saída e indicam a classe a qual o registro pertence (BASGALUPPI, 2010). Após a árvore de decisão construída, para classificar um novo registro, basta seguir o fluxo na árvore (mediante os testes nos nós não-folhas), começando no nó raiz até chegar a uma folha. Pela estrutura que formam, as árvores de decisões podem ser convertidas em regras de classificação para o MDS.

Na Figura 8 buscou-se representar uma árvore de classificação contendo nas folhas a indicação das classes de solos (até o segundo nível categórico do SiBCS). Os nós de decisão definem testes sobre o valor em relação aos atributos de terreno considerados. Partindo da raiz, a cada nó de decisão o resultado do teste de decisão é determinado e inicia-se o processo pela raiz da sub-árvore correspondente a esse resultado.

Figura 8 – Simulação de uma árvore de classificação, baseada em atributos de terreno para predição de classes de solos



Alguns estudos vêm sendo desenvolvidos para testar algoritmos de indução de AD em diferentes aplicações. Em trabalho recente, Giasson et al. (2013), testaram a predição de ocorrência de classe de solo utilizando cinco algoritmos de árvores de decisão e três MDE para o MDS em nível semidetalhado. Os algoritmos de árvores de decisão testados foram o J48, o Simple Chart, o Random Tree, o REP Tree e o BF Tree, em locais onde o principal fator diferenciador entre os tipos de solo era o relevo. Segundo os autores, a AD com algoritmo J48, Simple Tree e BF Tree foi a que produziu modelos de árvore de decisão capazes de produzir mapas de solos com maior semelhança com o mapa de referência.

Como se observa, existem vários algoritmos de árvore de decisão com métodos de crescimento de árvores diferentes sendo que todos esses algoritmos executam diferentes passos para se chegar ao resultado desejado. Na Tabela 2 podem ser observados alguns dos principais algoritmos de árvore de decisão (LOH, 2014).

O algoritmo de árvore de decisão J48⁵ possui código-fonte disponível na ferramenta de mineração de dados Weka[®] (HALL et al., 2009; WITTEN; FRANK; HALL, 2011). Esse algoritmo permite trabalhar tanto com atributos discretos quanto contínuos (QUINLAN, 1993). É um algoritmo do tipo “guloso”, executa sempre o melhor passo avaliado localmente,

⁵ O algoritmo de classificação ID3 (QUINLAN, 1986) evoluiu para o C4.5 (QUINLAN, 1993) e posteriormente para C4.8 que foi implementado em Java e passou a se chamar J48 no programa Weka (HALL et al., 2009).

sem se preocupar se este passo, junto à sequência completa de passos, vai produzir a melhor solução ao final (BASGALUPPI, 2010).

Tabela 2 – Alguns dos principais algoritmos de indução de árvore de decisão

Algoritmo de árvore de decisão	Autor
CART Classification and Regression Trees	Breiman et al. (1984) www.arc.nasa.gov/ic/projects/bayes-group/ind/IND-program.html
CHAID Chi-square Automatic Interaction Detection	Kass (1980)
C4.5 É uma extensão do ID3 - Iterative Dichotomizer 3 (Quinlan, 1986) algoritmo de classificação. Implementado como J48 no WEKA (Hall et al., 2009)	Quinlan (1993) http://www.cse.unsw.edu.au/~quinlan/
FACT Fast and Accurate Classification Tree	Loh; Vanichsetakul, (1988) http://www.stat.wisc.edu/~loh/
QUEST Quick Unbiased and Efficient Statistical Tree	Loh; Shih (1997) http://www.stat.wisc.edu/~loh/quest.html
CRUISE Classification Rule with Unbiased Interaction Selection and Estimation	Kim; Loh (2001)
GUIDE Generalized, Unbiased, Interaction Detection and Estimation	Loh (2009)
CTREE Conditional Inference Trees	Hothorn; Hornik; Zeileis (2006)

Fonte: Adaptado de Loh (2014).

Uma das principais razões para que a técnica AD seja utilizada com mais frequência é o fato de que o modelo é bem explicável, possui uma concepção básica sobre a qual se constrói uma árvore, onde cada nó não terminal representa um teste ou decisão sobre o item de dado considerado, possuindo, assim, forma de regras de fácil compreensão (BASGALUPPI, 2010).

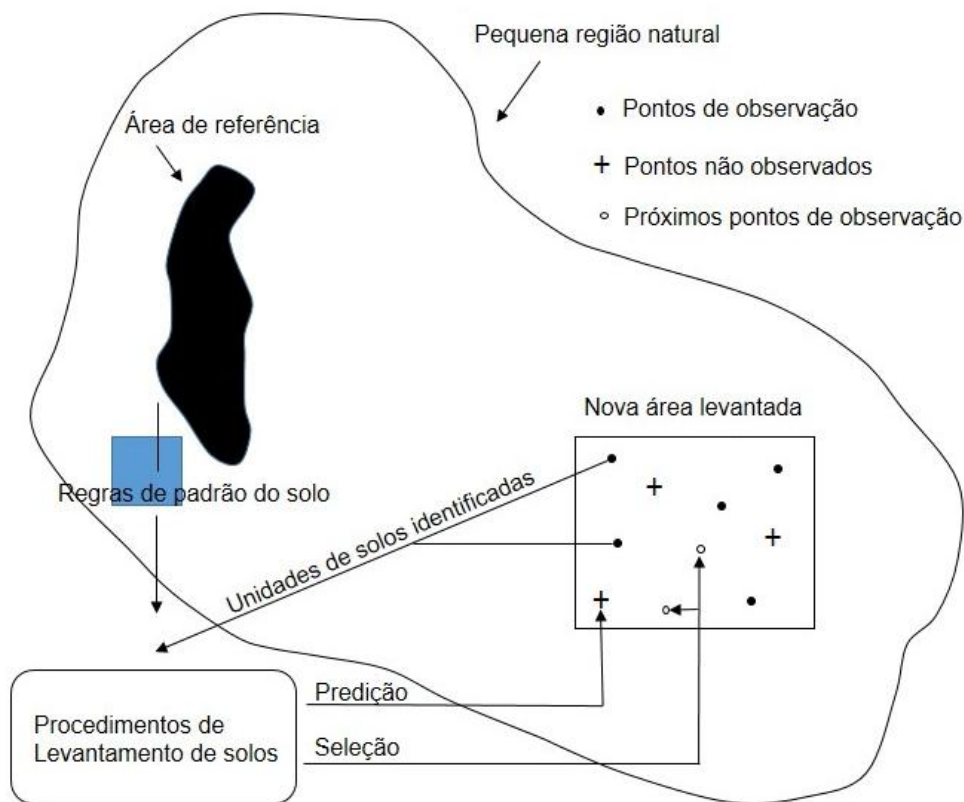
1.3.4 Área de referência (AR)

Proposta por Favrot (1981) com o objetivo de caracterizar a cobertura de solos de regiões topograficamente e geologicamente identificáveis - denominadas pequenas regiões naturais -, a área de referência (AR), como o próprio nome sugere, apresenta-se como uma amostra representativa da área de estudo contendo as principais classes de solos pertencentes à região de interesse. Trata-se, em síntese, de um “pequeno” local no qual se estabelecem as regras de mapeamento que serão extrapoladas para áreas maiores.

Usando este princípio como ponto de partida, Lagacherie; Legros; Burrough (1995) desenvolveram uma metodologia de mapeamento de solos que utiliza, como estratégia, a área

de referência (Figura 9). Nesse local, os fatores de formação atuantes e a distribuição espacial dos solos devem ser conhecidos, a fim de estabelecer táticas de mapeamento utilizadas em MDS. A AR escolhida deve possuir dados legados confiáveis, produzidos por métodos convencionais, caso contrário será necessário um novo levantamento de solos, com o objetivo de produzir os dados de referência. Conforme ten Caten et al. (2012), tais dados serão utilizados para “treinar os modelos” e prever classes e/ou propriedades de solos em áreas não mapeadas que possuam características identificáveis na AR.

Figura 9 – O papel do processo de levantamento de solos planejado



Fonte: Lagacherie; Legros; Burrough (1995).

A determinação da posição espacial e a obtenção dos dados da AR são as etapas metodológicas mais importantes do MDS, pois, conforme visto, a AR precisará conter as unidades de mapeamento (UM) que deverão se repetir no restante da área (LAGACHERIE; LEGROS; BURROUGH, 1995; VILLELA, 2013).

Assim, para subsidiar o MDS, a AR passa a ser uma metodologia confiável porque se deve conhecer detalhadamente a área selecionada, uma vez que as covariáveis ambientais que ocorrem naquela área se repetem em área maior. Em essência, as extrapolações das relações solo-paisagem são aplicadas a partir de modelos preditivos, previamente definidos, e

ajustados na área de referência para serem aplicados nas áreas adjacentes (ten CATEN et al., 2011c).

As regras (relações) do mapeamento são estabelecidas a partir da AR, servindo como base de identificação dos padrões para a região, desde que estas áreas estejam sob o domínio dos mesmos fatores de formação do solo (LAGACHERIE; LEGROS; BURROUGH, 1995; ten CATEN et al., 2011c). Desta maneira, essa estratégia de mapeamento é viabilizada para o restante da área, pela extrapolação das relações solo-paisagem (LAGACHERIE; LEGROS; BURROUGH, 1995; ten CATEN et al., 2011c; VILLELA, 2013).

De acordo com Lagacherie e Voltz (2000), uma das vantagens do MDS com base no conhecimento dos padrões locais/regionais de solos é a possibilidade de prever a ocorrência de tipos de solos em áreas não mapeadas, com uso de informações geradas previamente em ARs.

Villela (2013) relaciona um conjunto de critérios a ser adotado na escolha da AR: (I) possuir todas as unidades de solos da área de interesse; (II) manter as regras de padrões de distribuição dos solos para inferir na área de interesse; (III) possuir área com fatores de formação semelhante AR; (IV) ser representativa da região de formação; (V) manter a proximidade das áreas de interesse; (VI) acompanhar alguns segmentos de vertente da área de interesse, para caracterizar o perfis das transformações que ocorreram em rochas e solos por processos geomorfológicos.

A seleção de ARs representativas da paisagem a ser mapeada é, para ten Caten (2011c), uma fase crucial para a adequada extrapolação das relações solo-paisagem.

Em termos espaciais, a representatividade de uma AR é diferente de uma região para outra. Como explica Villela (2013), cada região apresentará valores específicos das covariáveis do relevo e conseqüentemente os resultados da aplicação dos algoritmos podem não corresponder à classificação esperada para aquela área.

Outro fator importante observado por Villela (2013) refere-se ao ganho de eficiência quando se aplica a técnica de AR pela mesma equipe que realiza os mapeamentos das outras áreas.

1.4 DESENVOLVIMENTO DE MDE PARA OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS DE TERRENO

Inúmeras terminologias são utilizadas para designar os modelos representativos da superfície terrestre, destacando-se: Modelo Numérico do Terreno (MNT), Modelo Numérico

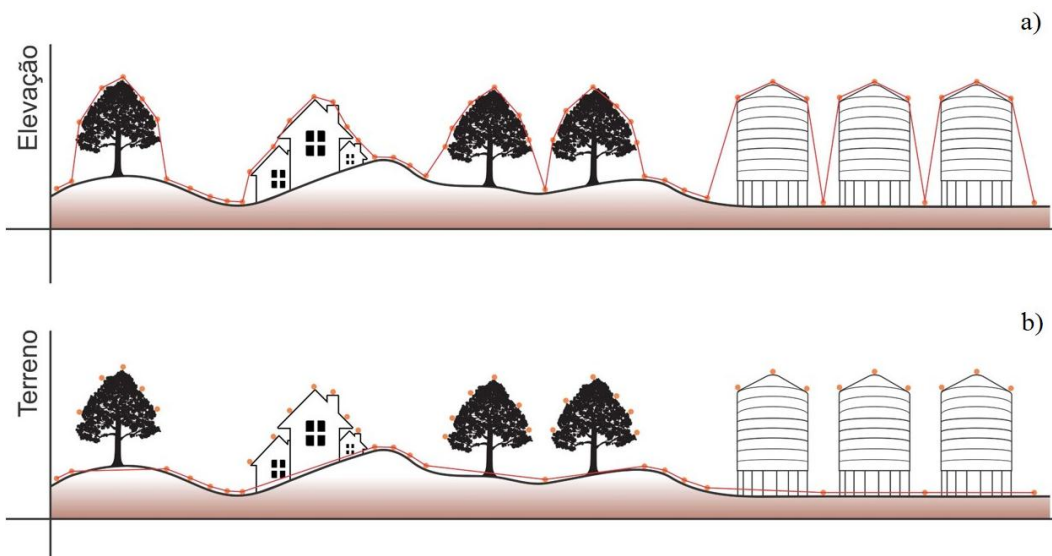
de Feições do Terreno (MNFT), Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo de Elevações do Terreno (MET), entre outras.

A Norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (CONCAR-EB, 2014) estabelece uma diferença conceitual entre modelo digital e modelo numérico. No modelo digital, existe a configuração de um modelo expresso por meio de uma função matemática suave, enquanto que no modelo numérico o que ocorre é a atribuição de um valor altimétrico para cada célula da matriz representativa do modelo.

A denominação “modelo do terreno” tem sido usada com frequência como sinônimo de “modelo de superfície”, isso porque em área geográficas amplas torna-se uma tarefa difícil separar os dados numéricos que contenham somente as informações da superfície topográfica (modelo de superfície), sem quaisquer outros elementos, como vegetação, construções ou outros (modelo do terreno).

Em síntese, o termo MDE, também conhecido por DEM (acrônimo em inglês), é, de forma genérica, largamente utilizado para descrever os modelos representativos da superfície terrestre (Figura 10). Entretanto, é prudente registrar que as formas de apresentação de um MDE são o Modelo Digital (Terreno ou Superfície) e o Modelo Numérico (Terreno ou Superfície) (FELGUEIRAS; CÂMARA, 1998; MENDONÇA JUNIOR, 2012; CONCAR-EB, 2014).

Figura 10 – Diferença entre MDE e MDT: (a) MDE; (b) MDT



O MDS (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003) sugerem, em sua metodologia, o uso do MDE para extrair atributos de terreno (GALLANT; WILSON,

2000; HUTCHINSON; GALLANT, 2000) que irão contribuir na predição de classes e/ou propriedades do solo de uma determinada área de interesse. Os MDE são imprescindíveis na determinação da variabilidade dos solos e também são utilizados em MDS como referência de escala para as variáveis ambientais (CAVAZZI et al., 2013). Fundamentalmente, a utilização e a determinação dessas variáveis dependem de uma boa representação do relevo, e esse modelo deve ser validado e compatível com a precisão do mapeamento (GIASSON et al., 2013).

Deste modo, convém ressaltar que a geração do MDE é considerada uma etapa crucial do MDS, pois uma boa base de dados é um fator-chave para construir uma função de predição em MDS (LAGACHERIE; VOLTZ, 2000). Assim, deve ser avaliado o uso de MDE derivados de cartas topográficas e oriundos de dados de sensoriamento remoto para verificar se esses modelos disponíveis são úteis para os objetivos propostos.

Técnicas de MDS aplicadas à predição de classes de solos no Brasil têm sido desenvolvidas, predominantemente, em nível semidetalhado (1:50.000), em virtude da disponibilidade de mapas de solos para serem usados como AR, assim como pela disponibilidade de cartas topográficas nesta escala para a geração de MDE e como base cartográfica para representação do MDS. Essa constatação reforça a necessidade da geração de modelagem do terreno em escalas maiores para apoiar o MDS em nível de levantamento detalhado (ten CATEN et al., 2012; MOURA-BUENO et al., 2016).

Na mesma linha de raciocínio, Garrastazu e Flores (2011) comentam que as curvas de nível obtidas em cartas topográficas continuam sendo as principais fontes de dados para a produção de MDE. No entanto, as escalas disponíveis não são adequadas para levantamento de solos em nível detalhado.

É importante lembrar que os MDE disponíveis em resoluções finas são raros e exigem um grande volume de investimento. Em essência, a aquisição de dados para geração de um MDE pode ser realizada por técnicas de campo, de sensoriamento remoto e de laboratório (FLORINSKY, 2012). A técnica de laboratório permite a obtenção de informações altimétricas utilizando mapas de traço existentes e convertidos para o formato digital por meio da digitalização de contornos (vetorização). Os levantamentos de campo podem ser realizados utilizando níveis topográficos digitais, estação total, taqueômetros óticos, rastreadores GNSS e *laser scanner 3D* móvel terrestre (*MLS - Mobile Laser Scanning System*). Já as técnicas que usam sensoriamento remoto são classificadas em diferentes níveis: em nível suborbital, utilizam tecnologias de aquisição de dados a partir de câmaras fotogramétricas, veículo aéreo não tripulável (VANT), escaneamento a laser aerotransportado (*ALS - Airborne Laser*

Scanning / LiDAR - Light Detection and Ranging) e RADAR (CONCAR-EB, 2014); e, em nível orbital, utilizam sensores remotos instalados em plataformas orbitais permitindo aquisição por diferentes técnicas, destacando-se o sensor óptico (pares estereoscópicos) e o radar interferométrico de abertura sintética (InSAR - *Interferometric synthetic aperture radar*).

As especificações técnicas dos sistemas sensores são importantes para o MDS, e para sua utilização é necessário que os MDE possuam informações dos dados horizontal e vertical, o tipo de projeção, a resolução espacial, o formato dos dados, entre outras especificações técnicas para não haja erros no processamento dos dados. Segundo Valeriano e Rossetti (2010), as especificações do MDE, tais como resolução, precisão/exatidão, podem causar mais variações nos resultados do que as características do próprio relevo.

Outro aspecto importante a ser considerado no MDS é o custo de aquisição de um MDE. De acordo com Wan Mohd; Abdullah; Hashim (2014), este custo é fortemente influenciado pela técnica empregada e pela acurácia necessária (vertical e horizontal). De acordo com Teske (2014), dependendo do nível de detalhamento exigido e da extensão da área no mapeamento de solos, será necessário escolher a técnica de aquisição de dados que possibilite a mais fiel representação das características da paisagem, com o propósito de gerar modelos preditores de ocorrência de tipos de solos mais acurados.

Os MDE globais obtidos diretamente por meio de sensores remotos orbitais, como o ASTER, SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), GTOPO30, entre outros, geralmente são utilizados para áreas extensas e podem ser obtidos gratuitamente na internet. Alguns MDE regionais, utilizados em áreas menos abrangentes, são gerados por meio de reamostragem desses modelos, como é o caso do projeto TOPODATA (VALERIANO; ROSSETTI, 2010), ou a partir de curvas de nível - produto de restituição fotogramétrica - das cartas topográficas do Sistema Cartográfico Nacional (SCN).

Em contrapartida, os MDE necessários para apoiar os levantamentos em níveis detalhados exigem maior acurácia vertical, tornando-se mais onerosos. Da mesma forma, os levantamentos detalhados executados por métodos convencionais exigem maior investimento financeiro e requerem maior tempo de execução que os demais por unidade de área (IBGE, 2015).

De maneira geral, os MDE estão melhorando quantitativamente o entrosamento entre a pedologia e a geomorfologia. São fontes de dados importantes da estrutura da paisagem geomorfológica e que, além de dados qualitativos, fornecem também dados quantitativos dos atributos de terreno.

1.4.1 Missão SRTM

Produto de cooperação entre a NASA e a Agência de Inteligência Geo-Espacial do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, da Agência Aeroespacial da Alemanha e da Agência Espacial da Itália (A.S.I.) (FARR; KOBRICK, 2000; RABUS et al., 2003), a SRTM representa uma importante fonte de dados em nível global para construção de MDE. A operação de levantamento de dados altimétricos da superfície terrestre durou 11 dias, tendo sido realizada entre os dias 11 a 22 de fevereiro de 2000. A missão utilizou um radar imageador por técnicas de InSAR (interferometria de radar abertura sintética), a bordo do ônibus espacial Endeavour. Recobriu aproximadamente 80% da área do globo terrestre entre as latitudes 56° S e 60° N, com a captura de dados por dois sensores de radar ativo, o SIR-C (*Spaceborn Imaging Radar*) e sensores do tipo X-SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Os dados da banda C (resolução de um segundo de arco - SIR-C: λ 5,6 cm e 2,2 GHz) foram processados pela NASA-JPL, e o interferômetro na banda X (resolução de um segundo de arco - X-SAR: λ 3,0 cm e 9,65 GHz), que acrescentou dados de alta resolução à missão, foi operado e processado de forma independente pela agência alemã (DLR) com a participação da italiana (ASI) com resolução de 1 segundo de arco (aproximadamente 30m) (CREMON; VALERIANO, 2011).

Passada uma década e meia da missão SRTM, o projeto continua representando uma das principais fontes de dados para a construção de MDE globais. Mais recentemente, em setembro de 2014, dados SRTM banda “C” foram disponibilizados, enquanto que os dados SRTM/X-SAR continuam disponíveis através do Centro Aeroespacial Alemão (DLR).

O levantamento constante na Tabela 1 mostra que aproximadamente um terço dos trabalhos realizados até o momento no Brasil utilizaram MDE a partir do SRTM (90m) (GIASSON et al., 2006; FIGUEIREDO et al., 2008; CARVALHO; ROCHA; UCHA, 2009; COELHO; GIASSON, 2010; ten CATEN et al., 2011a; ten CATEN et al., 2011b; ten CATEN et al., 2011c; GIASSON et al., 2013) e apenas Giasson et al. (2013) utilizaram o SRTM-C (30m) antes da liberação para uso gratuito pelo governo norte americano.

1.4.2 Projeto Topodata

O projeto Topodata (BRASIL, 2008) utilizou dados da SRTM (90 m) e realizou um refinamento desses dados, que foram reamostrados por krigagem⁶ (VALERIANO;

⁶ A krigagem pode ser definida como um interpolador em que a variabilidade espacial dos dados condiciona a função que relaciona os pesos das amostras às suas distâncias (Valeriano e Rossetti, 2010).

ROSSETTI, 2010) de três para um segundo de arco. O objetivo do projeto foi fornecer planos de informações das variáveis geomorfométricas (declividade, orientação de vertente, curvatura vertical e horizontal, entre outras) para uso em SIG, tendo sido disponibilizados para todo o país (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2015).

Poucos estudos utilizaram o MDE Topodata no Brasil até o momento. Höfig; Giasson; Vendrame (2014), em trabalho realizado entre áreas fisiograficamente semelhantes situadas nos municípios de Sentinela do Sul e Cerro Grande do Sul (RS), utilizaram os dados do MDE Topodata para avaliar a possibilidade de extrapolação de mapas de solos alcançando uma EG maior que 75%.

1.4.3 ASTER GDEM V2

Outra fonte de dados de grande utilização para a obtenção de atributos de terreno é o MDE ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) GDEM (Global Digital Elevation Model) V2. Desenvolvido por meio de uma parceria entre o Japão - METI (*Ministry of Economy, Trade, and Industry*) e a NASA, o ASTER GDEM V2 utiliza imagens estereoscópicas para medir elevações (Aster GDEM Validation Team, 2011). Abrange a superfície terrestre entre as latitudes 83° Norte e 83° Sul, sendo distribuído em formato GeoTIFF, em coordenadas geográficas (latitude, longitude), e seus dados são lançados em um arco-1 segundo de grade (equivalente a 30 m no equador).

Cerca de 20% dos trabalhos em MDS realizados no Brasil utilizaram MDE a partir do Aster GDEM V2 (30 m) (TESKE, 2014; TESKE; GIASSON; BAGATINI, 2015; GIASSON et al., 2015; BAGATINE; GIASSON; TESKE, 2015; SILVA et al., 2016).

1.4.4 Avaliação da acurácia dos mapas de solos

A qualidade de um mapa de solos não está relacionada somente com o controle do resultado final (*end of pipe*), e sim com todo o processo de obtenção do produto cartográfico temático. A prática tem mostrado que raramente os mapas temáticos, provenientes de processos convencionais ou digitais, tem a confiabilidade do resultado final testado por meio da validação a campo (SARMENTO, 2015).

As medidas de acurácia em cartas pedológicas destinam-se a verificar a confiabilidade do mapa, isto é, a proximidade de uma determinada medida de um mapa com a realidade a qual este pretende representar (VILELLA, 2013). De outra forma, a acurácia pode também ser

definida como o grau com que os atributos de um mapa estão de acordo com seu valor real (conjunto de dados de referência) (MAS et al., 2014). A ideia geral pressupõe que a discordância entre os dois conjuntos de dados é normalmente interpretada como erros no mapa temático (FOODY, 2002; MACMILLAN, 2008).

A maneira padrão de avaliar a qualidade de um mapa digital de solos tem sido a de confrontar o resultado das predições com dados de referência (verdade de campo), obtidos por meio de um conjunto de pontos aleatoriamente distribuídos na área de estudo (SARMENTO, 2015).

No entendimento de Vilella (2013), a matriz de confusão, a exatidão geral e o índice Kappa constituem o núcleo da avaliação de acurácia e são indicadores importantes na avaliação de cartas pedológicas. Nesse sentido, López (2002) relata que “a geração de uma matriz de erros representativa requer um método de amostragem apropriado, um desenho e uma realização prática adequados e um tamanho de amostra que dê significância estatística”. Contudo, como afirma Foody (2002), raramente essa informação é transmitida para a comunidade de usuários.

A matriz de erros, também conhecida como matriz de confusão ou matriz de contingência é uma das técnicas mais empregadas na avaliação da acurácia de classificação (CONGALTON; MEAD, 1983; FOODY, 2002).

A Tabela 3 ilustra uma matriz de erros, na qual as colunas da matriz representam os dados de referência (verdade do terreno) e as linhas da matriz representam as informações das observações classificadas (unidades de mapeamento de solos preditas no MDS, por exemplo). A matriz de erros é uma matriz quadrada e as células da diagonal principal expressam o número de observações corretamente classificadas (concordâncias das classes preditas com os pontos de referência) e a soma dos valores da diagonal equivale à concordância total (exatidão global), enquanto que os valores fora da diagonal registram diferentes tipos de confusão (revelam erros de comissões e omissões) que existem na classificação (CONGALTON, 1998).

Tabela 3 – Exemplo de uma matriz de erro com as medidas estatísticas

DADOS DE REFERÊNCIA (Verdade de Campo)							Medidas Estatísticas		
UM	A	B	C	D	E	∑ Linhas	Acurácia do Usuário (%)	Erros de Inclusão ou Comissão (%)	Disc. Quant. (%)
A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{AE}	n_{A+}	(n_{AA}/ n_{A+})x100	AU(A) - 100	$DQ = \frac{\sum \frac{n_{ii}}{n_{i+}}}{2} \times 100$
B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{BE}	n_{B+}	(n_{BB}/ n_{B+})x100	AU(B) - 100	
C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{CE}	n_{C+}	(n_{CC}/ n_{C+})x100	AU(C) - 100	
D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{DE}	n_{D+}	(n_{DD}/ n_{D+})x100	AU(D) - 100	
E	n_{EA}	n_{EB}	n_{EC}	n_{ED}	n_{EE}	n_{E+}	(n_{EE}/ n_{E+})x100	AU(E) - 100	
∑ columnas	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	n_{+E}	n	$AU = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$		
Acurácia do Produtor ou do Mapeador (%)	n_{AA} n_{+A}	n_{BB} n_{+B}	n_{CC} n_{+C}	n_{DD} n_{+D}	n_{EE} n_{+E}	$AP = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$	Exatidão Global - EG ou Acurácia Global - AG (%) $((n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE})/ n) \times 100$		
Erros de Omissão ou de Exclusão (%)	AP- 100	AP- 100	AP- 100	AP- 100	AP- 100		Índice Kappa		
Disc. Alloc. (%)	$DA = \frac{\sum (2 * \min(\frac{n_{+i} - n_{ii}}{n}, \frac{n_{i+} - n_{ii}}{n}))}{2} \times 100$						$K = \frac{N \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^r n_{i+} n_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r n_{i+} n_{+i}}$		

Fonte: Adaptados de Foody (2002), Congalton (2004) e Pontius Junior e Millones, (2011).

Os erros de comissões ou erros de inclusão são caracterizados pela inserção de elementos que não pertencem a uma classe e são incluídos nela na classificação. Já os erros de omissões ou erros de exclusão são aqueles identificados pela exclusão de uma área da classe à qual ela pertence de fato. Juntos permitem avaliar a acurácia do mapeamento (concordância) para classes individuais, expressando quanto cada classe foi subestimada ou superestimada.

A exatidão global é definida como a estimativa da porcentagem de área mapeada que foi corretamente classificada, quando comparada com os dados de referência ou verdade de campo. É obtida por meio de coeficientes de concordância derivados da matriz de confusão, pela divisão da soma da diagonal principal (número de observações corretamente classificadas ou concordância real) pelo número total de amostras observadas (equação 3). Deste modo, a exatidão global utiliza apenas os elementos das diagonais da matriz de confusão (concordância real) (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007; VILELLA, 2013).

$$EG(\%) = \frac{Pc}{Pt} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

EG = exatidão global em porcentagem

Pc = somatório das observações corretamente classificadas

Pt= somatório total das observações

Autores como Brovelli et al. (2015), comentam que não existe consenso na literatura sobre um único limiar aceitável de valores de exatidão global para a classificação de imagens, por exemplo. Os mesmos autores destacam as propostas de Anderson et al. (1976), que sugeriram um valor de pelo menos 85% de EG; Thomlinson; Bolstad; Cohen (1999), que consideram acurada uma classificação quando a EG é pelo menos igual a 85% e nenhuma classe individual inferior a 70%; e Pringle; Schmidt; Muir (2009), cuja recomendação é de que o valor da EG seja superior a 70%.

Por outro lado, a acurácia do usuário (AU) e a acurácia do produtor (AP) permitem analisar a qualidade da classificação por classes individuais. A acurácia do usuário é uma medida de confiabilidade que avalia os erros de inclusão ou comissão (CONGALTON, 1991). Em MDS pode ser considerada a proporção da classe predita que concorda com os dados de referência (na matriz representado por n_{i+}), sendo determinada pela equação 4:

$$AU = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (4)$$

A acurácia do produtor, também conhecida como acurácia do mapeador, representa em MDS a proporção da classe de referência que foi corretamente predita. A acurácia do mapeador avalia o erro de omissão (exclusão) e é representada pela equação 5:

$$AP = \frac{n_{ii}}{n_{+i}} \quad (5)$$

Outra forma de avaliação da qualidade dos mapas é feita com o uso do índice ou coeficiente Kappa, que se caracteriza como uma medida de associação usada para descrever e testar o grau de concordância (confiabilidade e acurácia) na classificação, depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração (COHEN, 1969). Esta medida de associação varia de $-1 \leq K \leq +1$, sendo que o valor +1 representa 100% de concordância e os valores próximos a zero indicam 0% de concordância. A medida de concordância é obtida pela equação 6:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^r n_{i+} n_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r n_{i+} n_{+i}} \quad (6)$$

Sendo:

K = índice de concordância Kappa;

r = número de linhas na matriz;

n_{ii} = número de observações na linha “i” e coluna “i”;

n_{i+} e n_{+i} = totais marginais da linha[i] e coluna[i], respectivamente;

N = número total de observações.

Fonseca (2000) sugere uma interpretação da concordância do desempenho na classificação pelo índice Kappa da seguinte forma: $0 < K \leq 0,2$ = Ruim; $0,2 < K \leq 0,4$ = Razoável; $0,4 < K \leq 0,6$ = Bom; $0,6 < K \leq 0,8$ = Muito Bom e $0,8 < K \leq 1,0$ = Excelente. Landis e Koch (1977) e Foody (2002) sugerem que valores do coeficiente Kappa acima de 0,8 indicam que o nível de exatidão de uma classificação é excelente, ou seja, se aproxima muito da “verdade terrestre”.

A determinação desse índice como procedimento para verificação da acurácia de mapas temáticos tem sido questionada por alguns autores e relatada por Pontius Junior e Millones (2011). Em recente trabalho, Sarmento (2015) pondera que os valores resultantes do índice Kappa tendem a subestimar a qualidade dos mapas pelo fato de removerem concordâncias devidas ao acaso, bem como por não levarem em conta discordâncias de cunho posicional.

Pontius Junior e Millones (2011) argumentam que o uso dos índices Kappa tornou-se parte da cultura em sensoriamento remoto e em outros campos e recomendam o seu abandono para efeitos de avaliação da acurácia em mapeamentos. Em contrapartida, sugerem que a avaliação seja feita com parâmetros de discordância quantidade (DQ) (equação 7) e discordância de alocação (DA) (equação 8). A DQ expressa a classificação incorreta de pixels nas classes, enquanto que a DA identifica erros na distribuição espacial de pixel nas classes.

Discordância de quantidade (%)

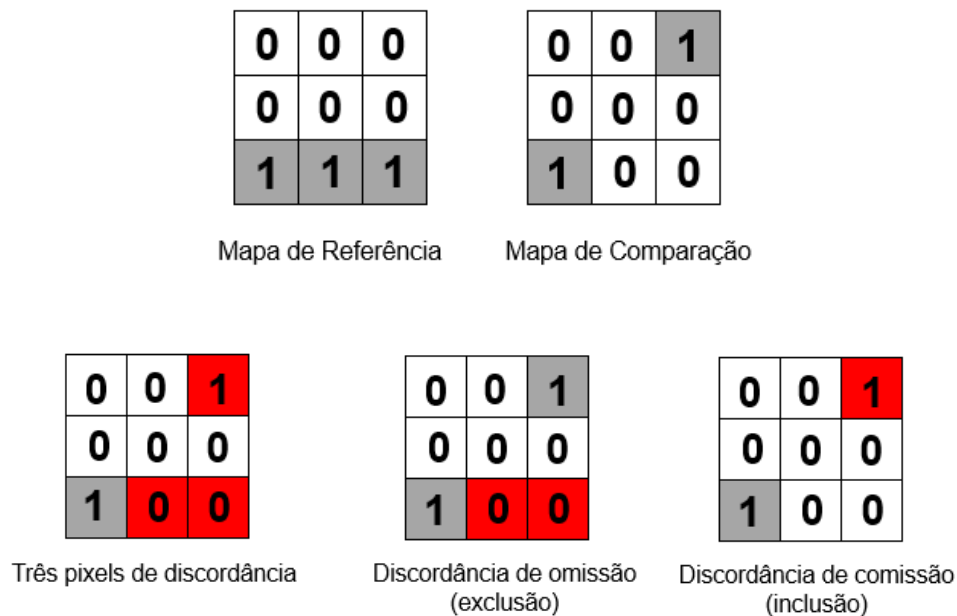
$$DQ = \frac{\sum \left| \frac{n_{+i}}{n} - \frac{n_{i+}}{n} \right|}{2} \times 100 \quad (7)$$

Discordância de alocação (%)

$$DA = \frac{\sum(2 * \min(\frac{n_{+i} - n_{ii}}{n}, \frac{n_{i+} - n_{ii}}{n}))}{2} * 100 \quad (8)$$

A Figura 11, adaptada de Pontius Junior e Millones (2011), ilustra a distribuição espacial de pixels representando discordância em quantidade e alocação comparando com os erros de omissão e comissão.

Figura 11 – Discordância em quantidade e discordância em alocação



Fonte: Adaptado de Pontius Junior e Millones (2011).

No mapa de comparação (predito), três pixels em discordância podem ser identificados, sendo dois pixels de discordância na parte inferior (discordância de omissão/ exclusão) e um pixel de discordância na parte superior (discordância de comissão/ inclusão). O mapa de referência possui três pixels com valor “1” e o mapa predito (de comparação) possui dois pixels com valor “1”. Isso implica numa discordância de quantidade de um pixel e dois pixels de discordância de alocação.

É imprescindível que o mapeador (produtor) tenha o domínio das incertezas para que se possa reduzir os erros no mapeamento de solos. Por outro lado, o usuário deve ser informado do grau de confiabilidade dos dados representados nos mapas temáticos que irá utilizar. Carré et al. (2007), destacam que os pesquisadores que trabalham com MDS precisam ser muito mais conscientes sobre as necessidades do usuário final, adaptando e educando estes usuários para desfrutarem das informações cientes da incerteza associada a essas informações.

CAPÍTULO II – ESTUDO 1 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NA REGIÃO DAS MISSÕES (RS)

1 INTRODUÇÃO

A avaliação da qualidade dos dados geoespaciais e da classificação dos mapas temáticos tem sido objeto de estudo de pesquisadores, devido às inúmeras formas de utilização dos diferentes produtos cartográficos atualmente disponíveis (BROVELLI et al., 2015).

Entre estes produtos cartográficos, o modelo digital de elevação (MDE) se apresenta como um insumo fundamental ao conhecimento do relevo (VALERIANO, 2008) e conseqüentemente na avaliação da variabilidade do solo (CAVAZZI, 2013). Sua construção se dá a partir de um modelo matemático que representa um fenômeno, de forma contínua, de dados adequadamente estruturados e amostrados do mundo real (CONCAR-EB, 2014),

Estudos buscam entender o entrosamento entre os atributos de terreno derivados desses modelos com os tipos de solos encontrados na paisagem. Tal possibilidade tem potencializado a avaliação quantitativa dos atributos de terreno e conseqüentemente o uso do MDE como fonte de dados no mapeamento digital de solos (MDS), auxiliando na predição tanto de classes como de propriedades de solos (ten CATEN et al., 2011b; FLORINSKY, 2012; CAVAZZI et al., 2013). Em levantamentos de solos em níveis mais detalhados, a topografia e as relações hidrológicas são largamente utilizadas para extrair atributos ambientais e explicar a variabilidade espacial do solo, balizando-se no relevo como fator preditivo mais importante (MILLER; SCHAETZL, 2016).

No MDS, nem todas as variáveis utilizadas pelos modelos possuem a mesma importância na predição dos grupos de solos (ADHIKARI et al., 2014). Os fatores ambientais mais importantes que covariam com o solo são geralmente o material de origem, as características topográficas (relevo) e a vegetação (organismos) (ZHU, 2008). As características topográficas são importantes porque controlam a dinâmica dos processos hidrológicos (fluxo da água e energia) e suas implicações na formação do solo. Desta forma, atributos topográficos derivados de um MDE contribuem, de maneira decisiva, para explicar a diferença entre as classes de solos (CHAGAS et al., 2013).

Sob essa ótica, conhecer a acurácia vertical dos MDE gera segurança às pesquisas que necessitam de informações altimétricas de confiança (MICELI et al., 2010). A qualidade de um MDE, no entanto, não está relacionada somente com o controle pontual da componente

posicional, vertical e horizontal, mas, sim, com todo o processo de obtenção (ARIZA LÓPEZ, 2002).

A escolha de uma técnica para produzir um MDE para aplicação na ciência do solo depende de vários fatores (FLORINSKY, 2012). Aspectos como o tamanho da área de estudo, a acurácia e a resolução do MDE, a acurácia e resolução necessária de outros mapas e materiais (geomorfológicos, geológicos, geofísicos, etc), bem como o custo da geração do modelo, precisam ser considerados e avaliados.

Além dos métodos convencionais de geração dos MDE - que são o método aerofotogramétrico (obtido por processo indireto, gerado a partir das curvas de nível e de pontos cotados da carta topográfica) e o originado de levantamento de campo (utilizando rastreadores GNSS) -, os MDE globais obtidos diretamente por meio de sensores remotos orbitais, como o ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*), o SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), o GTOPO30, entre outros, são geralmente utilizados para áreas extensas. Já os MDE regionais, utilizados em áreas menos abrangentes, podem ser gerados por meio de reamostragem desses modelos, como é o caso do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008).

No MDS, o MDE passou a ter uma importância fundamental, porque, numa abordagem quantitativa, o MDS utiliza em sua metodologia variáveis e covariáveis ambientais geradas com dados resultantes desses modelos para prever classes e/ou propriedades do solo a partir de atributos de terreno (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003; HENGL, 2003; MINASNY; McBRATNEY; LARK, 2008). O sucesso na geração das covariáveis depende de um modelo consistente, com resolução adequada, de forma que o mapa produzido possua confiabilidade (PINHEIRO et al., 2012; CAVAZZI et al., 2013). Nessa linha, um estudo prévio para avaliar a qualidade das informações espaciais adquiridas de distintas fontes, tendo em vista que os MDE gerados a partir de dados de sensoriamento remoto podem conter erros que variam de local para local, é plenamente justificado (CHAGAS et al., 2010; HÖFIG; GIASSON; VENDRAME, 2014).

Dentro desse contexto, uma série de cuidados adicionais deve ser tomada pensando na modelagem de dados espaciais. Entre esses, é imprescindível que o MDE seja hidrologicamente consistente, isto é, confeccionado a partir de uma base de dados isenta de depressões superficiais espúrias, que podem gerar imperfeições topográficas no modelo e prejudicar as correlações ambientais que serão usadas para prever as classes de solos no MDS (VILELLA, 2014).

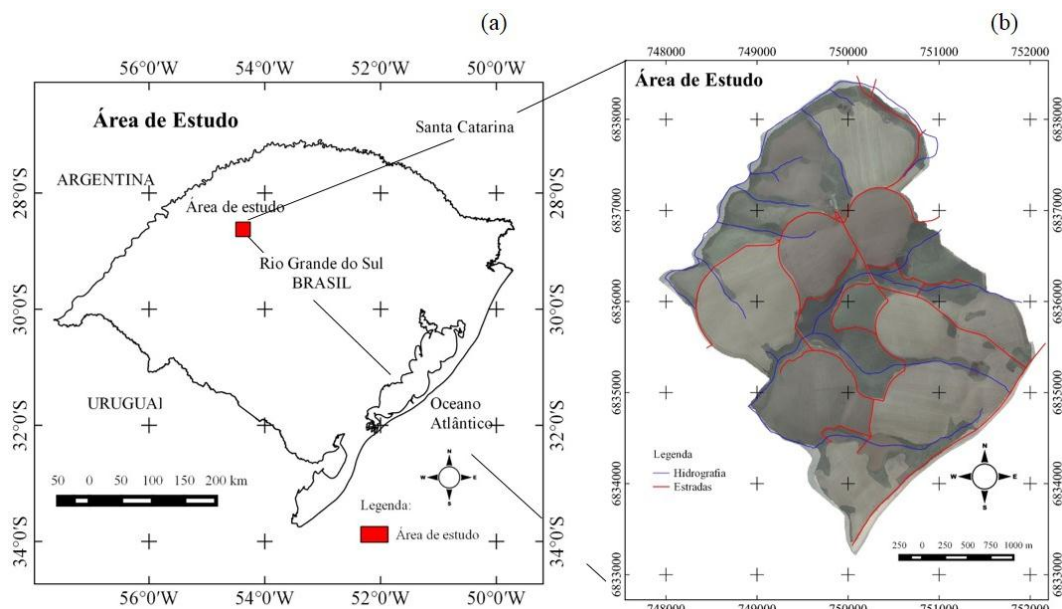
Buscando melhorar a acurácia dos modelos preditores, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de modelos digitais de elevação para uso em mapeamento digital de solos na região das Missões, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no município de São Miguel das Missões, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre as latitudes $28^{\circ} 33' 25''$ e $28^{\circ} 36' 15''$ sul e as longitudes $54^{\circ} 25' 20''$ e $54^{\circ} 27' 55''$ a oeste de Greenwich, compreendendo uma área superficial de 10 km^2 e abrangendo cerca de 1,5% da carta SH.21-X-B-VI-1 do mapeamento sistemático nacional (Figura 1). Situa-se na região fisiográfica denominada Missões (FORTES, 1979), que apresenta um padrão com substrato geológico derivado da Formação Serra Geral, constituído por derrames de rochas efusivas básicas continentais de filiação toleíticas, afaníticas, dispostas em camadas sub-horizontais, capeadas por ocorrências restritas de sedimentos do terciário. As formas do relevo são homogêneas, sendo este caracterizado por colinas suaves, arredondadas, esculpidas em rochas vulcânicas básicas. O relevo local, que faz parte da região geomorfológica Planalto das Missões, é pouco movimentado, com predominância de plano a suave ondulado e com altitudes que variam de 220 a 320 metros aproximadamente.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no Estado do RS (a) e área de estudo (b)



A maior parte da área é intensamente cultivada, com culturas intercaladas sob o sistema de plantio direto desde 1988. A partir de 2006 foram introduzidas técnicas de agricultura de precisão em quase a totalidade da área.

O clima predominante da região é do tipo Cfa 2 (II 2), de acordo com o sistema de classificação de Köppen (MORENO, 1961; ALVARES et al., 2013), caracterizado como clima subtropical úmido sem período de estiagem definido. O solo apresenta pequena variabilidade espacial devido à regularidade do relevo e à homogeneidade no material de origem, que é bastante intemperizado. A área caracteriza-se pela predominância de solos profundos, com textura argilosa, argila de carga variável e coloração vermelha escura devido à presença de ferro e de manganês, com a ocorrência do Latossolo Vermelho Distroférico típico na maior parte da área (BRASIL, 1973; STRECK et al., 2008).

2.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

2.2.1 Obtenção dos Modelos Digitais de Elevação (MDE)

A proposta do trabalho consistiu em comparar o uso de diferentes MDE no processo de MDS e, para isso, foram gerados cinco MDE e extraídos de cada modelo os mesmos atributos de terreno. Estes atributos foram utilizados como variáveis preditoras de classes de solos no estabelecimento das relações solo-paisagem durante o treinamento dos modelos no processo de MDS. Os modelos utilizados na comparação foram: (I) MDE GNSS-RTK (modelo de referência); (II) MDE carta; (III) MDE SRTM-C (30m); (IV) MDE Topodata e (V) MDE Aster GDEM V2.

O modelo de referência de alta resolução – a partir do qual os demais foram comparados - foi gerado a partir de levantamento direto de campo. Sua elaboração utilizou rastreadores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), o emprego da técnica de coleta de dados RTK/UHF (*Real Time Kinematic/Ultra High Frequency*) e o método relativo cinemático com processamento em tempo real.

As campanhas do levantamento GNSS foram divididas em duas fases. Na primeira fase, foi realizada a implantação e a ocupação de uma rede de referência local. A segunda fase consistiu no levantamento cinemático para a amostragem dos pontos ou detalhamento do terreno (NICO et al., 2005).

As estações base da rede de referência local foram materializadas com marcos de concreto padrão INCRA (BRASIL, 2013) e implantadas em locais de maior elevação, protegidos de possíveis deslocamentos, com fácil acesso, livres de interferências de uso do solo e com uma distribuição espacial para evitar excesso no comprimento da linha base,

seguindo orientações apresentadas por Fernandes et al. (2012). As bases foram ocupadas no modo de operação estático (MONICO, 2000).

O método de processamento utilizado nessa etapa foi o posicionamento por ponto preciso (PPP), sendo que as coordenadas do vértice de referência foram determinadas de forma absoluta, referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000). O sistema de projeção adotado foi o UTM (*Universal Transverse Mercator*), fuso 21 S.

A amostragem dos pontos do levantamento cinemático procurou representar o comportamento do terreno de forma real. O processamento dos dados foi realizado no programa Topcon Tools[®] versão 8.2 com altitudes referenciadas ao elipsóide (altitudes geométricas). A transformação das altitudes geométricas para ortométricas (*datum* vertical de Imbituba – SC) foi realizada no programa Mapgeo2010 (IBGE, 2010), mesmo considerando que a variação do modelo geoidal na AR foi de apenas 10 centímetros no sentido norte/sul e não houve variação no sentido leste/oeste. A transformação, contudo, foi realizada para uniformizar o sistema de coordenadas. A precisão da medição foi avaliada individualmente em cada ponto no programa Topcon Tools[®].

Após a etapa do processamento, as coordenadas planialtimétricas dos pontos do levantamento GNSS foram interpoladas utilizando a rede de triângulos irregulares (*Triangular Irregular Network - TIN*) (HUTCHINSON; GALLANT, 2005), gerando curvas de nível com equidistância de dois metros. Estas curvas de nível foram suavizadas no programa de estruturação de dados vetoriais Cartalinx (©Clarklabs), utilizando um filtro passa-baixa de dimensões 5x5 m e uma banda de tolerância de dez centímetros. Na etapa seguinte, o MDE no formato de grade (raster) foi gerado, juntamente com outros seis MDE para cada método de processamento, com pixels de resolução de cinco, dez, quinze, vinte, vinte e cinco e trinta metros no programa SAGA[®] GIS (CONRAD et al., 2015).

A geração do segundo MDE da AR se deu a partir da carta topográfica da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG), vetorizada e estruturada para uso em sistemas de informações geográficas (SIG) por Hasenack e Weber (2010). As isolinhas de altitude, com equidistância de 20 metros, geraram células com resolução de 30 metros. A ferramenta “*grid-spline interpolation*” do SAGA foi utilizada nesse processo.

Os outros três MDE avaliados resultaram de dados de sensoriamento remoto e possuem a mesma resolução que estes, ou seja, pixel de 30m. A obtenção destes modelos se deu a partir de fontes de dados disponíveis e de acesso livre na web: (I) dados do projeto Topodata (BRASIL, 2008), que utilizou dados da SRTM (90m) e realizou um refinamento

destes, reamostrados por krigagem (VALERIANO; ROSSETTI, 2010), passando a resolução de três para um segundo de arco SRTM-C (JARVIS et al., 2008); (II) dados do projeto ASTER GDEM, que trata-se de um sensor no satélite Terra da NASA e utiliza imagens estereoscópicas para medir elevações via paralaxe óptico (Aster GDEM Validation Team, 2011), abrangendo a superfície terrestre entre as latitudes 83° Norte e 83° Sul, sendo distribuído em formato GeoTIFF, em coordenadas geográficas (latitude, longitude), e seus dados possuem resolução de um arco-1 segundo de grade (equivalente a 30m no Equador); e (III) dados da missão SRTM banda “C” (resolução de um segundo de arco), que utilizou um radar imageador por técnicas de InSAR (FARR et al., 2007).

2.2.2 Avaliação da qualidade altimétrica dos MDE

A avaliação da qualidade dos MDE para utilização em MDS foi dividida em duas etapas. A primeira etapa correspondeu à determinação da acurácia dos dados de altitude por meio da comparação de pontos do MDE com pontos de controle no terreno. Na segunda etapa, a avaliação qualitativa dos MDE foi realizada por meio da análise das depressões espúrias e da comparação de perfis de elevação traçados na diagonal da área de estudo.

A altimetria foi avaliada qualitativa e quantitativamente seguindo modelo expresso por Hutchinson (1996). A medida da qualidade dos MDE foi determinada por meio da raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) da elevação (CHAGAS et al., 2010).

Para distribuição dos pontos de controle (PC), dividiu-se a área em quatro quadrantes (NO, NE, SO e SE) e observou-se que cada quadrante contivesse, no mínimo, 20% dos pontos da amostra e que os pontos estivessem afastados a uma décima parte da diagonal da área (MPLMIC, 1999; ATKINSON GORDO; GARCIA; ARIZA LÓPEZ, 2001).

As Especificações Técnicas para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-ADGV (CONCAR-EB, 2011) não determinam o número de pontos de controle que a amostra deve conter para a avaliação final de um produto cartográfico digital. Com base em trabalhos desenvolvidos por Merchant (1982) e Atkinson Gordo; Garcia; Ariza López (2001), optou-se pelo uso de amostras não inferiores a 20 pontos, independentemente da área a controlar ou do tamanho da base de dados.

Os pontos de controle foram levantados de forma independente ao levantamento da base de dados. Receptores GNSS de dupla frequência no modo de operação estático foram utilizados, seguindo as especificações técnicas de posicionamento relativo GNSS propostas por Monico (2008).

A ocupação dos pontos de controle, em número de 50 na área de abrangência da AR, foi realizada em locais pré-determinados, livres da interferência do uso do solo (distante de florestas densas e de construções). O gerenciamento dos dados rastreados foi realizado no sistema Topcon Tools, que forneceu coordenadas Sirgas (em 2000.4) e ondulação geoidal referente ao modelo geoidal MapGeo2010. O teste de *Shapiro-Wilk* foi empregado para verificar a normalidade da amostra. Para implementação desse teste, foi utilizado o ambiente estatístico R, versão 3.2.0, por meio da função “*Shapiro.test*”.

Para comparar as discrepâncias entre as altitudes obtidas nos pontos de controle com aquelas obtidas nos pontos homólogos dos MDE, realizou-se, primeiramente, a unificação dos sistemas de referência cartográficos e padronizou-se o tamanho do pixel em 30 metros para todos os modelos.

A avaliação da acurácia posicional da componente altimétrica e a determinação da “escala máxima” foram vinculadas ao padrão de exatidão cartográfica altimétrica dos MDE para produção de produtos cartográficos digitais (PEC-PCD), de acordo com as ET-ADGV (CONCAR-EB, 2011).

O PEC-PCD representa um indicador estatístico de dispersão igual ao produto do erro padrão – EP (ou desvio padrão – DP ou erro quadrático médio – EQM) pela constante 1,6449 ($PEC-PCD = 1,6449 * EP$). Este indicador representa um nível de confiança de 90%, o que significa que 90% dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as altitudes de referência, devem apresentar os valores iguais ou inferiores ao PEC-PCD altimétrico estabelecido na especificação técnica de acordo com a escala do produto (CONCAR-EB, 2011).

Após a obtenção e a avaliação da acurácia altimétrica de cada modelo, o passo seguinte consistiu na extração dos atributos de terreno para utilização no MDS a fim de comparar o desempenho de cada modelo no processo.

Anteriormente à extração dos atributos de terreno, processamentos e ajustes foram realizados para tornar os MDE hidrologicamente consistentes, com o auxílio do programa SAGA (CONRAD et al., 2015). Nesse processo foi utilizada a biblioteca “*Terrain Analysis - Preprocessing*” pelo módulo “*Fill sinks*” (PLANCHON; DARBOUX, 2001). O módulo “*Fill sinks*” possui um algoritmo que identifica o núcleo da depressão e realiza a análise das células que contribuem para o processo, atuando no preenchimento das depressões superficiais do MDE, preservando a inclinação da pendente ao longo do trajeto de escoamento.

2.2.3 Obtenção dos atributos de terreno e do mapa de classes de geoformas

Os atributos de terreno (AT) testados para predição das classes de solos na AR foram extraídos dos cinco MDE utilizados no estudo, por meio da biblioteca “*Terrain Analysis*” do SAGA, do programa QGis e do programa LandMapR[®] (MAcMILLAN, 2003). No total, foram utilizados oito AT, sendo que sete foram selecionados a partir do levantamento dos atributos de terreno mais utilizados em estudos de mapeamento digital de solos desenvolvidos no Brasil entre os anos de 2006 a 2016 e o restante foi determinado considerando as análises básicas do terreno disponível na biblioteca “*Terrain Analysis*” do SAGA (CONRAD et al., 2015).

A escolha dos sete AT teve como base o estudo efetuado por ten Caten et al. (2012) (atualizado no capítulo 1 do presente trabalho, vide Tabela 1 do item 3.1) que relaciona os AT mais utilizados no MDS. Deste modo, os AT escolhidos foram: elevação (ele), distância da hidrografia (dis), declividade (dec) (ZEVENBERGEN; THORNE, 1987), orientação de vertente (asp) (BREWER; MARLOW, 1993), índice de umidade topográfica (twi) (BEVEN; KIRKBY, 1978), curvatura em perfil (per) (ZEVENBERGEN; THORNE, 1987) e curvatura planar (pla) (ZEVENBERGEN; THORNE, 1987). Na determinação do atributo referente à distância da hidrografia foi utilizada a malha hidrográfica da base cartográfica vetorial 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010).

As geoformas, que também participaram como covariáveis do modelo preditor, foram concebidas por meio do LandMapR[®]. O LandMapR utiliza quatro módulos para realizar suas análises: o FlowMapR, o FormMapR, o Facet-MapR e o WeppMapR. Originalmente, o LandMapR emprega quinze classes de geoformas em sua concepção padrão (MAcMILLAN, 2003), sendo que para o trabalho essas classes foram agrupadas em sete (Sarmiento, 2015), quais sejam: (1) topo suave, (2) ombro divergente, (3) encosta retilínea, (4) encosta divergente, (5) encosta convergente, (6) terraço/patamar e (7) planície.

Uma vez obtidos esses atributos, os dados foram ajustados para um mesmo tamanho de pixel e “*grid*”, utilizando a biblioteca “*grid – tools*” e o módulo “*resampling*” do SAGA. Os dados com valores negativos foram reescalados, no intervalo entre 0 e 1, utilizando a biblioteca “*grid – calculus*” com o módulo “*grid normalisation*”, uma vez que o módulo “*grid calculator*” não permite a presença de valores negativos nas operações do programa SAGA.

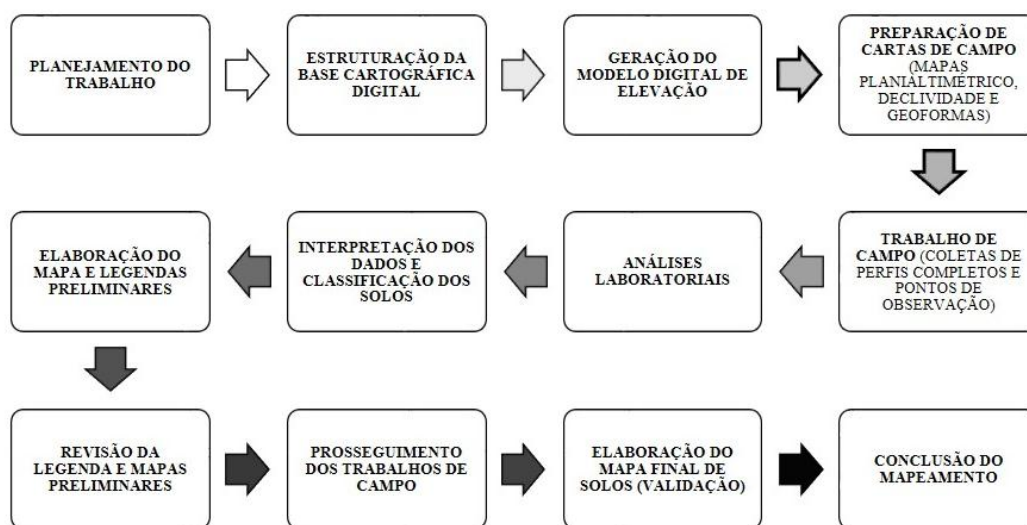
2.2.4 Obtenção do mapa de solos pelo método convencional

Inicialmente, cabe registrar que a área de estudo não possuía mapas de solos em escala compatível com a necessidade da pesquisa. Desta forma, para dar suporte à geração dos mapas digitais, assim como ao treinamento dos modelos preditivos com observações de solo em campo, optou-se também por realizar o mapeamento convencional de solos para a AR com a finalidade de obter o mapa de solos de referência.

O levantamento pedológico pelo método convencional foi planejado e executado adotando as recomendações estabelecidas por EMBRAPA/CNPS (1995), IBGE (2007) e balizado no uso de geotecnologias, seguindo a metodologia desenvolvida por Flores et al. (2012).

Na Figura 2 é apresentado o fluxograma das atividades que foram desenvolvidas para este mapeamento. A etapa de planejamento do trabalho também abrangeu a pesquisa de dados referentes à região de interesse, embora já houvesse o conhecimento que a área possuía limitação de dados. Além da elaboração dos cronogramas e da definição dos materiais que foram utilizados, essa etapa envolveu a definição da logística dos levantamentos levando em consideração a amostragem (quantidade de pontos a serem levantados e desenho amostral) e a escala do mapeamento (nível de levantamento).

Figura 2 – Sequência da metodologia utilizada para o levantamento de solos pelo método convencional da AR



Fonte: Adaptado de Flores et al. (2012).

Foi realizado o levantamento planialtimétrico da área por meio do método GNSS-RTK para obter-se uma base cartográfica compatível para apoiar o levantamento de solos em nível detalhado. Esta base cartográfica digital foi estruturada para uso em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), assim como para a geração do MDE que serviu de base na elaboração dos mapas de declividade e de classes de geoformas.

O mapa planialtimétrico, juntamente com o mapa de declividade e classes de geoformas, foi utilizado no campo para auxiliar o pedólogo na construção do modelo mental e facilitar a transferência das relações solo-paisagem para o mapa de solos, bem como para otimizar a distribuição dos pontos levantados no terreno e conseqüentemente reduzir o custo do levantamento.

Foram descritos e amostrados vinte perfis completos de solos (ANEXO A). A caracterização morfológica foi realizada de acordo com Santos et al. (2005). Além dos vinte perfis completos, foram levantados 280 pontos de observação com sondagem a trado em locais escolhidos estrategicamente na área de interesse.

As amostras, após secagem ao ar, foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA). A granulometria foi determinada após dispersão com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitação mecânica por 4 horas (EMBRAPA, 1997). A fração areia foi separada por tamisação úmida em peneira com malha de 0,053 mm e em seguida fracionada em cinco classes de diâmetro: 1,00-2,00 mm (areia muito grossa), 0,50-1,00 mm (areia grossa), 0,25-0,50 mm (areia média), 0,106-0,25 mm (areia fina) e 0,053-0,106 mm (areia muito fina). A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e a fração silte teve sua determinação calculada por diferença.

No laboratório de química de solos, o pH do solo em água (pH_{água}) foi determinado utilizando uma relação solo-solução de 1:2,5. Os teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis foram determinados por espectroscopia de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L⁻¹. Os teores de sódio (Na⁺) e potássio trocáveis (K⁺) foram determinados por fotometria de chama após extração com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹. A acidez potencial trocável (H + Al) foi determinada em extrato de Ca (OAc)₂ 1,0 mol L⁻¹ a pH 7,0 e titulado com NaOH 0,0606 mol L⁻¹. O alumínio trocável (Al³⁺) foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹. Todas as análises descritas acima seguiram metodologia da Embrapa (1997). A partir dos dados analíticos foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação de alumínio (Al%) e a saturação de bases (V%), e a relação silte/argila.

Os teores de óxidos de ferro (Fe_d) e de Al (Al_d) foram determinados pelo método do ditionito-citrato-bicarbonato a quente (MEHRA; JACKSON, 1960). Os teores de Fe e Al provenientes de formas mal cristalizadas (Fe_o e Al_o) foram obtidos pela extração com solução ácida de oxalato de amônio no escuro (McKEAGUE; DAY, 1966). A concentração de Fe e Al nos extratos foi determinada por espectroscopia de absorção atômica.

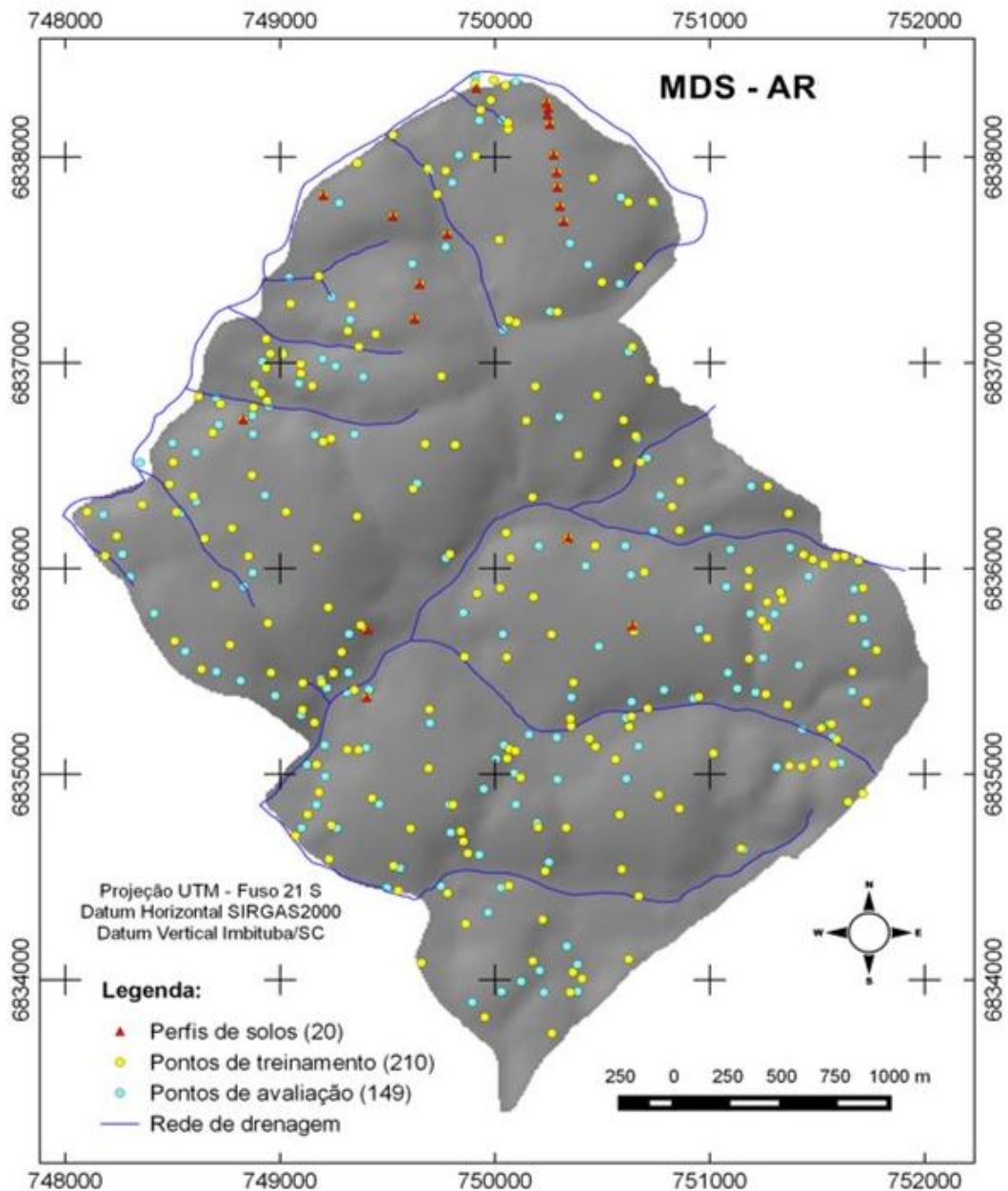
Após a interpretação dos dados analíticos e das características morfológicas de cada perfil, foi realizada a classificação dos solos utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2013a). Posteriormente, foi elaborada a legenda para auxiliar o delineamento das classes de solos.

O delineamento das classes de solos foi realizado utilizando a base cartográfica planialtimétrica, o mapa de declividade, o mapa de classes de geoformas e as imagens do Google Earth[®] sobrepostos em camadas. Na sequência, foi realizada a validação do mapa utilizando dados levantados em campo e a edição do mapa final de solos no programa QGIS[®], versão 2.8.

2.2.5 Amostragem de solo para o MDS

O esquema de amostragem com dados de campo, usado para treinar o algoritmo de árvore de decisão (J48) e validar o mapa predito, foi estruturado utilizando 359 pontos distribuídos ao longo de transectos (LONGLEY et al., 2013) por toda área (Figura 3). As amostras foram separadas por divisão percentual, sendo 55% para o treinamento do modelo (210 amostras) e o restante das amostras para validação do modelo preditor usado no MDS (149 amostras). A frequência de amostragem utilizada foi de 0,35 observações por hectare, permanecendo dentro dos parâmetros recomendados pelo IBGE (2015) para levantamento detalhado de solos. A densidade de observações é estipulada em função do grau de heterogeneidade da área e da escala final do mapa de solos (IBGE, 2015).

Figura 3 – Mapa da distribuição espacial dos dados amostrais de campo utilizados para treinamento e avaliação da AR



Os mesmos pontos de campo utilizados na avaliação da qualidade dos mapas gerados por MDS foram também empregados para calcular a acurácia do mapa convencional de solos, permitindo, assim, uma comparação entre o mapa gerado por MDS e o mapa convencional.

Os pontos amostrais, levantados em campo para treinamento do modelo, foram tabelados e transformados em arquivos ARFF (*Attribute-Relation File Format*) com valores extraídos de cada mapa de atributo gerado. Esta tarefa foi realizada com o auxílio da biblioteca “*Add grid valor to shape*”, do módulo “*Shape - grid*”, do programa SAGA. Os dados foram exportados no formato de texto, organizados e transformados em arquivo ARFF

através da linguagem de programação Python[®] e transferidos para o programa Weka[®] (HALL et al., 2009). Nesta etapa, foi avaliado o poder de predição dos atributos de terreno extraídos de cada MDE, correlacionando as características da paisagem com a variabilidade espacial dos solos por meio do treinamento do algoritmo J48, baseado em árvore de decisão, para produzir o modelo classificador. A árvore de decisão resultante foi transformada em teste condicional para ser utilizada na geração dos mapas digitais de solos.

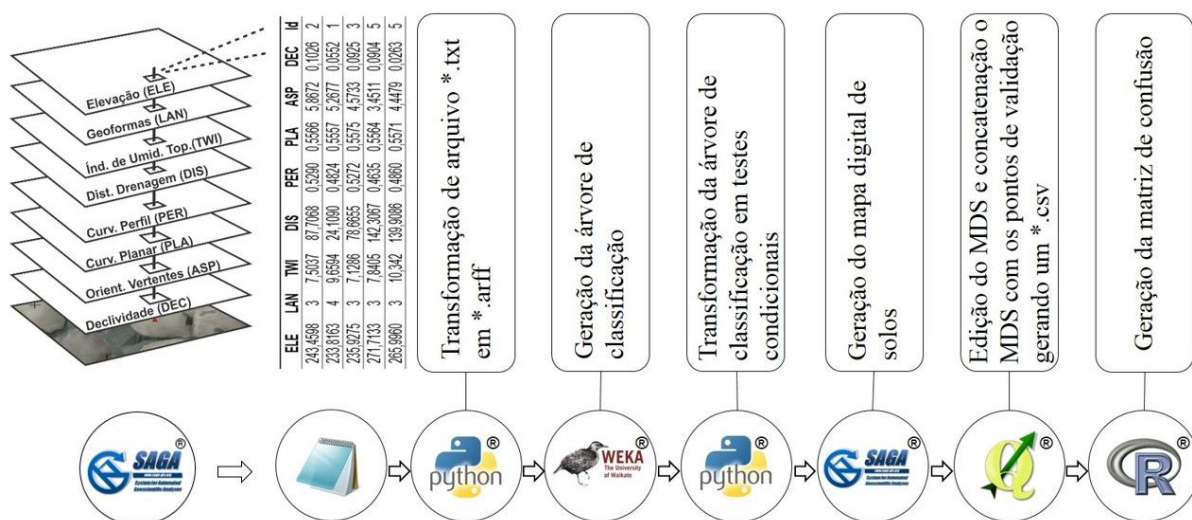
O algoritmo J48 no Weka foi escolhido para classificação devido a sua eficiência comprovada em trabalhos anteriores (COELHO; GIASSON, 2010; GIASSON et al., 2011; ten CATEN et al., 2012; ten CATEN et al., 2013; CUNHA, 2013; GIASSON et al., 2013; BAGANTINI; GIASSON; TESKE, 2015; GIASSON et al., 2015).

2.2.6 Geração dos mapas digitais de solos em ambiente SIG

O passo seguinte, adotado para elaborar os mapas de solos utilizando técnicas de MDS, foi converter a árvore de decisão gerada no Weka para SIG. O processo de conversão produziu testes condicionais para serem processados no SAGA, na biblioteca “*Grid-calculus*”, utilizando as condicionais como fórmula no módulo “*Grid Calculator*”.

De forma esquemática, a Figura 4 resume os passos percorridos com a utilização de softwares livres, para produzir os mapas digitais de classes de solos para a área de referência AR.

Figura 4 – Passos para a geração dos mapas digitais de solos utilizando softwares livres



2.2.7 Avaliação da qualidade dos mapas digitais de solos

Os dados de solos levantados em campo (149 pontos), para a validação do modelo preditor, foram cruzados com os mapas gerados no MDS. Essa operação foi realizada no QGIS, empregando o complemento “*accuracy assessment*”. Posteriormente, esses dados foram tabulados em uma matriz de erro (CONGALTON, 1991), que permitiu a obtenção dos dados concordantes (células da diagonal principal) ou discordantes entre as preditas e as de referência, representados pelos seguintes indicadores de acurácia: exatidão global (EG), acurácia do produtor (AP), acurácia do usuário (AU) e índice Kappa (COHEN, 1960).

A AP e a AU permitem compreender a qualidade da predição de uma classe individualizada. A AP expressa a proporção da classe de referência concordante com a classe predita. Foi determinada dividindo a fração concordante com o total de cada coluna. A AU representa a proporção da classe nos dados preditos concordante com os dados de referência, sendo apurada dividindo a fração concordante com o total de cada linha.

A discordância de quantidade (DQ) (equação 3) e discordância de alocação (DA) (equação 4) foram avaliadas seguindo orientações de Pontius Junior & Millones, (2011). A DQ expressa a classificação incorreta de pixels nas classes, enquanto que a DA quantifica inconsistências na distribuição espacial de pixel nas classes.

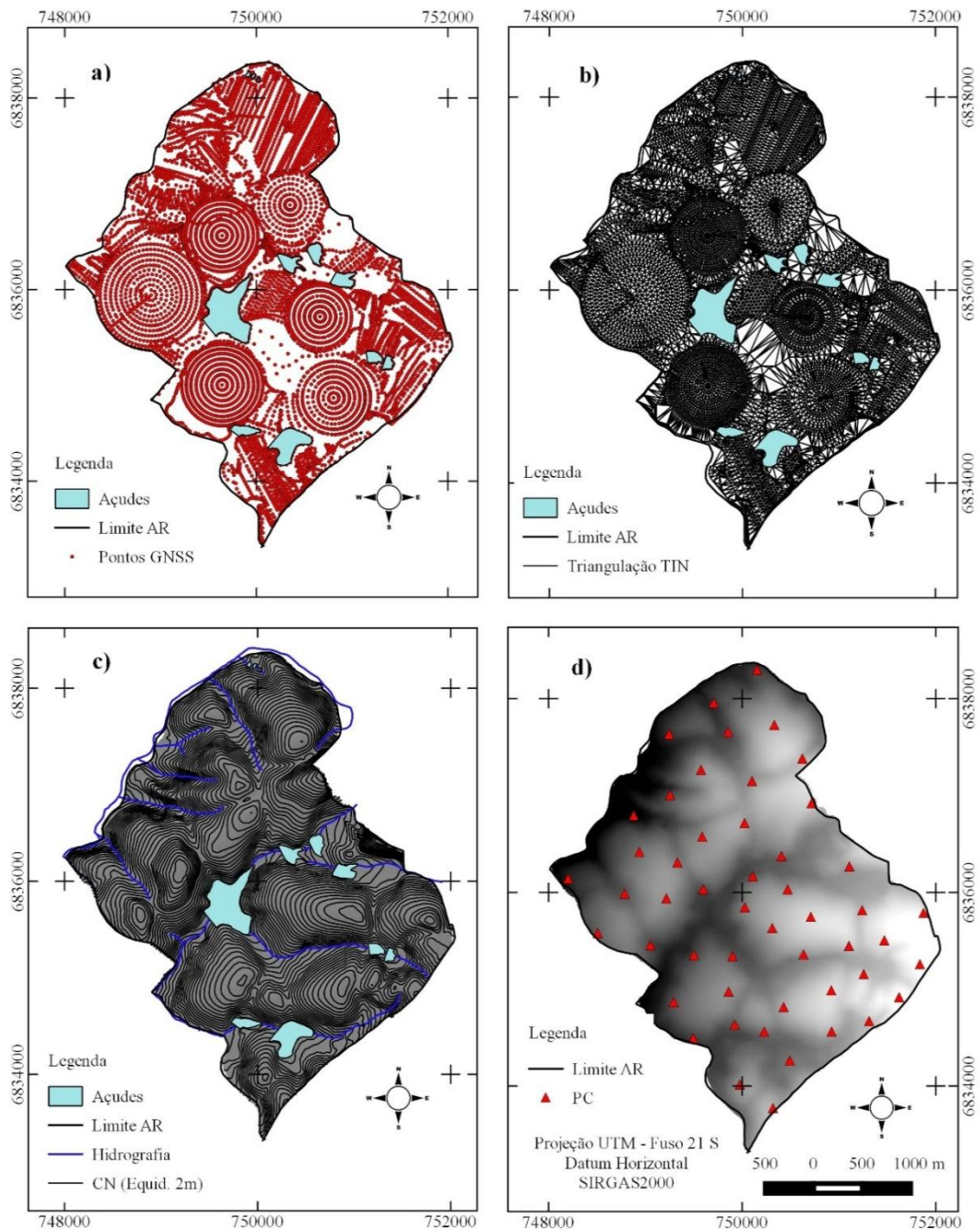
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 OBTENÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTOS DOS MDE

O levantamento planialtimétrico realizado por GNSS resultou na determinação de coordenadas tridimensionais em 7435 pontos (Figura 5a), resultando em uma amostragem média de 7,5 pontos por hectare, o que possibilitou o enquadramento do levantamento planialtimétrico na classe II PA da NBR 13.133/94. Esta densidade de pontos permitiu a interpolação pela técnica de triangulação – TIN (Figura 5b) e obter o mapa numa escala de representação equivalente a 1:5.000, com curvas de nível com equidistância de 2 metros (Figura 5c). A partir das curvas de nível foi gerado o MDE de referência para a AR, chamado neste estudo de MDE GNSS (Figura 5d), o qual serviu como base de dados do terreno para o mapeamento de solo em nível detalhado na área AR.

Observa-se na Figura 5a e 5b que em alguns locais houve uma superamostragem e em outros locais, devido à presença de vegetação densa e lâminas d'água, ocorreu uma subamostragem. Essa diferença de intensidade de amostragem gerou rugosidade do terreno em locais com excesso de pontos e alisamento de feições do terreno em locais com poucos pontos. Em vista disso, as curvas de nível do mapa planialtimétrico (Figura 5c) precisaram passar por um processo de suavização para eliminar o excesso de vértices que estavam afetando a qualidade do MDE GNSS (Figura 5d). Segundo Chaves (2002), uma superamostragem não significa necessariamente uma amostragem representativa e muitas vezes o excesso de dados pode resultar em pequenas distorções da superfície do terreno.

Figura 5 – Fases da construção do MDE de referência da AR



(a) pontos de elevação do terreno levantados pelo sistema GNSS; (b) triangulação TIN derivado dos pontos de elevação; (c) curvas de nível resultantes da interpolação TIN; (d) MDE GNSS.

Os cinco MDE avaliados neste estudo estão representados nas Figuras 6 a 10, com a distribuição espacial dos 50 pontos de controle utilizados para a avaliação da acurácia altimétrica. A análise visual de cada MDE mostra que o MDE GNSS (Figura 6) apresenta maior uniformidade na representação do relevo, seguido do MDE Carta (Figura 7), MDE Topodata (Figura 8), MDE SRTM-C (Figura 9) e, por último, do MDE Aster (Figura 10).

Este comportamento está associado com a forma de aquisição dos dados altimétricos de cada MDE e concordante com o estudo realizado por Teske (2014) e Pinheiro et al. (2012), que mostram que o terreno apresenta variações nos diferentes MDE.

Figura 6 – MDE de referência obtido por levantamento de campo GNSS da AR (MDE GNSS)

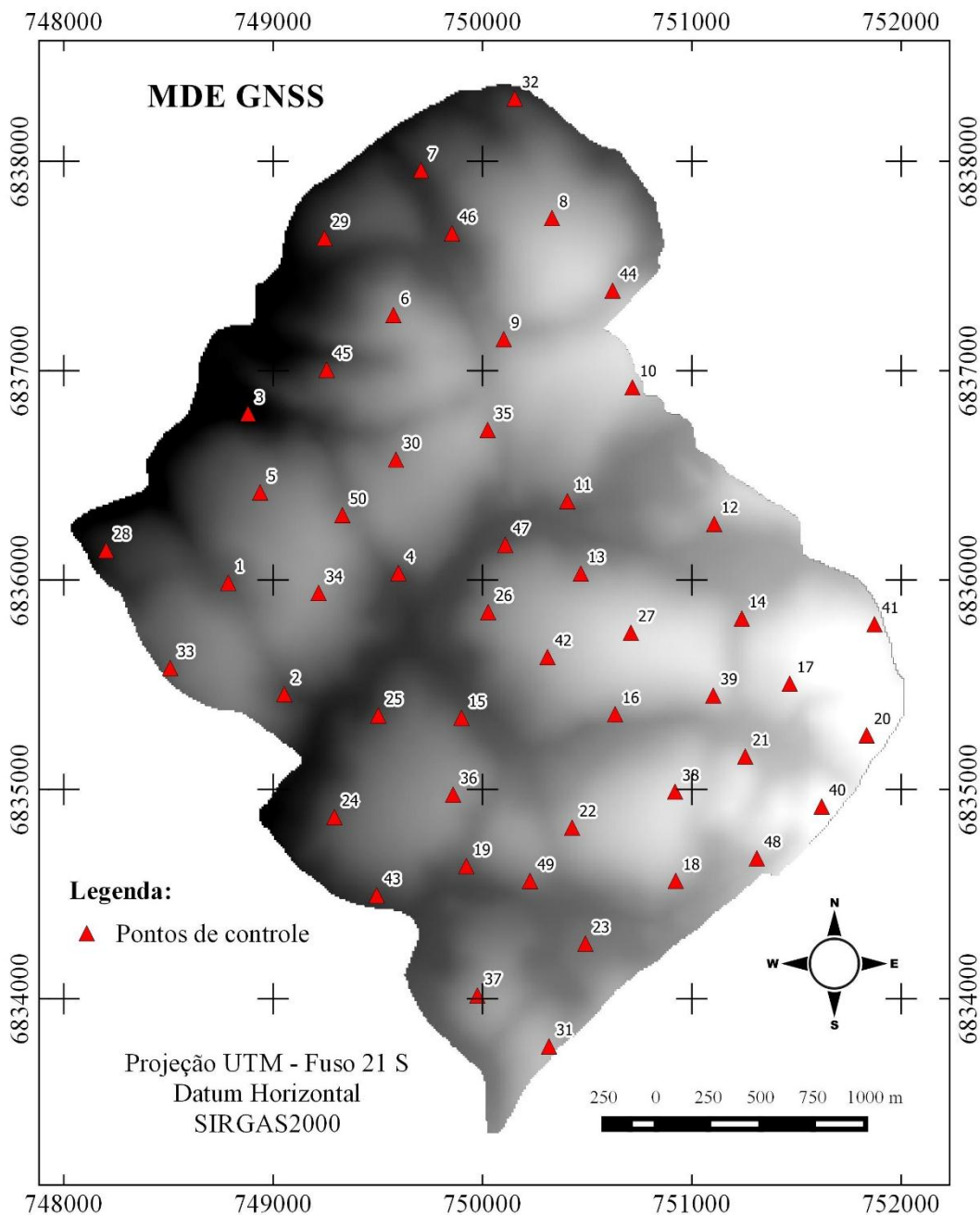


Figura 7 – MDE obtido da carta topográfica Carajazinho na escala 1:50.000 (MDE CARTA)

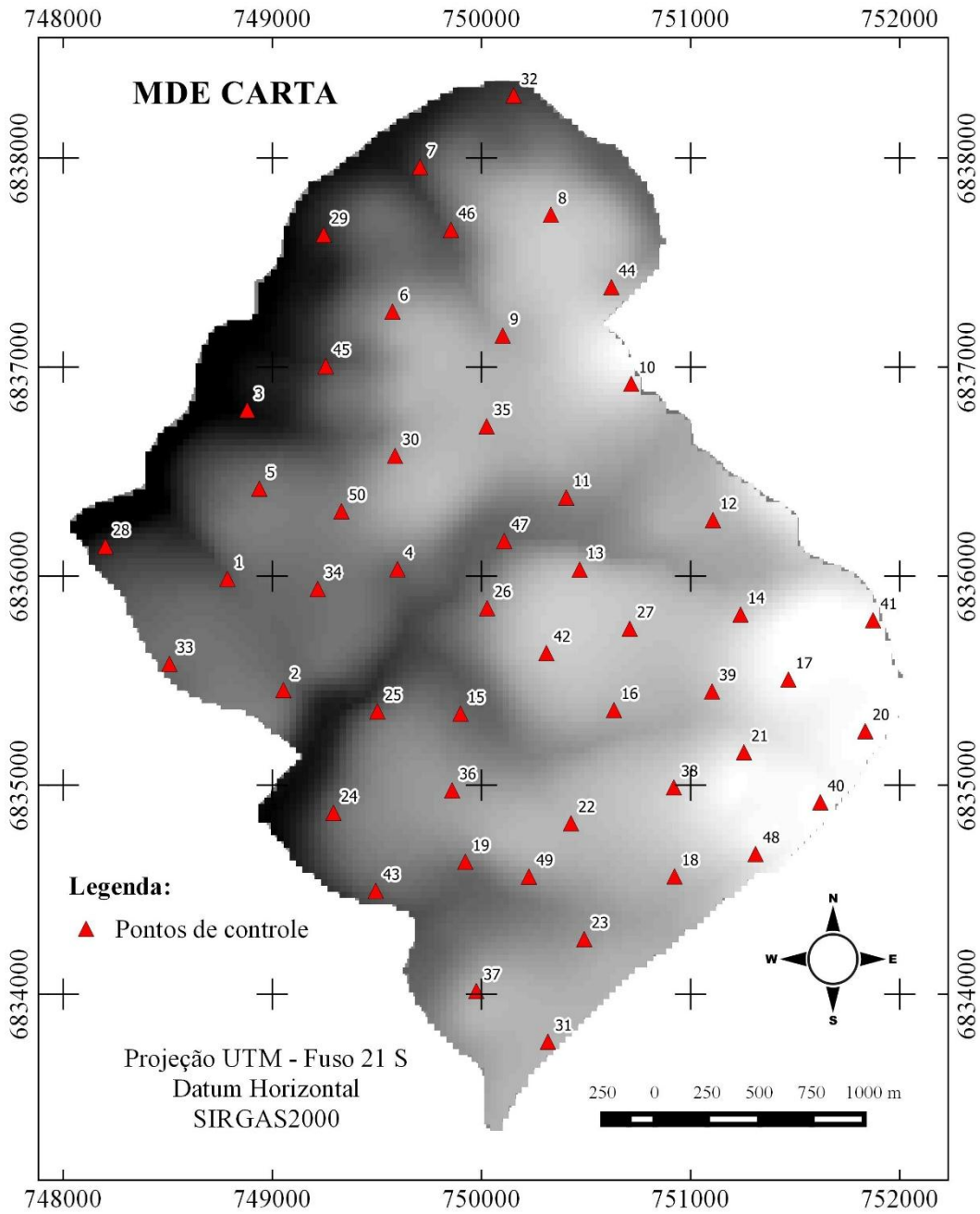


Figura 8 – MDE obtido do projeto Topodata (MDE TOPODATA)

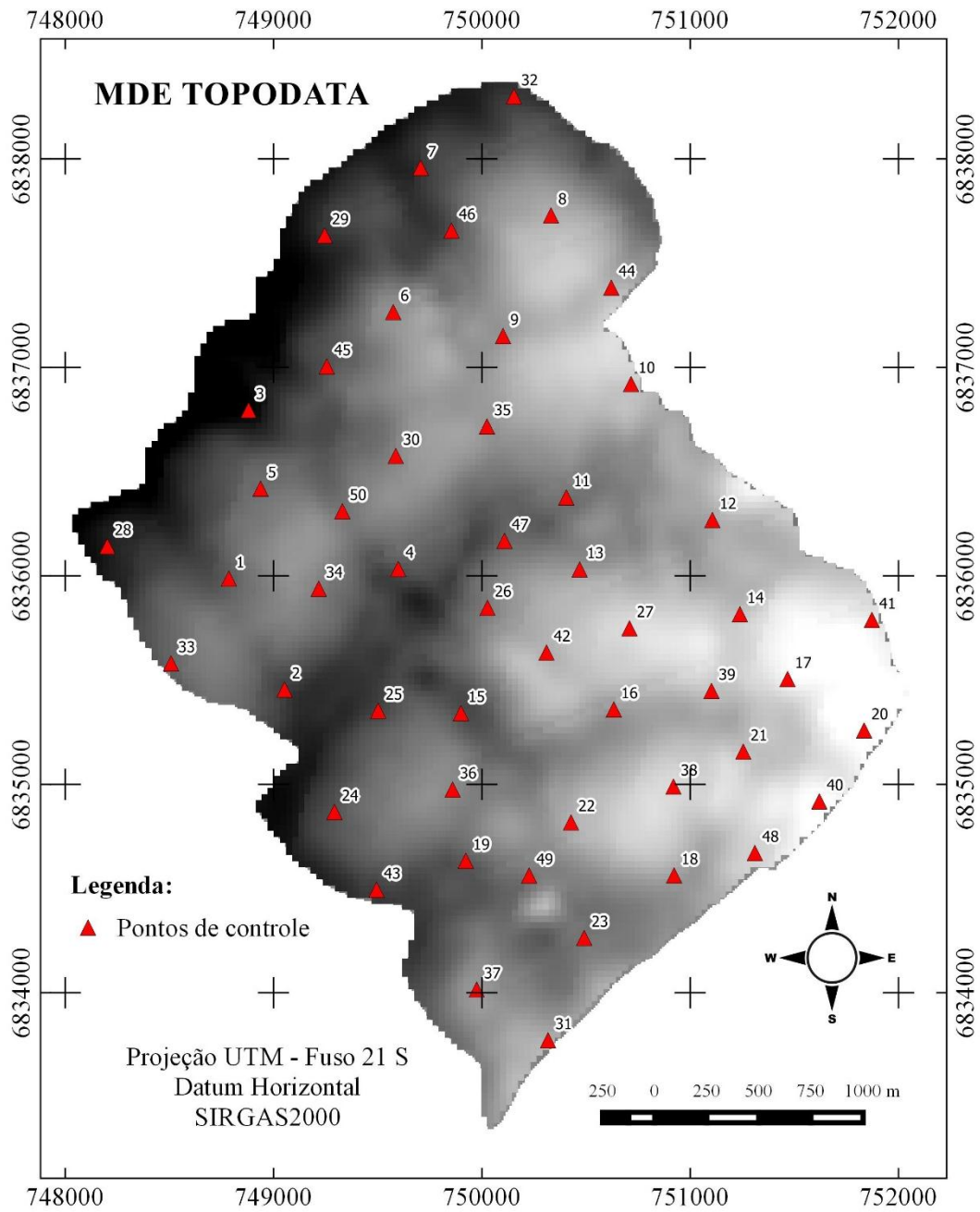
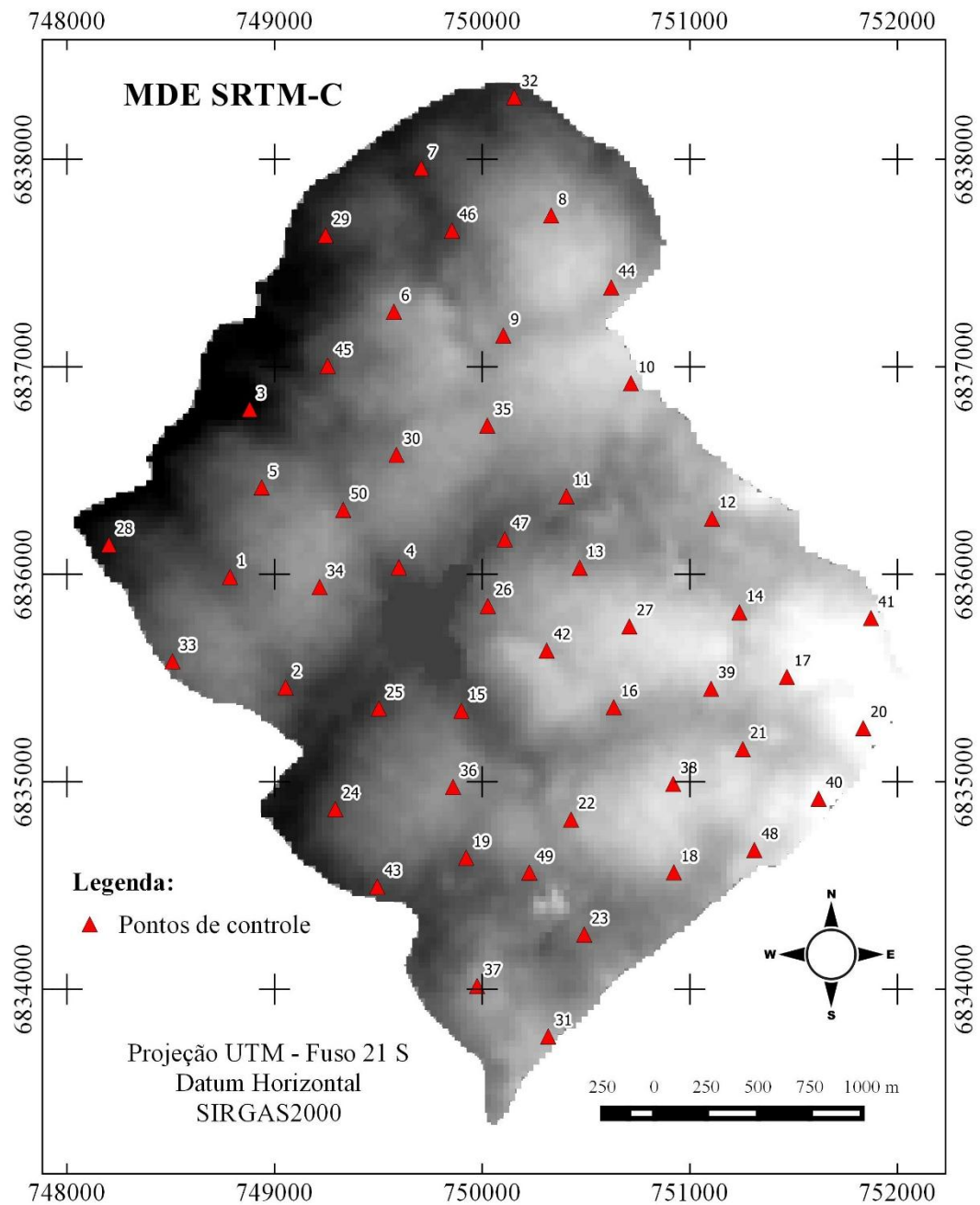
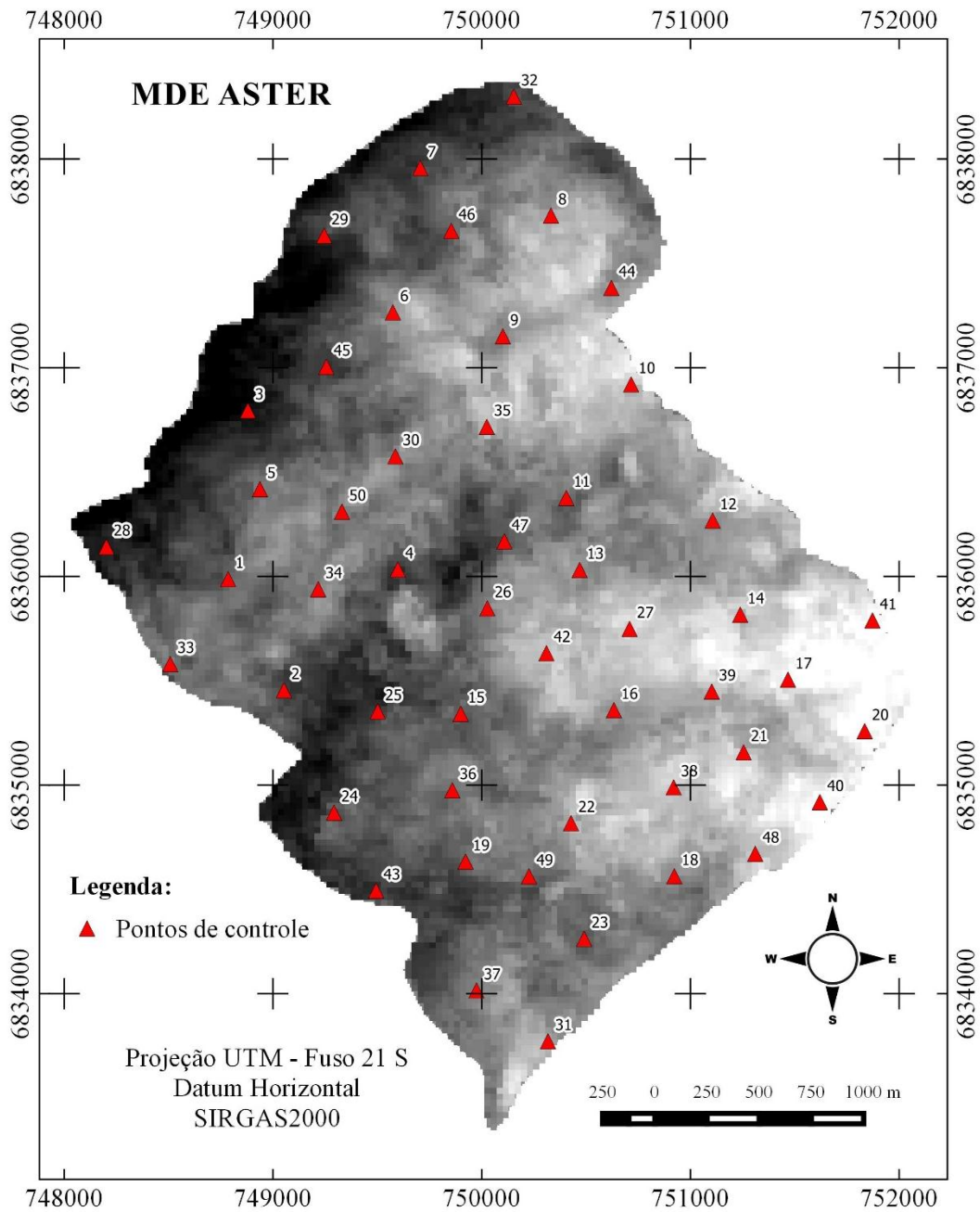


Figura 9 – MDE obtido da missão SRTM (MDE SRTM-C)



O MDE Aster apresentou visualmente a menor uniformidade na representação do terreno, com grande variação nos valores de altitude. Tal desempenho está associado à presença de vegetação, artefatos na superfície e terreno plano, uma vez que a obtenção de dados altimétricos do Aster utiliza a estereoscopia para aquisição de dados, sendo esta técnica a mais influenciada por esses fatores (GUTH, 2010).

Figura 10 – MDE obtido do Aster GDEM (MDE ASTER)



3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ALTIMÉTRICA DOS MDE

Anteriormente à avaliação da acurácia dos MDE, foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade dos pontos de controle utilizados para a avaliação da qualidade altimétrica. O resultado mostrou que os pontos da amostra seguiram uma distribuição normal, com valor de p-valor de $0,634 > 0,05 = \alpha$ (nível de significância).

A avaliação dos MDE consistiu na comparação das estatísticas dos valores de altitude dos cinco MDE na resolução espacial de 30 metros em relação aos PC. O maior valor de elevação foi registrado no MDE Aster e os menores ocorreram no MDE GNSS e no MDE SRTM-C, ficando estes muito próximos da altitude dos PC (Tabela 1). A maior diferença nos valores de amplitude foi observada no MDE Carta (7,2 m) e no MDE Topodata (2,5 m) em relação aos PC. As menores diferenças foram no MDE GNSS (0,1 m), no MDE SRTM-C (0,2 m) e no MDE Aster (1,2 m). Os valores médios de altitude dos MDE também ficaram muito próximos, sendo que as maiores diferenças verificadas nos valores médios em comparação aos PC foram do MDE Carta (272,9 m) e do MDE Aster (268,4 m).

Todos os MDE gerados tiveram uma correlação significativa entre as altitudes dos PC, exceto o MDE Aster, que apresentou $r = 0,61$ (Tabela 1). Os MDE GNSS, MDE SRTM, MDE Carta e MDE Topodata apresentaram uma correlação muito forte, principalmente o MDE SRTM-C e MDE GNSS.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos valores de altitude e erros de altitude em relação aos PC para os cinco MDE avaliados

Estatísticas	MDE					PC
	Topodata	SRTM-C	ASTER	Carta	GNSS	
Min.	232,9 (3,2)	230,0 (0,3)	233,0 (3,3)	233,0 (3,3)	229,6 (-0,1)	229,7
Máx.	307,6 (0,7)	307,0 (0,1)	309,0 (2,1)	303,0 (-3,9)	306,7 (-0,2)	306,9
Amplitude	74,7 (-2,5)	77,0 (-0,2)	76,0 (-1,2)	70,0 (-7,2)	77,1 (-0,1)	77,2
Média	272,6 (2,0)	271,6 (1,0)	268,4 (-2,2)	272,9 (2,3)	270,4 (-0,2)	270,6
r	0,98*	0,99*	0,61	0,98*	0,99*	-
ME	-2,02	-0,98	2,18	-2,34	0,16	-
SD	2,23	1,65	5,09	4,73	0,46	-
RMSE	2,99	1,91	5,49	5,24	0,48	-

Min = valor mínimo; Máx = valor máximo; Amplitude = diferença entre os valores Min e Máx; r = coeficiente de correlação; ME = média da discrepância; SD = desvio padrão da discrepância; RMSE = raiz quadrada do erro médio quadrático; PC = Pontos de Controle; (x) diferença em relação aos PCs; * Correlação significativa. Os valores estão apresentados em metros (m).

A partir do cruzamento entre as altitudes dos MDE e dos 50 PC foram calculadas as discrepâncias, obtendo-se os valores de ME, SD e RMSE (Tabela 1). Os maiores valores de ME foram observadas no MDE Topodata (-2,02 m), MDE Aster (2,18 m), com destaque para o MDE Carta (-2,34 m). O sinal negativo nos valores de ME indica que as altitudes dos MDE estão sendo superestimadas em comparação aos PC, sendo esta situação observada nos MDE Topodata, MDE SRTM-C e MDE Carta. Já o sinal positivo observado no MDE Aster indica que as altitudes estão sendo subestimadas em relação ao PC. Trabalho realizado na Índia por Mukherjee et al. (2013), constatou este mesmo comportamento para os valores de altitude do MDE Aster. Da mesma forma, Moura-Bueno et al. (2016) observaram valores de altitude

menores para o MDE obtido do Aster em estudo que avaliou a qualidade de MDE para uso no MDS de bacias hidrográficas com relevo suave ondulado no Planalto do RS.

Guth (2010), avaliando a qualidade de MDE obtidos de sensores remotos, também observou que os valores de altitude do Aster eram menores em relação aos dados obtidos da missão SRTM. Segundo Guth (2010), uma das razões para o Aster apresentar resultados inferiores pode ser atribuída ao fato de que até 20% das células apresentam anomalias. Erros inerentes ao método estereoscópico utilizado para a obtenção dos dados do Aster podem explicar este desempenho.

Os maiores valores de amplitude, ME, SD das discrepâncias e RMSE foram observados no MDE Topodata, MDE Aster e MDE Carta (Tabela 1), indicando que esses MDE não representaram adequadamente a superfície do terreno em comparação aos PC. Já os menores valores foram observados nos MDE SRTM-C e MDE GNSS. O resultado mostra que os valores de altitude destes MDE são condizentes com os valores de altitude dos PC, considerados a verdade de campo neste estudo. Moura-Bueno et al. (2016), observaram essa mesma tendência, com os MDE SRTM e MDE gerados a partir de um levantamento de campo apresentando a melhor qualidade altimétrica.

Em relação aos valores de RMSE, o MDE GNSS apresentou o menor valor (RMSE = 0,48 m) em comparação com outros quatro modelos. Os maiores valores foram observados no MDE Aster (RMSE = 5,49 m) e MDE Carta (RMSE = 5,24 m). Já os MDE Topodata e MDE SRTM apresentaram valores intermediários (2,99 m e 1,91 m, respectivamente). Estes resultados situaram-se abaixo dos parâmetros médios especificados para a resolução vertical dos MDE SRTM, Aster e Topodata, que indicaram ± 10 m (relativa), com nível de confiança de 90% do erro linear e ± 20 m (absoluta), com nível de confiança de 95% do erro linear (Aster GDEM Validation Team, 2011; NASA-JPL, 2014).

Estudo realizado em três municípios no Estado do Mato Grosso do Sul por Iorio et al. (2012), em áreas com relevo suave ondulado, mostrou que os maiores valores de RMSE foram observados para o TOPODATA (19,83 m) quando comparado aos MDE ASTER (17,23 m) e SRTM-C (16,69 m). A avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos realizada por Chagas et al. (2010) concluiu que o MDE derivado de curvas de nível da carta topográfica (escala 1:50.000) apresentou qualidade superior aos MDE derivados de sensores remotos SRTM e ASTER. Os mesmos autores também constataram que apenas a análise do RMSE não foi suficiente para avaliar os modelos, sugerindo uma avaliação combinada com outros elementos para garantir uma avaliação mais densa.

Os valores de RMSE observados nos cinco MDE avaliados no trabalho foram menores em relação aos encontrados por Moura-Bueno et al. (2016), que observaram valores de RMSE de 9,78; 5,95; 15,57; 8,28 e 1,93 m para os MDE Topodata, SRTM-C, Aster, Carta e MDE gerado por levantamento de campo, respectivamente. Apesar das características de relevo da área de trabalho de Moura-Bueno et al. (2016), serem semelhante às do presente estudo, os MDE apresentaram desempenho distintos.

Druzina (2007), que avaliou a qualidade dos MDE SRTM, CARTA e ASTER no município de Porto Alegre no Estado do RS, observou que em áreas com relevo plano o MDE gerado a partir da carta apresentou maior RMSE (5,64 m) em relação à área com relevo misto (RMSE = 4,61 m), sendo os valores de altitude subestimados em relação aos pontos de controle. Para o MDE SRTM e ASTER, o autor encontrou um RMSE de 3,40 e 4,62 m para áreas planas; 8,26 e 6,69 m para áreas mistas; 10,96 e 6,52 m para áreas de relevo acidentado, respectivamente.

É possível observar que há uma variação para os valores do RMSE quando se comparam dados de MDE das mesmas fontes, com a mesma resolução e também daqueles gerados por diferentes formas de aquisição. Sobre esta questão, Souza (2015) comenta que “essas diferenças entre os resultados podem ter como explicação erros inerentes aos MDE, tais como erros sistemáticos, picos/depressões e randômicos, além de problemas nas interpolações e tamanho do pixel”. Tal fato explicita a necessidade da avaliação da magnitude dos erros dos MDE para uso no MDS em áreas específicas, pois os resultados obtidos em um local podem não ser aplicáveis para outros.

No MDE ASTER foi percebida uma tendência geral de subestimar os valores medidos e um desvio consistente em muitos pontos, alcançando uma correlação não significativa entre os pontos de controle.

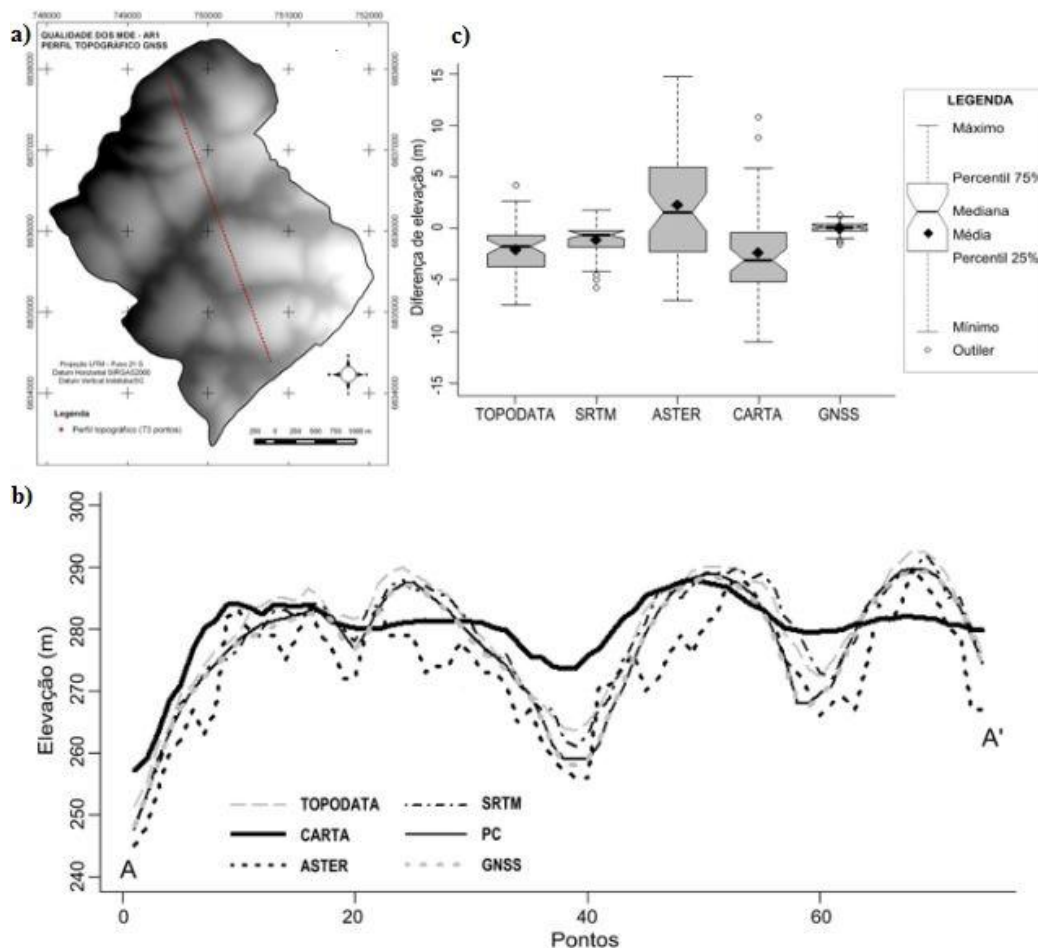
Os resultados da análise estatística representada na Tabela 1 indicaram o MDE GNSS como o modelo que mais se aproxima da superfície real do terreno, tendo como base de comparação os 50 pontos de controle.

O resultado da comparação entre um perfil topográfico de referência traçado na AR, contendo 73 pontos do levantamento GNSS com equidistância de 50 metros, e os perfis topográficos extraídos dos cinco MDE (Figura 11b) demonstrou que o MDE GNSS é o que mais se aproxima do perfil topográfico de referência. O SRTM e o Topodata se afastam dos pontos de referência nas áreas de baixadas e o Aster GDEM possui picos de altitude com variações abruptas, deformando a rugosidade superficial do terreno, enquanto que os MDE

gerados a partir da carta topográfica, SRTM-C e Topodata possuem traçado de relevo mais suave com menos rugosidade.

O gráfico de caixas (Figura 11c) explica a estatística descritiva dos valores de altitude de cada MDE, quando comparado com o perfil topográfico de referência. Observa-se com clareza a aproximação do perfil topográfico do levantamento GNSS com o perfil de referência. Vale lembrar que o levantamento GNSS contém dados apenas do terreno, sem considerar as elevações, como vegetação e construções.

Figura 11 – Representação dos cinco perfis topográficos extraídos MDE



a) mapa de localização do perfil diagonal na AR representado por 73 pontos de controle com equidistância de 50m; b) representação dos perfis topográficos extraídos dos cinco MDE e dos pontos de controle (PC); c) Gráfico de caixas (box plot) com o resultado do teste t (nível de significância $\alpha = 0,05$) para os valores de altitudes dos pontos de referência (PR) e dos cinco MDE estudados.

Os resultados do PEC-PCD⁷ dos cinco MDE quanto à classificação da posição em relação à altitude são apresentados na Tabela 2. Os modelos atenderam a diferentes classes e escalas, sendo que o modelo MDE GNSS teve o melhor desempenho, atendendo à classe B 1:5.000 e o MDE gerado pela missão SRTM-C alcançou um PEC altimétrico compatível com a classe B na escala 1:25.000. Os MDE Topodata, Carta e Aster apresentaram mais de 90% dos pontos avaliados com valores de discrepâncias posicionais altimétricas menores que o valor do PEC_PCD para a classe 1:50.000 (Tabela-2). Também apresentaram o RMSE das amostras com valores abaixo do erro padrão (EP) fixado na especificação técnica. A análise isolada desses resultados permitiu validar a viabilidade de uso no MDS, para essa área específica, até o nível de levantamento semidetalhado (1:50.000), caracterizando um bom desempenho dos MDE SRTM-C, Carta e Topodata nesse quesito. Já o MDE GNSS atendeu aos requisitos de escala para uso no MDS em escala detalhada (1:5.000).

Tabela 2 – Padrão de exatidão cartográfica (PEC) altimétrico dos MDE avaliados

PEC-PCD	1:5.000		1:25.000		1:50.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A ¹	0,54	0,34	2,70	1,67	5,50	3,33
B ¹	1,00	0,66	5,00	3,33	10,00	6,66
C ¹	1,20	0,80	6,00	4,00	12,00	8,00
D ¹	1,50	1,00	7,50	5,00	15,00	10,00
MDE						
GNSS ²	96% < 1,00	0,48<0,66	PEC-PCD Classe B (1:5.000)			
SRTM-C ²	96% < 5,00	1,91<3,33	PEC-PCD Classe B (1:25.000)			
Topodata ²	92% < 5,50	2,99<3,33	PEC-PCD Classe D (1:25.000)			
Carta MDE ²	96% < 10,00	5,24<6,66	PEC-PCD Classe B (1:50.000)			
Aster GDEM ²	94% < 10,00	5,49<6,66	PEC-PCD Classe B (1:50.000)			

¹Dados Tabelados, ²Dados calculados.

Estudo realizado por Moura et al. (2014) para a avaliação MDE globais (SRTM, Aster e HydroSHEDS) e nacionais (Topodata) em duas bacias hidrográficas, mostrou que os MDE atenderam à escala 1:50.000 na bacia com relevo suave movimentado e 1:100.000 na bacia com relevo movimentado, sendo os melhores resultados observados no Topodata. Souza (2015), analisando a precisão altimétrica dos MDE SRTM (90m), Topodata e Aster GDEM para área semiárida do nordeste brasileiro, observou que os dados Aster GDEM tiveram os melhores resultados, com um EMQ de 2,39 metros, compatível com a escala de 1:25.000 (classe C). O Topodata apresentou um enquadramento compatível com a escala 1:50.000

⁷ Os dados tabelados previstos para a classe “A” (PEC-PCD) foram definidos a partir de adaptações dos estudos realizados por Merchant (1982) e ASPRS (1989), nos quais o PEC-PCD=0,27* equidistância do produto cartográfico e o EP = 1/6* equidistância do produto cartográfico. As classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD correspondem, em ordem, às classes “A”, “B”, “C” do PEC altimétrico previstas no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984 (Brasil, 1984).

(Classe A). Já os dados SRTM (90 m), segundo o autor, apenas se enquadraram na precisão necessária para a escala 1:100.000, não sendo aconselhável o uso para escalas maiores.

Estudos comparativos entre diferentes MDE, com medições realizadas em campo por sistema GNSS e em distintas configurações topográficas, têm demonstrado comportamentos variados. Jarvis et al. (2004), compararam o MDE gerado pelo SRTM com MDE obtido com dados de uma carta topográfica na escala 1:50.000 e os resultados deste estudo demonstraram que o MDE SRTM apresentou melhor desempenho quando comparado com as medições baseadas em dados de campo obtidos por rastreadores GNSS.

Moura-Bueno et al. (2016), ao avaliarem modelos digitais de elevação para o mapeamento digital de propriedades de solos em uma bacia hidrográfica em condições de relevo similares às do presente estudo, constataram que os MDE disponíveis gratuitamente podem ser utilizados para estudos em MDS em escalas entre 1:25.000 a 1:50.000, com exceção do MDE ASTER, que ficou limitado à escala 1:100.000 para utilização em estudos dessa natureza.

Por outro lado, Souza (2015) ao analisar a precisão altimétrica de dados SRTM, Topodata e ASTER, de uma área semiárida entre Pernambuco e Paraíba, constatou que, para a área analisada, os dados ASTER tiveram os melhores resultados, sendo compatíveis, com algumas ressalvas, com a escala de 1:25.000. Observou, também, que os dados SRTM se enquadravam na precisão necessária para a escala 1:100.000 e que os dados Topodata apresentaram condições de utilização entre as escalas 1:100.000 e 1:50.000.

Com base nos resultados obtidos neste estudo e nos registros encontrados na literatura, foi possível verificar que os MDE apresentam desempenhos distintos em relação ao enquadramento da escala pela avaliação do PEC-PCD, o que confirma a necessidade de estudar e avaliar a qualidade dos MDE para uso no MDS para regiões específicas.

A análise das linhas de fluxo ajudou a estabelecer os critérios de escolha do MDE, pois possibilitou verificar se o sentido de escoamento das águas estava coerente com a conformação natural do relevo ou se apresentava depressões espúrias.

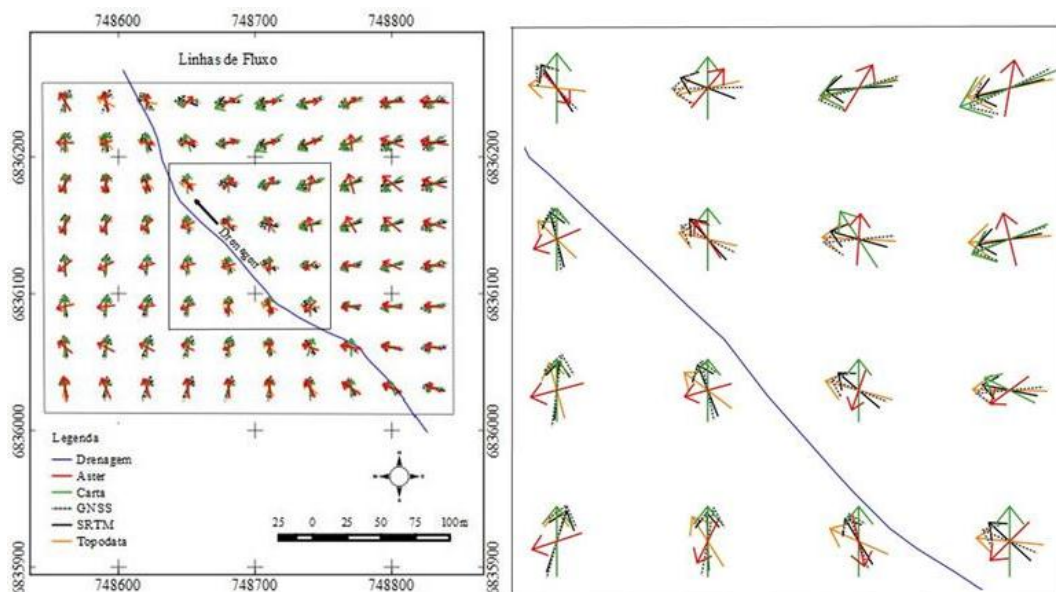
As depressões espúrias dos MDE foram detectadas e corrigidas utilizando o módulo “Fill Sinks” (PLANCHON; DARBOUX, 2001) na biblioteca “Terrain Analysis Preprocessing” do SAGA. Essa operação foi repetida para os cinco MDE e permitiu classificar, por meio da biblioteca “*grid-calculus*” (módulo “*grid calculator*”) do SAGA, os modelos com base no número de células selecionadas com valores espúrios. O MDE de referência (GNSS-RTK) apresentou o melhor resultado, registrando apenas oito depressões espúrias, seguido do MDE carta com 131 e o MDE Topodata com 356 depressões espúrias.

Os MDE SRTM-C e Aster GDEM apresentaram 522 e 1377 células com imperfeições, respectivamente.

Tal situação foi semelhante à encontrada no trabalho de Chagas et al. (2010), no qual os autores observaram que os MDE Aster GDEM e SRTM possuíam uma quantidade significativa de depressões espúrias e que o MDE resultante da carta topográfica a partir de curvas de nível, com equidistância vertical de 20 m na escala 1:50.000, representou melhor as características do terreno numa região com relevo predominantemente plano e suave ondulado.

As linhas de fluxo (Figura 12) permitiram, por inspeção visual, verificar se o escoamento superficial estava convergindo para a rede de drenagem. Com respeito a este aspecto, os modelos SRTM-C, Topodata e Carta MDE apresentaram continuidade das elevações na toposequência. Já no modelo Aster GDEM, direções opostas foram visualizadas em alguns pontos, com desvios de fluxo em vários pontos.

Figura 12 – Representação das linhas de fluxo geradas para os MDE



Área de Referência - GNSS (seta pontilhada); Topodata (seta preta); SRTM-C (seta vermelha); Carta MDE (seta sépia); ASTER GDEM (seta verde).

De uma maneira geral, o MDE SRTM-C foi o modelo que demonstrou melhores resultados nessa primeira fase da análise, apresentando os melhores índices quantitativos e as melhores respostas nas análises qualitativas em comparação aos MDE Carta, TOPODATA e Aster.

3.3 OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS DE TERRENO E CLASSES DE GEOFORMAS

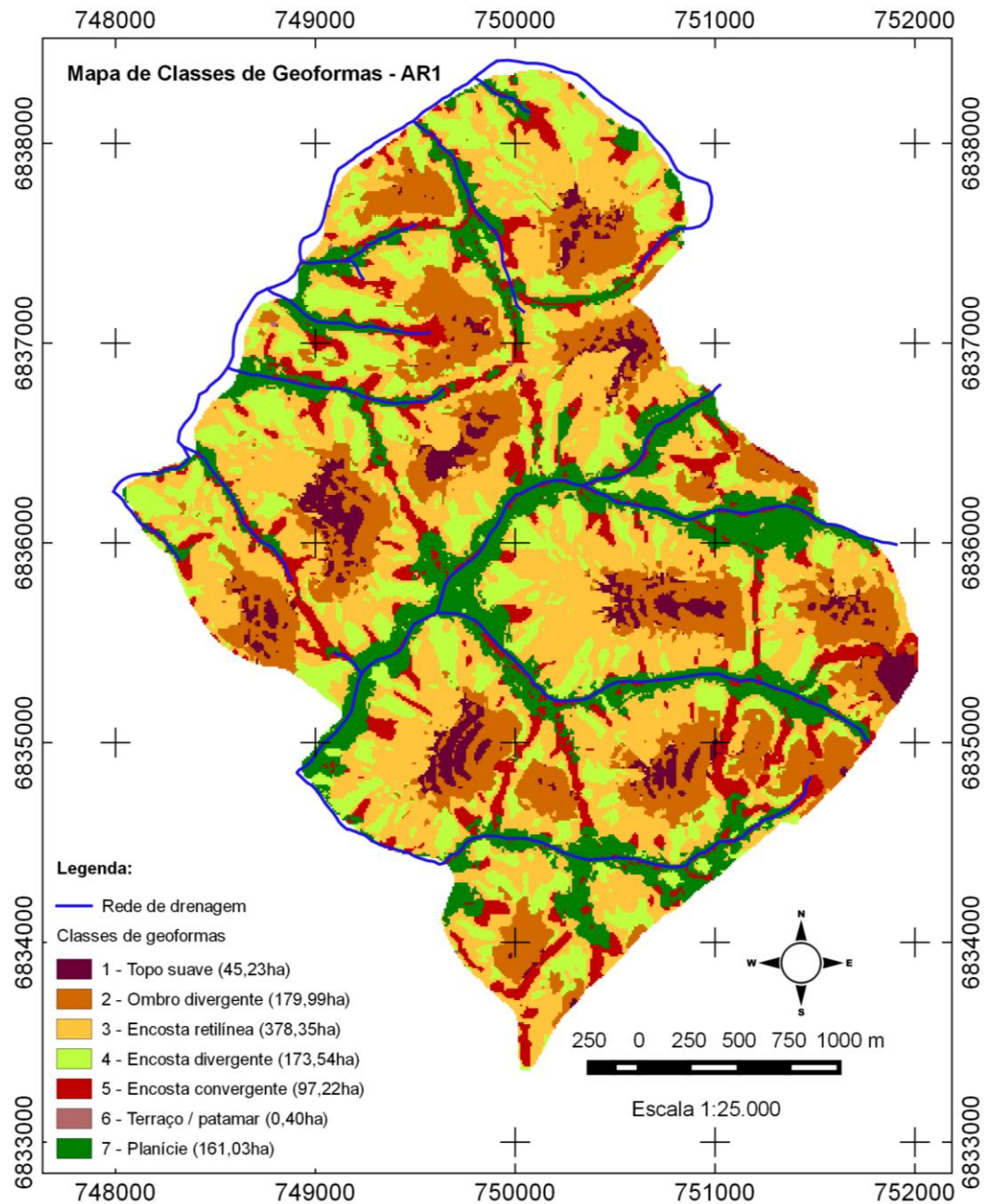
A distribuição de cada classe e a respectiva área que cada uma abrange na AR é apresentada na Tabela 3 e a representação espacial das geoformas na Figura 13. As Encostas retilíneas apresentam a maior área (378,75 ha), equivalendo a 36,53% da área total. As áreas classificadas como Ombro divergente e Encostas divergentes contabilizaram quase a mesma área, com 179,99 ha (17,38 %) e 173,54 ha (16,75 %), respectivamente. Em áreas de Encosta convergente pode ocorrer a presença de Nitossolos Vermelhos associado com Neossolos Regolíticos e Litólicos. Os Topos suaves compreenderam uma área de 45,23 ha (4,37%), sendo associados à presença dos Latossolos Vermelhos bem espessos (mais de 2 metros de profundidade). As classes de Ombro divergente, Encosta retilínea e Encosta divergente estão associadas à ocorrência de Latossolos Vermelhos (profundidade entre 1 e 2 metros) e Nitossolos Vermelhos. A classe de menor ocorrência foi o Terraço/patamar, apresentando área de 0,40 ha, não tendo participação ativa na predição de classes de solos. As Planícies abrangeram uma área de 161,03 ha, representando 15,55% da área. Essas áreas caracterizam-se por ambientes mal drenados, sendo observado o predomínio de solos imperfeitamente a mal drenados como a classe dos Gleissolos.

Tabela 3 – Distribuição e áreas observadas para as classes de geoformas

Ordem	Denominação da classe	Área (ha)	Percentual (%)
1	Topo suave	45,23	4,37
2	Ombro divergente	179,99	17,38
3	Encosta retilínea	378,35	36,53
4	Encosta divergente	173,54	16,75
5	Encosta convergente	97,22	9,38
6	Terraço/patamar	0,40	0,04
7	Planície	161,03	15,55
Total:		1.035,76	100,00

As sete classes de geoformas foram utilizadas como covariáveis preditoras para a construção dos modelos de predição de classes de solo.

Figura 13 – Mapa das classes de geoformas para a AR



3.4 MAPEAMENTO DE SOLOS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E VALIDAÇÃO

Com base nos 16 perfis de solos descritos na AR (ANEXO A) e 42 pontos de observação, foi elaborada a legenda do mapa de solos. A legenda e a descrição de cada unidade de mapeamento (UM) presente na área de estudo são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Legenda do mapa de solos convencional da AR

Símbolo	Descrição da Unidade de Mapeamento (UM)
GMal	GLEISSOLO MELÂNICO Alítico típico A húmico textura argila/muito argilosa fase relevo plano
GMvd	GLEISSOLO MELÂNICO Ta Distrófico típico A húmico textura argilossiltosa/franco-argilossiltosa fase relevo plano
GXve	GLEISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico vertissólico A moderado textura argila/argilossiltosa fase relevo plano
LVdf 1	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo plano
LVdf 2	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVdf 3	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo moderadamente ondulado
LVdf 4	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVdf 5	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave moderadamente ondulado
LVdf 6	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura francoargilosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVd	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVef 1	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico cambissólico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo moderadamente ondulado
LVef 2	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa/muito argilosa fase relevo plano
LVef 3	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado
RLd 1	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário A moderado textura argila fase relevo moderadamente ondulado
RLd 2	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico A moderado textura argila fase relevo moderadamente ondulado
RLe 1	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário A moderado textura francoargilosa fase relevo suave ondulado
RLe 2	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa fase relevo suave ondulado
RLe 3	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura franco-argilossiltosa fase relevo moderadamente ondulado
RRe1	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico A moderado textura franco fase relevo moderadamente ondulado
RRe2	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico A moderado textura franco fase relevo ondulado
NVdf	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura francoargilosa/muito argilosa fase relevo moderadamente ondulado
NVef 1	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado
NVef 2	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura francoargilosa/argila fase relevo moderadamente ondulado

As UMs foram classificadas até o nível de série, compreendendo quatro classes de solos em nível de ordem, seis classes em nível de subordem, 11 classes em nível de grande grupo e 10 classes em nível de subgrupo, totalizando 23 unidades de mapeamento.

Os Latossolos Vermelho (LV) constituíram a ordem de ocorrência mais frequente, com 48 polígonos delineados na área, compreendendo 807,39 ha, equivalendo a 82,80% do total da AR, ocorrendo nas áreas relacionadas com as classes de geofomas topo suave, ombro divergente e encosta retilínea. Os Neossolos Litólicos (RL) e Neossolos Regolíticos (RR) se apresentaram como a segunda ordem de maior incidência na área, ocupando uma superfície de 119,97 ha e representando 12,30% da área, ocorrendo nas posições de encosta convergente e divergente. Os Gleissolos Melânicos e Háplicos (GM), por sua vez, apareceram com apenas seis polígonos delineados, o que representa uma área de 43,36 ha (4,45% da área), estando

relacionados com áreas de baixada e planície próximas à rede de drenagem. Os Nitossolos representaram a menor distribuição na área, com apenas 4,43 ha, equivalente a 0,45% do total da área, sendo sua ocorrência relacionada com a geoforma encosta divergente. Observou-se nas expedições de campo que as classes dos NV, RR e RL ocorrem nas mesmas posições da paisagem, refletindo na dificuldade em separá-las no delineamento das UMs.

O delineamento e a espacialização das UMs foram realizados com base nas curvas de nível de 10 metros de equidistância, mapa de declividade e geoformas, resultando no mapa de solos apresentado na Figura 14. O mapa foi validado por meio da matriz de erros, que confronta as classes de solos delineadas com as classes identificadas no campo (149 pontos de validação). No entanto, a validação do mapa convencional foi realizada apenas até o nível de subordem (2º nível categórico do SiBCS).

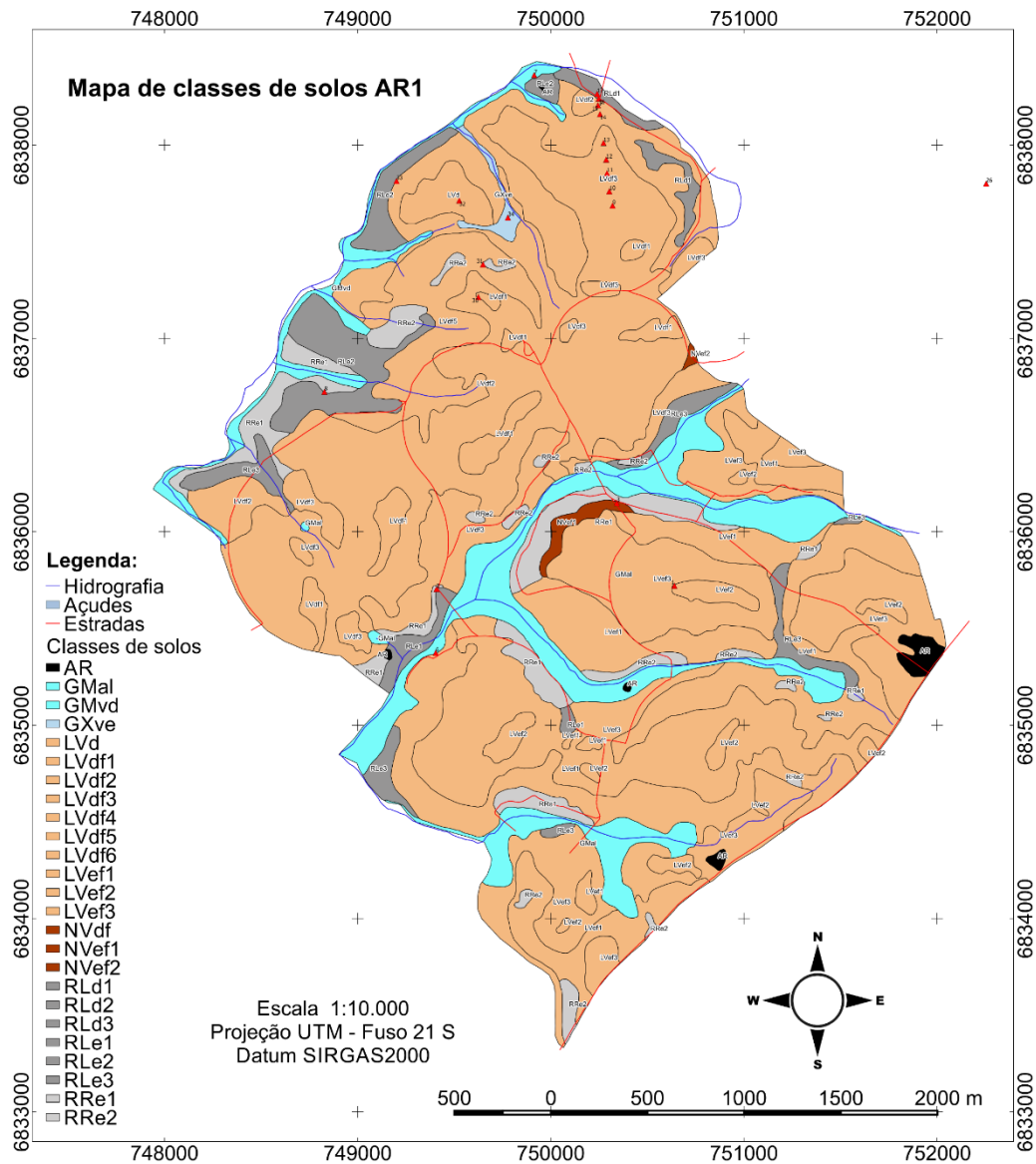
Os indicadores de acurácia da validação do mapa foram obtidos através da matriz apresentada na Tabela 5. A matriz fornece os valores de acurácia do mapa em geral, como a exatidão global (EG) e o índice Kappa, os quais expressam o grau de concordância entre as classes delineadas e as classes observadas no campo (pontos de validação). A acurácia do produtor (AP) e a acurácia do usuário (AU) indicam a acurácia para cada classe individualmente.

Tabela 5 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do mapa convencional

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%	DQ %
		GM	RL	RR	NV	LV			
Preditas	GM	26	0	0	0	0	26	100,0	0,0
	RL	0	21	0	0	1	21	95,5	0,0
	RR	0	1	16	0	0	17	94,1	0,7
	NV	0	0	0	2	0	2	100,0	0,0
	LV	0	0	0	0	80	80	100,0	0,7
	Σ colunas	26	22	16	2	81	-	-	0,7
	AP (%)	100,0	95,5	100,0	100,0	98,8	-	-	-
	DA %	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,7	EG 98,6%	K = 0,98

GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; DQ: discordância de quantidade; DA: discordância de alocação; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

Figura 14 – Mapa de classes de solos da AR pelo método convencional



O mapa gerado pelo método convencional apresentou elevada qualidade em relação à acurácia das classes de solos delineadas pelo pedólogo, apresentando uma EG de 98,6%, DQ, DA de 0,7% e Kappa de 0,98 (Tabela 5). Os valores de AP mostraram que a classe dos GM, RR e NV apresentaram 100% de acurácia, que representa que todas as observações identificadas no campo para estas classes de solo foram corretamente delineadas pelo pedólogo.

As classes dos RL e LV apresentaram um percentual de 95,5 e 98,8% de acerto, respectivamente. A menor AU ocorreu nos RL (AU = 95,5%) e RR (AU = 94,1%). Este resultado está relacionado com a dificuldade em separar essas classes no delineamento, uma

vez que os RL e RR, como mencionado, ocorrem nas mesmas posições na paisagem e em alguns locais como inclusões em áreas de LV.

Os valores elevados para a EG e Kappa estão associados ao grande número de amostras e ao amplo conhecimento tácito do pedólogo da relação solo-paisagem da área, o qual desenvolveu um modelo mental associando as classes de solo com as covariáveis relacionadas ao fator de formação do solo relevo (curvas de nível + declividade + geoformas).

3.5 MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS E VALIDAÇÃO

A partir dos cinco MDE obtidos no item 3.1, foram extraídas as covariáveis preditoras selecionadas no item 2.2.3, as quais foram utilizadas na construção dos modelos de predição de solos pela técnica de classificação por árvore de decisão e posteriormente foram gerados os mapas digitais de solos.

As amostras de treinamento e validação dos MDS, com a respectiva proporção de amostras em cada classe de solo, são apresentadas na Tabela 6. Da observação da Tabela 6 depreende-se que a classe dos LV apresenta a maior proporção de pontos e a classe dos NV a menor nos dois conjuntos de dados. Com proporções intermediárias estão as classes dos RL, GM e RR. Esse desequilíbrio nas proporções de amostras em cada classe de solo é resultado da menor representatividade na paisagem de cada classe, com destaque para os NV. Apesar do baixo número de amostras de NV, observou-se no campo que a área de ocorrência de NV se enquadrava na Área Mínima Mapeável (AMM) para levantamentos de solos em nível detalhado ($AMM < 1,6$ ha).

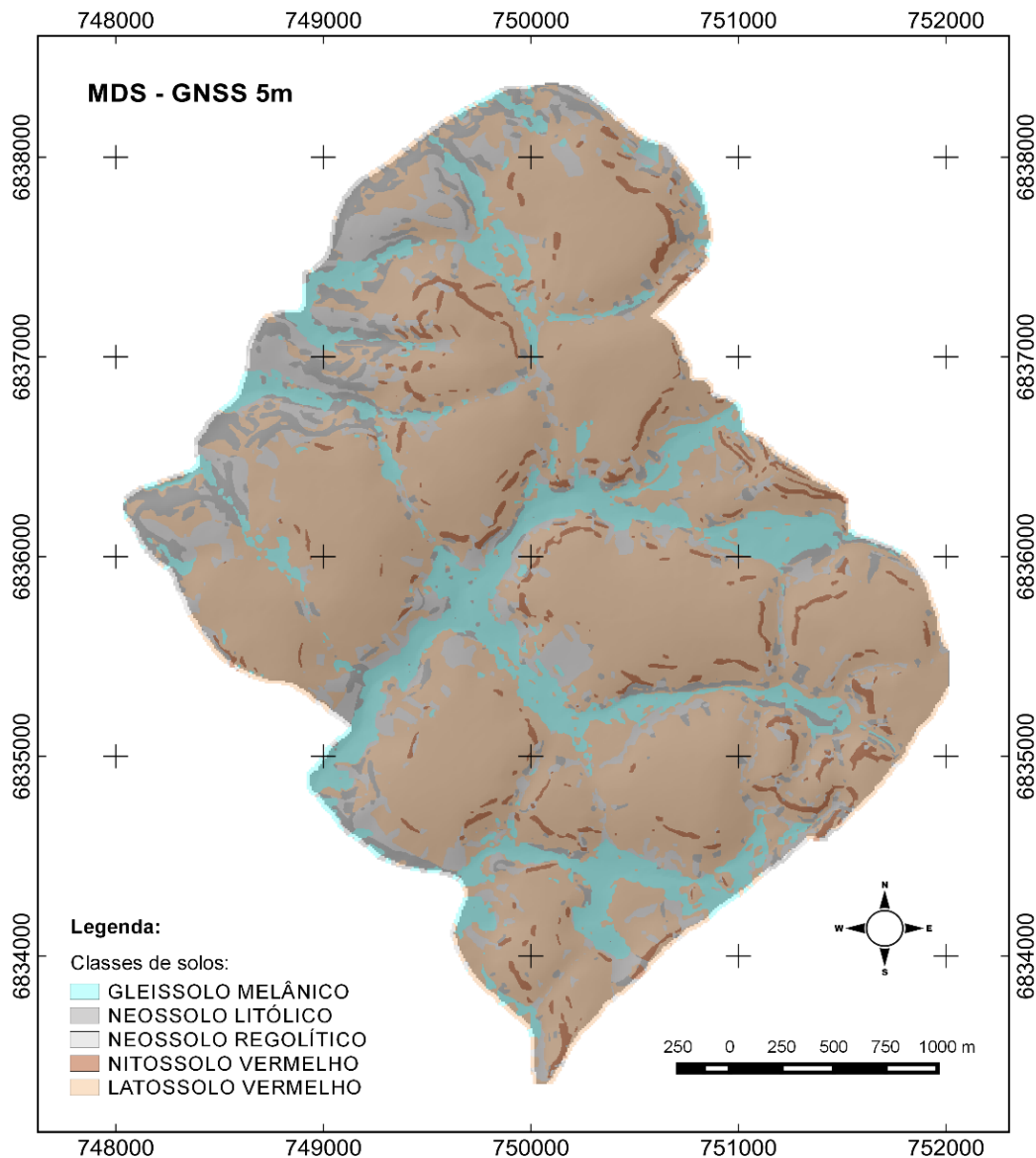
Tabela 6 – Proporção de amostras de solos representativas de cada classe de solo presente nos conjuntos de treinamento e validação

Classes de solo	Conjunto de treinamento		Conjunto de validação	
	Número de amostras	Proporção (%)	Número de amostras	Proporção (%)
LV	111	50,4	77	51,7
NV	5	2,3	3	2,0
RL	39	17,7	27	18,1
RR	25	11,4	15	10,1
GM	40	18,2	27	18,1
Total	220	60	149	40

LV: Latossolo Vermelho; NV: Nitossolo Vermelho; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; GM: Gleissolo Melânico.

Diante dos melhores índices de acurácia e por enquadrar-se na escala 1:5.000 na avaliação do PEC-PCD (resultados discutidos no item 3.2), o MDS GNSS foi gerado com pixel de 5 metros de resolução (Figura 15).

Figura 15 – MDS GNSS obtido a partir do MDE GNSS com pixel de 5 metros de resolução



Ao analisar a matriz de erros (Tabela 7), observou-se que os menores valores de AU ocorreram nas classes dos NV (25,0%), RR (58,3%) e RL (60,0%), percentuais estes que representam a proporção de área que foi mapeada corretamente. Os valores de AP nestas classes de solo seguiram essa mesma tendência. Uma explicação para os baixos valores de AU está na menor representatividade dessas classes de solo na área de estudo e a reduzida

amostragem realizada nas mesmas (Tabela 6), com destaque para os NV. Neste caso, o modelo não foi capaz de gerar regras de classificação suficientes para estabelecer relações entre as covariáveis e as classes de solo. Comportamento semelhante foi observado por ten Caten et al. (2011), em que classes de solo menos representativas no conjunto amostral tiveram sua predição afetada pelo modelo. Adicionalmente, essas diferenças nos valores de AU para cada classe de solo estão associadas à dificuldade do método preditivo em identificar e distinguir essas classes em relação às demais com base apenas nos atributos de terreno, uma vez que os RR, RL e NV ocorrem em locais da paisagem com características semelhantes.

Tabela 7 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS GNSS com pixel de 5 metros

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%
		GM	RL	RR	NV	LV		
Preditas	GM	21	2	3	0	1	27	77,8
	RL	0	15	4	0	6	25	60,0
	RR	0	2	7	0	3	12	58,3
	NV	0	0	0	1	3	4	25,0
	LV	4	3	2	1	68	78	87,2
	Σ	25	22	16	2	81	-	-
	columnas							
	AP (%)	84,0	68,2	43,8	50,0	84,0	-	
							EG 76,7%	K = 0,63

GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

As classes dos LV e GM apresentaram os maiores de valores de AU e AP, com destaque para os LV, que alcançaram AU de 87,2% e AP de 84,0%. Estes resultados estão associados com a proporção dessas classes na área de estudo e ao grande número de amostras de treinamento.

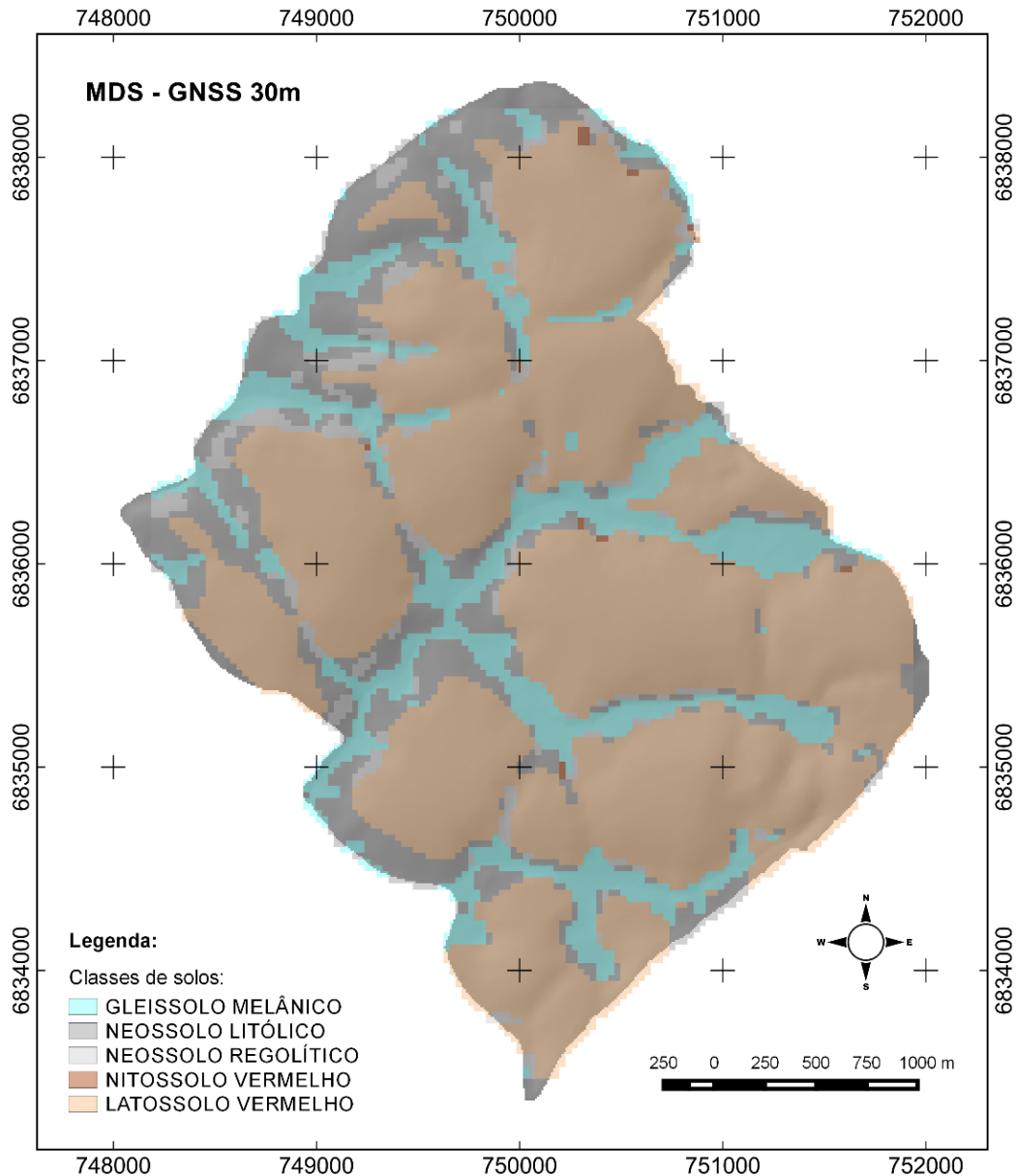
A EG do mapa foi de 76,7%, percentual este que indica a proporção de observações corretamente classificadas em relação ao total de observações. O valor do Kappa (K = 0,63) obtido para o MDS GNSS com pixel de 5 metros pode ser classificado como muito bom (LANDIS; KOCH, 1977).

A fim de avaliar o efeito da resolução espacial do MDE na predição de classes de solos e unificar o tamanho do pixel com os demais MDE, foi gerado o MDE GNSS com resolução de 30 metros a partir da degradação do MDE GNSS 5 metros. Na Figura 16 é apresentado o MDS GNSS obtido com o modelo de predição gerado com as covariáveis extraídas do MDE GNSS 30 metros.

A análise visual dos MDS GNSS com resoluções de 5 e 30 metros (Figuras 16 e 17, respectivamente) permite identificar diferenças entre os mapas, com destaque para a classe

dos NV e RL que apresentaram sua predição reduzida no MDS GNSS 30 metros. O resultado mostra que a resolução do MDE influencia na espacialização das classes de solo no MDS.

Figura 16 – MDS GNSS obtido a partir do MDE GNSS com pixel de 30 metros de resolução



A matriz de erros do MDS GNSS 30 metros pode ser observada na Tabela 8. Nota-se que os valores da EG (72,2%) e do Kappa (0,55) reduziram em relação ao MDS GNSS 5 metros. Da mesma forma, houve uma redução nos valores da AU para as classes dos LV, RL, RR e NV, exceto a classe dos GM para a qual foi observado um aumento da AU em relação ao MDS GNSS 5 metros. A classe dos NV apresentaram AU e AP igual a zero, o que

significa que nenhum dos pontos identificados no campo como pertencente a esta classe foi predito corretamente.

As maiores discordâncias observadas na validação ocorreram nas classes dos RR e RL, ambos com valor DQ = 3,5%. Uma explicação para este resultado está na ocorrência dessas classes na mesma posição na paisagem. Quando a resolução do MDE passou de 5 para 30 metros, ocorreu uma redução do detalhamento do relevo, afetando a diferenciação dos RR e RL do modelo de predição. Em essência, o modelo confundiu a classe dos LV com os RL na predição nos MDS GNSS 5 e 30 metros, com destaque para o MDS 30 metros, refletindo na redução na AP de 87,2% (Tabela 7) para 85,2% (Tabela 8). O comportamento foi observado no campo, onde em alguns pontos da paisagem os RL ocorreram como inclusão na classe dos LV. Quando o detalhamento do relevo reduziu (resolução do MDE 30 metros), portanto, a capacidade de distinguir essas classes também foi afetada.

Tabela 8 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS GNSS com pixel de 30 metros

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%
		GM	RL	RR	NV	LV		
Preditas	GM	24	2	0	0	1	27	88,0
	RL	1	6	8	0	10	25	24,0
	RR	0	5	5	0	1	11	45,5
	NV	0	0	0	0	0	0	-
	LV	0	7	3	2	69	81	85,2
	Σ colunas	25	20	16	2	81	-	-
	AP (%)	96,0	30,0	31,3	0,0	85,2	-	-
							EG 72,2%	K = 0,55

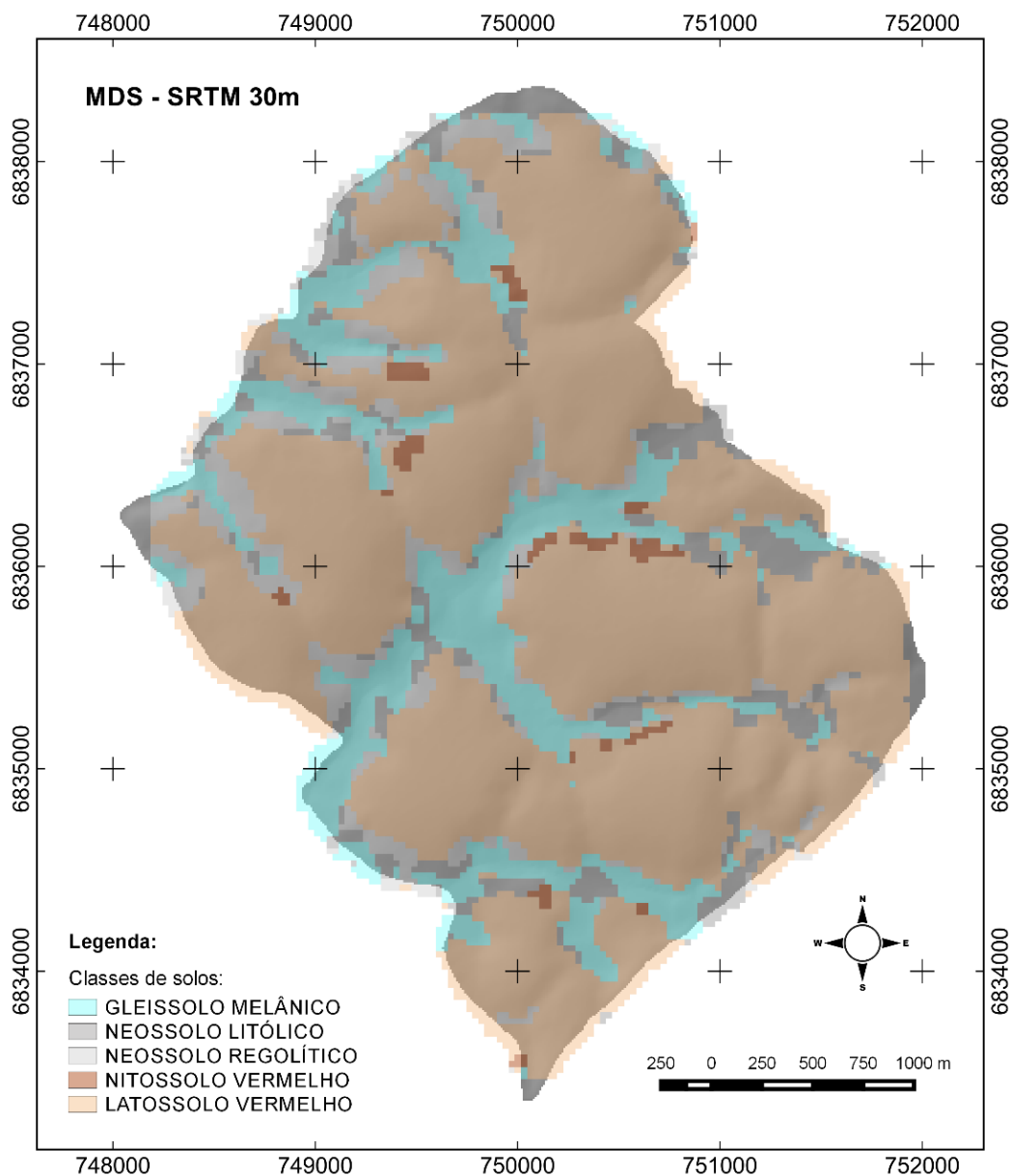
GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

Figueiredo et al. (2008), encontraram valores de EG de 58,3% e 61,4% e Kappa de 36,63% e 38,3% na predição de classes de solos Planalto Médio do RS, a partir do uso de regressões logísticas múltiplas e covariáveis extraídas do MDE SRTM com resolução de 90 metros. Os autores atribuíram esses resultados ao uso apenas de atributos derivados do MDE na construção dos modelos preditivos, bem como à dificuldade do modelo em distinguir classes de solos que ocorrem em relevo semelhante. Crivelenti et al. (2009), obteve Kappa de 0,43 ao realizar o MDS por árvore de decisão da carta topográfica Dois Córregos no Estado de São Paulo. Segundo os autores, esse baixo valor do Kappa pode ser atribuído à simplificação da legenda do mapa original - que resultou na união de uma mesma classe em domínios de relevo distintos -, não inclusão de outras covariáveis determinantes da variabilidade dos solos do local e problemas de precisão ou de exatidão na base de dados de

relevo utilizada. Valores de Kappa superiores foram obtidos por Chagas (2006), que aplicou a técnica de redes neurais com diferentes arquiteturas para o MDS na região Estado do Rio de Janeiro, chegando a índices maiores que 0,80 e EG de classes superiores a 80%.

O MDS SRTM-C gerado a partir das covariáveis extraídas do MDE SRTM-C é apresentado na Figura 17. Visualmente, observa-se uma quantidade maior de áreas de NV e menores de RL em comparação ao MDS GNSS 30 metros.

Figura 17 – MDS SRTM obtido a partir do MDE SRTM-C com pixel de 30 metros



A matriz de erros mostra que essas duas classes obtiveram os menores valores de AU e AP, com destaque para o NV, que apresentou valores iguais a zero. A reduzida amostragem

dessa classe na área de estudo e o menor detalhamento do relevo pelo MDE SRTM-C, também observado no MDS GNSS 30 metros, explicam este comportamento.

As classes dos GM e RR apresentaram valor de AU e AP menores em relação ao MDS GNSS 30 metros, pois parte das amostras de GM foi confundida pelo modelo de predição com a classe dos RL e dos RR com a classe dos LV e RL.

O levantamento dos estudos realizados em MDS no Brasil até o momento, apresentado no capítulo um, indicou que aproximadamente um terço dos trabalhos utilizou MDE a partir do SRTM (90m) (GIASSON et al., 2006; FIGUEIREDO; GIASSON, 2008; CARVALHO et al., 2009; COELHO; GIASSON, 2010; ten CATEN et al., 2011a; ten CATEN et al., 2011b; ten CATEN et al., 2011c; GIASSON et al., 2013). Apenas Giasson et al. (2013), utilizaram o SRTM-C (30m) antes da liberação para uso gratuito pelo governo norte americano.

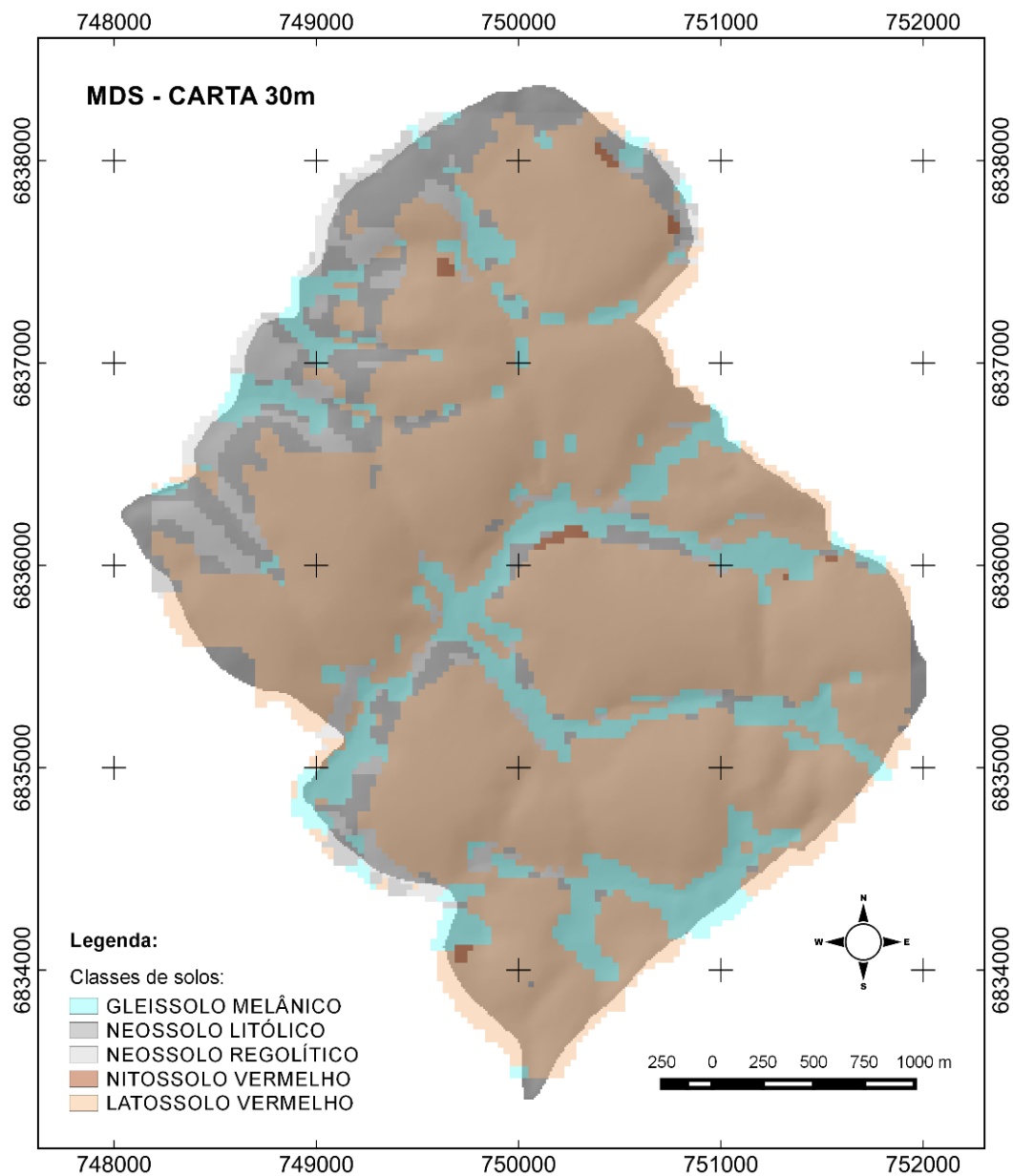
Tabela 9 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS SRTM-C com pixel de 30 metros

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%
		GM	RL	RR	NV	LV		
Preditas	GM	19	5	3	0	1	28	67,9
	RL	6	5	3	0	2	16	31,3
	RR	1	4	7	0	7	19	36,8
	NV	0	0	0	0	1	1	0,0
	LV	0	6	3	2	70	81	86,4
	Σ	26	20	16	2	81	-	-
	colunas							
	AP (%)	73,1	25,0	43,8	0,0	86,4	-	-
							EG 69,7%	K = 0,51

GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

O mapa digital de classes de solos gerado a partir da extrapolação das relações solo-paisagem da AR utilizando o MDE Carta com pixel de 30 metros estimou as cinco classes de solo presentes no mapa da AR. A maior representatividade foi dos LV (Figura 18), sendo predita em áreas com relevo plano a suave ondulado e geoformas topo suave, encosta retilínea e terraços/patamar.

Figura 18 – MDS Carta obtido a partir do MDE Carta com pixel de 30 metros de resolução



Na Tabela 10, pode-se observar que os todos os valores de AU foram superiores a 45% para as cinco classes de solos avaliadas. Os valores de AP foram menores nas classes de solos RL (35%) e RR (31,3%) e as demais classes de solo registraram valores superiores a 50%. Para a classe de NV, mesmo com pequena representatividade, o modelo preditivo conseguiu identificá-la e distingui-la em relação às demais utilizando como base de dados o MDE carta.

As classes dos LV e GM apresentaram os maiores de valores de AU e AP e os LV alcançaram uma AU de 80,4% e AP de 92,5%. Estes resultados estão associados com a proporção dessas classes na área de estudo e ao maior número de amostras de treinamento comparada com o número de amostras utilizadas em outras classes.

A EG do mapa de solos foi de 72,9% e o valor do índice Kappa foi de 0,54. Arruda et al. (2016) encontraram valores de EG de 83,7% e índice Kappa de 0,80 na predição de classes de solos no município de Barra Bonita – SP, utilizando técnica de redes neurais artificiais (RNA) e atributos do terreno derivados de um MDE gerado a partir de curvas de nível para auxiliar na representação das relações solo-paisagem. Da mesma forma, Braz et al. (2014) realizaram um estudo em uma região montanhosa da região serrana do Rio de Janeiro e utilizando RNA com MDE gerados por meio de curvas de nível derivadas das cartas topográficas na escala 1:50.000 alcançaram uma EG que oscilou entre 93,9 e 95,4% e o Kappa entre 0,932 e 0,948.

A grande maioria dos trabalhos em MDS realizados no Brasil utilizaram MDE gerados a partir das curvas da carta topográfica e obtiveram resultados bons (CRIVELENTI et al., 2009; CHAGAS et al., 2010; GIASSON et al., 2011; CARVALHO JUNIOR et al., 2011; ten CATEN et al., 2012; SARMENTO, 2012; ten CATEN et al., 2013; ARRUDA et al., 2013; BAZAGLIA FILHO et al., 2013; CHAGAS et al., 2013; SILVA et al., 2013; BRAZ et al., 2014; ARRUDA et al., 2016).

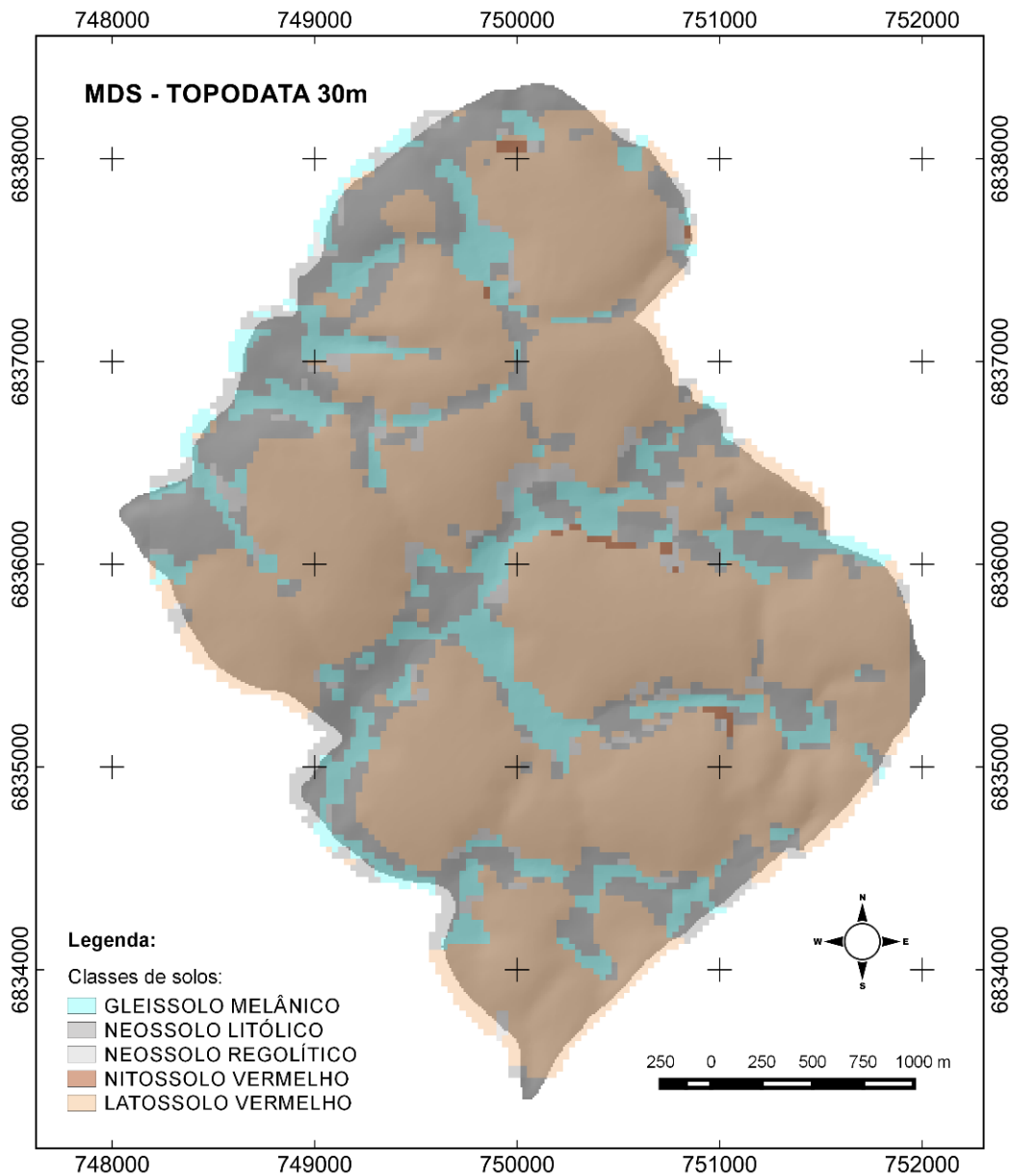
Tabela 10 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS Carta com pixel de 30 metros

	Classes	Pontos de validação					∑ linhas	AU%
		GM	RL	RR	NV	LV		
Preditas	GM	18	4	2	0	2	26	69,3
	RL	1	7	3	0	2	13	53,8
	RR	2	3	5	0	1	11	45,5
	NV	0	0	0	1	1	2	50,0
	LV	5	6	6	1	74	92	80,4
	∑ colunas	26	20	16	2	80	-	-
	AP (%)	69,2	35,0	31,3	50,0	92,5	-	-
							EG 72,9%	K = 0,54

GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

O mapa digital de classes de solos representado na Figura 19 utilizou um modelo preditor gerado com dados do MDE Topodata. Com relação à matriz de erro para o MDS do Topodata (Tabela 11), o valor mais alto de AU ocorreu na classe dos LV (83,1%), intermediários para os RL (39,3%) e GM (65,6%) e a menor AU ocorreu na classe do RR (10%), sendo que a classe dos NV não registrou valores, indicando que essa classe não foi predita pelo modelo. Esses percentuais representaram a proporção de área que foi mapeada corretamente. Os valores de AP seguiram a mesma tendência, com o maior valor para os LV (90,6%), intermediários para os GM (52,3%) e RL (34,8%) e os menores para RR (4,1%) e NV (0,0%).

Figura 19 – MDS Topodata obtido a partir do MDE Topodata com pixel de 30 metros de resolução



Poucos estudos utilizaram o MDE Topodata no Brasil até o momento para auxiliar na predição de mapas de solos. Höfig et al. (2014), em trabalho realizado entre áreas fisiograficamente semelhantes situadas nos municípios de Sentinela do Sul e Cerro Grande do Sul (RS), utilizaram os dados do MDE Topodata para avaliar a possibilidade de extrapolação de mapas de solos em três fases de relevo: plano, ondulado e forte ondulado, alcançando uma EG superior a 75%.

Tabela 11 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS Topodata com pixel de 30 metros

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%
		GM	RL	RR	NV	LV		
Preditas	GM	21	6	3	0	2	32	65,6
	RL	3	11	6	0	8	28	39,3
	RR	0	2	1	0	7	10	10,0
	NV	0	0	0	0	0	0	-
	LV	2	3	6	2	64	77	83,1
	Σ	26	22	16	2	81	-	-
	colunas							
	AP (%)	80,8	50,0	6,3	0,0	79,0	-	-
							EG 65,9%	K = 0,47

GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

Por fim, o MDS Aster gerado a partir das covariáveis extraídas do MDE Aster GDEM é apresentado na Figura 20. Com relação à matriz de erro para o MDS da Aster, o valor mais alto de AU ocorreu na classe dos LV (81,7%), seguido dos GM (67,3%) e dos RL (43,8%). A menor AU ocorreu na classe do RR (25,0%), sendo que a classe dos NV não registrou valores, indicando que essa classe não foi predita pelo modelo. A EG do mapa de solos foi de 70,6% e o valor do índice Kappa foi de 0,53. Cerca de 20% dos trabalhos em MDS realizados no Brasil utilizaram MDE a partir do Aster GDEM (30 m) (TESKE, 2014; TESKE et al., 2015; GIASSON et al., 2015; BAGATINE; GIASSON; TESKE, 2015; SILVA et al., 2016). O modelo teve uma maior utilização no período anterior à liberação do SRTM-C (30m).

Figura 20 – MDS Aster obtido a partir do MDE Aster com pixel de 30 metros de resolução

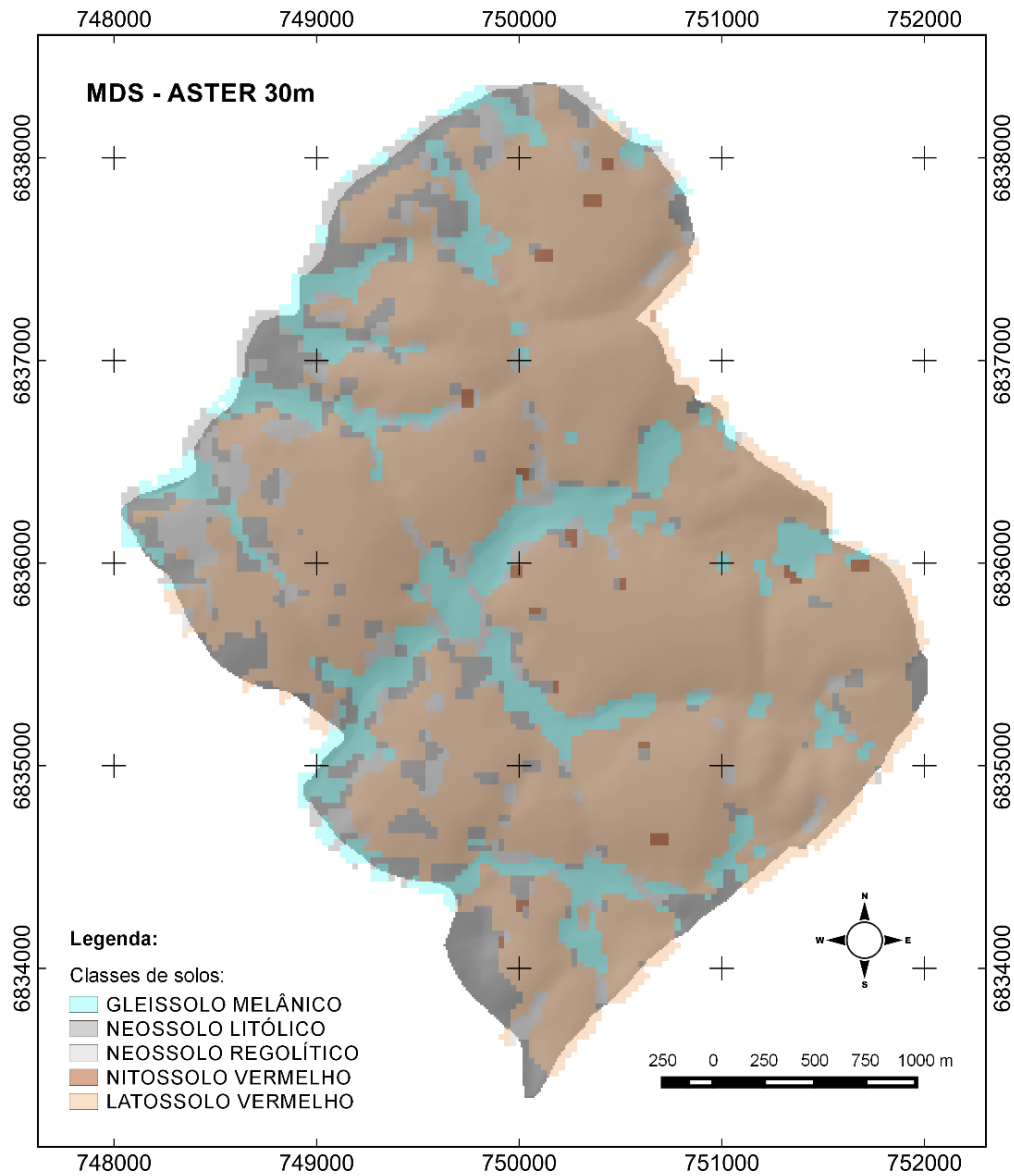


Tabela 12 – Matriz de erros e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS Aster com pixel de 30 metros

Classes	Pontos de validação					∑ linhas	AU%
	GM	RL	RR	NV	LV		
Preditas							
GM	23	5	4	0	2	34	67,6
RL	1	7	2	1	5	16	43,8
RR	0	3	4	0	4	11	36,4
NV	0	0	0	0	0	0	-
LV	2	6	6	1	67	82	81,7
∑	26	21	16	2	78	-	-
colunas							
AP (%)	88,5	33,3	25,0	0,0	85,9	-	-
EG 70,6%							K = 0,53

GM: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

CONCLUSÕES

O MDE GNSS da área de estudo, gerado a partir de dados obtidos a campo, apresentou os melhores resultados quantitativos e qualitativos pelos critérios de avaliação utilizados, podendo ser utilizado para MDS em escala detalhada (1:5.000 a 1:20.000).

O MDE SRTM-C e MDE Topodata apresentaram qualidade altimétrica compatível com a escala 1:25.000 e o MDE Carta e MDE Aster com a escala 1:50.000, podendo ser utilizados no MDS em escala semidetalhada para a região de estudo. Estes quatro MDEs não são compatíveis para serem utilizados em MDS com escalas maiores que 1:25.000.

Este estudo confirma, ainda, a necessidade de se conhecer as limitações dos MDE que serão utilizados para derivar atributos de terreno e a importância de uma pré-avaliação da qualidade dos dados altimétricos dos modelos antes de serem utilizados no MDS em diferentes regiões geográficas.

O uso de atributos de terreno como variáveis preditoras para MDS mostrou-se adequado para levantamentos no segundo nível categórico e o uso de árvore de decisão com o algoritmo J48 mostrou-se eficiente para a predição de classes de solos em MDS.

O modelo preditor de classes de solos gerado com os atributos de terreno derivados dos MDE Carta e SRTM-C apresentou os melhores indicadores na comparação com os demais modelos.

CAPÍTULO III – ESTUDO 2 - MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS COM BASE NA EXTRAPOLAÇÃO DAS RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM EM ÁREAS COM LIMITAÇÃO DE DADOS DE SOLOS

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das pesquisas em mapeamento digital de solos realizadas até o momento no Brasil tem utilizado dados de solos legados em suas análises, empregando mapas de solos gerados pelo método convencional, sem o registro de validação em campo (GIASSON et al., 2013). Deste modo, como não há a estimativa das incertezas contidas no processo, acarretando a propagação de erros nas investigações. Em igual medida, percebe-se que os dados legados de solos, na sua grande maioria, não são apresentados em escalas compatíveis para dar suporte ao MDS na área de interesse, o que tem dificultado o avanço dessa abordagem para áreas não mapeadas.

A existência de dados de referência confiáveis torna-se muito útil para o desenvolvimento de abordagens em MDS para áreas próximas não mapeadas (FONNESBECK, 2015). Para Teske et al. (2014), a produção de mapas pedológicos por meio de técnicas do mapeamento digital de solos pode ser dificultada pela falta de mapas pedológicos convencionais de referência.

Dentro desta perspectiva, o ponto vulnerável do MDS tem sido a dependência de dados de solos confiáveis e de mapas em escalas compatíveis, uma vez que a aplicação do modelo SCORPAN requer o conhecimento prévio das classes e/ou propriedades dos solos da área de interesse e necessita de dados de campo, de mapas e de relatórios de referência para cada região que está sendo estudada. O modelo SCORPAN vem sendo utilizado com frequência para prever classes e/ou propriedades de solos em locais não amostrados (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003; GRUNWALD, 2009; ADHIKARI et al., 2014).

A relação solo-paisagem em áreas de pequena extensão geográfica, numa mesma região fisiográfica, em que fatores como material de origem, clima e tempo praticamente não variam, tem na conformação do relevo e na localização geográfica, fatores decisivos na diferenciação e discretização dos tipos de solos, respondendo pela maior parte das variações desses solos na paisagem.

Nessa busca da compreensão da distribuição dos solos na paisagem, as análises quantitativas necessitam ser aprimoradas, buscando-se agregar todo tipo de conhecimento

disponível, assim como utilizar técnicas e abordagens que sejam exequíveis e possam fornecer resultados acurados.

Em áreas onde não há disponibilidade de mapas de solos, torna-se necessário desenvolver uma metodologia de apoio para aquisição desses dados em escala compatível com a necessidade dos usuários. A utilização de área de referência (AR), com maior grau de detalhamento que a área de interesse, foi a estratégia utilizada no estudo para buscar uma aproximação do nível de discretização do mapa predito com o mapa de referência.

De forma geral, a técnica MDS 1 consistiu na geração de um mapa digital de classes de solos a partir de um modelo preditor de árvore de decisão, construído com dados derivados do mapa pedológico de referência levantado em campo, na AR, pelo método convencional. A técnica MDS 2 foi desenvolvida a partir do mesmo objetivo, porém a construção do modelo preditor foi obtida com dados provenientes de pontos de observação de campo levantados na mesma AR.

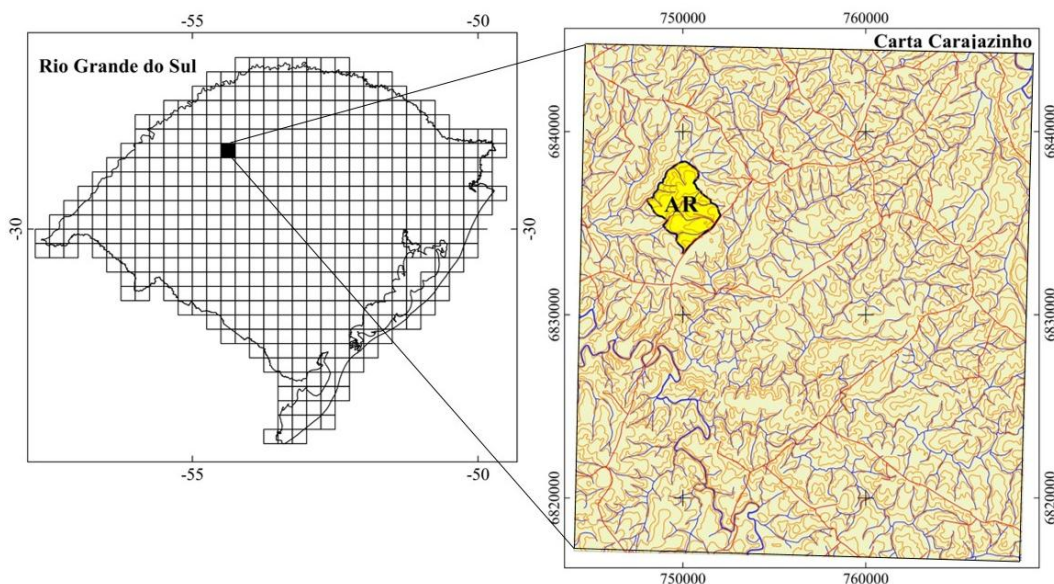
Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi o de testar a extrapolação das relações solo-paisagem para mapeamento de classes de solos, em uma carta topográfica do mapeamento sistemático nacional, na escala 1:50.000. Um conjunto de pontos amostrais de campo e a técnica de AR foram utilizados para estabelecer as relações solo-paisagem no MDS. A AR foi levantada mediante mapeamento pedológico convencional. A metodologia utilizando técnicas de MDS contemplou, também, a predição em quadrantes sucessivos, partindo da AR, até chegar à abrangência da carta (técnicas denominadas no trabalho de MDS 1 e MDS 2).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área total de abrangência do trabalho enquadra-se na carta topográfica denominada “Carajazinho” (carta SH.21-X-B-VI-1; MI - 2930/1), escala 1:50.000, e compreende parte dos municípios de São Miguel das Missões (representando 35,75% da área de estudo), Eugênio de Castro (25,37%), Entre-Ijuís (23,99%) e Jóia (14,89%). Localizada entre as latitudes 28° 30’ 00” e 28° 45’ 00” sul do Equador e as longitudes 54° 15’ 00” e 54° 30’ 00” a oeste do meridiano de Greenwich, apresenta uma área superficial aproximada de 678 km² (Figura 1). Está situada na região fisiográfica denominada Missões (FORTES, 1979), que apresenta um padrão com substrato geológico (Figura 2) constituído por derrames de rochas efusivas básicas continentais de filiação toleíticas, afaníticas, dispostas em camadas sub-horizontais, capeadas por ocorrências restritas de sedimentos do terciário (IBGE, 1986).

Figura 1 – Mapa de situação e localização da carta Carajazinho, com a localização em detalhe da AR

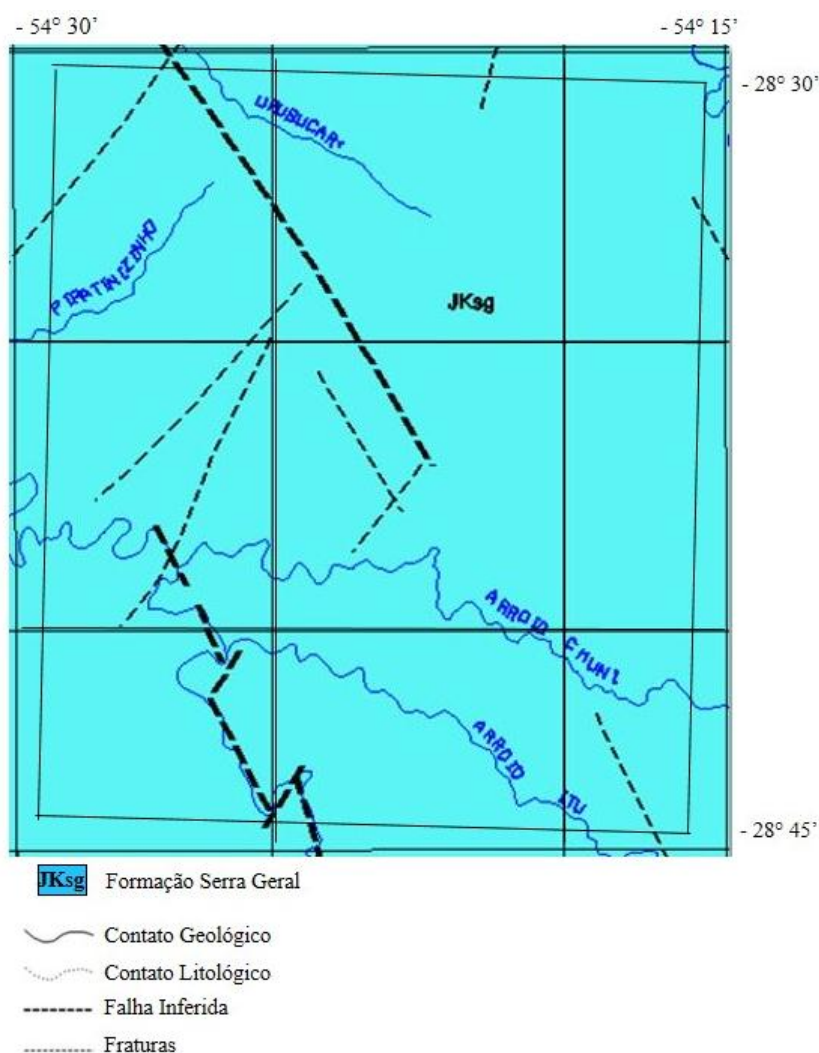


O clima predominante da região é do tipo Cfa 2 (II 2), de acordo com o sistema de classificação de Köppen (MORENO, 1961; ALVARES et al., 2013), caracterizado como clima subtropical úmido sem período de estiagem definido. No estudo dos solos do Rio Grande do Sul, o clima é um fator de formação que merece destaque, visto que muitas das características encontradas nos solos estão relacionadas à precipitação e à temperatura.

A litologia da região faz parte do Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo, era Mesozóica, constituída por derrames de lavas basálticas, com a ocorrência nos basaltos dos minerais plagioclásio, piroxênio e magnetita.

O relevo da área de estudo recebe a denominação de Planalto (IBGE, 1986). Dentre as regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul, o Planalto representa mais de 60% do território coberto com o derrame de lavas basálticas, conhecido como “Trapp do Paraná”. A região do Planalto está dividida em cinco sub-regiões, sendo que a sub-região Missões situa-se a oeste, entre as cotas de 100 e 400 metros de altitude (BRASIL, 1973). As feições mais comuns da área de estudo são colinas alongadas de topo convexo, com relevo predominante classificado como suave ondulado (coxilhas), com declives variando entre 3% a 8%. O relevo local possui vertentes longas (pendentes em centenas de metros), uma boa integração do sistema de drenagem, não apresentando ruptura brusca de declive entre as elevações vizinhas (BRASIL, 1973). Essa condição favorece o intemperismo químico, devido à maior quantidade de água que percola no solo, resultando na ocorrência de solos bem desenvolvidos na maior parte da área.

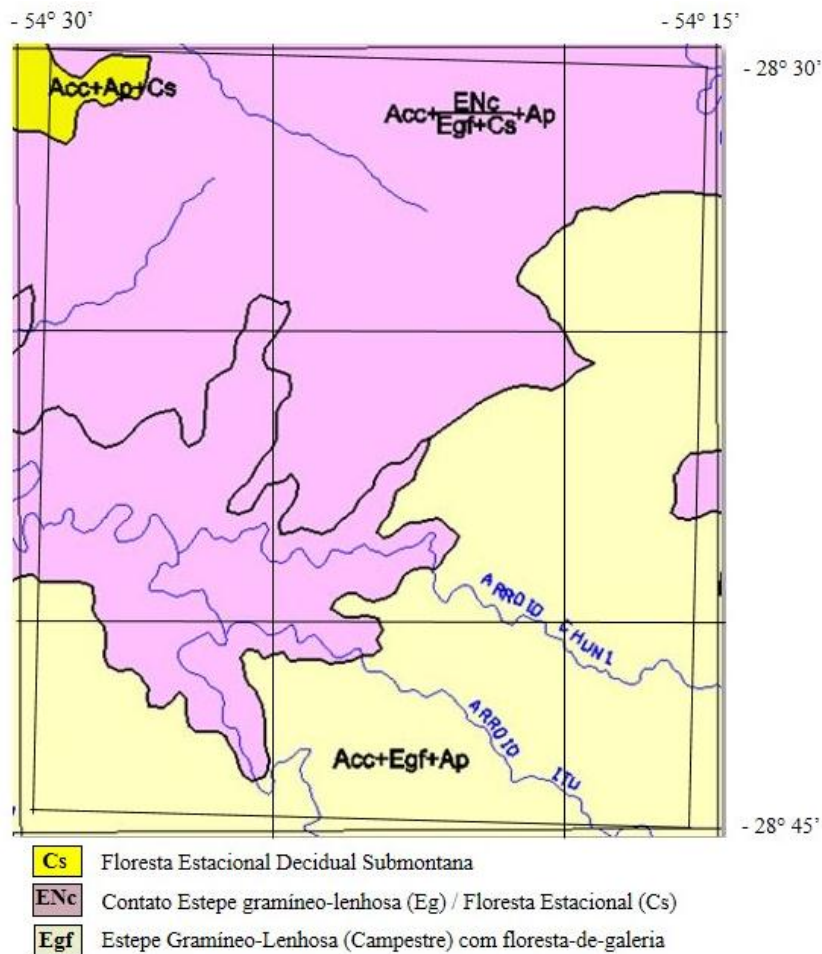
Figura 2 – Mapa de Geologia referente à carta Carajazinho. Recorte da carta original do projeto RADAMBRASIL – carta Santo Ângelo 1:250.000



Fonte: IBGE, 2003.

A vegetação da área de estudo, mostrada na Figura 3, apresenta forte degradação em relação à sua condição original (IBGE, 2003), em decorrência da ocupação intensiva e desordenada da atividade agropecuária desde o processo de colonização da região até os dias atuais. De acordo com IBGE (1991), a área localiza-se no contato entre a Savana-Estépica e a Floresta Estacional e faz parte da Região Fitogeográfica de Floresta Estacional Decidual. A distribuição e composição da vegetação também são dependentes de fatores como as condições climáticas e edáficas predominantes (BRASIL, 1973).

Figura 3 – Mapa de Vegetação referente à carta Carajazinho (recorte da carta original do projeto RADAMBRASIL – carta Santo Ângelo 1:250.000)



Fonte: IBGE (2003).

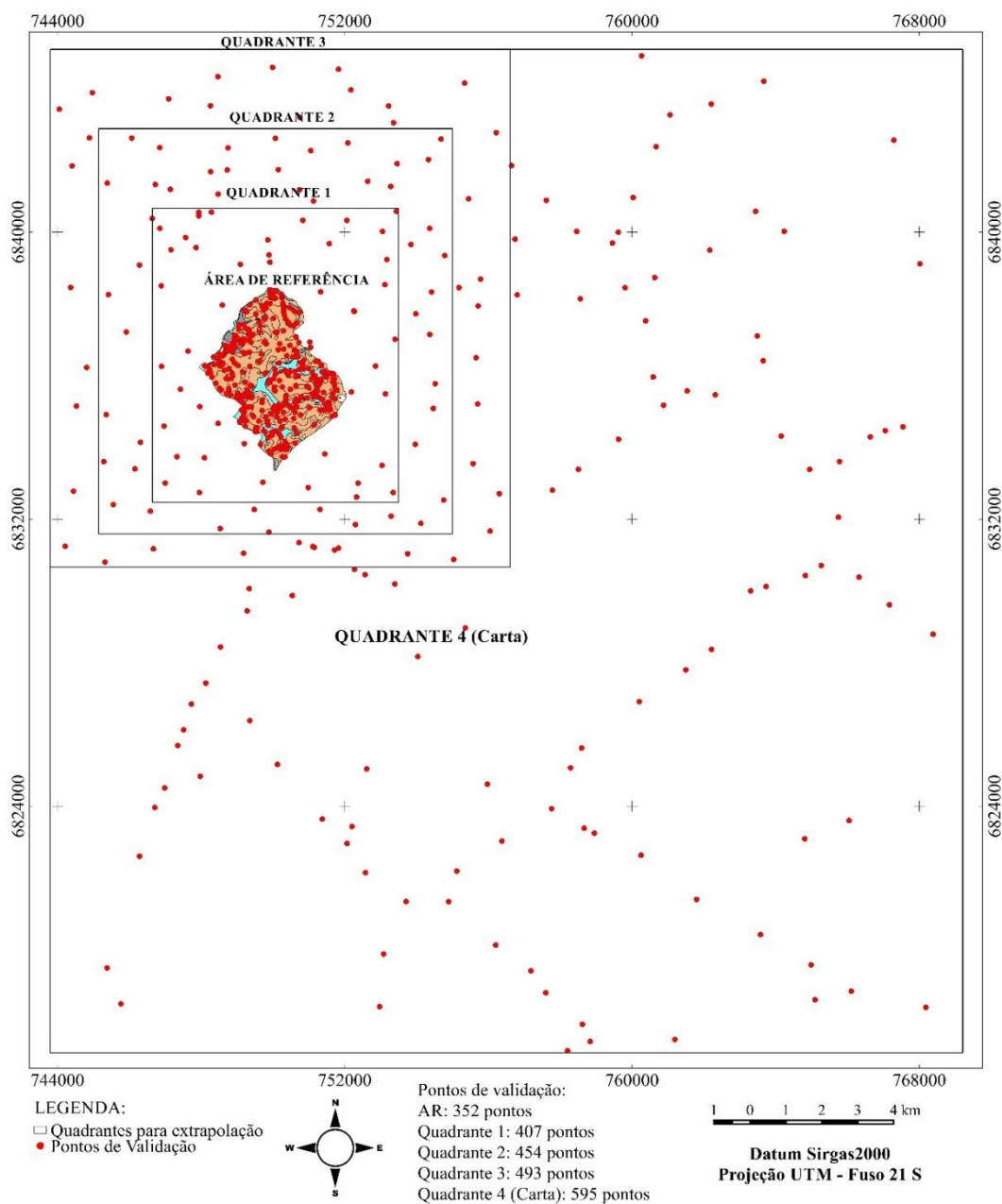
O solo apresenta pequena variabilidade espacial devido à regularidade do relevo e à homogeneidade no material de origem, que é bastante intemperizado. Não há mapas detalhados de solos da região, apenas os mapas de solos do levantamento de reconhecimento de solos do RS (BRASIL, 1973) publicado na escala 1:750.000. A Figura 4 mostra o mapa de solos referente ao recorte da carta Carajazinho da carta Santo Ângelo (escala 1:250.000) do projeto RADAMBRASIL (IBGE, 2003).

A área caracteriza-se pela predominância de solos profundos, com textura argilosa, argila de carga variável e coloração vermelha escura devido à presença de ferro e manganês, com a incidência do Latossolo Vermelho Distroférico típico na maior parte da área (STRECK et al., 2008).

Por sua vez, o presente capítulo apresenta a testagem de duas técnicas de MDS, as quais receberam o nome de MDS 1 e MDS 2. A primeira técnica de MDS testada (MDS 1) consistiu no desenvolvimento de uma amostragem aleatória usando como referência o mapa de solos em nível detalhado produzido pelo método convencional da AR para produção do MDS para toda carta Carajazinho. A segunda técnica avaliada – MDS 2 -, particionou os pontos de observação de campo obtidos nas campanhas de levantamento convencional de solos em toda extensão da carta e principalmente na AR, separando, nesta, de modo aleatório, 70% dos pontos para construir o modelo de predição e 30% dos pontos restantes para validar o mapa de solos predito.

Nesta sequência do trabalho, além de avaliar estas estratégias, o mapa digital de solos gerado foi testado em quadrantes sucessivos, partindo da AR, até atingir toda a abrangência da carta Carajazinho. O primeiro quadrante foi planejado com um recorte, tendo a AR como centro e abrangendo uma área de 55 km². O segundo quadrante foi ampliado para abranger uma área de 110 km², o terceiro quadrante uma área de 170 km² e o quarto quadrante, por sua vez, abrangeu os limites de toda a carta Carajazinho (aproximadamente 680 km²). Esta avaliação foi realizada com o intuito de determinar o comportamento dos atributos em sua capacidade de predizer as classes de solo até os limites da carta, acompanhando a propagação de erros nas extrapolações. O desenho e a distribuição espacial dos quadrantes criados dentro da carta Carajazinho estão representados na Figura 5.

Figura 5 – Esquema de distribuição dos quadrantes para extrapolação do MDS



A construção dos mapas temáticos dos atributos de terreno e do mapa da distância da hidrografia foi executada com o uso de softwares livres de SIG. Já a confecção do mapa das classes de geformas se deu a partir do programa LandMapR[®] (MACMILLAN, 2003), software não comercial de distribuição gratuita. Apoiados nessa concepção foram construídos e avaliados todos os mapas digitais de classes de solos para a carta Carajzinho.

2.2.1 Obtenção dos MDE da carta Carajazinho

Na avaliação da acurácia dos MDE realizada no capítulo dois, os MDE Carta e SRTM-C foram os que obtiveram os melhores resultados e, por esta razão, foram utilizados para a predição dos mapas de solo nesta etapa. Também foi avaliada a acurácia desses dois modelos para a carta Carajazinho, com o objetivo de verificar o comportamento numa área de maior extensão.

O MDE da missão SRTM foi obtido por técnica InSAR, com dados que correspondem aos da banda C do sensor e com resolução original de 1 segundo de arco, equivalendo a aproximadamente 30 metros no terreno. O MDE Carta foi gerado a partir de curvas de nível resultante da carta topográfica 1:50.000 da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico), com 20 metros de equidistância vertical entre as curvas de nível. A carta Carajazinho foi vetorizada e estruturada para uso em SIG por Hasenack e Weber (2010).

Uma nova avaliação da acurácia posicional da componente altimétrica e a determinação da escala máxima em que os dados dos modelos podem ser considerados acurados foi realizada. Esta avaliação foi vinculada ao PEC-PCD, de acordo com as Especificações Técnicas para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (CONCAR-EB, 2011). Para realizar a avaliação, foram implantados 31 pontos de controle em toda extensão da carta Carajazinho. Depois de obtidos os pontos de controle, implantados considerando os mesmos critérios estabelecidos para AR, foi verificada a normalidade dos PC por meio do teste de *Shapiro-Wilk* para testar a hipótese nula de que as amostras possuíam distribuição normal.

2.2.2 Obtenção da hidrografia

O mapa de hidrografia foi extraído da base cartográfica digital estruturada por Hasenack e Weber (2010). A rede hidrográfica necessitou de alguns ajustes para auxiliar na obtenção do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC), necessário na geração do mapa de geformas para carta Carajazinho. A direção do fluxo dos rios precisou ser orientada de montante à jusante, para possibilitar a coincidência dos talwegues com a rede de drenagem vetorial.

2.2.3 Obtenção do mapa de declividade e do mapa de geoformas

No tocante ao mapa de declividades para a carta Carajazinho, as classes foram estabelecidas de acordo com os critérios da Embrapa (2006), adaptadas por Flores (2006), assim distribuídas para toda a extensão da área: 0 a 3% relevo plano, entre 3 a 8% suave ondulado, 8 a 13% moderadamente ondulado, 13 a 20% ondulado e 20 a 45% forte ondulado.

O mapa de classes de formas do terreno foi gerado a partir do programa LandMapR[®], que utiliza a lógica Fuzzy para definir o comprimento de vertente a fim de localizar cada pixel em relação à base e ao topo, valendo-se de cinco covariáveis para definir as geoformas, sendo que a posição na vertente é uma delas (MAcMILLAN, 2003).

O LandMapR[®] utiliza quatro programas para execução e obtenção de quinze classes padrão de formas do terreno. Assim, o primeiro passo para obtenção das geoformas tratou da preparação do MDE que foi utilizado no processo. Esta preparação incluiu a suavização do MDE, com um filtro de médias (passa-baixas).

O passo seguinte consistiu na importação do MDE para o LandMapR, procedimento realizado a partir do módulo “*GridReadWriteUtility.exe*”, responsável por converter o arquivo “grid” do MDE para arquivos de banco de dados “dbf”.

Com o uso do programa “*FlowMapR.exe*” foi efetuado o pré-processamento do MDE para criar um MDEHC, eliminando eventuais depressões espúrias, uma vez que o LandMapR[®] baseia-se num MDEHC para definir as formas do terreno.

Concluída a fase de pré-processamento, procedeu-se ao cálculo das variáveis morfométricas. Nesta fase, a construção das formas do terreno foi realizada pelo programa “*FormMapR.exe*”, que calculou, a partir do MDEHC, cinco covariáveis do terreno que serviram de base para a definição das classes finais de geoformas.

A etapa seguinte consistiu na classificação das geoformas a partir do programa “*FacetMapR.exe*”, gerando as classes finais de geoformas, a partir do MDEHC, por meio das covariáveis do terreno calculadas na etapa anterior. Este procedimento foi realizado no programa LandMapR[®], utilizou regras de classificação *Fuzzy* e atributos previamente definidos (MAcMILLAN, 2003).

Por fim, foi realizada a importação do mapa de classes de forma do terreno do LandMapR para o SIG. As quinze classes padrão geradas no LandMapR foram agrupadas em sete classes de forma do terreno para ser utilizada no MDS (SARMENTO, 2015).

2.2.4 Obtenção do mapa de solos pelo método convencional

O mapa de solos da carta Carajazinho também foi obtido pelo método convencional e seguiu o mesmo roteiro proposto no capítulo dois. Nesta acepção, o levantamento pedológico pelo método convencional foi planejado e executado adotando as recomendações estabelecidas por EMBRAPA (1995), IBGE (2015) e balizado no uso de geotecnologias, seguindo a metodologia desenvolvida por Flores et al. (2012).

O mapa planialtimétrico, juntamente com o mapa de classes de declividade e de geoformas, foram utilizados no campo para auxiliar o pedólogo na construção do modelo conceitual e facilitar a transferência das relações solo-paisagem para o mapa de solos, bem como para otimizar a distribuição dos pontos levantados no terreno e conseqüentemente reduzir o custo do levantamento.

Foram descritos e amostrados 34 perfis completos de solos (ANEXO A) a campo. A caracterização morfológica foi feita de acordo com Santos et al. (2013). Além dos 34 completos, foram levantados 165 pontos de observação, alguns com sondagem a trado em locais escolhidos estrategicamente na área de abrangência da carta Carajazinho.

As análises físicas e químicas realizadas seguiram metodologia da Embrapa (1997). Após a interpretação dos dados analíticos e das características morfológicas de cada um dos 34 perfis, foi realizada a classificação dos solos utilizando o “Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos” (SANTOS et al., 2013a). Posteriormente, foi elaborada a legenda para auxiliar o delineamento das classes de solos.

O delineamento das classes de solos foi realizado pela digitalização manual em tela utilizando a base cartográfica planialtimétrica, o mapa de declividade, o mapa de classes de geoformas e as imagens do Google Earth[®] sobrepostos em camadas.

2.2.5 Obtenção dos atributos de terreno para o MDS

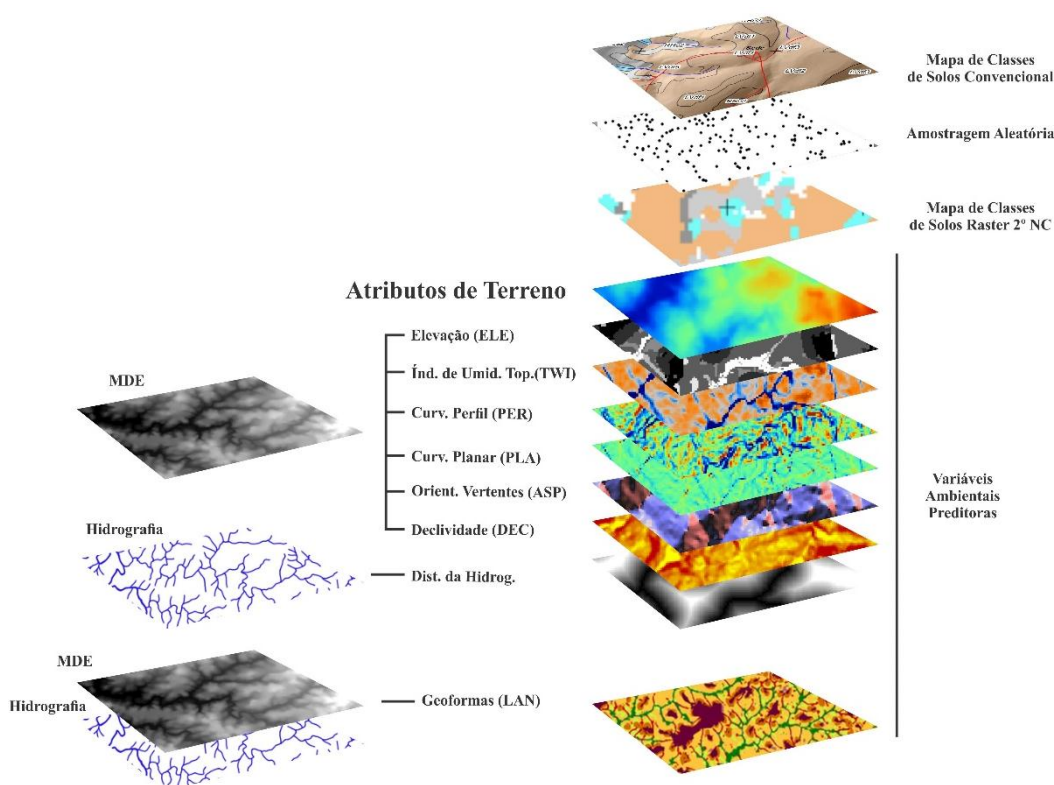
A opção pela predição de classes de solos na área de estudo utilizando somente os atributos de terreno justifica-se pela extensão geográfica da área, pela formação geológica uniforme, pela homogeneidade de clima, vegetação e de uso e ocupação do solo. Essa similaridade geográfica valoriza o uso dos MDE, que se configuram como fontes de dados de variáveis ambientais preditoras mais amplamente utilizados em MDS.

Os atributos referentes ao relevo foram extraídos do MDE da Missão SRTM-C (30m) e do MDE gerado a partir da interpolação das curvas de nível da carta topográfica na escala

1:50.000, com resolução de 30 metros. Na ilustração a seguir (Figura 6), adaptada de Sarmiento (2015), os oito atributos de terreno utilizados no estudo estão representados. Esses atributos foram selecionados mediante uma avaliação dos estudos em MDS realizados no Brasil até o ano de 2016, apresentada no capítulo um.

A elevação, o índice de umidade topográfica, a curvatura em perfil, a curvatura planar, a orientação das vertentes e a declividade foram gerados a partir dos MDE, empregando as bibliotecas “Terrain Analysis” e “Terrain Analysis Morphometry” do SAGA. Já a determinação do mapa de distância da hidrografia utilizou o programa QGIS® e a rede hidrográfica da carta vetorial 1:50.000. O mapa de classes de geoformas, por sua vez, foi obtido no LandMapR®, a partir da combinação do MDE com o mapa de hidrografia, em etapa posterior à orientação do fluxo de toda a rede de drenagem.

Figura 6 – Atributos de terreno utilizados na predição de classes de solos na carta Carajazinho



Fonte: Adaptado de Sarmiento (2015).

A Tabela 1 apresenta a descrição dos oito atributos de terreno derivados dos MDE, selecionados para serem utilizados no MDS.

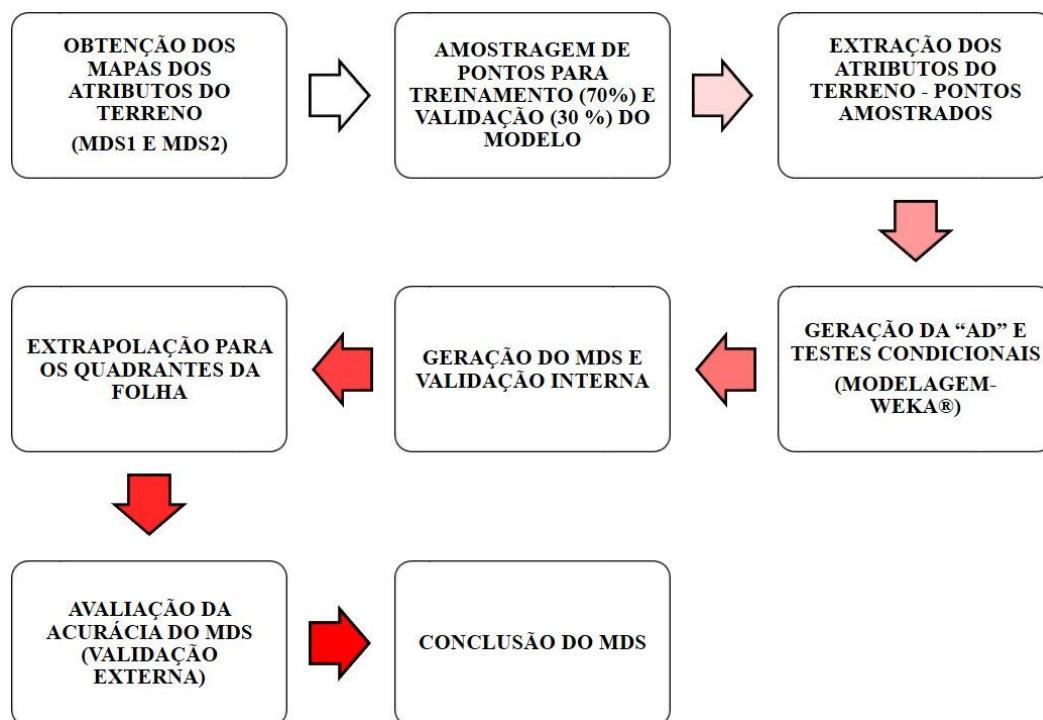
Tabela 1 – Relação e descrição dos atributos de terreno derivados dos MDE para predição das classes de solos

Atributos de representação da paisagem	Descrição
Preditores contínuos	
Atributos de terreno primários	
Declividade (dec)	O atributo declividade é definido como um plano tangente à superfície, expresso como a mudança de elevação sobre determinada distância e pode ser expressa em graus ou em porcentagem (BURROUGH, 1986). A declividade influencia diretamente na velocidade do fluxo de água superficial e subsuperficial, o que afeta diretamente o conteúdo de água no solo, na taxa de erosão e na formação do solo (WILSON; GALLANT, 2000).
Orientação de vertentes (asp)	A orientação de vertente é a direção para a qual a normal à superfície do terreno está voltada. Usualmente é expressa na forma de azimute, em graus decimais, com valores que variam de 0° a 360° no sentido horário a partir do Norte (WILSON; GALLANT, 2000). A orientação influencia na insolação, evapotranspiração e também determina a direção do fluxo de água no solo.
Curvatura planar (pla)	Atributo que expressa a curvatura ortogonalmente à direção da orientação. Valores positivos descrevem curvaturas convexas, enquanto valores negativos descrevem curvaturas côncavas (OLAYA, 2004). A curvatura da superfície inclinada influencia o armazenamento (convergência) e dispersão (divergência) dos fluxos ao longo da encosta, o que controla o conteúdo de água no solo e as características do solo (WILSON; GALLANT, 2000).
Curvatura em perfil (per)	Atributo que representa a curvatura da superfície do terreno na direção da sua orientação. Possui influência sobre a velocidade do fluxo superficial, a taxa de erosão/deposição e a geomorfologia (WILSON; GALLANT, 2000).
Elevação (ele)	Atributo extraído diretamente do modelo digital de elevação (MDE). Representa a altitude da célula em relação a um plano de referência. A elevação marca influência sobre o clima, vegetação e na formação do solo.
Distância da hidrografia (dis)	É a distância medida entre dois pontos, em planos que seguem a inclinação da superfície do terreno. O mapa de distância da hidrografia influencia na indicação de ocorrência dos solos.
Atributos de terreno secundários	
Índice de Umidade Topográfica (twi)	Distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo nas águas de paisagens (BEVEN; KIRKBY, 1978)
Preditor categórico	
Geoformas (lan)	Geoformas representam as formas do relevo (MACMILLAN, 2003), controlam a formação e distribuição dos solos e, em troca, o desenvolvimento de solo influencia na evolução geomorfológica da paisagem (ZINCK, 2012). O modelo de paisagem estabelecido por Troeh (1965) baseia-se na curvatura do terreno, assim as geoformas podem ser: lineares, convexas e côncavas. Neste modelo as geoformas associam o perfil (inclinação) e a curvatura (curva) da paisagem.

2.2.6 Mapeamento digital de solos

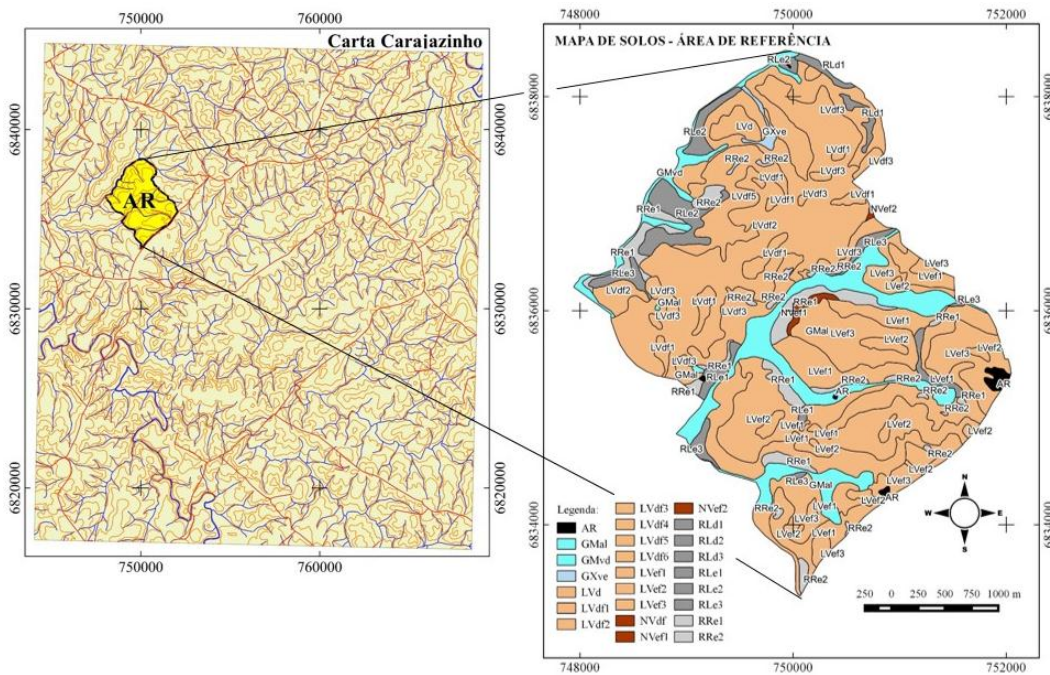
Os principais passos adotados para construção do MDS para a carta Carajazinho estão ilustrados na Figura 7. Essa abordagem teve como base o mapa de solos da AR obtido pelo método convencional e os pontos de observação de campo obtidos para toda extensão da carta Carajazinho.

Figura 7 – Passos para construção do MDS da carta Carajazinho



De posse do mapa convencional de solos da AR (Figura 8) e do conjunto de pontos de observação de campo, duas estratégias de MDS foram testadas com o objetivo de obter os dados para gerar regras de classificação. Cada estratégia empregou os oito atributos de terreno como variáveis predictoras. Desta forma, o ponto de partida adotado para aplicação das técnicas MDS 1 e MDS 2 foi a obtenção dos mapas dos atributos de terreno dentro da carta Carajazinho.

Figura 8 – Detalhe do mapa de classes de solos da AR na carta Carajazinho



2.2.6.1 MDS 1

O MDS 1 fundamentou-se na realização de uma amostragem sobre o mapa de solos convencional da AR (obtido no capítulo dois), mediante a seleção aleatória de pontos de treinamento. A densidade amostral foi estabelecida em relação à área mínima mapeável (AMM) para um levantamento detalhado (escala 1:10.000), resultando em 2.500 pontos amostrados (Figura 9), numa relação de 0,4 pontos por ha. Este valor ficou bastante próximo ao recomendado por Brungard & Boettinger (2010), que indicam um número de amostras entre 0,05 e 0,1% do total de células abrangidas pelo retângulo da área. A ferramenta “seleção aleatória dentro de subconjuntos” responsável por gerar pontos aleatórios do programa QGis® foi empregada para esta tarefa.

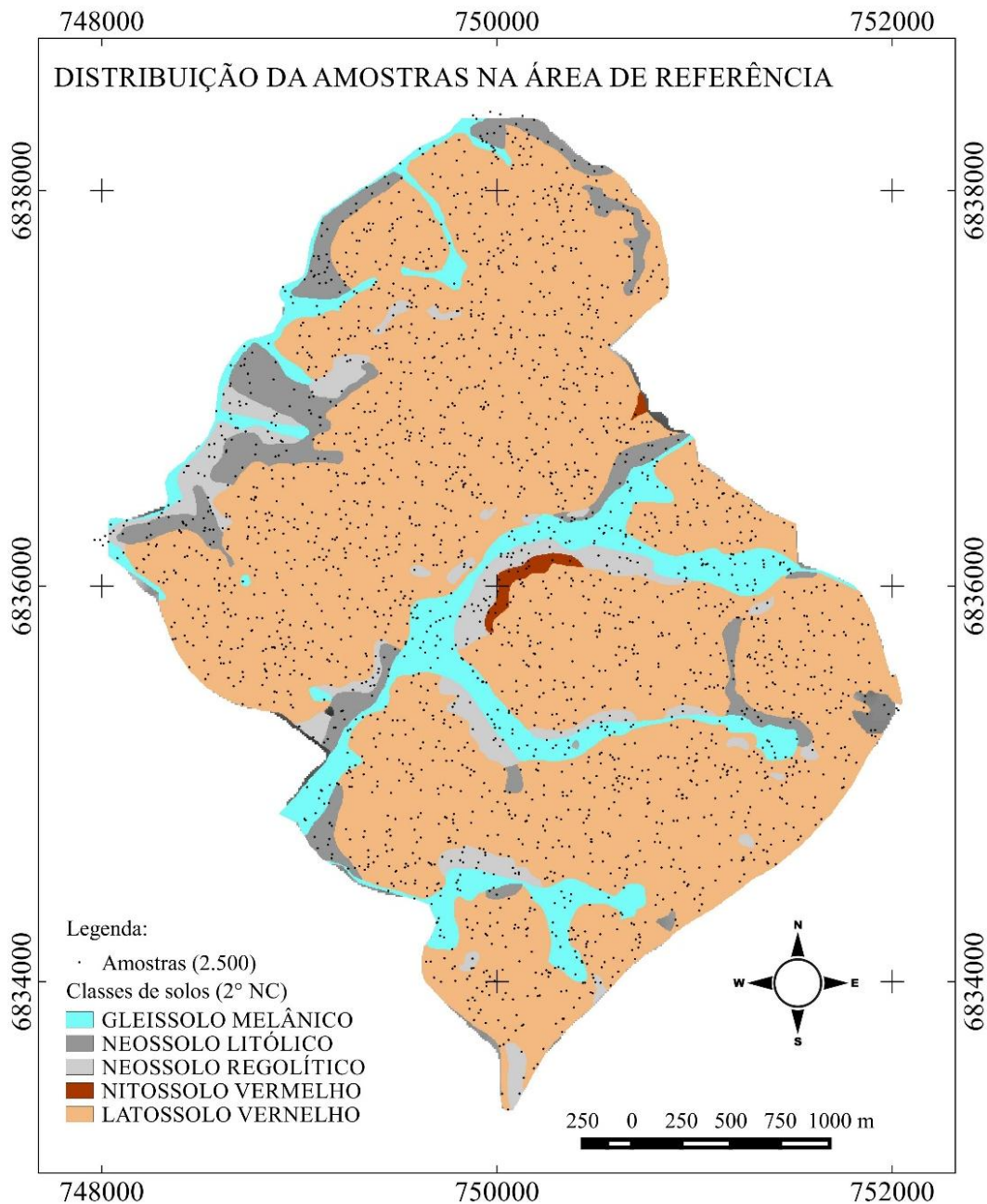
De cada um dos 2.500 pontos de treinamento amostrados, foram extraídos os valores dos oito atributos selecionados, a fim de gerar o modelo de árvore de decisão, técnica de aprendizagem de máquina escolhida para o trabalho. Por intermédio dessa técnica, foi possível obter regras similares a uma chave de classificação, como abordado no capítulo dois do trabalho. Os pontos amostrais foram exportados na extensão CSV (valores separados por vírgula) para análise e pré-processamento dos dados.

A árvore de decisão foi gerada empregando o algoritmo J48 no programa Weka®. Na sequência do processamento, esta AD foi transformada em testes condicionais (regras de

classificação), desenvolvendo, desse modo, o modelo preditor para gerar o mapa digital de solos. O módulo “grid calculator” da biblioteca “grid calculus” do SAGA foi utilizado para realizar a operação matemática envolvendo as variáveis preditoras e as regras de classificação para criar o MDS.

Depois de gerado o mapa digital de solos (MDS 1), foi necessário avaliar sua acurácia, com o emprego de pontos de campo. A avaliação iniciou na AR e foi estendida para os quatro quadrantes circundantes, com dimensões crescentes, até a abrangência total da carta Carajazinho.

Figura 9 – Distribuição espacial dos 2.500 pontos da amostragem aleatória na AR



Os pontos considerados para a validação dos mapas digitais de solos gerados para os quatro quadrantes foram obtidos em campanhas de campo e distribuídos num esquema de amostragem orientada, com os locais de amostragem predeterminados durante o levantamento convencional de solos para a carta Carajazinho (Tabela 2). Posteriormente, foram transformados em arquivo raster no SAGA, mediante o uso da biblioteca “Grid-Gridding” e do módulo “Shape to Grid”.

Tabela 2 – Distribuição dos pontos de observação de campo na carta Carajazinho para utilização no MDS 1

Quadrantes	POC	MDS 1
		\sum POC
AR	352	352
1	352+55	407
2	352+55+47	454
3	352+55+47+39	493
4	352+55+47+39+102	595
POC – Pontos de observação de campo		

No passo seguinte, a matriz de erro (CONGALTON, 1991) foi empregada para a avaliação da acurácia dos mapas de classes de solos. Sua aplicação permitiu a obtenção dos dados concordantes (células da diagonal principal) ou discordantes, representados pelos seguintes indicadores de acurácia: exatidão global (EG), acurácia do produtor (AP), acurácia do usuário (AU) e índice Kappa (COHEN, 1960). A discordância global foi também avaliada, a partir da medida das discordâncias de quantidade e de alocação (PONTIUS JUNIOR; MILLONES, 2011).

2.2.6.2 MDS 2

O MDS 2 seguiu os mesmos passos metodológicos do MDS 1, com a diferença de que, nessa abordagem, foi utilizado o MDE GNSS, com resolução de cinco metros para construir o modelo preditor a partir dos atributos de terreno. Adicionou-se a este cenário, ainda, a utilização de pontos de observação de campo para o treinamento do modelo preditor e para a validação dos mapas de classes de solos.

Na AR, 70% dos pontos de observação de campo (247) foram utilizados para treinamento e os pontos restantes (105) foram utilizados na validação interna do modelo. O número de pontos de observação de campo foi ampliado em relação aos pontos utilizados no levantamento de solos convencional da AR (capítulo dois), no qual foram utilizados 62 pontos de observação de campo para apoiar a elaboração do mapa de solos. Para os quatro quadrantes, os pontos de treinamento utilizados na AR não foram considerados e os pontos restantes foram utilizados para validação externa.

A Tabela 3 mostra a distribuição dos pontos de observação de campo utilizados para treinamento do modelo preditor e os pontos de campo utilizados para validação dos mapas de classe de solos. Desses pontos, 34 representam perfis completos, obtidos em trincheiras e

taludes de corte de estradas. Os pontos restantes foram obtidos com a utilização do trado holandês ou simplesmente a partir da observação no terreno. Para obtenção dos pontos de validação dos quadrantes 1 a 4, foi necessário subtrair os pontos de treinamento do total de pontos de cada quadrante, conforme mostra a Tabela.

Tabela 3 – Distribuição dos pontos de observação de campo na carta Carajazinho para utilização no MDS 2

Quadrantes	POC	Σ POC	Trein.	MDS 2	
				Σ POC - Trein.	Val.
AR	352	352	247*	352-247	105**
1	352+55	407	--	407-247	160
2	352+55+47	454	--	454-247	207
3	352+55+47+39	493	--	493-247	246
4	352+55+47+39+102	595	--	595-247	348

POC – Pontos de observação de campo; Trein. – Pontos de Treinamento; Val. – Pontos de Validação. * 70% (Σ POC AR) ** 30% (Σ POC AR)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 OBTENÇÃO DOS MDE DA CARTA CARAJAZINHO

O teste de *Shapiro-Wilk* para os 31 PC implantados resultou no valor de $W_{\text{calculado}} = 0,969$, maior $W_{\text{tabelado}} = 0,929$, com p-valor de 0,494 maior que 0,05 (nível de significância), mantendo a hipótese nula de que os dados são normalmente distribuídos. Dessa forma, é possível afirmar, com 95% de confiança, que os pontos de controle da amostra distribuídos na carta Carajazinho seguiram uma distribuição normal.

A Tabela 4 apresenta um resumo do tratamento estatístico para cada MDE em relação aos 31 pontos de controle.

Tabela 4 – Estatísticas da comparação entre as altitudes dos 31 pontos de controle e MDE SRTM –C e MDE Carta

Estatística	MDE		PC (31 pontos)
	SRTM-C	Carta MDE	
r	0,99	0,95	--
RMSE	1,58	4,99	--
M	0,66	1,72	--
σ	1,55	4,05	--
Min	230	233	229,65
Máx	307	301	306,87
Amplitude	77	68	77,22

* r = coeficiente de correlação; RMSE = raiz quadrada do erro médio quadrático; M = diferença média; σ = desvio padrão.

Os valores obtidos para o coeficiente de correlação indicaram que os dois modelos têm uma associação significativa entre as altitudes. Os dois MDE mostraram uma baixa dispersão e não apresentaram tendência nos dados. Em relação à classificação de acordo com o PEC-PCD, os dois modelos atenderam à escala 1:50.000, sendo que o modelo SRTM-C apresentou mais de 90% dos 31 pontos avaliados com valores de discrepâncias posicionais altimétricas menores que o valor do PEC_PCD para a classe 1:25.000 (Tabela 5). Também apresentou o RMSE das amostras com valores abaixo do erro padrão (EP) fixado na especificação técnica. Esses resultados permitem validar a viabilidade de uso no MDS, para essa área específica, até a escala 1:25.000 (PEC classe “A”). O MDE Carta apresentou mais de 90% dos 31 pontos avaliados com valores de discrepâncias posicionais altimétricas menores que o valor do PEC_PCD para a classe 1:50.000. Apresentou o RMSE das amostras com valores abaixo do erro padrão (EP) fixado na especificação técnica, permitindo validar o MDE carta para uso em MDS, até a escala 1:50.000 (PEC classe “B”).

Tabela 5 – PEC-PCD altimétrico dos MDE

PEC-PCD	1:25.000 (CN 10m)		1:50.000 (CN 20m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A ¹	2,70	1,67	5,50	3,33
B ¹	5,00	3,33	10,00	6,66
C ¹	6,00	4,00	12,00	8,00
D ¹	7,50	5,00	15,00	10,00
SRTM-C ²	93,5% < 2,70	1,58	PEC-PCD Classe A	
MDE Carta ²	PEC-PCD Classe B		100% < 10,00	4,99

¹ Dados Tabelados, ² Dados calculados, CN – Curva de Nível.

O resultado dessa etapa do trabalho está apresentado pelas Figuras 10 e 11, apresentadas a seguir.

Figura 10 – Modelo digital de elevação gerado a partir da carta topográfica na escala 1:50.000

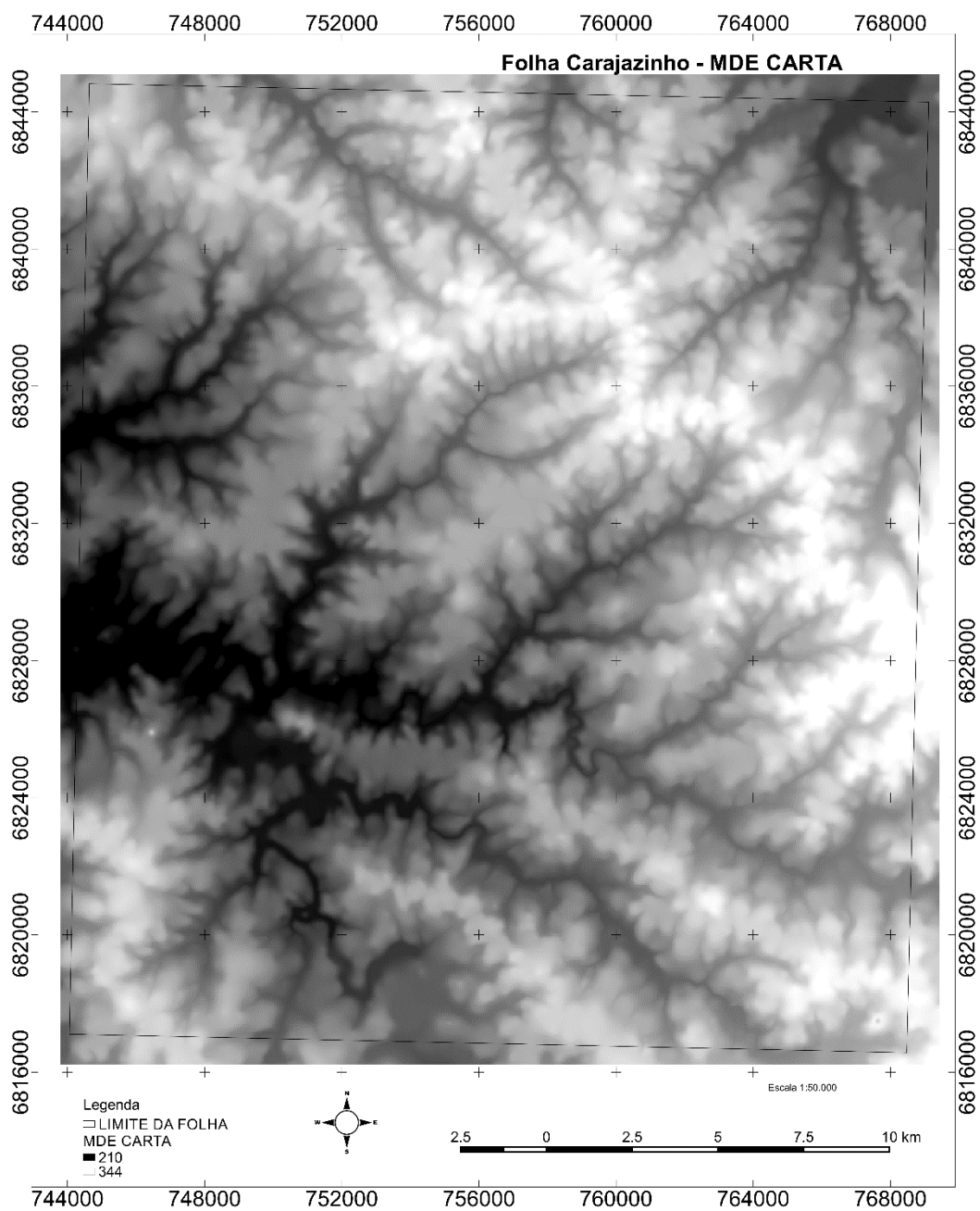
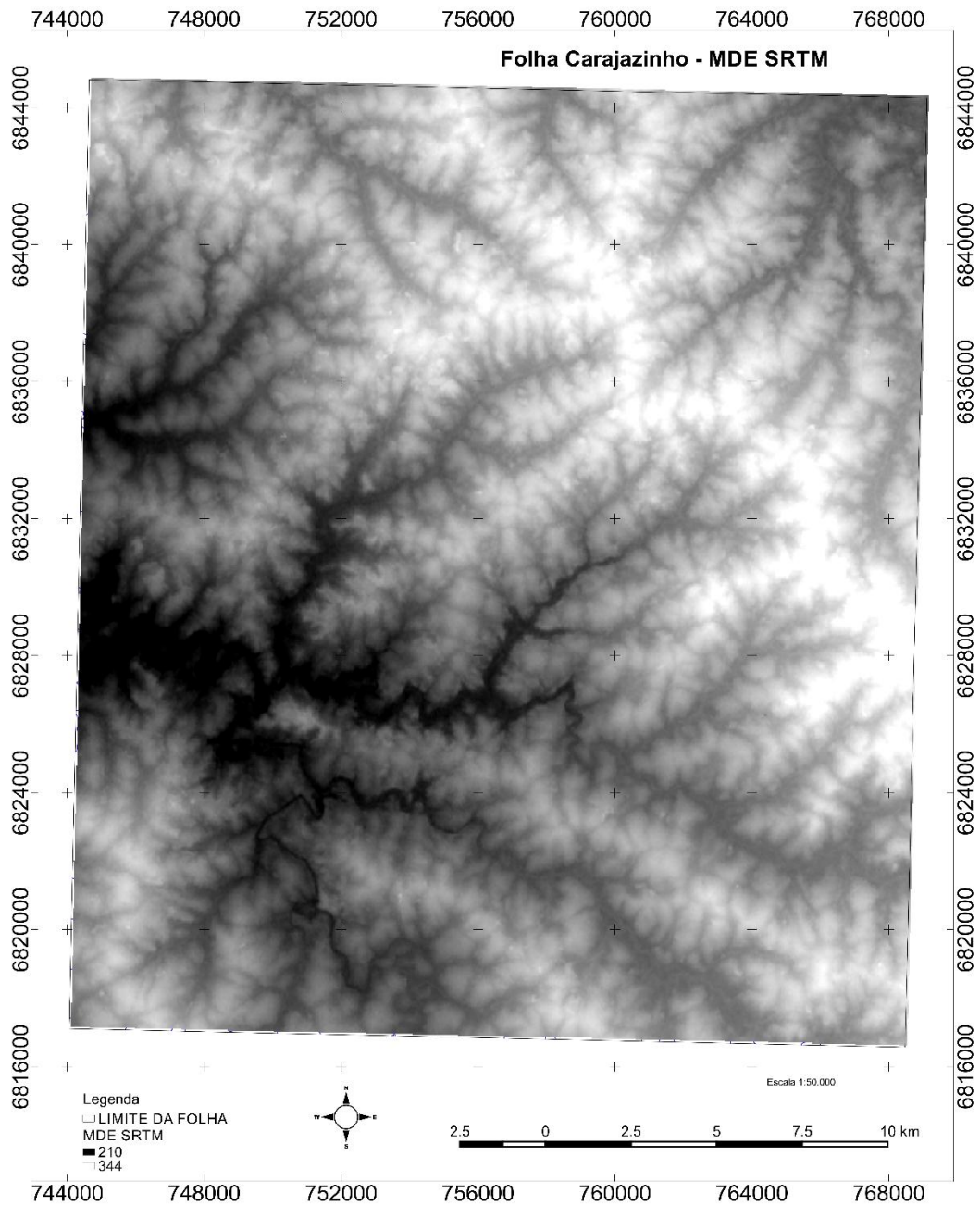


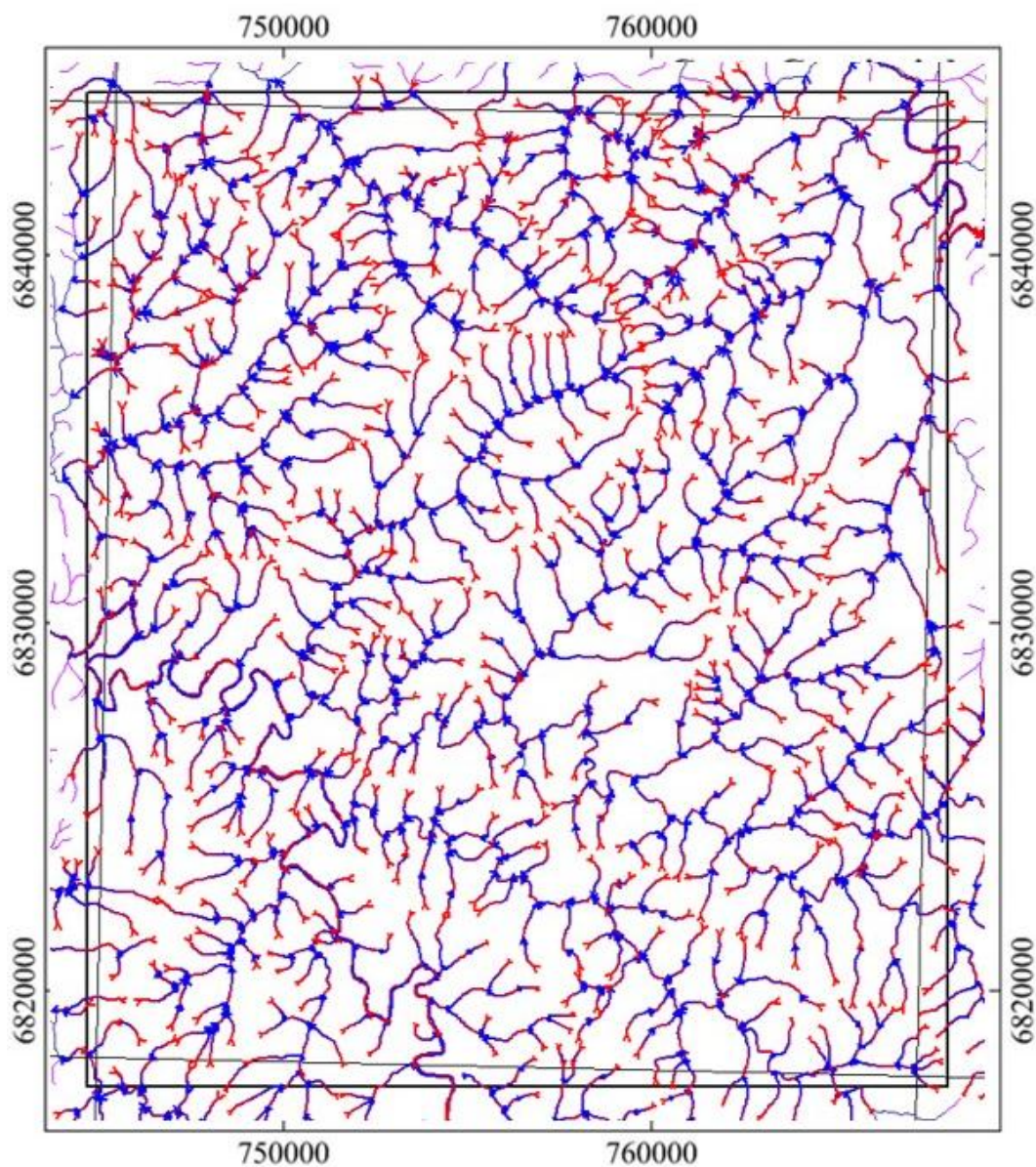
Figura 11 – Modelo digital de elevação SRTM-C



3.2 OBTENÇÃO DA HIDROGRAFIA

Os ajustes realizados para estruturar a base cartográfica digital a fim de obter o mapa de geformas estão ilustrados na Figura 12, na qual as setas na cor azul indicam a orientação à jusante (sentido da corrente) do sistema de drenagem para cada nó existente nas linhas do arquivo *shape file*.

Figura 12 – Orientação do sistema de drenagem na carta Carajazinho



3.3 OBTENÇÃO DO MAPA DE DECLIVIDADE E CLASSES DE GEOFORMAS

Com relação ao mapa de declividade, foram identificadas cinco das sete classes que constam na legenda (Tabela 6). As áreas com relevo suave ondulado abrangeram a maior área ($401,85 \text{ km}^2$), equivalendo a 55,81% da área total. As áreas de relevo plano compreenderam $92,19 \text{ km}^2$, representando 12,80% da área. As áreas com relevo moderadamente ondulado contabilizaram $182,09 \text{ km}^2$, constituindo 25,29% do total da área. As áreas com relevo ondulado abrangeram uma área de $38,78 \text{ km}^2$, representando 5,38% do total da área. A classe

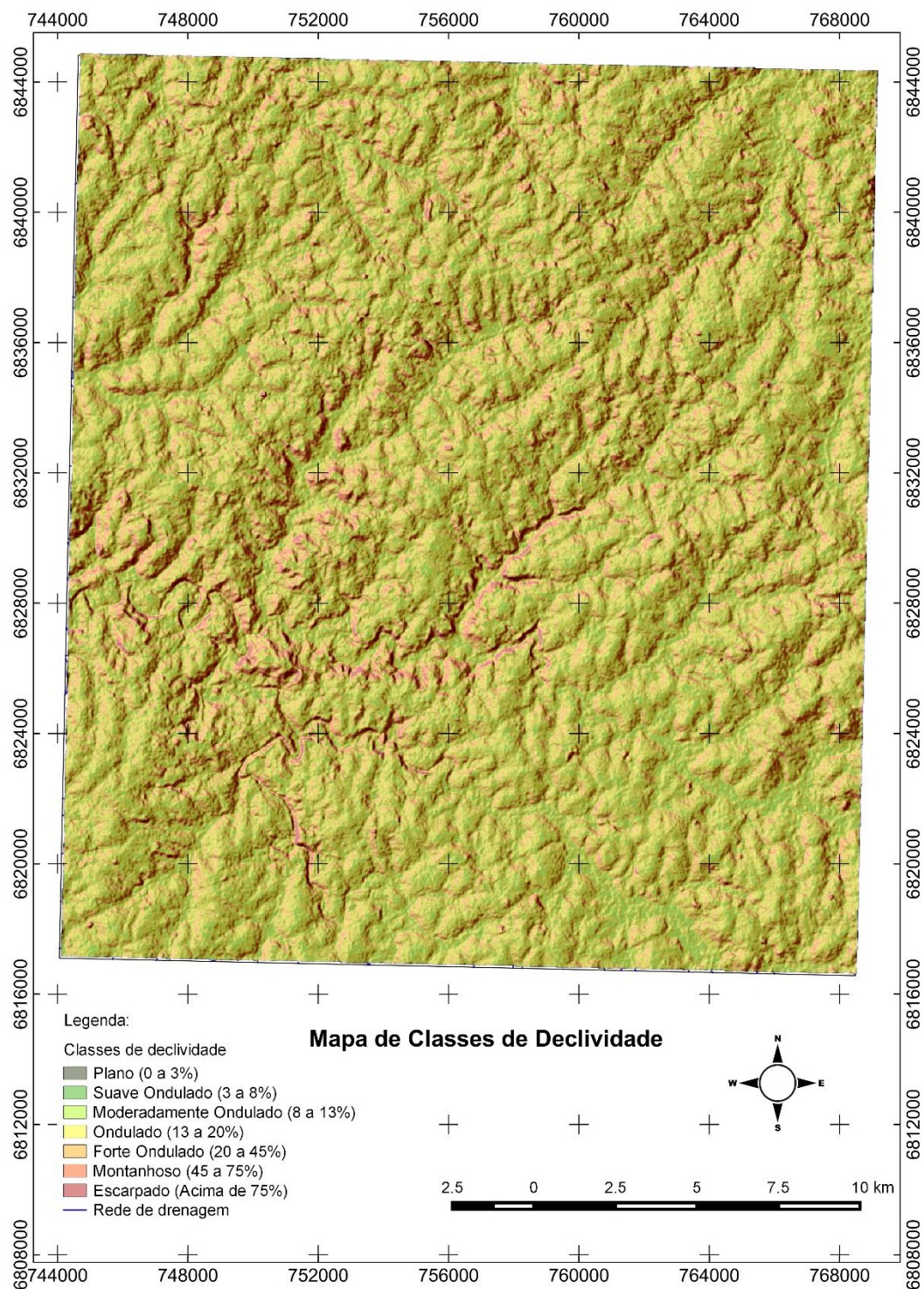
de declividade de menor ocorrência foi a forte ondulado, identificado em somente 5,11 km² (0,71%).

Nas encostas do alinhamento da coordenada norte de 6.828.000m (Figura 13), foram encontradas as maiores declividades, onde ocorrem a maioria dos Neossolos Litólicos e Regolíticos identificados na carta Carajazinho. Tal constatação é válida e concordante com a caracterização apresentada no item 2.1, em que se apresenta um recorte da carta original do projeto RADAMBRASIL – carta Santo Ângelo 1:250.000, identificando uma grande mancha de neossolos na área.

Tabela 6 – Distribuição das classes de declividade

Classe (%)	Denominação da classe	Área (km²)	Percentual (%)
0 - 3	Plano	92,19	12,80
3 - 8	Suave ondulado	401,84	55,82
8 - 13	Moderadamente ondulado	182,09	25,29
13 - 20	Ondulado	38,78	5,38
20 - 45	Forte ondulado	5,10	0,71
Total		720,00	100,00

Figura 13 – Mapa de declividade da carta Carajazinho



O mapa de classes de geofomas resultante (Figura 14) e a Tabela 7 ilustram a distribuição das sete classes de geofomas na carta Carajazinho. As Encostas retilíneas abrangeram a maior área (350,37 km²), equivalendo a 47,38% da área total. As áreas classificadas como Ombro divergente compreenderam a 91,23 km², representando 12,34% da

área. As Encostas divergentes contabilizaram 57,06 km², constituindo 7,72% do total da área. As Planícies, onde aparecem os Gleissolos, abrangeram uma área de 101,76 km², representando 13,76% do total da área. Os topos suaves, que se caracterizam pela presença dos Latossolos, compreenderam uma área de 82,89 km² (11,22%). A classe de geoforma de menor ocorrência foi o terraço, identificado somente numa área de 11,13 km² (1,50%), não tendo participação ativa na predição de classes de solos.

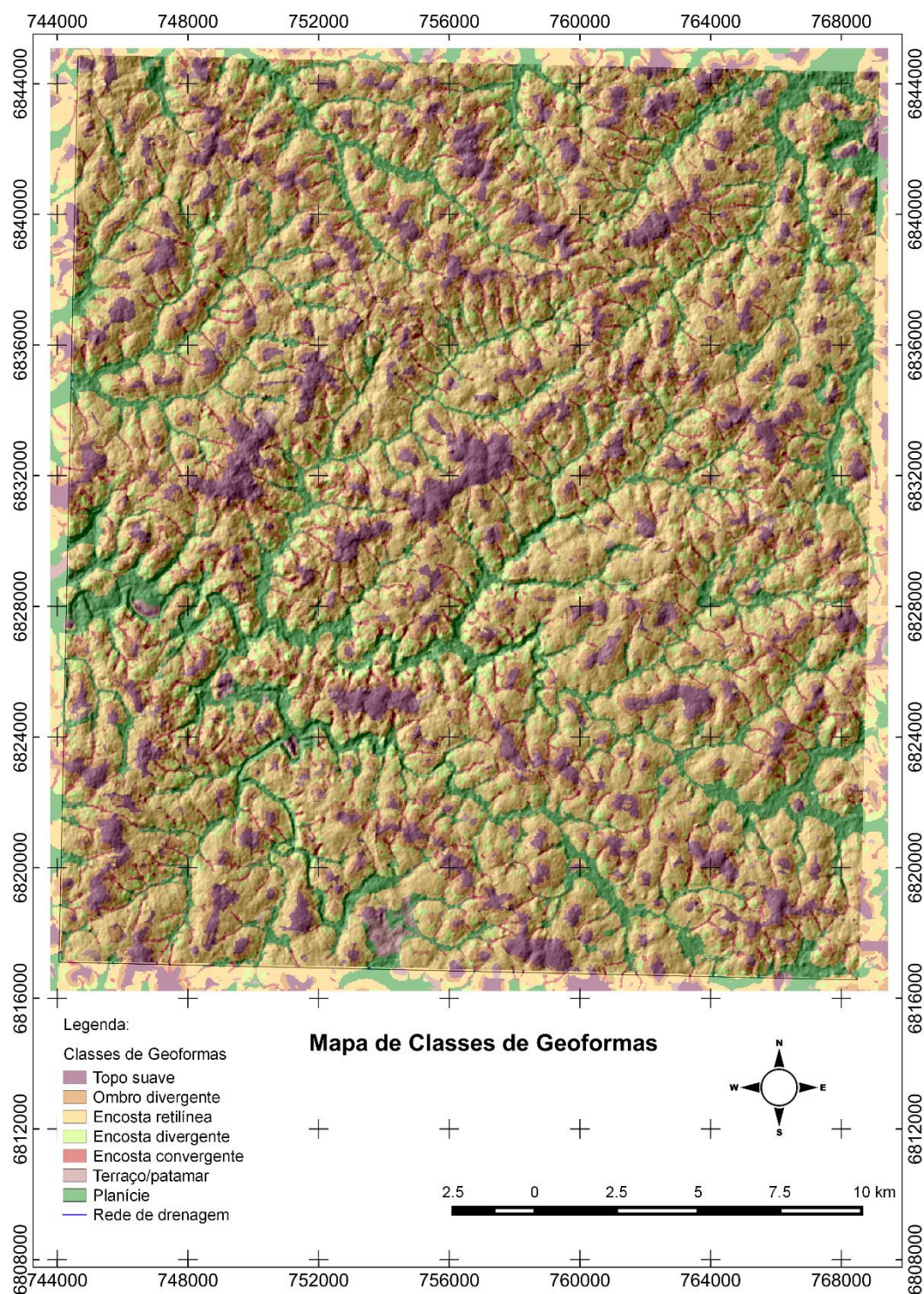
Tabela 7 – Distribuição das classes de geoformas

Ordem	Denominação da classe	Área (km²)	Percentual (%)
1	Topo suave	82,89	11,22
2	Ombro divergente	91,23	12,34
3	Encosta retilínea	350,37	47,38
4	Encosta divergente	57,06	7,72
5	Encosta convergente	44,96	6,08
6	Terraço/patamar	11,13	1,50
7	Planície	101,76	13,76
Total		739,40*	100,00

*Retângulo envolvente da carta Carajzinho 854 colunas por 962 linhas (resolução 30m).

O mapa de classes de geoformas, juntamente com o mapa de classes de declividade e a carta planialtimétrica, auxiliaram o pedólogo no levantamento de solos pelo método convencional e também no delineamento das classes de solos. Contribuíram, com atributos, na construção do modelo árvore de decisão para o mapeamento digital de solos.

Figura 14 – Mapa de classes de geformas da carta Carajazinho

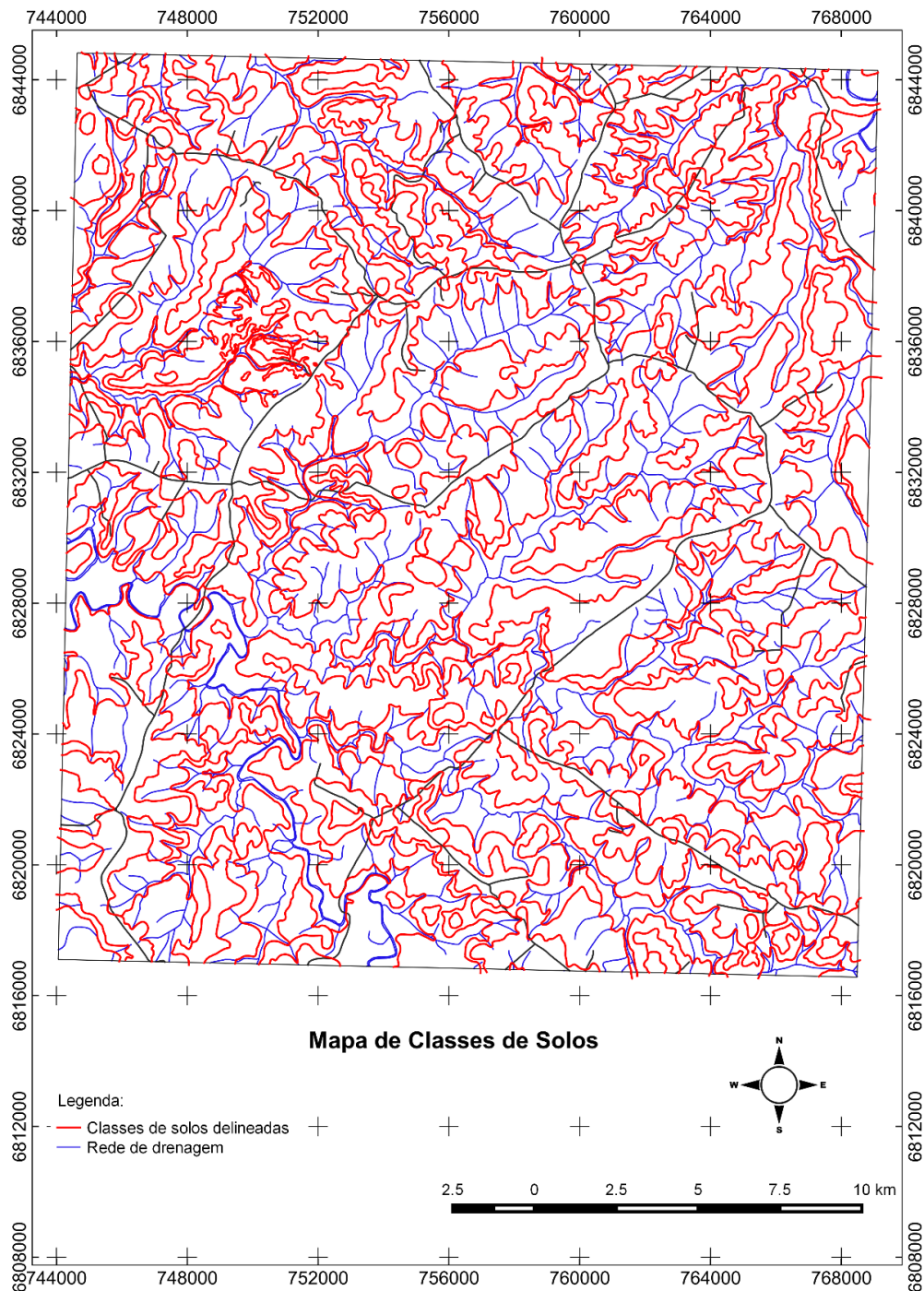


3.4 OBTENÇÃO DO MAPA DE SOLOS PELO MÉTODO CONVENCIONAL

O mapa de solos elaborado pelo método convencional pode ser observado na Figura 15. Neste mapa constam apenas os polígonos das classes de solos delineadas. Na legenda

definitiva constam todas as classes de solos identificadas na AR. Os maiores polígonos delineados compreenderam uma sequência entre os topos suaves e os ombros divergentes. Em algumas encostas divergentes apareceram os Nitossolos e nas encostas retilíneas e divergentes, em relevos ondulados, ocorreram os Neossolos. Os Gleissolos foram identificados nas planícies, nas quais ocorrem as declividades entre 0 e 3%.

Figura 15 – Mapa de classes de solos elaborado pelo método convencional para a carta Carajazinho



Na legenda de identificação dos solos da carta Carajazinho (Tabela 8) estão representadas todas as classes de solos identificadas na AR. As classes estão distribuídas em quatro ordens de solos, quais sejam: Latossolos, Nitossolos, Neossolos e Gleissolos. Os Latossolos constituem a ordem de ocorrência mais frequente, os Neossolos se apresentam como a segunda ordem de maior incidência na área, seguida da classe de Gleissolos e com menor expressão geográfica aparecem os Nitossolos, que representam a menor distribuição na carta Carajazinho confirmando a distribuição avaliada no capítulo dois para a AR.

Tabela 8 – Legenda de identificação dos solos da carta Carajazinho

Símbolo	Descrição da Unidade de Mapeamento
GMal	GLEISSOLO MELÂNICO Alítico típico A húmico textura argila/muito argilosa fase relevo plano
GMvd	GLEISSOLO MELÂNICO Ta Distrófico típico A húmico textura argilossiltosa/franco-argilossiltosa fase relevo plano
GXve	GLEISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico vertissólico A moderado textura argila/argilossiltosa fase relevo plano
LVdf 1	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo plano
LVdf 2	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVdf 3	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo moderadamente ondulado
LVdf 4	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVdf 5	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave moderadamente ondulado
LVdf 6	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura francoargilosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVd	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado
LVef 1	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico cambissólico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo moderadamente ondulado
LVef 2	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa/muito argilosa fase relevo plano
LVef 3	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado
RLd 1	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário A moderado textura argila fase relevo moderadamente ondulado
RLd 2	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico A moderado textura argila fase relevo moderadamente ondulado
RLe 1	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário A moderado textura francoargilosa fase relevo suave ondulado
RLe 2	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa fase relevo suave ondulado
RLe 3	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura franco-argilossiltosa fase relevo moderadamente ondulado
RRe1	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico A moderado textura franco fase relevo moderadamente ondulado
RRe2	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico A moderado textura franco fase relevo ondulado
NVdf	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura francoargilosa/muito argilosa fase relevo moderadamente ondulado
NVef 1	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado
NVef 2	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura francoargilosa/argila fase relevo moderadamente ondulado

Os 34 perfis de solos levantados durante as campanhas de campo estão reunidos no Anexo 1, com a descrição geral, o registro da pedopaisagem, a caracterização morfológica de cada horizonte e as análises físicas e químicas de cada perfil.

No Anexo 2 é apresentado o cronograma de execução e custo do levantamento semidetalhado de solos da carta Carajazinho na escala 1:50.000, utilizando o método convencional de mapeamento de solos.

3.5 OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS DE TERRENO PARA O MDS

Os atributos representando o índice de umidade topográfica, curvatura em perfil, curvatura planar, orientação de vertentes e distância da hidrografia geraram os mapas que estão representados nas Figuras 16 a 20.

Figura 17 – Mapa da orientação de vertentes da carta Carajazinho

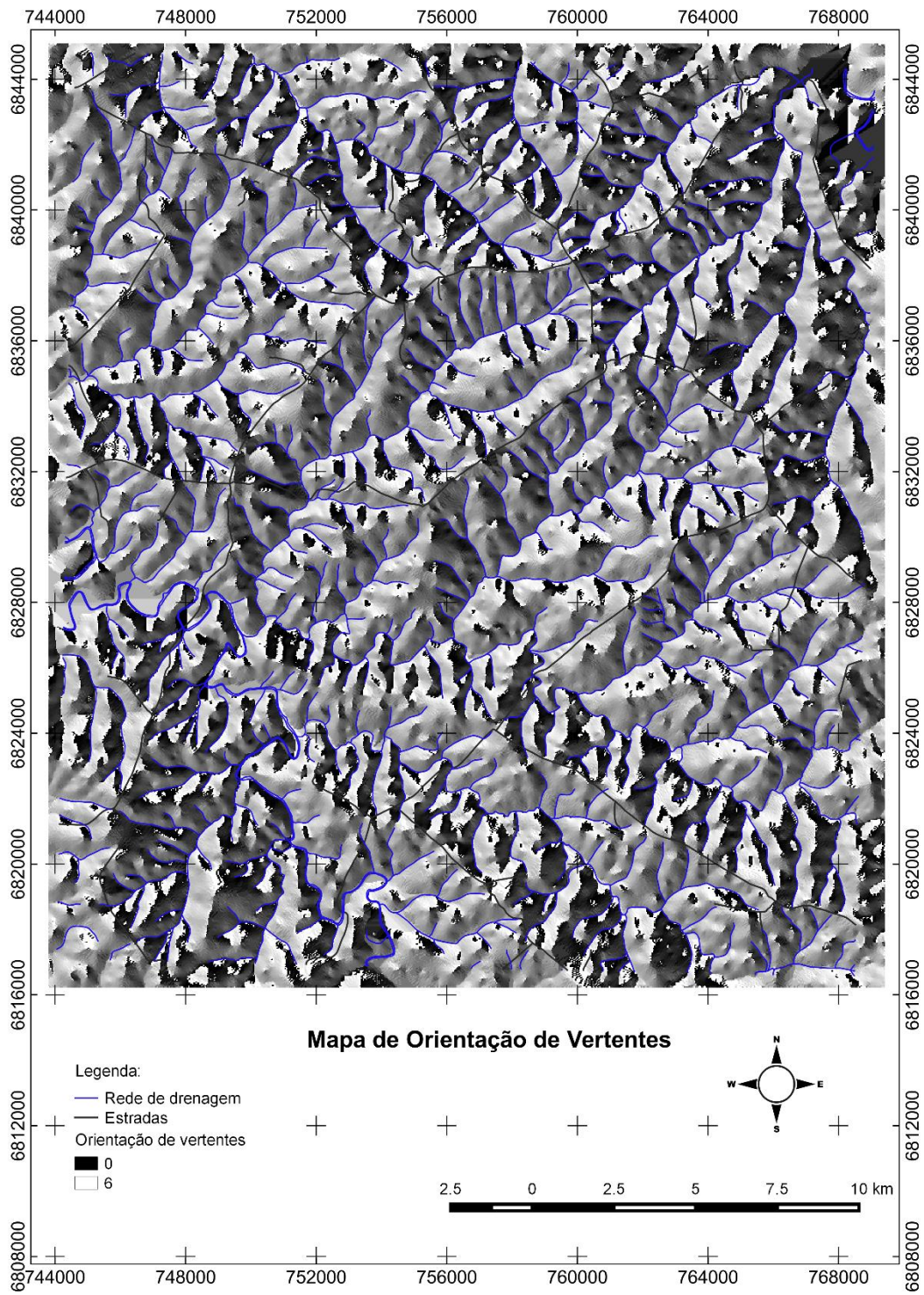


Figura 18 – Mapa da distância da hidrografia da carta Carajazinho

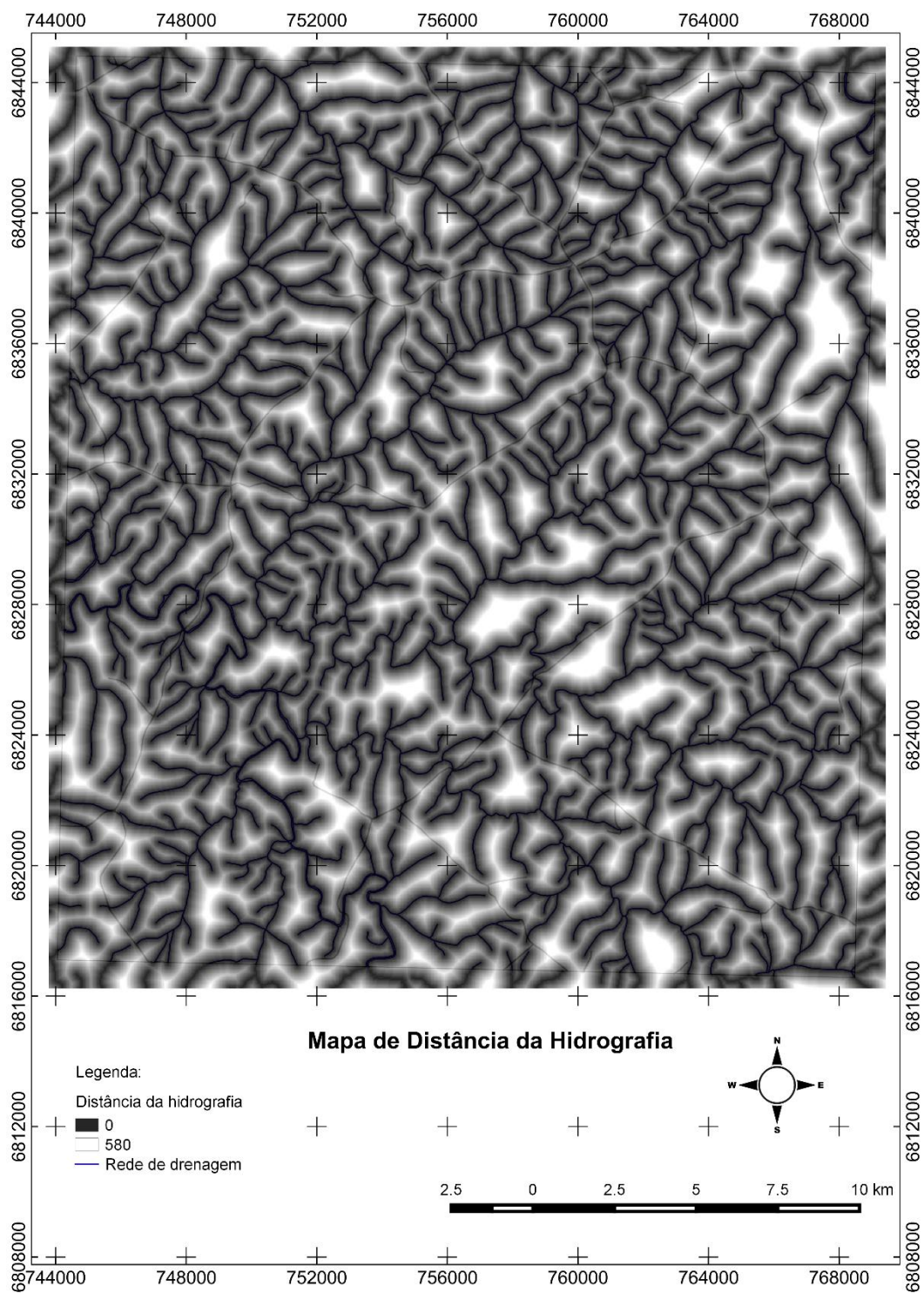


Figura 19 – Mapa da curvatura em perfil da carta Carajazinho

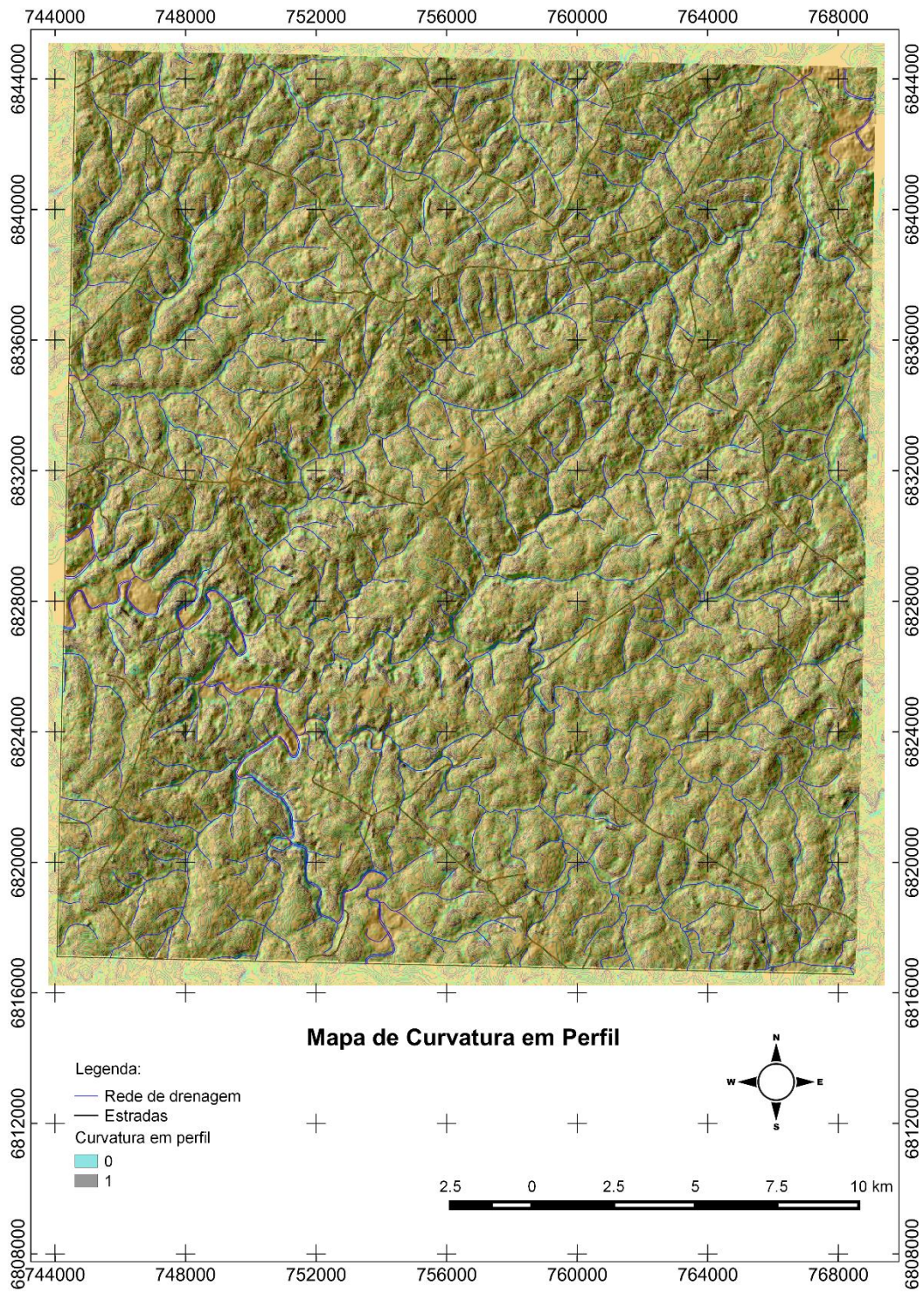
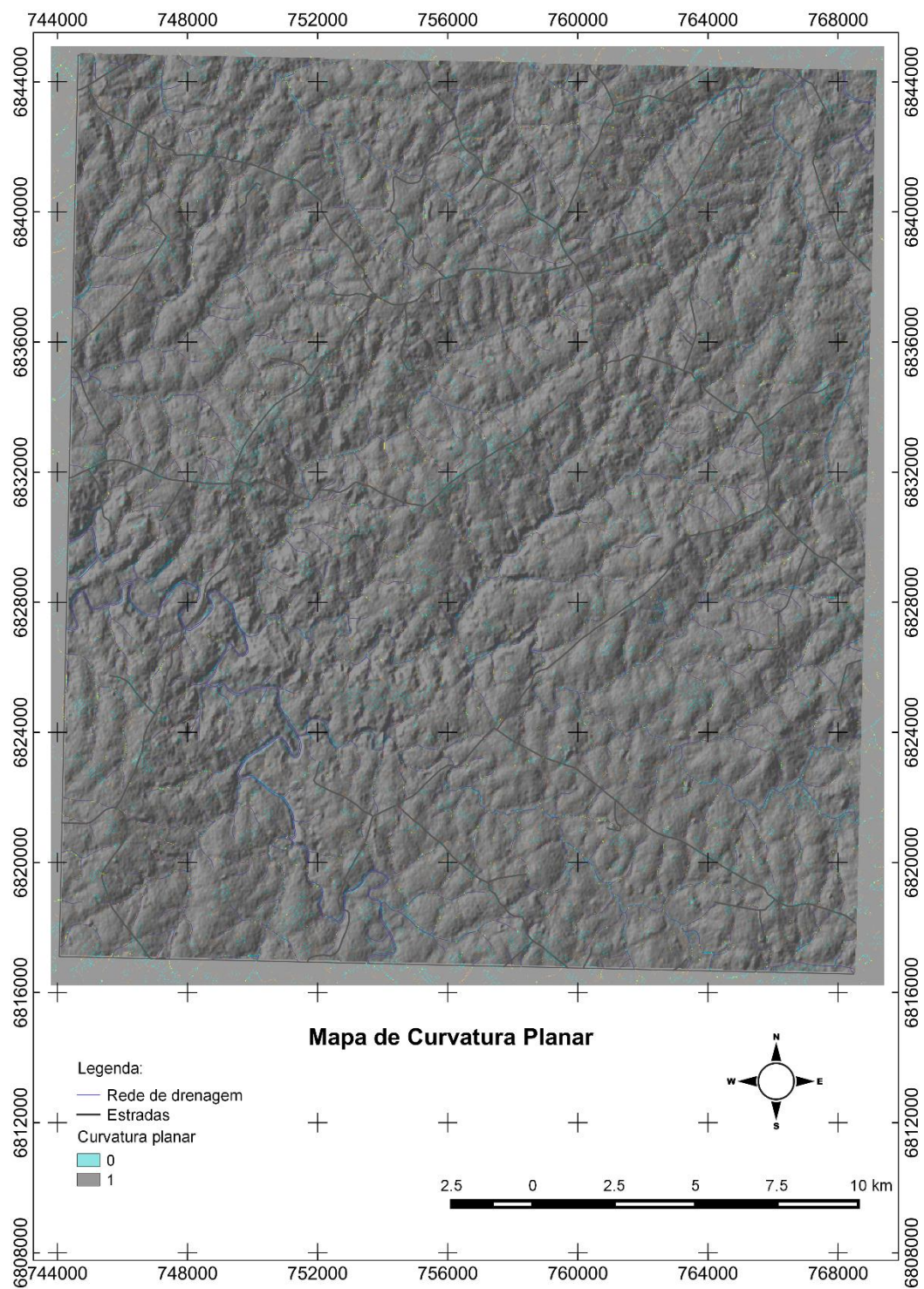


Figura 20 – Mapa da curvatura planar da carta Carajazinho



3.6 MAPA DIGITAL DE SOLOS

Os itens a seguir apresentam os resultados dos dois cenários trabalhados no MDS para gerar o MDS 1 e o MDS 2, a partir dos oito atributos de terreno, das diferentes amostras de treinamento e dos tipos de MDE propostos.

3.6.1 MDS 1

Os mapas digitais de classes de solos resultantes da técnica MDS 1 (Figuras 21 e 22) permitiram estabelecer comparações entre o desempenho dos dois MDE. A Tabela 9 apresenta os percentuais de ocorrência das classes de solos para os dois MDE trabalhados. A maior representatividade percentual foi dos Latossolos Vermelhos, abrangendo o equivalente a 72% com dados extraídos dos dois MDE. As áreas classificadas com Gleissolos Melânicos apresentaram a segunda maior representatividade na carta Carajazinho, compreendendo 15,86% (SRTM-C) e 17,37% (Carta). As áreas classificadas como Neossolos contabilizaram 12,13% (SRTM-C) e 11,31% (Carta). A menor representatividade percentual ocorreu com os Nitossolos, com apenas 0,05% (SRTM-C) e 0,11% (Carta). Os Nitossolos não tiveram participação ativa no treinamento do modelo e essa resposta ficou comprovada no percentual de ocorrência dessa classe no mapa digital de solos gerado.

Deste modo, pode-se avaliar que, em termos de percentual de ocorrência das classes de solos, os dois MDE tiveram um comportamento semelhante no uso da técnica MDS 1.

Figura 21 – MDS 1 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE Carta

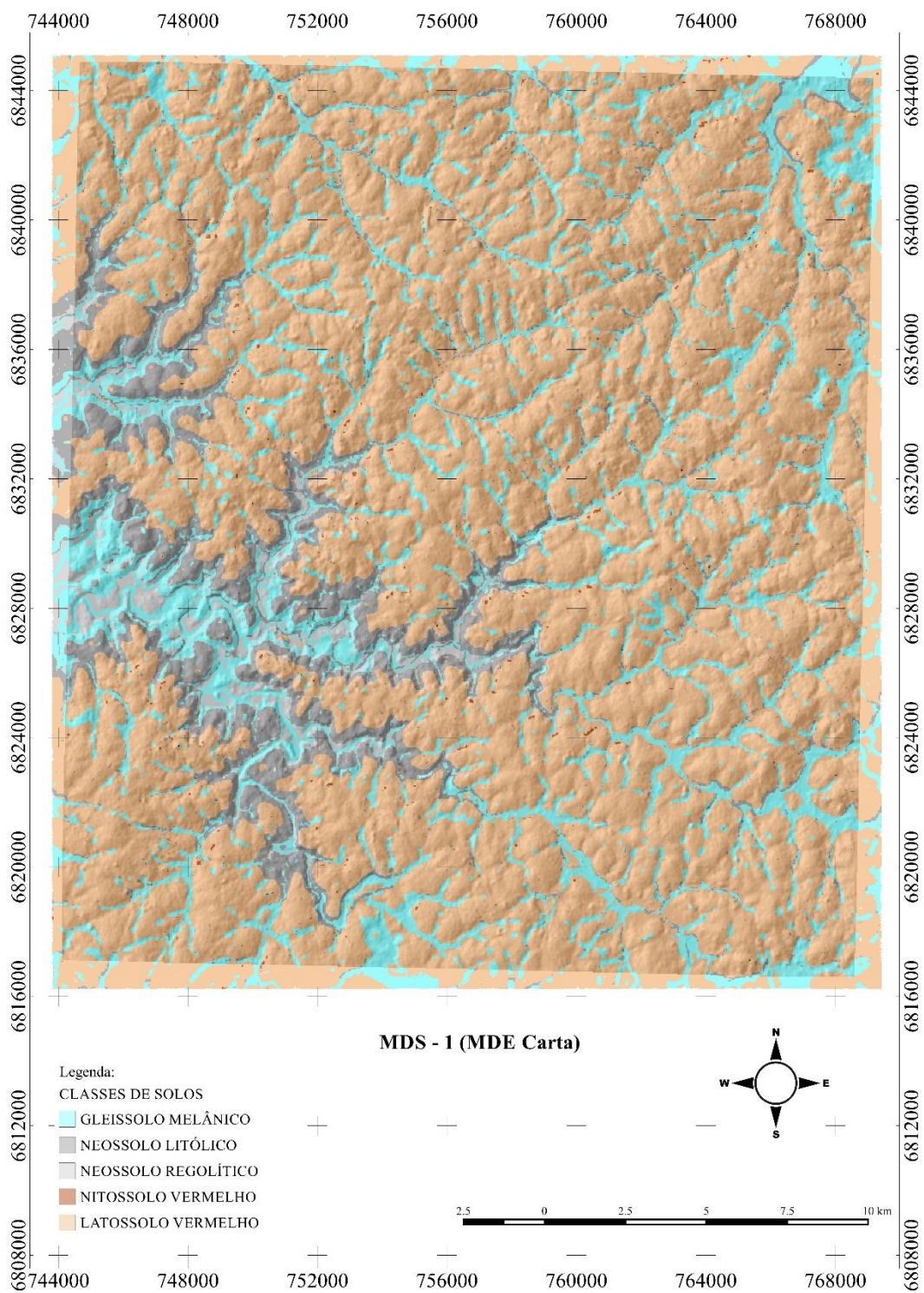


Figura 22 – MDS 1 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE SRTM-C

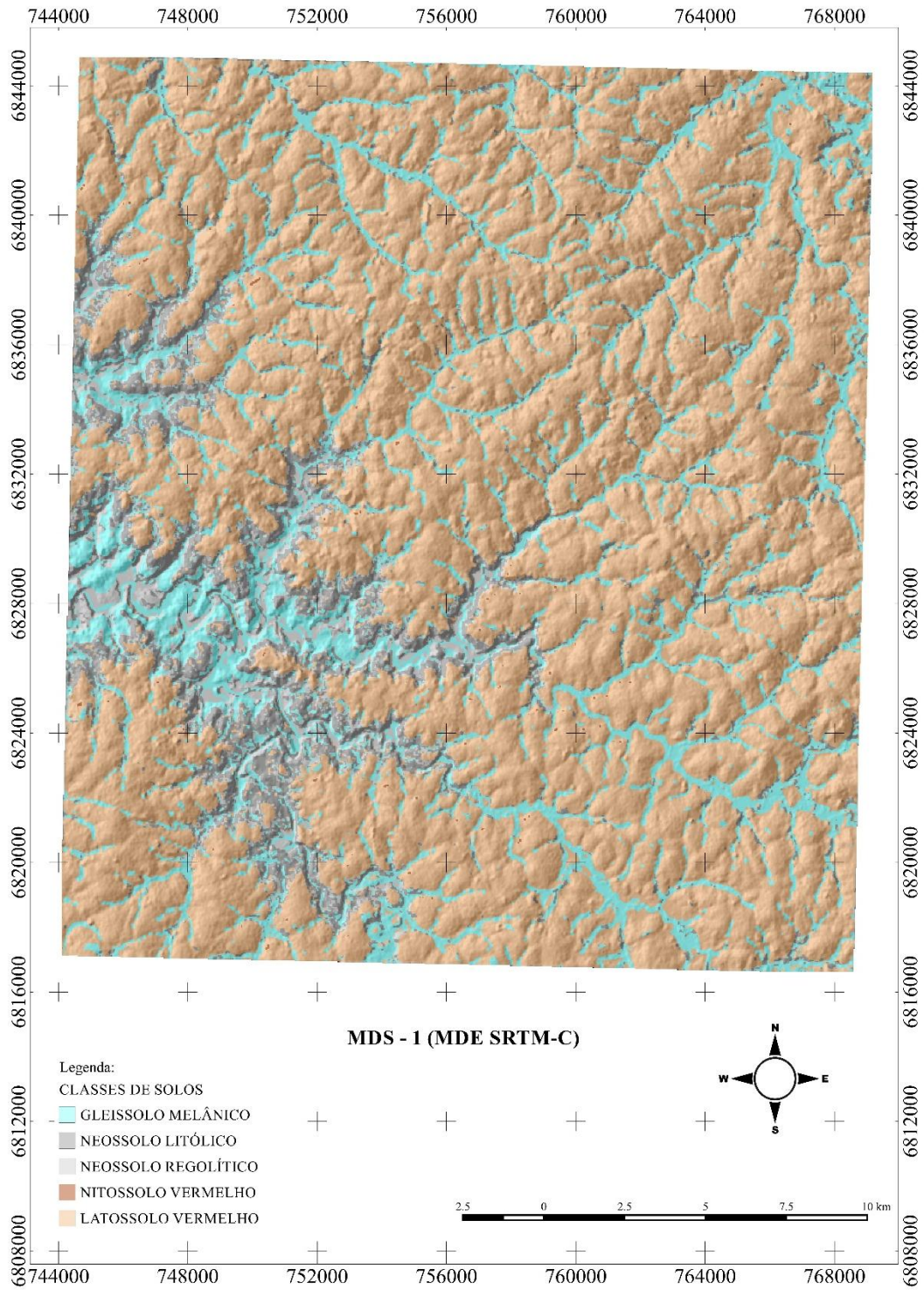


Tabela 9 – Percentual de ocorrência das classes de solos na carta Carajazinho pela técnica MDS 1

Id	Classe de solos		MDS 1 (%)	
	Ordem	Subordem	MDE SRTM-C	MDE Carta
1	GLEISSOLO MELÂNICO		15,86	17,37
2	NEOSSOLO LITÓLICO		8,59	9,05
3	NEOSSOLO REGOLÍTICO		3,54	2,26
4	NITOSSOLO VERMELHO		0,05	0,11
5	LATOSSOLO VERMELHO		71,96	71,21
Total:			100,00	100,00

3.6.1.1 Avaliação da acurácia dos MDS 1 (validação externa)

A Tabela 10 reúne os valores de acurácia calculados para os mapas digitais de classes de solos partindo da AR e passando pelos quadrantes 1, 2, 3 e 4. Os valores da exatidão global (concordância total ou percentual de acertos) aumentaram gradualmente nos MDE SRTM-C e Carta. Na AR, o valor calculado foi de 60,23% (MDE Carta), aumentando gradativamente até chegar à carta Carajazinho com valor de 66,15%. O índice Kappa também apresentou um acréscimo gradativo até chegar ao valor máximo de 0,35. Contudo, o valor do índice Kappa calculado para AR, de 0,25, pode ser classificado como baixo, se comparado aos quadrantes mais afastados da AR. Os valores referentes ao índice Kappa foram calculados para fins de comparação com outras pesquisas, tendo em vista que esse índice é bastante utilizado na avaliação da qualidade de mapas. No entanto, o índice possui a característica de subestimar a qualidade do mapa avaliado (PONTIUS JUNIOR; MILLONES, 2011). O valor calculado para o trabalho classifica o resultado do mapeamento digital de solos como de qualidade razoável (FONSECA, 2000).

Tabela 10 – Acurácia dos modelos de predição das classes de solos para os quadrantes da carta Carajazinho usando dados extraídos do mapa convencional de classes de solos da AR com base nos MDE SRTM e MDE Carta (MDS 1: 2.500 amostras de treinamento)

Descrição	Atributos usados	Modelos Digitais de Elevação (MDE)			Acurácia
		GNSS (5m)	Carta (30m)	SRTM-C (30m)	
AR (Pixel 5m) GNSS	asp, dec, dis, ele, lan, per, pla, twi	65,98	--	--	EG (%)
		0,43	--	--	Índice Kappa
		16,42	--	--	DQ (%)
		17,60	--	--	DA (%)
AR (352 amostras de validação)		--	60,23	63,11	EG (%)
		--	0,25	0,35	Índice Kappa
		--	22,19	14,70	DQ (%)
		--	17,58	22,19	DA (%)

(continua)

(conclusão)				
Quadrante 1 (407 amostras de validação)	--	61,08	59,02	EG (%)
	--	0,34	0,32	Índice Kappa
	--	4,18	12,89	DQ (%)
	--	1,91	28,09	DA (%)
Quadrante 2 (454 amostras de validação)	--	61,75	61,38	EG (%)
	--	0,31	0,33	Índice Kappa
	--	20,51	18,85	DQ (%)
	--	14,29	19,77	DA (%)
Quadrante 3 (493 amostras de validação)	--	62,45	62,03	EG (%)
	--	0,35	0,35	Índice Kappa
	--	16,67	15,19	DQ (%)
	--	20,89	22,78	DA (%)
Quadrante 4 carta (595 amostras de validação)	--	66,15	65,63	EG (%)
	--	0,35	0,36	Índice Kappa
	--	14,93	13,54	DQ (%)
	--	18,92	20,83	DA (%)

asp: orientação de vertentes; **dec:** declividade; **dis:** distância da hidrografia; **ele:** elevação; **lan:** classes de forma do terreno (geoformas/landformas); **per:** curvatura de perfil; **pla:** curvatura planar; **twi:** índice de umidade topográfica. **sp:** árvore de classificação sem poda; **cp:** árvore de classificação com poda. **EG:** Exatidão Global (concordância total – percentagem de acertos), **DQ:** Discordância de Quantidade, **DA:** Discordância de Alocação.

Com relação à matriz de erro considerada para o total da carta Carajazinho (Tabelas 11 e 12), observou-se que os menores valores de AU ocorreram nas classes dos RR (25,0%) e GX (37,4%), sendo que a classe dos NV que não registrou valores preditos. Esses percentuais representam a proporção de área que foi mapeada corretamente. Os valores de AP nestas classes de solo seguiram a mesma tendência, melhorando o percentual de acurácia dos Gleissolos para 52,3%. Uma explicação para este comportamento é a menor representatividade dessas classes de solo na área de estudo e a reduzida amostragem realizada nas mesmas, com destaque para os NV. Além disso, as diferenças nos valores de AU para cada classe de solo estão associadas à dificuldade do método preditivo em identificar e distinguir essas classes em relação às demais com base apenas nos atributos de terreno.

As classes dos LV e GX apresentaram os maiores de valores de AU e AP, com destaque para os LV que alcançaram AU de 87,2% e AP de 84,0%. Estes resultados estão associados com a proporção dessas classes na área de estudo e ao adequado número de amostras de treinamento.

A EG do mapa (MDS 1 – Carta) foi de 66,1%, percentual este que indica, a partir da soma da diagonal principal, a proporção de observações corretamente classificadas (concordância das classes preditas com as de referência) em relação ao total de observações. O valor do índice Kappa foi de 0,36.

Em trabalhos recentes, Teske; Giasson; Bagatini (2015) avaliaram mapas de solos gerados por dois métodos denominados pelos autores de “MDS direto” e “MDS delineamento manual”. No MDS direto foi gerada uma matriz de erro a partir da comparação do mapa convencional de solos com o mapa de predição de ocorrência de unidades de mapeamento. Na

utilização do método, os autores obtiveram uma EG de 74% e um índice Kappa de 0,46. O MDS “delineamento manual” não alcançou os mesmos resultados, ficando a EG com apenas 42% e o índice kappa com 0,2. Os autores concluíram que o “MDS direto” apresentou maior concordância com o mapa convencional de solos do que o mapa predito pelo método “MDS delineamento manual”.

Na mesma linha de estudo, Bagatini et al. (2015) avaliaram o efeito da densidade amostral em áreas já mapeadas para treinamento de modelos de árvore de decisão no MDS. Os autores avaliaram uma densidade amostral muito próxima a que foi utilizada no MDS 1 (0,3 pontos por ha), com resultado de EG de 60%.

Tabela 11 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 1 **Carta** (carta Carajazinho)

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%	DQ %
		GX	RL	RR	NV	LV			
Preditas	GX	34	15	21	1	20	91	37,4	4,5
	RL	12	24	11	2	11	60	40,0	1,5
	RR	1	6	3	0	2	12	25,0	10,6
	NV	0	0	0	0	0	0	--	2,8
	LV	18	24	38	13	320	413	77,5	10,4
	Σ colunas	65	69	73	16	353	576	-	14,9
	AP (%)	52,3	34,8	4,1	0,0	90,6	-	-	-
	DA %	10,7	12,5	3,1	0,0	11,5	18,9	EG 66,15%	K = 0,36

GX: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; DQ: discordância de quantidade; DA: discordância de alocação; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

Tabela 12 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 1 **SRTM-C** (carta Carajazinho)

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%	DQ %
		GX	RL	RR	NV	LV			
Preditas	GX	34	21	25	1	15	96	35,4	5,4
	RL	12	20	12	1	12	57	35,1	2,1
	RR	2	5	6	0	8	21	28,6	9,0
	NV	0	0	0	1	1	2	50,0	2,4
	LV	17	23	30	13	317	400	79,2	8,2
	Σ colunas	65	69	73	16	353	576	-	13,5
	AP (%)	52,3	29,0	8,2	6,2	89,8	-	-	-
	DA %	10,7	12,8	5,2	0,3	12,5	20,8	EG 65,63%	K = 0,36

GX: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; DQ: discordância de quantidade; DA: discordância de alocação; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

3.6.2 MDS 2

Os mapas digitais de classes de solos resultantes da técnica MDS 2 estão apresentados nas Figuras 23 e 24. A Tabela 13 apresenta os percentuais de ocorrência das classes de solos

para os MDE SRTM-C e Carta. Os Latossolos Vermelhos mantiveram a maior representatividade percentual, destacando-se no MDS 2 a diferença percentual notada entre os MDE, registrando 81,51% de Latossolos Vermelhos utilizando o MDE Carta e somente 55,21% com o MDE SRTM-C. Essa diferença percentual foi abarcada pela classe dos Gleissolos Melânicos que apenas no MDE SRTM –C apresentou a segunda maior representatividade na carta Carajazinho, compreendendo 24,53% e apenas 5,85% (Carta). As áreas classificadas como Neossolos contabilizaram 20,04% (SRTM-C) e 12,62% (Carta). A menor representatividade percentual ocorreu com os Nitossolos, com apenas 0,22% (SRTM-C) e 0,02% (Carta). Novamente os Nitossolos não tiveram participação ativa no treinamento dos modelos e essa resposta ficou comprovada no percentual de ocorrência dessa classe no mapa digital de solos gerado.

Em termos de percentual de ocorrência das classes de solos, pode-se afirmar que os dois MDE tiveram um comportamento diferenciado no uso da técnica MDS 2.

Figura 23 – MDS 2 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE Carta

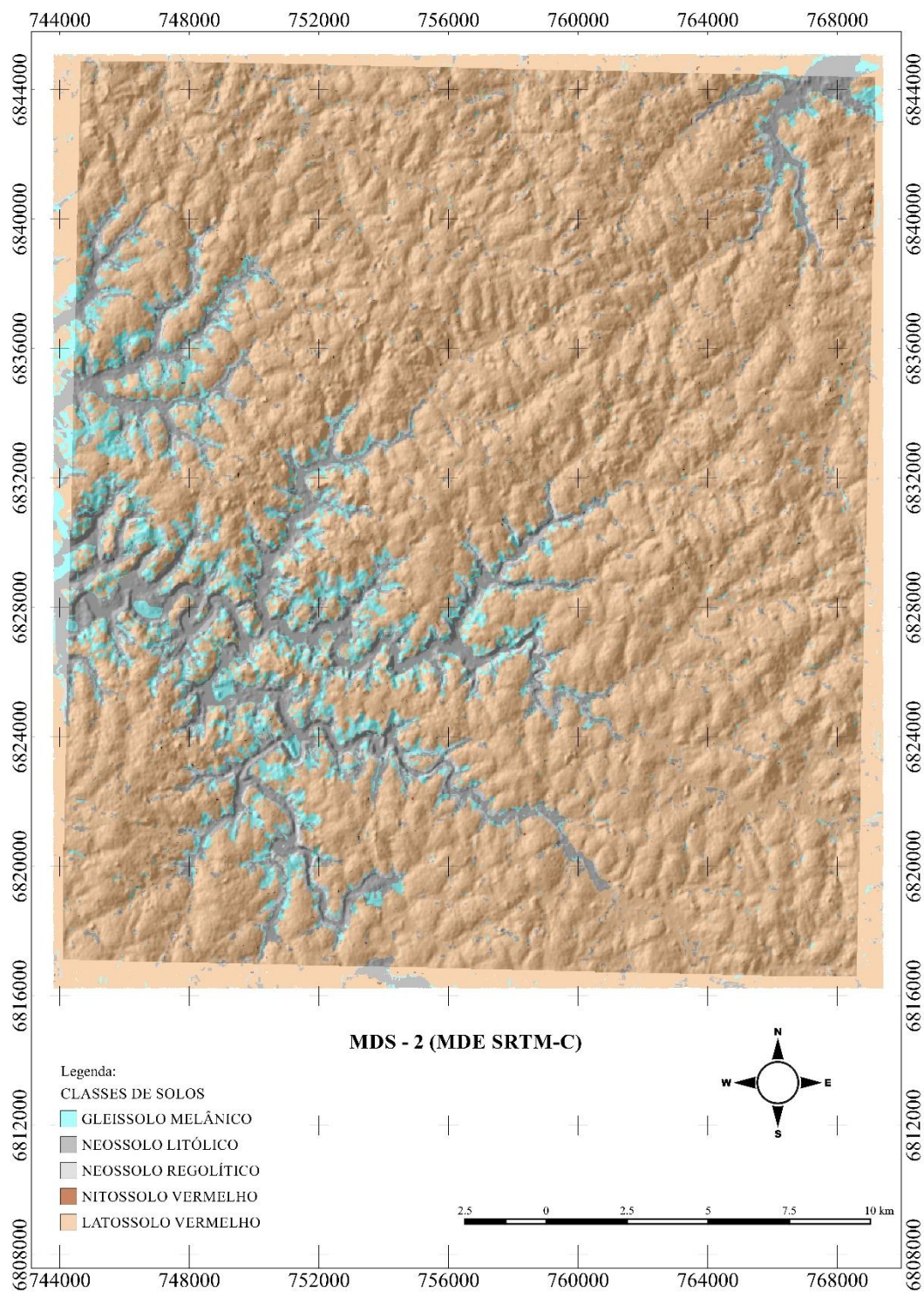


Figura 24 – MDS 2 da carta Carajazinho obtido a partir do MDE SRTM-C

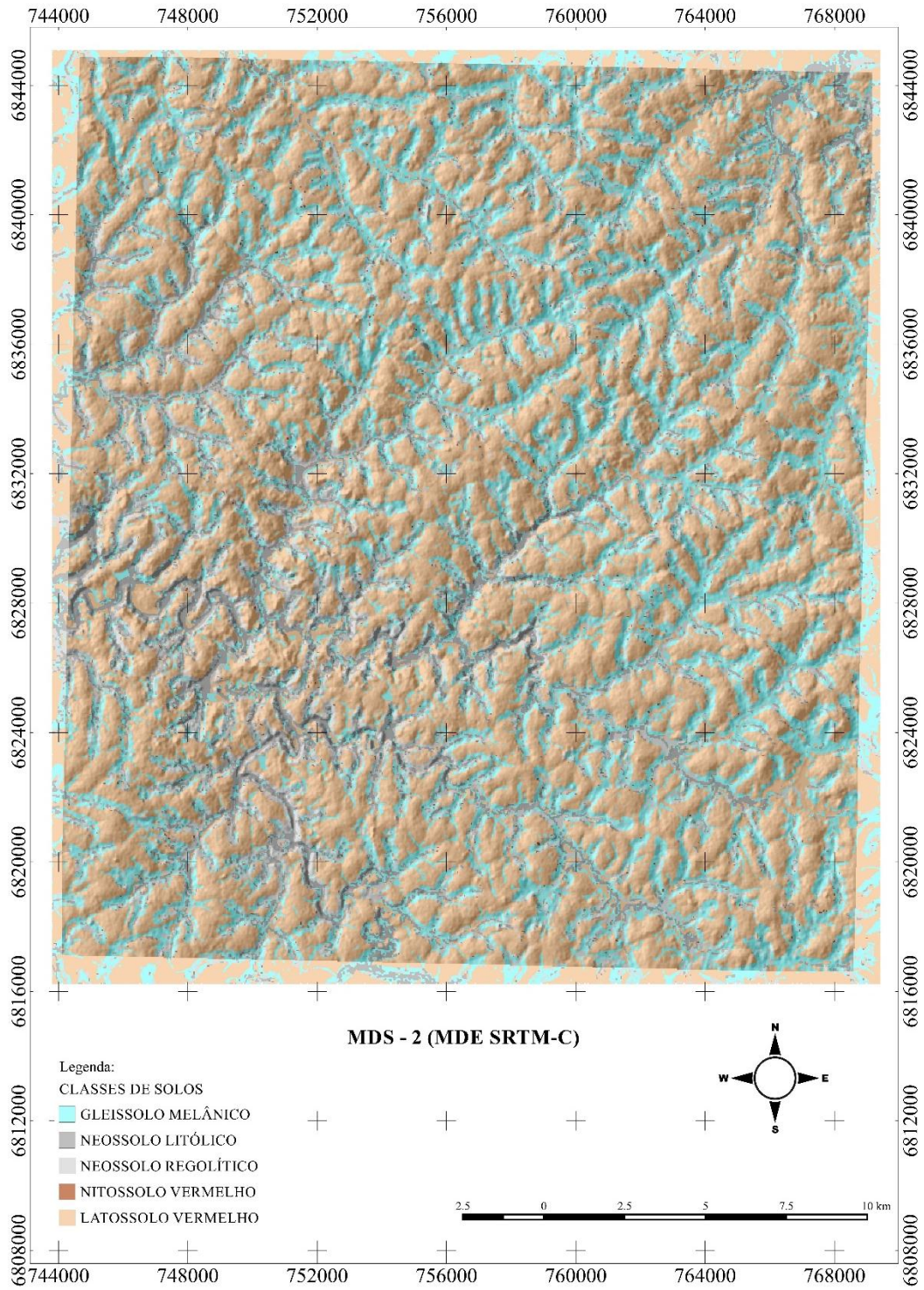


Tabela 13 – Percentual de ocorrência das classes de solos na carta Carajazinho pela técnica MDS 2

Id	Classe de solos		MDS 2 (%)	
	Ordem	Subordem	SRTM-C	Carta
1		GLEISSOLO MELÂNICO	24,53	5,85
2		NEOSSOLO LITÓLICO	7,97	9,65
3		NEOSSOLO REGOLÍTICO	12,07	2,97
4		NITOSSOLO VERMELHO	0,22	0,02
5		LATOSSOLO VERMELHO	55,21	81,51
Total:			100,00	100,00

3.6.2.1 Avaliação da acurácia dos MDS 2 (validação externa)

Na Tabela 14, da mesma forma como foi apresentado no MDS 1, estão elencados os valores de acurácia calculados para os mapas digitais de classes de solos partindo da AR e passando pelos quadrantes 1, 2, 3 e 4. Os valores da EG aumentaram gradualmente a partir do retângulo 1 nos MDE Carta, sendo que apenas se manteve constante entre os retângulos 2 e 3. Na AR, o valor calculado foi de 57,45% (MDE Carta) e 50% (MDE SRTM-C), ficando um pouco abaixo do valor encontrado no MDS 1 que foi de 60,23% (MDE Carta) e 63,11% (MDE SRTM). O índice Kappa apresentou um decréscimo da AR para o retângulo 1 e depois um acréscimo gradativo até chegar ao valor máximo de 0,27 para toda abrangência da carta nos dois MDE. O valor do índice Kappa calculado para a AR, de 0,38 (MDE Carta) e 0,25 (MDE SRTM-C), também foi classificado como baixo, se comparado aos quadrantes mais afastados da AR.

Tabela 14 – Acurácia dos modelos de predição das classes de solos para os quadrantes da carta Carajazinho usando dados de campo com base nos MDE SRTM-C e MDE carta (MDS 2: 247 amostras de treinamento)

Descrição	Atributos usados	Modelos Digitais de Elevação (MDE)			Acurácia
		GNSS	CARTA	SRTM-C	
		(5m)	(30m)	(30m)	
AR (Pixel 5m) GNSS	asp, dec, dis, ele, lan, per, pla, twi	77,40	--	--	EG (%)
		0,64	--	--	Índice Kappa
		2,74	--	--	DQ (%)
		17,12	--	--	DA (%)
AR (105 amostras de validação)		--	57,45	50,00	EG (%)
		--	0,38	0,25	Índice Kappa
		--	13,83	14,89	DQ (%)
		--	28,72	35,11	DA (%)
Retângulo 1 (160 amostras de validação)		--	50,00	42,31	EG (%)
		--	0,19	0,17	Índice Kappa
		--	23,08	10,90	DQ (%)
		--	26,92	46,79	DA (%)

(continua)

(conclusão)				
Retângulo 2 (207 amostras de validação)	--	55,45	54,19	EG (%)
	--	0,23	0,26	Índice Kappa
	--	22,77	13,30	DQ (%)
	--	21,78	32,51	DA (%)
Retângulo 3 Quadrante NO (246 amostras de validação)	--	56,17	54,04	EG (%)
	--	0,22	0,25	Índice Kappa
	--	23,40	17,02	DQ (%)
	--	20,43	28,94	DA (%)
Retângulo 4 carta (348 amostras de validação)	--	65,58	57,86	EG (%)
	--	0,27	0,26	Índice Kappa
	--	15,43	11,28	DQ (%)
	--	18,99	30,86	DA (%)

asp: orientação de vertentes; **dec**: declividade; **dis**: distância da hidrografia; **ele**: elevação; **lan**: classes de forma do terreno (geofomas/landformas); **per**: curvatura de perfil; **pla**: curvatura planar; **twi**: índice de umidade topográfica. **sp**: árvore de classificação sem poda; **cp**: árvore de classificação com poda. **EG**: Exatidão Global (concordância total – percentagem de acertos), **DQ**: Discordância de Quantidade, **DA**: Discordância de Alocação.

Com relação à matriz de erro considerada para o total da carta Carajazinho para o MDS 2 (Tabelas 15 e 16), observou-se que os menores valores de AU ocorreram nas classes dos RL (14,3%) e RR (21,4%), e a classe dos NV novamente não registrou valores preditos. Os valores de AP nestas classes de solo registraram valores ainda mais baixos para os RL, RR, GX e não registraram valores para o NV. Uma explicação para este comportamento é a menor representatividade dessas classes de solo na área de estudo e a reduzida amostragem realizada nas mesmas, com destaque para os NV.

A classe dos LV apresentou os maiores de valores de AU e AP, alcançando AU de 79,9% e AP de 94,1%. Estes resultados estão associados com a proporção dessas classes na área de estudo e ao adequado número de amostras de treinamento. A EG do mapa (MDS 2) foi de 65,6% para o MDE Carta e de 57,8% para o MDE SRTM-C, percentual muito próximo ao determinado no MDS 1. O valor de Kappa foi de 0,27 (MDE Carta) e de 0,26 (MDE SRTM-C).

Tabela 15 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 2 Carta (carta Carajazinho)

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%	DQ %
		GX	RL	RR	NV	LV			
Preditas	GX	5	10	1	2	4	22	22,7	1,8
	RL	9	6	17	3	7	42	14,3	3,8
	RR	5	4	3	0	2	14	21,4	9,8
	NV	0	0	0	0	0	0	--	3,8
	LV	9	9	26	8	207	259	79,9	11,6
	Σ colunas	28	29	47	13	220	337	-	15,4
	AP (%)	17,8	20,7	6,4	0,0	94,1	-	-	-
	DA %	10,1	13,6	6,5	0,0	7,7	18,9	EG 65,58%	K = 0,27

GX: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; DQ: discordância de quantidade; DA: discordância de alocação; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

Tabela 16 – Matriz de erro e parâmetros de avaliação da acurácia do MDS 2 SRTM-C (carta Carajazinho)

	Classes	Pontos de validação					Σ linhas	AU%	DQ %
		GX	RL	RR	NV	LV			
Preditas	GX	10	8	16	3	27	64	15,6	10,7
	RL	10	5	9	2	5	31	16,1	0,6
	RR	4	9	9	2	17	41	21,9	1,8
	NV	0	0	0	0	0	0	--	3,8
	LV	4	7	13	6	171	201	85,1	5,6
	Σ colunas	28	29	47	13	220	337	-	11,3
	AP (%)	35,7	17,2	19,1	0,0	77,7	-	-	-
	DA %	10,7	14,2	19,0	0,0	17,8	30,8	EG 57,86%	K = 0,26

GX: Gleissolo Melânico; RL: Neossolo Litólico; RR: Neossolo Regolítico; NV: Nitossolo Vermelho; LV: Latossolo Vermelho; AU: acurácia do usuário; AP: acurácia do produtor; DQ: discordância de quantidade; DA: discordância de alocação; EG: exatidão global; K: índice Kappa.

CONCLUSÕES

A seleção prévia de MDE para extrair os atributos de terreno agregou qualidade no uso das variáveis preditoras que participaram da construção do modelo.

O uso da AR em locais com limitação de dados mostrou-se uma estratégia eficiente para aprimorar o conhecimento referente às relações solo-paisagem com vistas à predição de ocorrência de classes de solos geradas pelo método de MDS.

A abordagem de levantamento de solos pelo método convencional na AR demonstrou ser apropriada, visto que contribuiu para agregar conhecimento referente aos tipos de solos predominantes, assim como reduziu a quantidade de observações de campo na área de abrangência da carta topográfica.

O emprego das geoformas, como atributos de terreno, possibilitou maior abrangência e caracterização dos componentes da paisagem em relação às classes de solos, auxiliando no reconhecimento de padrões de relevo.

O mapa digital de solos predito pela técnica MDS 1 foi comparado com pontos de referência de campo e apresentou uma exatidão global semelhante entre os modelos preditores construídos a partir de atributos de terreno gerados dos MDE SRTM-C e MDE Carta. A técnica MDS 1 alcançou uma capacidade de predição superior à técnica MDS 2 e as duas técnicas não registraram variação significativa durante o processo de extrapolação das relações solo-paisagem nos quadrantes sucessivos.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos nos estudos desenvolvidos demonstram a necessidade de testar mais a extrapolação das relações solo-paisagem para mapeamento de classes de solos em áreas que possuem limitação de dados. Apesar da aparente facilidade em produzir, armazenar e processar dados espaciais experimentada no momento, os desafios que os cientistas do solo precisarão enfrentar para tornar o MDS de uso corrente no mapeamento oficial são ainda grandes. Estes desafios envolvem questões como o aumento da capacidade dos modelos preditores em reproduzir unidades de mapeamento raras e menos extensas, o desenvolvimento de estratégias para mapear paisagens homogêneas com pouca variação no relevo e a determinação do tamanho da AR para cada necessidade.

A estratégia utilizada para a seleção do MDE mostrou-se útil e aplicável no MDS, qualificando o processo de extração dos atributos de terreno. Os resultados apontaram para a indicação de uso dos MDE em diferentes níveis de mapeamento de solos. Uma vez que o uso de dados provenientes de diversas fontes necessita de uma avaliação da componente posicional, o produtor de dados espaciais em MDS deve conhecer as incertezas associadas a essa importante e estratégica etapa do trabalho.

O uso da técnica de AR em regiões com limitação de dados de solos apresentou acurácia razoável comparada a outros levantamentos desenvolvidos utilizando MDS. No entanto, há a necessidade de ampliar estudos para se gerar indicadores de localização e tamanho da AR, levando em consideração as características do local, a dimensão da área total a ser extrapolada e o nível de levantamento de solos que se pretende chegar.

A condição de relevo foi um fator determinante na maior dificuldade na geração de um modelo, em virtude da baixa inclinação das pendentes, caracterizado por encostas longas e com baixa declividade. Nessas condições, classes de solos distintas podem ocorrer em locais com os mesmos atributos de terreno, dificultando a discretização das classes de solos.

A utilização da carta topográfica do mapeamento sistemático nacional mostrou-se como uma estratégia interessante, podendo servir como “carta de referência” para a região fisiográfica Missões. O uso de tecnologias livres e de softwares não comerciais de distribuição gratuita, por sua vez, mostrou-se adequado tanto para uso em sistemas de informações geográficas como para o tratamento estatístico de dados.

Além desses aspectos, cabe destacar que o conhecimento tácito do pedólogo segue caracterizando-se como uma condição imprescindível para o bom desempenho e qualidade do processo, aliado ao acompanhamento de um especialista em geoprocessamento, tendo em vista a utilização de dados espaciais de diferentes fontes.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, K. et al. Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques. **Geoderma**, v. 214-215, p. 101-113, 2014, doi:10.1016/j.geoderma.2013.09.023. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706113003510>>. Acesso em: 07 jun. 2014.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- ANDERSON, J. R. et al. **A land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data**. Geological Survey Professional Paper 964; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 1976.
- ARCHELA, R. S.; ARCHELA, E. Síntese cronológica da cartografia no Brasil. **Portal da Cartografia**. Londrina, v. 1, n. 1, p. 93-110, 2008.
- ARIZA LÓPEZ, F. J. A. **Calidad em La Producción Cartográfica**. Ra-Ma Editorial, Madrid, Espanha, 2002. 389 p.
- ARRUDA, G. P.; DEMATTÊ, J. A. M.; CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 327-338, 2013, doi: 10.1590/S0100 06832013000200004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000200004>. Acesso em: 01 dez. 2015.
- ARRUDA, G. P. de et al. Digital soil mapping using reference area and artificial neural networks. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 3, p. 266-273, may/june 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0131>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162016000300266>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- ASTER GDEM VALIDATION TEAM (TACHIKAWA, T.; KAKU, M.; IWASAKI, A.; GESCH, D.; OIMOEN, M.; ZHANG, Z.; DANIELSON, J.; KRIEGER, T.; CURTIS, B.; HASSE, J.; ABRAMS, M.; CRIPPEN, R.; CARABAJAL, C.; MEYER D.). **ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summary of 356 Validation Results**. 2011. Disponível em: <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/ver2Validation/357_Summary_GDEG2_validation_report_final.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2015.
- ATKINSON GORDO, A. D. J.; GARCIA, J. L. B.; ARIZA LÓPEZ, F. J. **Los diferentes test para el control de calidad posicional en Cartografía**. In: XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Badajoz (Espanha). p. 260-271, 2001.
- BAGATINI, T.; GIASSON, E.; TESKE, R. Seleção de densidade de amostragem com base em dados de áreas já mapeadas para treinamento de modelos de árvores de decisão no mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 960-967, 2015. doi:10.1590/01000683rbc20140289. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbc/v39n4/0100-0683-rbc-39-4-0960.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

BASGALUPPI, M. P. **LEGAL-Tree: Um algoritmo genético multi-objetivo lexicográfico para indução de árvores de decisão.** 2010. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.

BASHER, L. R. Is pedology dead and buried? **Australian Journal of Soil Research.** v. 35, n. 5, p. 979-994, 1997. doi: 10.1071/S96110. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/paper/S96110.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2015.

BAZAGLIA FILHO, O. et al. Comparison between detailed digital and conventional soil maps of an area with complex geology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 37, p. 1136-1148, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000500003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832013000500003&script=sci_arttext>. Acesso em: 27 jul. 2014.

BAZAGLIA FILHO, O. **Comparação entre mapas de solos obtidos pelos métodos convencional e digital numa área complexa.** 2012. 190 p. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas), Unidade da USP - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2012.

BEHRENS, T. et al. Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. **Geoderma,** Amsterdam, v. 155, p. 175-185, 2010. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.07.010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109002298>>. Acesso em: 21 set. 2015.

_____. Hyper-scale digital soil mapping and soil formation analysis. **Geoderma.** v. 213, p. 578-588, 2014. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.07.031. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706113002759>>. Acesso em: 24 set. 2015.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin.** v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979. doi: 10.1080/02626667909491834. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667909491834>>. Acesso em: 04 nov. 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul: primeira etapa, Planalto RioGrandense.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, v. 2, p. 71-209. 1967.

_____. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife, p. 431, 1973.

_____. Decreto no 89.817 de 20 de junho de 1984. **Estabelece as instruções reguladoras e normas técnicas da Cartografia Nacional.** Diário Oficial, Brasília, 1984.

_____. Presidência da República – Secretaria do Planejamento. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais.** Rio de Janeiro. IBGE, p. 791, 1986.

_____. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.

_____. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Manual técnico de limites e confrontações: georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília, p. 24, 2013.

BRAZ, C. F. et al. Artificial neural networks applied for soil class prediction in mountainous landscape of the Serra do Mar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1681-1693, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000600003. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000600003>. Acesso em: 23 fev. 2016.

BREIMAN, L. et al. **Classification and regression trees**. Belmont, Calif.: Wadsworth. p. 368, 1984.

BREVIK, E. C. et al. **Historical perspectives and future needs in soil mapping, classification, and pedologic modeling**. v. 264, p. 253-255, 2016. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.09.022.

BREVIK, E. C. et al. The interdisciplinary nature of SOIL. **Soil**, v. 1, p. 117-129, 2015a. doi: 10.5194/soil-1-117-2015. Disponível em: < <http://www.soil-journal.net/1/117/2015/>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

BREVIK, E. C. et al. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. **Geoderma**, v. 264, p. 256-274, 2015b. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.05.017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115001718>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

BREWER, C. A.; MARLOW, K. A. Color representation of aspect and slope simultaneously. Proceedings, Auto-Carto 11, October 30-November 1, Minneapolis, MN, ASPRS & ACSM, p. 328-337, 1993. Disponível em: <<http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-11/pdf/color-representation-of-aspect-and-slope-simultaneously.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2014.

BROVELLI, M. A. J. et al. The First Comprehensive Accuracy Assessment of GlobeLand30 at a National Level: Methodology and Results. **Remote Sensing**. v. 7, p. 4191-4212, 2015, doi: 10.3390/rs70404191. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4191>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

BRUNGARD, C. W.; BOETTINGER, J. L. Conditioned latin hypercube sampling: Optimal sample size for digital soil mapping of arid rangelands in Utah, USA. In: BOETTINGER, J.L. et al. Digital soil mapping: Bridging research, environmental application and operation. Dordrecht, Springer, 2010. p. 67-75.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey, Oxford Science Publications, New York. n. 12, 1986.

CALZOLARI, C. Reserch in pedology: a historical perspective. In: COSTANTINI, E.; DAZZI, C. **The soils of Italy**. Springer, New York, 2013.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, v. 8 n. 3 p. 963-982, set./dez. 2012. doi:10.5777/ambiencia.2012.05.01rb. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272777522_Relacoes_solo-vzpaisagem_conceitos_evolucao_e_aplicacoes_Soil-landscape_relationships_concepts_developments_and_applications>. Acesso em: 21 mar. 2016.

CARRÉ, F. et al. Digital soil assessments: Beyond DSM. **Geoderma**, v. 142, p. 69-79, 2007, doi: 10.1016/j.geoderma.2007.08.015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706107002261>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

CARVALHO JUNIOR, W. et al. Digital soilscape mapping of tropical hillslope areas by neural networks. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 6, p. 691-696, 2011, doi: 10.1590/S0103-90162011000600014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162011000600014>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CARVALHO, C. C. N.; NUNES, F. C.; ANTUNES, M. A. H. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da industrialização brasileira à era da informação. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 65, n. 5, p. 997-1013, 2013.

CARVALHO, C. C. N.; ROCHA, W. F.; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 46-55, 2009, doi: 10.1590/S1415-43662009000100007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000100007>. Acesso em: 22 fev. 2016.

CAVAZZI, S. et al. Are fine resolution digital elevation models always the best choice in digital soil mapping? **Geoderma**, v. 195 196, p. 111-121, 2013, doi:10.1016/j.geoderma.2012.11.020. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112004168>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

CHAGAS, C. S. et al. Atributos topográficos e dados do Landsat7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 45, n. 5, p. 497-507, 2010, doi: 10.1590/S0100-204X2010000500009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010000500009>. Acesso em: 19 fev. 2014.

CHAGAS, C. S. et al. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1441-1453, 2013, doi: 10.1590/S0100-06832013000600002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832013000600002&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 07 nov. 2015.

CHAGAS, C. S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010, doi:10.1590/S1415-43662010000200014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000200014>. Acesso em: 07 nov. 2015.

CHAVES, M. A. Modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes para a Bacia Amazônica. 2002. Tese. (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

COELHO, F. F.; GIASSON, E. Comparação de métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. Universidade Federal de Santa Maria. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2099-2106, 2010, doi: 10.1590/S0103-84782010005000156. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010001000008>. Acesso em: 28 fev. 2014.

COHEN, J. A. Coeficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Measurment**. v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. NY: Academic Press, 1969.

CONCAR. Exército Brasileiro (CONCAR-EB). **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geospaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2. ed. Brasil, 2011.

_____. **Norma da especificação técnica para produtos de conjuntos de dados geospaciais (ETPCDG)**. Brasília, p. 191, 2014.

CONGALTON, R. G.; MEAD, R. A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photo-interpretation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 49, n. 1, p. 69-74, 1983.

CONGALTON, R. G. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, p. 35-46, 1991, doi: 10.1016/0034-4257(91)90048-B. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579190048B>>. Acesso em: 28 nov. 2015.

CONGALTON, R. G. et al. Mapping and monitoring agricultural crops and other land cover in the Lower Colorado River Basin. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 64, n. 11, p. 1107-1113. 1998. Disponível em: <http://info.asprs.org/publications/pers/98journal/november/1998_nov_1107-1113.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2015.

CONGALTON, R. G. **Putting the map back in map accuracy assessment**. Remote sensing and GIS accuracy assessment, 2004.

CONRAD, O. et al. **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA)**. Geosci. Model Dev., v. 2.1.4. n. 8, p. 1991-2007, 2015, doi: 10.5194/gmd-8-1991-2015. Disponível em: <<http://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.html>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

CREMON, É. H.; VALERIANO, M. M. Comparação do desempenho de dados SRTM-C e X em derivações geomorfométricas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos, INPE, p. 2316-2323, 2011.

CRIVELENT, R. C. et al. Mineração de dados para inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1707-1715, 2009. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17583/1/44n12a21.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2015.

CUNHA, A. M. **Seleção de variáveis ambientais e de algoritmos de classificação para mapeamento digital de solos**. 2013. 121 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2013.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1479-1486, 2004, doi: 10.1590/S0103-84782004000500023. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000500023>. Acesso em: 07 jun. 2014.

DALMOLIN, R. S. D.; ten CATEN, A. Mapeamento Digital: nova abordagem em levantamento de solos. **Investigación Agraria**. v. 17, n. 2, p. 77-86, 2015. Disponível em: <<http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/346>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

DRUZINA, A. G. S. **Integração de dados altimétricos obtidos através de diferentes técnicas para geração de um novo modelo digital de elevação**. 2007. 69 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

EMBRAPA. **Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos**. Brasília, p. 116, 1995.

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2. ed. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

_____. Centro de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. - Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2. ed. 2006.

_____. **IV Plano diretor da Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA Solos, p. 40, 2008.

ESPÍNDOLA, C. R. **História da pedologia: um resgate bibliográfico**. In: I Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra III Simpósio Nacional sobre Ensino de Geologia no Brasil. Campinas: UNICAMP, p. 349-352, 2009.

ESPÍNDOLA, C. R. A institucionalização da pedologia como ciência por Friedrich Albert Fallou – o caso brasileiro. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 61-70, 2014, doi: 10.5935/0100-929X.20140005. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?pid=S0100-929X2014000100005&script=sci_arttext>. Acesso em: 19 set. 2015.

EVANGELISTA, H. A. **Aspectos históricos da geografia brasileira**. Rio de Janeiro: Letra Capital, p. 354, 2014.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 81, p. 583-585, 2000, doi: 10.1029/EO081i048p00583. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/E0081i048p00583/abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2015.

FARR, T. G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission, **Rev. Geophys.**, 45, RG2004, 2007. doi:10.1029/2005RG000183. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005RG000183/epdf>>. Acesso em: 24 fev. 2015.

FAVROT, J. C. Pour une approche raisonnée du drainage agricole en France. La méthode des secteurs de référence. **C.R. Acad. Agric.**, p. 716-723, 1981.

FAYYAD, U. M. et al. **Advances in Knowledge Discovery and Data Mining**. AAAIPress, The Mit Press, 1996.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelo Numérico de Terreno. In: **Introdução à Ciências e Geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos - SP, cap. 7, 1998.

FERNANDES, R. E. F. et al. Avaliação da acurácia em levantamentos cinemáticos em tempo real aplicando a técnica RTK. **Anais... III Simpósio Brasileiro de Geomática**, Presidente Prudente - SP, v.1. p. 240-245. 2012.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 5755-5762, 2007.

FIGUEIREDO, S. R. et al. Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no planalto médio do RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2779-2785, 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000700023. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000700023>. Acesso em: 25 jan. 2016.

FLORES, C. A. Comunicação pessoal. Pelotas, EMBRAPA Clima Temperado, out. 2006.

FLORES, C. A. et al. **Os solos do Vale dos Vinhedos**. Brasília: Embrapa, p. 176, 2012.

FLORINSKY, I. V. **Digital terrain analysis in soil science and geology**. Academic Press/Elsevier, Oxford, United Kingdom. Hardcover: price USD 116, p. 379, 2012.

FONNESBECK, B. B. **Digital soil mapping using landscape stratification for arid rangelands in the Eastern Great Basin, Central Utah**. 2015. Tese (Mestrado em Ciências) - Utah State University, 2015.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), p. 105, 2000.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 80, p. 185-201, 2002. doi: 10.1016/S0034-4257(01)00295-4.

FORTES, A. B. **Compêndio de geografia geral do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Sulina. p. 101, 1979.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p. 51-85, 2000.

GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A. **Metodologia para geração de MDE com uso de GPS em apoio ao mapeamento de solos em escala local**. Comunicado Técnico Embrapa, Colombo, PR, v. 270, p. 01-05, 2011.

GASPAR, J. A. Revisitando a cartografia náutica portuguesa antiga do atlântico: uma análise quantitativa. In: III Simpósio luso-brasileiro de cartografia histórica. **Anais...** Ouro Preto, MG, 2009.

GIASSON, E. et al. Avaliação de algoritmos de árvores de decisão e modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Florianópolis, SC, 2013.

GIASSON, E. et al. Avaliação de cinco algoritmos de árvores de decisão e três tipos de modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na Bacia do Lageado Grande, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 11, p. 1967-1973, 2013, doi: 10.1590/S0103-84782013001100008. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013001100008>. Acesso em: 06 abr. 2016.

GIASSON, E. et al. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steep lands. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 68, n. 2, p. 167-174, 2011. doi: 10.1590/S0103-90162011000200006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162011000200006>. Acesso em: 20 abr. 2015.

GIASSON, E. et al. Digital soil mapping using logistic regression on terrain parameters: A case study in Southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 3, p. 262-268, 2006. doi: 10.1590/S0103-90162006000300008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162006000300008>. Acesso em: 20 abr. 2015.

GIASSON, E. et al. Instance selection in digital soil mapping: a study case in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p.1592-1598, 2015. doi: 10.1590/0103-8478cr20140694. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000901592>. Acesso em: 23 fev. 2016.

GOEBEL, M.; GRUENWALD, L. A survey of data mining and knowledge discovery software tools. **SIGKDD Explorations**, v. 1, p. 20-33, 1999. Disponível em: < http://www.kdd.org/exploration_files/survey.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2016.

GOLDSCHIMIDT, R.; PASSOS, E. **Data mining: Um guia prático**. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

GRUNWALD, S. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. **Geoderma**, v. 152, p. 195-207, 2009. doi:10.1016/j.geoderma.2009.06.003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109001827>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

GRUNWALD, S.; THOMPSON, J. A.; BOETTINGER, J. L. Digital soil mapping and modeling at continental scales – finding solutions for global issues. **Soil Science Society of America**. p. 1201-1213. 2011. doi: 10.2136/sssaj2011.0025. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/75/4/1201>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

GUTH, P. L. **Geomorphometric comparison of ASTER GDEM and SRTM**. A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS, 2010. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part4/files/Guth.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

HALL, M. et al. **The WEKA Data Mining Software: An Update**. SIGKDD Explorations, p. 11. 2009.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data mining: Concepts and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann. 2012.

HARTEMINK, A. E.; McBRATNEY, A. B. A soil science renaissance. **Geoderma**, v. 148, p. 123-129, 2008. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.10.006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706108002802>>. Acesso em: 04 mar. 2014.

HARTEMINK, A. E.; KRASILNIKOV, P.; BOCKHEIM, J. G. Soil maps of the world. **Geoderma**. v. 207-208, p. 256-267, 2013. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.05.003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/253569562_Soil_maps_of_the_world>. Acesso em: 04 mar. 2014.

HARTEMINK, A. E.; MINASNY, B. Towards digital soil morphometrics. **Geoderma**. v. 230-231, p. 305-317, 2014. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.03.008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706114001177>>. Acesso em: 06 abr. 2015.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. UFRGS – IB- Centro de ecologia, Porto Alegre, 2010.

HENGL, T. **Pedometric mapping: bridging the gaps between conventional and pedometric approaches**. PhD thesis, University of Wageningen, Enschede, 2003. 214 p.

HÖFIG, P.; GIASSON, E.; VENDRAME, P. R. S. Mapeamento digital de solos com base na extrapolação de mapas entre áreas fisiograficamente semelhantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 958-966, 2014. doi:10.1590/S0100-204X2014001200006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2014001200958>. Acesso em: 23 fev. 2016.

HOTHORN, T.; HORNIK, K.; ZEILEIS, A. Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. **Journal of Computational and Graphical Statistics**, v. 15, n. 3, p. 651-674. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/231337352_Unbiased_Recursive_Partitioning_A_Conditional_Inference_Framework>. Acesso em: 20 jan. 2016.

HUDSON, B. D. The Soil Survey as Paradigm-based Science. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 836-841, 1992, doi: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030027x. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/56/3/SS0560030836>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

HUTCHINSON, M. F. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. In: International Conference on Integrating Gis and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico. **Anais...** Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, 1996.

HUTCHINSON, M. F.; GALLANT, J. C. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: WILSON, D. J, GALLANT, J. C. **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley and Sons Eds., Chap. 2, 2000.

_____. Representation of terrain. In: **Geographic Information Systems and Science**. Wiley, Chichester, England, UK, 2. ed. p. 105-124, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. EMBRAPA - **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

_____. **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007, 320 p.

_____. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 297 p.

_____. **Mapas de Recursos Naturais do projeto RADAM-BRASIL**. Florianópolis, 2003.

_____. **MAPGEO: Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal**. Versão 1.0, Brasil: IBGE, 2010.

_____. **Folha SH.22 Porto Alegre e partes da Folha SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, v. 33, p. 796, 1986.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 92 p.

JARVIS, A. et al. **Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data**. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. 32 p. (working document n° 198). Disponível em: <https://projects.nceas.ucsb.edu/nceas/attachments/download/54/CGIAR_PractUseSRTMTropics.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2015.

JARVIS, A. et al. **Hole-Filled SRTM for the Globe Version 4**. CGIAR-CSI SRTM 90 m Database 2008.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York, MacGraw Hill, 1941. 281 p.

KASS, G. V. An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data. **Applied Statistics**. v. 29, n. 2, p. 119-127, 1980. Disponível em: <<http://www4.stat.ncsu.edu/~dickey/Analytics/Datamine/Reference%20Papers/kass80.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

KIN, H.; LOH, W. Y. Classification Trees With Unbiased Multiway Splits. **J. Amer. Statist. Assoc.**, v. 96, p. 598-604, 2001. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.119.4471&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

KLAMT, E. et al. **Proposta de normas e critérios para execução de levantamentos semi-detalhados de solos e para avaliação da aptidão agrícola das terras**. Pelotas: NRS-SBCS, 2000. 44 p.

LAGACHERIE, P.; LEGROS, J. P.; BURROUGH, P. A. A soil survey procedure using the knowledge of soil pattern established on a previously mapped reference area. **Geoderma**, v. 65, n. 3-4, p. 283-301, 1995. doi: 10.1016/0016-7061(94)00040-H. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001670619400040H>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

LAGACHERIE, P.; VOLTZ, M. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area and digital elevation data: a conditional probability approach. **Geoderma**, v. 97, p.187-208, 2000, doi: 10.1016/S0016-7061(00)00038-0. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706100000380>>. Acesso em: 11 out. 2015.

LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A.; VOLTZ, M. (Ed.). **Digital soil mapping: an introductory perspective**. Amsterdam: Elsevier, p. 3-22, 2007.

LAGACHERIE, P. Digital soil mapping: a state of the art. In.: HARTEMINK, A. E.; McBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. (Ed.). **Digital soil mapping with limited data**. New York: Springer, p. 3-14, 2008. doi: 10.1007/978-1-4020-8592-5_1.

LANDIS, J.; KOCH, G. **The measurement of observer agreement for categorical data**, Washington, USA. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174. 1977.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIMA, L. A. S. et al. **Mapeamento de solos: do tradicional ao digital**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 52, 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1005933/mapeamento-de-solos-do-tradicional-ao-digital>>. Acesso em: 07 nov. 2015.

LOH, W. Y. and SHIH, Y. S. Split selection methods for classification trees. **Statistica Sinica**. v. 7, n. 41, p. 815-840, 1997. Disponível em: <<http://www3.stat.sinica.edu.tw/statistica/oldpdf/A7n41.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

LOH, W. Y. and VANICHSETAKUL, N. Tree-structured classification via generalized discriminant analysis (with comments), **Journal of the American Statistical Association**. v. 83, n. 403, p. 715-725, 1988. Disponível em: <<http://www.stat.wisc.edu/~loh/treeprogs/guide/LV88.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

LOH, W. Y. Fifty Years of Classification and Regression Trees. **International Statistical Review**. Published by John Wiley & Sons Ltd. Malden, MA, USA, v. 82, p. 329-348. 2014, doi: 10.1111/insr.12016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/insr.v82.3/issuetoc>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Bookman: Porto Alegre, 3. ed. p. 540, 2013.

LÓPEZ, A. F. J. **Calidad em La Producción Cartográfica**. Ra-Ma Editorial, Madrid, Espanha, 2002. 389 p.

MACMILLAN, R. A. **Experiences with Applied DSM: Protocol, Availability, Quality and Capacity Building**. LandMapper Environmental Solutions Inc., Edmonton, Alberta, Canada, 2008.

MACMILLAN, R. A. **LandMapR[®] Software Toolkit- C++ Version: Users manual**. Edmonton: LandMapper Environmental Solutions Inc., 2003. 110 p.

MARTINELLI, M.; GRAÇA, A. J. S. Cartografia temática: uma breve história repleta de inovações. **Revista Brasileira de Cartografia**, Edição de Cartografia Histórica: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, p. 913-928, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291679313_CARTOGRAFIA_TEMATICA_UM_A_BREVE_HISTORIA_REPLETA_DE_INOVACOES_Thematic_Cartography_a_Brief_History_Full_Innovations>. Acesso em: 14 out. 2015.

MAS, J. F. A Suite of Tools for Assessing Thematic Map Accuracy. **Hindawi Publishing Corporation Geography Journal**. v. 2014, p. 10, 2014. doi: 10.1155/2014/372349. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/geography/2014/372349/>>. Acesso em: 24 nov. 2015.

McBRATNEY, A. B. et al. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, Amsterdam, v. 97, n. 3-4, p. 293-327, 2000, doi: 10.1016/S0016-7061(00)00043-4. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706100000434>>. Acesso em: 11 out. 2015.

McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003. doi:10.1016/S0016-7061(03)00223-4. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706103002234>>. Acesso em: 07 jun. 2014.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. **Canadian Journal of Soil Science**, v.46. p.13-22. 1966.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, v.7, p.317-327, 1960.

MENDONÇA JUNIOR, M. G. **Reconstrução de edificações para geração de Ortoimagens verdadeiras com emprego de dados lidar**. 2012. 232 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. The state of the art of Brazilian soil mapping and prospects for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. (Ed.). **Developments in Soil Science**, v. 31, p. 39-55, 2007.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. J. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 19, 2003.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; ten CATEN, A. Mapeamento digital de solos (MDS): avanços e desafios. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBPC)**, ISSN 1981-979X, v. 40, n. 2, p. 39-43, mai./ago. 2015.

MERCHANT, D. C. **Spatial accuracy standards for large scale line maps**. In: American Congress on Surveying and Mapping. USA – Denver/CO, p. 222-231, 1982.

MICELI, B. S. et al. **Comparação da avaliação vertical de modelos digitais de elevação para médias e pequenas escalas em diferentes configurações topográficas.** In. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE. 2010. 001 – 007p. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0644.pdf> > Acesso em: 12 de maio de 2015.

MILLER, B. A.; SCHAETZL, R. J. History of soil geography in the context of scale. *Geoderma*, v. 264, p. 284-300, 2016. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.08.041. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115300707>>. Acesso em: 30 dez. 2015.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, v. 264, p. 301-311, 2015. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115300276>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B.; LARK, R. M. Digital Soil Mapping Technologies for Countries with Sparse Data Infrastructures. In.: HARTEMINK, A. E.; McBRATNEY, A.; MENDONCA-SANTOS, M. de L. (Ed.). **Digital soil mapping with limited data.** New York: Springer, chapter 2, p. 15-30, 2008. doi: 10.1007/978-1-4020-8592-5_1. Disponível em: < http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-8592-5_2>. Acesso em: 09 out. 2015.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações.** 1.ed. São Paulo: Unesp, 2000. 287 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** Presidente Prudente/SP: Ed. UNESP, 2008, 476 p.

MORENO, J. A. **Clima no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura-RS, 1961, 42 p.

MOURA, L. Z. et al. Avaliação da acurácia vertical de modelos digitais de elevação (MDES) nas bacias do Paranoá e São Bartolomeu. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 1, p. 1-14, 2014.

MOURA-BUENO, J. M. **Modelos digitais de elevação e predição do carbono orgânico do solo no planalto do estado do Rio Grande do Sul.** 2014. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

MOURA-BUENO, J. M. et al. Assessment of Digital Elevation Model for Digital Soil Mapping in a Watershed with Gently Undulating Topography. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. doi: 10.1590/18069657rbc20150022.

MPLMIC. **Positional Accuracy Handbook: Using the national standard for spatial data accuracy to measure and report geographic data quality.** Minnesota Planning, Land Management Information Center, Sant Paul-Minnesota (EE.UU.), 1999. 29 p.

MUKHERJEE, S. et al. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, p. 205-17, 2013. doi:10.1016/j.jag.2012.09.004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324341200195X>>. Acesso em: 24 out. 2015.

NASA/Jet Propulsion Laboratory. "U.S. releases enhanced shuttle land elevation data." **ScienceDaily**, 23 September 2014. Disponível em: <www.sciencedaily.com/releases/2014/09/140923154150.htm>. Acesso em: 05 mar. 2015.

NICO, G. et al. Terrain modelling by kinematical GPS survey. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 5, p. 293-299, 2005. Disponível em: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/293/2005/nhess-5-293-2005.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2015.

OLAYA, V. **A gentle introduction to SAGA GIS**. The SAGA user group, Gottingen, Germany, 2004. 208 p.

PAUSTIAN, K. et al. Climate – smart soils. **Nature**, v. 532, p. 49-57, 2016, doi:10.1038/nature17174. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v532/n7597/full/nature17174.html>>. Acesso em: 07 abr. 2016.

PIATETSKY-SHAPIRO, G. **Data mining and knowledge discovery 1996 to 2005: overcoming the hype and moving from “university” to “business” and “analytics”**. KDNuggets, MA, United States. p. 99-105, 2007.

PINHEIRO, H. S. K. et al., Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1384-1394, set.2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n9/24.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

PLANCHON, O.; DARBOUX, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena** v. 46, p. 159-176. 2001. doi: 10.1016/S0341-8162(01)00164-3. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816201001643>>. Acesso em: 05 mai. 2015.

PONTIUS JUNIOR, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, p. 4407-4429, 2011, doi: 10.1080/01431161.2011.552923. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2011.552923>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

PRINGLE, M. J.; SCHMIDT, M.; MUIR, J. S. Geostatistical interpolation of SLC-off Landsat ETM+images. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing**, v. 64, p. 654-664, 2009, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000690>>. Acesso em: 05 mai. 2015.

QUINLAN, J. R. **C4.5: programs for machine learning**. Ed. Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA. 1993.

QUINLAN, J. R. Induction of decision trees. **Machine Learning**, v. 1, n. 1, p. 81-106, 1986. Disponível em: <<http://hunch.net/~coms-4771/quinlan.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

RABUS, B. et al. **The Shuttle Radar Topography Mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar**. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

RAMAGERI, B. M. Data mining techniques and applications. **Indian Journal of Computer Science and Engineering**. Pune, Maharashtra, India. v. 1, n. 4, p. 301-305, 2010. Disponível em: <<http://www.ijcse.com/docs/IJCSE10-01-04-51.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

RAMOS, D. P. **Desafios da pedologia brasileira frente ao novo milênio**. Palestra a ser proferida no XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto, SP, 2003.

ROSSITER, D. G. **Digital soil resource inventories: status and prospects**. Soil Use and Management, v. 20, p. 296-301, 2004.

SAA/IBGE-RS/SC. **Mapa de solos do Rio Grande do Sul, escala 1:250.000**. Porto Alegre: SAA-RS/IBGE-Unidade SC, 2003.

SANCHEZ, P. A. et al. Digital soil map of the world. **Environmental Science**, v. 325, p. 680-681, 2009. Disponível em: <<http://www.ciesin.org/documents/digitalsoilmap-science0aug2009.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 353, 2013a.

SANTOS, H. G. et al. **Distribuição espacial dos níveis de levantamento de solos do Brasil**. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis, SC: SBCS, 2013.

SANTOS, R. D. dos et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 2013b. 100 p.

SARMENTO, E. C. et al. Prediction of soil orders with high spatial resolution: response of different classifiers to sampling density. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1395-1403, set. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900025>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2012000900025>. Acesso em: 18 jan. 2015.

SARMENTO, E. C. **Predição de classes de solos em diferentes escalas na Serra Gaúcha usando mapeamento digital de solos a partir de dados legados**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.

SILVA, E. A. da 90 anos da missão cartográfica imperial Austríaca no exército Brasileiro – Relato histórico da Fotogrametria (1920-2010). In: I Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica, 2011, Parati/RJ. **Anais...** Parati/RJ, 2011. p. 1-13.

SILVA, M. A. et al. Mapeamento pedológico digital da folha Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3): Treinamento de dados em mapa tradicional e validação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 846-857, 2013, doi: 10.1590/S0100-06832013000400003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000400003>. Acesso em: 24 fev. 2015.

SILVA, S. H. G. et al. Retrieving pedologist's mental model from existing soil map and comparing datamining tools for refining a larger areamap under similar environmental conditions in Southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 267, p. 65-77, 2016, doi: 10.1016/j.geoderma.2015.12.025. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115301762>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

SOUZA, J. O. P. de. Análise da precisão altimétrica dos modelos digitais de elevação para área semiárida do nordeste brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 56-64, dec. 2015. ISSN 2236-2878. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/98555/108067>>. Acesso em: 16 jan. 2016.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, p. 222, 2008.

STRECK, E. V.; DALMOLIN, R. S. D.; FLORES, C. A. **A utilidade social dos mapas de solos produzidos no Brasil: o caso do Rio Grande do Sul**. In. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 39, n. 1, p. 20-25, Campinas: SBCS, 2014.

ten CATEN, A. et al. Componentes principais como preditores no mapeamento digital de classes de solos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1170-1176, 2011a. doi: 10.1590/S0103-84782011000700011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000700011>. Acesso em: 07 jun. 2014.

_____. Estatística multivariada aplicada à diminuição do número de preditores no mapeamento digital do solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 554-562, maio 2011b. doi: 10.1590/S0100-204X2011000500014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2011000500014&script=sci_abstract>. Acesso em: 07 jun. 2014.

ten CATEN, A. et al. Extrapolação das relações solo-paisagem a partir de uma área de referência. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 812-816, 2011c. doi: 10.1590/S0103-84782011000500012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000500012>. Acesso em: 07 jun. 2014.

_____. Regressões logísticas múltiplas: fatores que Influenciam sua aplicação na predição de Classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 53-62, 2011d. doi: 10.1590/S0100-06832011000100005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000100005>. Acesso em: 07 jun. 2014.

_____. Digital Soil Mapping: strategy for data pre-processing. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1083-1091, 2012. doi: 10.1590/S0100-06832012000400003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000400003>. Acesso em: 26 jul. 2014.

_____. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1989-1997, 2012. doi: 10.1590/S0103-84782012001100013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001100013>. Acesso em: 26 jul. 2014.

_____. An appropriate data set size for digital soil mapping in Erechim, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 359-366, 2013, doi: 10.1590/S0100-06832013000200007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000200007>. Acesso em: 26 jul. 2014.

ten CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D. Geoprocessamento como aliado da pedologia. In: **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, n. 1, 32-35, Campinas: SBCS, 2014.

TESKE, R. **Testes metodológicos para o mapeamento digital de classes de solos utilizando árvores de decisão**. 2014. Tese (Doutorado em ciência do solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação de esquemas de amostragem para treinamento de modelos preditores no mapeamento digital de classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 14-20, 2015. doi: 10.1590/01000683rbcS20150344. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000100014>. Acesso em: 23 fev. 2016.

TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Produção de um mapa pedológico associando técnicas comuns aos mapeamentos digitais de solos com delineamento manual de unidades de mapeamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 950-959, 2015. doi: 10.1590/01000683rbcS20140285. Disponível em: <http://www.sbcS.org.br/?post_type=artigo_revista&p=4476>. Acesso em: 23 fev. 2016.

THOMLINSON, J. R.; BOLSTAD, P. V.; COHEN, W. B. **Coordinating methodologies for scaling land cover classifications from site-specific to global: Steps toward validating global map products**. *Remote Sens. Environ.*, v. 70, p. 16-28, 1999.

TRICART, J. **La Terre planète vivante**. Presses Universitaires de France. Paris, p. 183, 1972.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v. 263, p. 616-627, 1965.

UNFPA. Fundo de População das Nações Unidas. **Por escolha, não por acaso: planejamento familiar, direitos humanos e desenvolvimento**. Relatório sobre a situação da população mundial 2012. Nova York, NY. UNFPA, 2012. 137p. Disponível em: <<http://www.unfpa.org.br/Arquivos/swop2012.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Derivação de modelos digitais de elevação (MDE) em coordenadas geográficas. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** João Pessoa-PB, INPE, 2015.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos, SP: NPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, p. 74, 2010.

VILLELA, A. L. O. **Mapeamento digital de solos da Formação Solimões sob floresta tropical Amazônica**. 2013. 112 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

WAN MOHD, N.; ABDULLAH, M. A.; HASHIM, S. **Accuracy Comparison of Digital Elevation Models Generated from Different Sources**, FIG Congress 2014. Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance Kuala Lumpur, Malaysia, p. 16-21 June 2014.

WEBSTER, R. The development of pedometrics. **Geoderma**, v. 62, p. 1-15, 1994, doi: 10.1016/0016-7061(94)90024-8. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706194900248>>. Acesso em: 12 out. 2015.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain Analysis: Principles and Applications**. New York: John Wiley and Sons; 2000, 520 p.

WITTEN, I. H.; FRANK, E.; HALL, M. A. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations**. Morgan Kaufmann. 2011, 629p.

ZEVENBERGEN, L. W.; THORNE, C. R. **Quantitative analysis of land surface topography**, *Earth Surface Processes & Landforms*, v. 12, n. 1, p. 47-56, 1987.

ZHU, A. X. **Purposive Sampling for Digital Soil Mapping for Areas with Limited Data**, 2008.

ZINCK, A. J. **Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios del suelo y de riesgos naturales**, Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), 2012. 123p.

ANEXOS

ANEXO A – PERFIS DE SOLOS

PERFIL 1

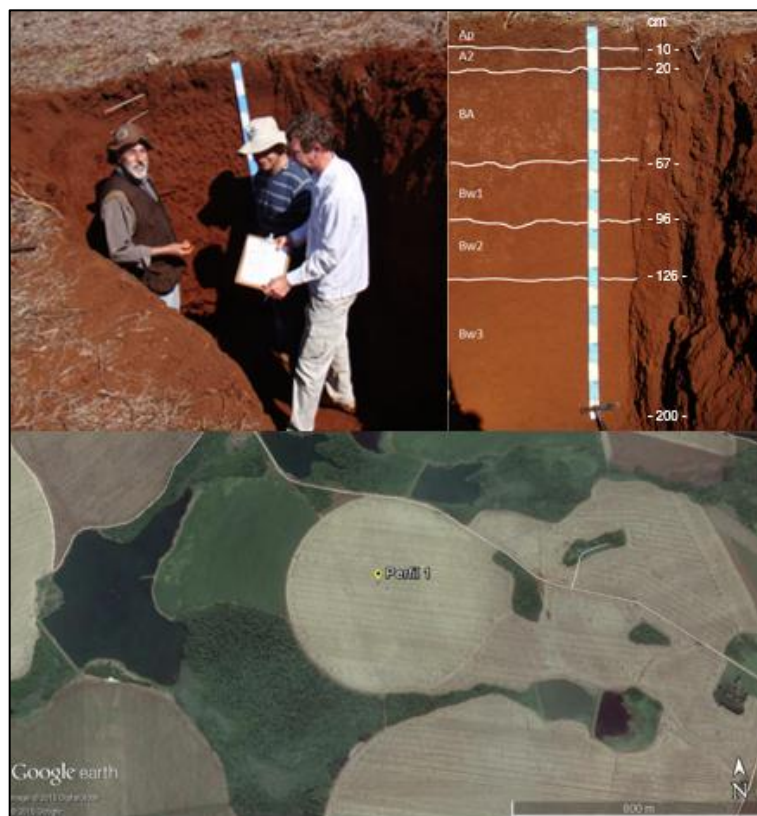


Figura 1 - Imagem do perfil 1 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argilossiltosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado
Localização:	Latitude: - 28°34'52,6"; Longitude: - 54°26'14,7" UTM: E = 750.640,320m, N = 6.835.721,163m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 280m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual Soja.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (05/09/2013) https://www.youtube.com/watch?v=La7a94xnU4c Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Kaiser e Daniel.

Características morfológicas

A1	0-10 cm; vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição clara; raízes muitas.
A2	10-20 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito porosa; firme, friável, plástico e pegajoso; transição clara; raízes muitas.
BA	20-67 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena blocos subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico, e pegajoso; transição difusa; raízes raras.
Bw1	67-96 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes raras.
Bw2	96-126 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3,5, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares, cerosidade; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes raras.
Bw3	126-200+ cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares, cerosidade; muito poroso, firme, friável, plástico e pegajoso; transição difusa, raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)			Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)	
	Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)				Silte (mm) (0,05- 0,002)
A1	0 – 10	-	-	1000	148	411	440	231	0,9	47,5
A2	10 – 20	-	-	1000	108	355	537	276	0,6	48,60
BA	20 – 67	-	-	1000	72	259	669	187	0,4	72,04
Bw1	67 – 96	-	-	1000	70	226	704	136	0,3	80,68
Bw2	96 – 126	-	-	1000	61	216	723	60	0,3	91,70
Bw3	126 – 200+	-	-	1000	47	209	744	12	0,3	98,38

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1) H ₂ O	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₂ g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%				
A1	6,0	15,1	5,7	1,02	21,8	0,0	3,5	21,9	25,3	86	0	64,5	21,7	37,8
A2	4,9	6,6	2,1	0,49	9,2	0,2	7,7	9,39	16,89	54	2	31,2	17,3	38,0
BA	4,9	5,8	1,4	0,11	7,3	0,2	3,4	7,51	10,71	68	3	5,3	10,50	32,2
Bw1	4,7	5,0	0,9	0,07	6,0	0,2	3,8	6,2	9,8	61	3	4,5	6,98	29,7
Bw2	4,5	4,4	0,7	0,05	5,1	0,2	2,9	5,35	8,05	64	4	4,5	4,56	25,3
Bw3	4,7	2,9	0,6	0,07	3,6	1,1	3,9	4,67	7,47	48	23	4,5	3,75	29,2

PERFIL 2



Figura 2 - Imagem do perfil 2 e pedopaisagem (NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário A moderado textura franco-argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°34'54"; Longitude: - 54°27'00". UTM: E = 749.408,210m, N = 6.835.704,353m
Situação e declive:	Terço inferior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 275m (altitude geométrica).
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual - Ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Pedregosa, não rochosa.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (05/09/2013) https://www.youtube.com/watch?v=5xGr9h8ld18 Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Kaiser e Daniel.

PERFIL 3

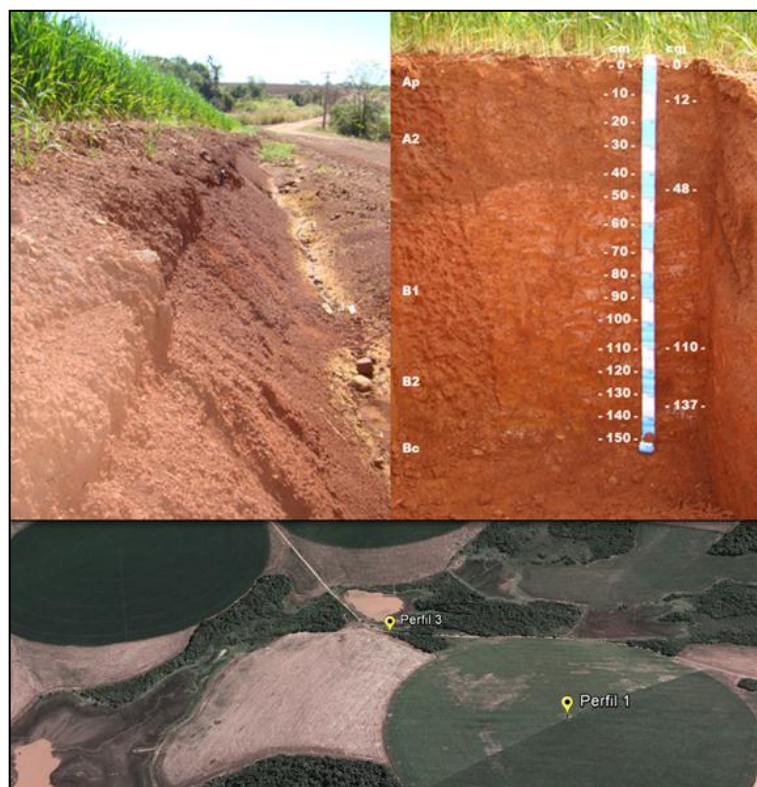


Figura 3 - Imagem do perfil 3 e pedopaisagem (NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico).

Descrição geral	
Classificação:	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulada.
Localização:	Latitude: - 28°34'38,9"; Longitude: - 54°26'26" UTM: E = 750.342,221m, N = 6.836.149,561m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 286m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual trigo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada (06/09/2013) https://www.youtube.com/watch?v=mSoyoWxlHPo . Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Kaiser e Daniel.

Características morfológicas	
Ap	0-12 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; firme, friável, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara; raízes muitas.
A2	12-48 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); argilosa; moderada a forte, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, friável, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta; raízes poucas.
B1	48-110 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); argilosa; forte e média, blocos angulares e subangulares; extremamente duro e muito firme, friável, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes raras; concreções de ferro e manganês.
B2	110-137 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); argilosa; forte, média, blocos angulares, subangulares e granulares; extremamente dura, friável, muito firme a firme, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual; raízes raras; concreções de ferro e manganês.
Bc	137-160+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho-amarelado (5 YR 4/6, seco); argilosa; forte e média, blocos angulares e subangulares; firme, friável, muito plástico e ligeiramente pegajoso, transição difusa, raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm (>20))	Cascalho (mm (20-2))	Terra Fina (mm (<2))	Areia (mm (2,0- 0,05))	Silte (mm (0,05- 0,002))	Argila (mm (<0,002))			
Ap	0 – 12	-	-	1000	161	330	509	171	0,6	66,4
A2	12 – 48	-	-	1000	165	350	485	248	0,7	48,86
B1	48 – 110	-	-	1000	86	247	666	79	0,4	88,13
B2	110 – 137	-	-	1000	75	222	703	11	0,3	98,43
Bc	137 – 160+	-	-	1000	90	363	547	67	0,7	87,75

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,5	10,0	2,1	1,02	13,12	0,07	3,82	13,19	17,0	77,17	0,53	38,2	15,41	30,5
A2	5,3	13,9	1,7	0,56	16,16	0,07	2,87	16,23	19,0	85,05	0,36	10,9	10,83	33,6
B1	5,1	6,4	2,5	0,16	9,06	0,2	3,18	9,26	12,2	74,26	2,15	6,0	5,53	30,8
B2	4,4	3,5	2,0	0,12	5,62	0,4	4,46	6,02	10,0	56,2	6,64	4,5	2,57	29,1
Bc	4,4	3,6	2,3	0,07	5,97	0,3	2,87	6,27	8,8	67,84	4,78	5,3	1,89	30,4

PERFIL 4

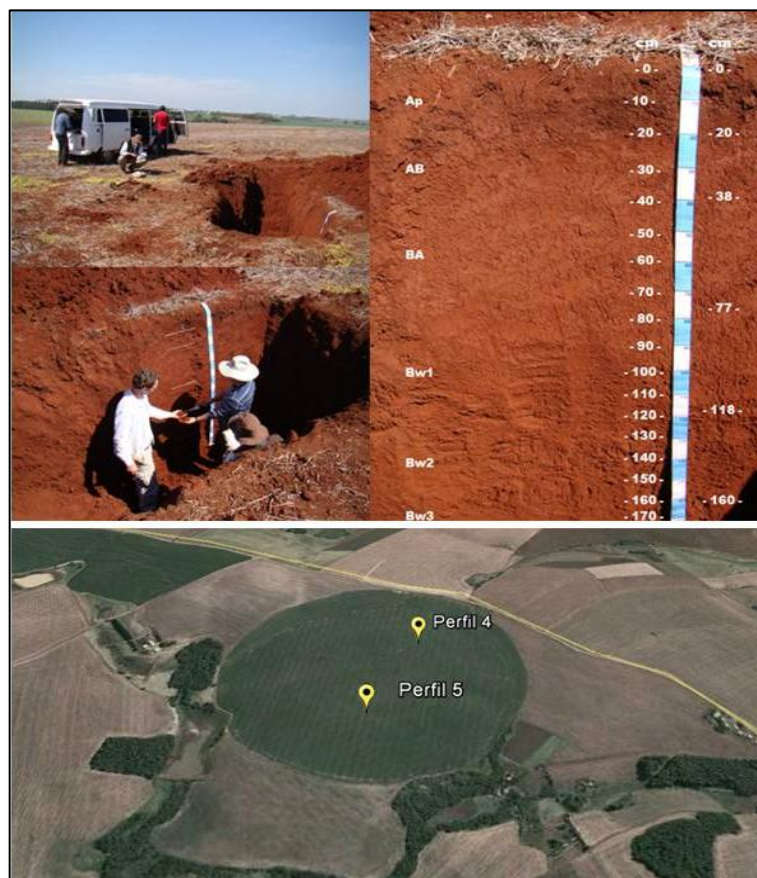


Figura 4 - Imagem do perfil 4 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado
Localização:	Latitude: - 28°32'05,34"; Longitude: - 54°26'00,92". UTM: E = 751.125,000m, N = 6.840.863,000m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 326m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira
Vegetação:	Uso atual resteva de soja.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (Pivô 08) (06/09/2013) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Kaiser e Daniel.

Características morfológicas	
Ap	0-20 cm; vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; dura, firme, plástico e pegajoso; transição clara plana; raízes muitas.
AB	20-38 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; dura, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa plana; raízes comuns.
BA	38-77cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso, ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa plana; raízes raras.
Bw1	77-118 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; macia, friável, ligeiramente plástico e muito pegajoso; transição difusa plana; raízes raras.
Bw2	118-160 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; macia, friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes raras.
Bw3	160-200+ cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; macia, friável, ligeiramente plástica pegajoso; transição difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
A	0 – 10	-	-	1000	76	369	555	232	0,7	58,19
AB	20 – 38	-	-	1000	40	296	664	194	0,4	70,78
BA	38 – 77	-	-	1000	37	276	687	150	0,4	78,16
Bw1	77 – 118	-	-	1000	22	207	771	102	0,3	86,77
Bw2	118 – 160	-	-	1000	32	180	788	34	0,2	95,68
Bw3	160 – 200+	-	-	1000	27	180	793	12	0,2	98,45

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,4	11,2	3,6	0,81	15,61	0,07	5,73	15,68	21,34	73,14	0,44	120,2	23,33	29,9
AB	4,5	3,8	1,2	0,28	5,28	0,53	8,29	5,81	13,57	39,0	9,12	10,9	18,79	28,3
BA	4,6	3,1	1,1	0,13	4,33	0,74	4,77	5,07	8,1	53,45	14,59	3,7	10,03	30,4
Bw1	4,4	1,0	0,4	0,05	1,45	1,47	6,06	2,92	7,51	19,30	50,34	4,5	6,39	26,5
Bw2	4,6	1,0	0,3	0,04	1,34	1,67	6,67	3,01	8,01	16,72	55,48	4,5	4,18	25,6
Bw3	4,4	0,7	0,2	0,05	0,95	1,47	6,05	2,42	7,0	13,57	60,74	4,5	2,15	26,4

PERFIL 5

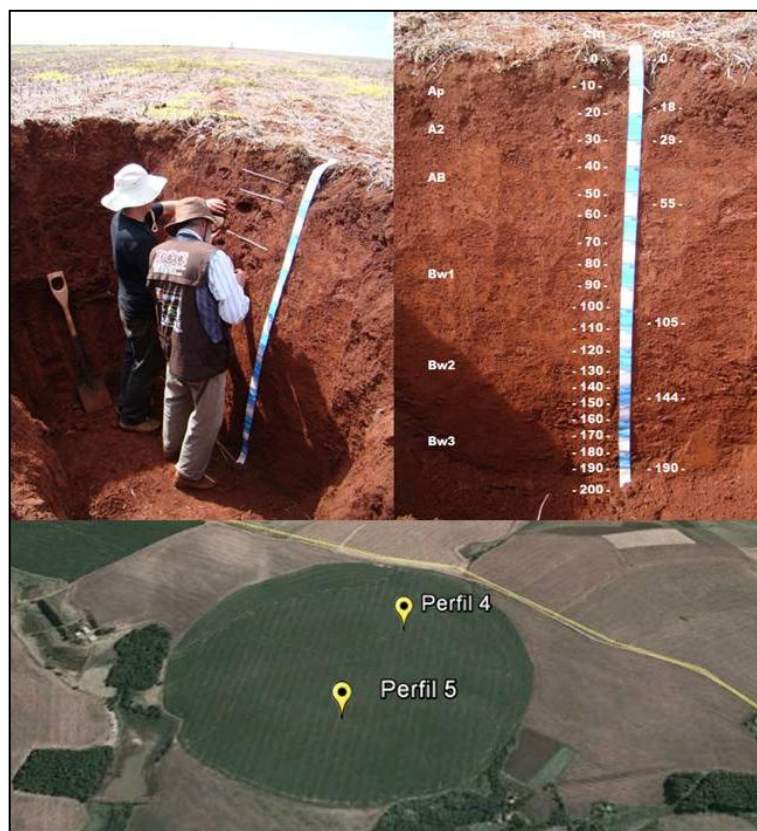


Figura 5 - Imagem do perfil 5 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico A moderado textura argilo-siltosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°32'22,97"; Longitude: - 54°26'11,16". UTM: E = 750.835,000m, N = 6.840.326,000m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 323m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira
Vegetação:	Uso atual resteva de soja.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (Pivô 08) (06/09/2013) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Kaiser e Daniel.

Características morfológicas	
Ap	0-18 cm; vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes muitas.
A2	18-29 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa plana; raízes comuns.
AB	29-55 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa plana; raízes raras.
Bw1	55-105 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; friável, ligeiramente plástica e muito pegajoso; transição difusa plana; raízes raras.
Bw2	105-144 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/5, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes raras.
Bw3	144-190+ cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/5, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
A1	0 – 18	-	-	1000	85	471	445	248	1,0	44,26
A2	18 – 29	-	-	1000	56	364	580	298	0,6	48,62
AB	29 – 55	-	-	1000	38	269	692	234	0,4	62,18
Bw1	55 – 105	-	-	1000	29	186	785	210	0,2	73,24
Bw2	105 – 144	-	-	1000	24	168	808	185	0,2	77,10
Bw3	144 – 190+	-	-	1000	24	118	858	43	0,1	94,95

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,9	14,2	3,7	1,00	18,9	0,27	5,09	19,17	38,6	48,96	1,4	78,1	15,84	27,9
A2	5,4	12,9	2,8	0,54	16,24	0,20	7,64	16,44	23,88	68,0	1,21	18,9	12,0	31,0
AB	5,3	7,9	2,0	0,32	10,22	0,13	4,77	10,35	14,99	68,17	1,25	7,6	10,18	26,8
Bw1	5,3	8,0	2,1	0,26	10,36	0,13	5,41	10,49	15,77	65,69	1,23	7,6	7,76	26,6
Bw2	5,3	8,2	1,2	0,18	9,58	0,13	4,46	9,71	14,04	68,23	1,33	5,3	4,63	24,1
Bw3	5,3	5,9	1,2	0,08	7,18	0,07	3,18	7,25	14,43	49,75	0,96	5,3	3,61	25,7

PERFIL 6



Figura 6 - Imagem do perfil 6 e pedopaisagem (GLEISSOLO MELÂNICO Alítico típico).

Descrição geral	
Classificação:	GLEISSOLO MELÂNICO Alítico típico A húmico textura argila/muito argilosa fase relevo plano.
Localização:	Latitude: - 28°35'04,72"; Longitude: - 54°26'59,89" UTM: E = 749.404,000m, N = 6.835.374,000m
Situação e declive:	Terço inferior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 241m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Plano.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Nula.
Vegetação:	APP.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Mal drenado.
Observações:	Trincheira (12/05/2014) Descrito e coletado por: Flores; Mario; Jean e Marcio.

Características morfológicas

- C1** 0-28 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido), bruno (10 YR 4/3, seco); argiloso; maciça que se desfaz em blocos médios; poroso; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana, raízes muitas.
- Cg1** 28-75 cm; cinzento-escuro (2,5 Y 4/1, úmido), cinzento-escuro (2,5 Y 4/1, seco); muito argiloso; maciça coerente; pouco poroso; macio, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana, raízes poucas; excesso de umidade.
- Cg2** 75-150 cm; cinzento escuro (5 Y 4/1, úmido), cinzento-oliváceo (5 Y 4/2, seco); muito argiloso; maciça coerente; pouco poroso; macio, friável, plástico e pegajoso, transição clara e plana; raízes poucas.

Análises Físicas

Horizontes		Frações da amostra Total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)			Argila dispersa	Relação silte/argila	Grau de Floculação
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)	g kg ⁻¹	-	(%)
C1	0 – 28	-	-	1000	25	409	566	313	0,7	44,7
CG1	28 – 75	-	-	1000	45	315	639	161	0,5	74,8
CG2	75 – 150	-	-	1000	70	296	634	143	0,5	77,4

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
C1	4,2	1,5	0,8	0,1	2,4	2,7	10,82	5,1	13,22	18,15	52,94	1,5	11,6	17,4
Cg1	4,6	1,4	0,3	0,04	1,74	4,5	13,68	6,24	15,32	11,35	72,11	9,3	6,96	9,4
Cg2	4,6	1,6	0,4	0,01	2,01	4,2	11,37	6,21	13,38	15,02	67,63	38,2	3,48	16,0

PERFIL 7

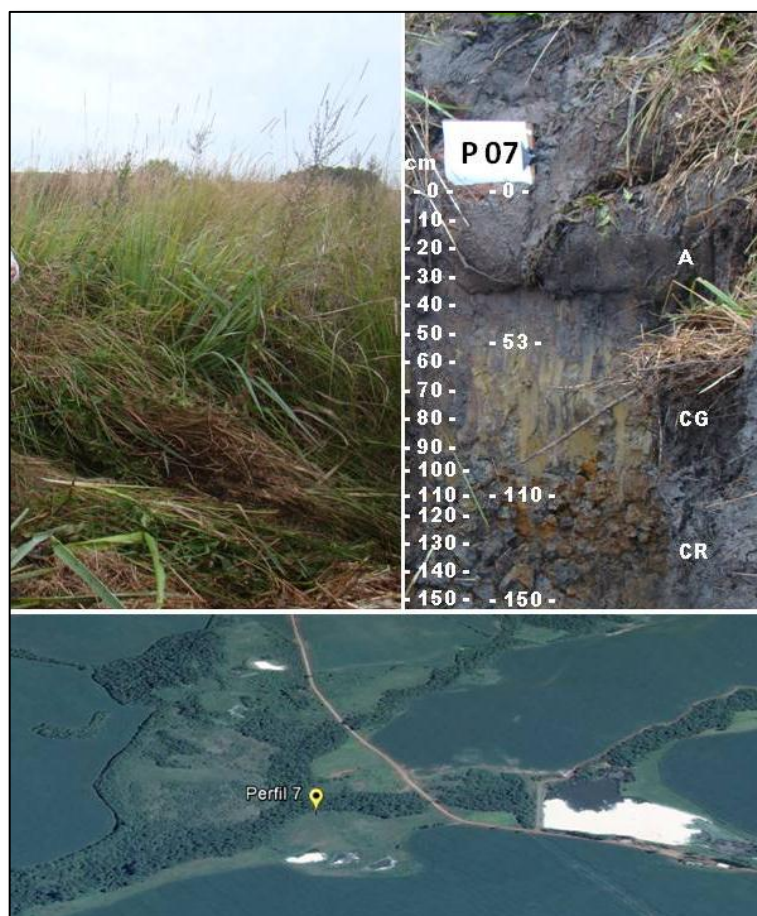


Figura 7. Imagem do perfil 7 e pedopaisagem (GLEISSOLO MELÂNICO Ta Distrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	GLEISSOLO MELÂNICO Ta Distrófico típico A húmico textura argilossiltosa/franco-argilossiltosa fase relevo plano.
Localização:	Latitude: - 28°33'27,37"; Longitude: - 54°26'43,48" UTM: E = 749.914,000m, N = 6.838.362,000m
Situação e declive:	Terço inferior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 238m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Plano.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Nula.
Vegetação:	APP.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Mal drenado.
Observações:	Trincheira (12/05/2014) Descrito e coletado por: Flores; Mario; Jean e Marcio.

Características morfológicas

- A** 0-53 cm; preto-azulado (GLEY 2 2,5/10 B, úmido), Preto-azulado (GLEY 2 2,5/5 B, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; firme, plástico e pegajoso; transição clara; raízes muitas.
- Cg** 53-110 cm; cinza-azulado-escuro e mosqueado cinzento-oliváceo-claro (GLEY 2 4/10 B, úmido), (mosqueado abundante 2,5 Y 5/3), cinza-azulado-escuro (GLEY 2 4/10 B, seco), cinzento-oliváceo-claro e cinzento-escuro (mosqueado 2,5 Y 5/6 e 2,5 Y 4/1); muito argiloso; forte, média e grande, prismático; pouco poroso; macio, friável, plástico e pegajoso, transição clara e plana; raízes poucas.
- Cr** 110-150+ cm; muito argilosa.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispensão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
A	0 – 53	-	-	1000	86	480	434	126	1,1	71,0
Cg	53 – 110	-	-	1000	87	556	357	324	1,6	9,2
CR	110 – 150+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	4,9	6,45	2,1	0,01	8,56	0,2	10,64	8,8	19,2	45	2	3,0	28,4	7,8
Cg	5,5	12,8	6,4	0,04	19,24	0,0	3,21	19,2	22,4	86	0	18,0	2,9	26,5

PERFIL 8

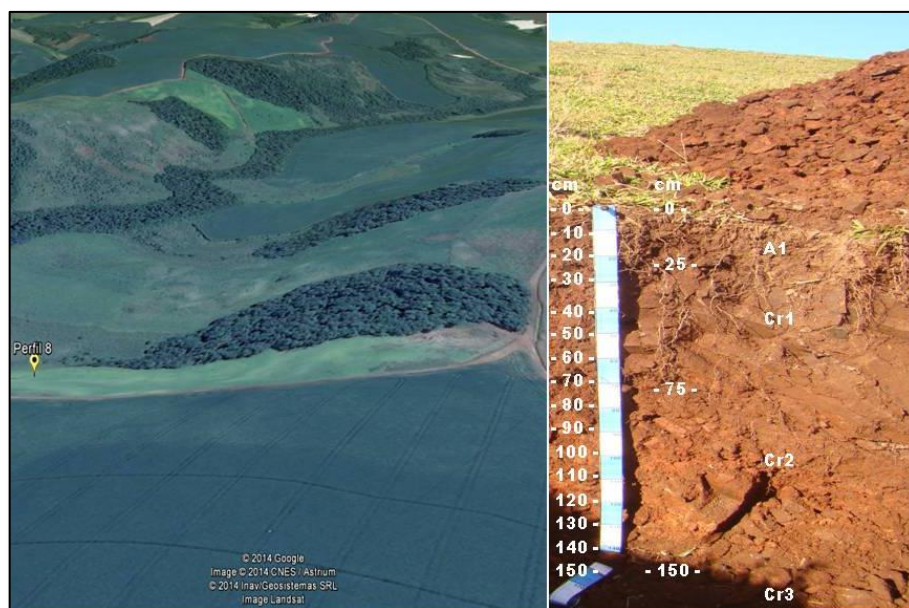


Figura 8 - Pedopaisagem e imagem do perfil 8 (NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico típico A moderado textura franco fase relevo ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°34'21,29"; Longitude: - 54°27'22,13".
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 230m. Declividade 14%.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar.
Vegetação:	Uso atual braquiária.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Pedregoso.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada.

Características morfológicas

- A1** 0-25 cm; bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, seco); argilosa; moderada, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares e granulares; muito poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual; raízes abundantes (fase pedregoso desde a superfície).
- Cr1** 25-75 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho-acinzentado (2,5 YR 4/2, seco); argilosa; moderada, muito pequena e pequena, granulares; bem poroso; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual; raízes abundantes. (90% do material - rocha branda).
- Cr2** 75-150cm – coletado.
- Cr3** 150+cm.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹				Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)			Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
	Profundidade (cm)	Calhaus (mm >20)	Cascalho (mm 20-2)	Terra Fina (mm <2)	Areia (mm 2,0- 0,05)	Silte (mm 0,05- 0,002)	Argila (mm <0,002)			
A1	0 – 25	-	150	850	283	481	236	123	2,0	47,9
Cr1	25 – 75	50	250	700	383	449	168	95	2,6	43,4
Cr2	75 – 150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr3	150 +	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₂ g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,4	18,9	10,8	0,2	29,9	0,1	5,42	29,9	32,32	92,51	0,3	2,2	8,7	34,2
Cr1	5,7	19,3	8,9	0,6	28,8	0,0	4,76	28,9	33,56	85,81	0,0	27,9	12,8	33,9

PERFIL 9

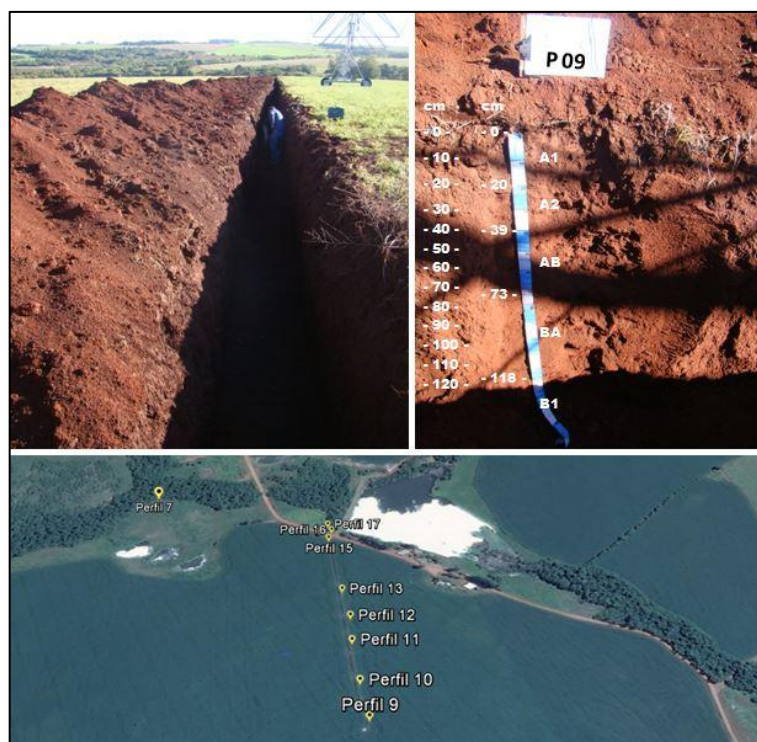


Figura 9 - Imagem do perfil 9 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'49"; Longitude: - 54°26'28,2". UTM: E = 750.320,700m, N = 6.837.687,155m
Situação e declive:	Terço superior da coxilha. Altitude + ou - 287m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira
Vegetação:	Uso atual resteva de soja.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A1** 0-20 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena, blocos angulares e subangulares e granulares; poroso; muito firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes poucas.
- A2** 20-39 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
- AB** 39-73 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- BA** 73-118 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- B1** 118+ cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Símbolo	Horizonte	Profundidade (cm)	Frações da amostra Total %		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) %						
			Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia Total (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Flocculação (%)
A1		0 – 20	-	-	1000	85	328	587	0,6	241	58,9
A2		20 – 39	-	-	1000	66	272	661	0,4	184	72,2
AB		39 – 73	-	-	1000	55	310	635	0,5	19	97,0
BA		73 – 118	-	-	1000	48	279	673	0,4	7	99,0
B1		118 +	-	-	1000	37	252	711	0,3	5	99,3

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₃ g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		cmol _c kg ⁻¹												
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,5	13,7	6,8	0,164	20,66	0	4,44	20,66	25,1	82,3	0	18	12,18	32,4
A2	6,0	13,7	6,3	0,573	20,57	0	2,97	20,57	23,54	87,4	0	22,8	7,54	25,4
AB	6,0	6,3	2,4	0,246	8,95	0,5	5,19	9,446	14,14	63,29	9,3	24,8	5,80	20,6
BA	4,7	1,56	0,41	8,00	9,97	1,2	4,71	11,173	14,68	62,8	10,7	1,5	3,48	27,8
B1	4,7	1,23	0,23	0,02	1,49	1,4	4,29	2,889	5,78	25,77	48,6	2,2	2,90	25,4

PERFIL 10

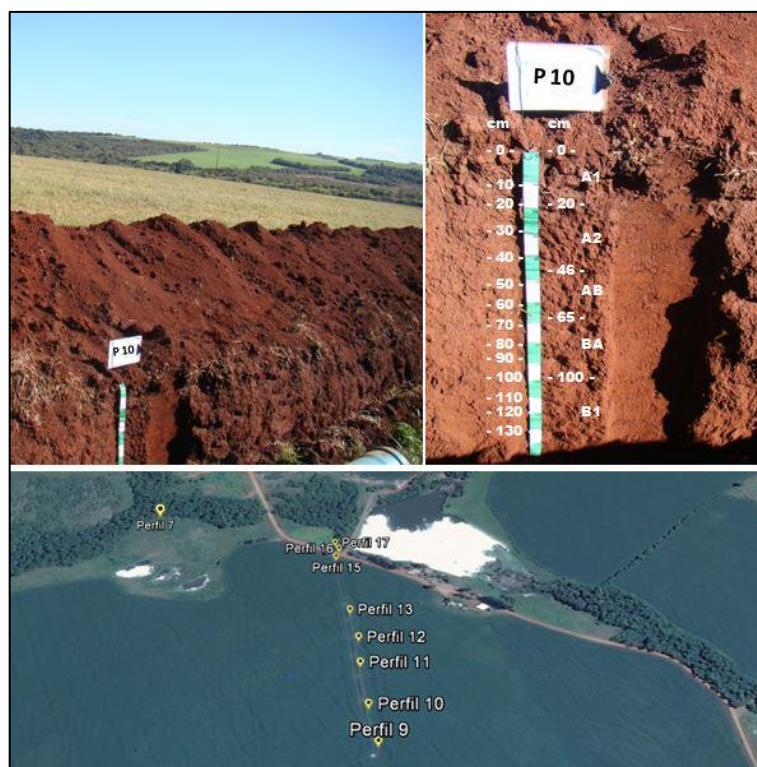


Figura 10 - Imagem do perfil 10 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'46,6"; Longitude: - 54°26'28,7" UTM: E = 750.303,251m, N = 6.837.761,458m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 286m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual resteva de soja.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A1** 0-20 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; muito firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes poucas.
- A2** 20-46 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/3, seco); muito argilosa; fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso, firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
- AB** 46-65 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/3, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- BA** 65-100 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; média a moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- B1** 100+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito porosa; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) %						
	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia Total (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)
A1	0 – 20	-	-	1000	88	384	528	0,7	224	57,6
A2	20 – 46	-	-	1000	58	276	666	0,4	182	72,7
AB	46 – 65	-	-	1000	56	227	717	0,3	15	97,9
BA	65 – 100	-	-	1000	50	183	767	0,2	17	97,8
B1	100 +	-	-	1000	41	208	751	0,3	15	98,0

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,7	6,5	3,0	0,3	9,8	0,0	4,79	9,8	14,59	67,2	0	10,9	12,8	32,4
A2	4,9	3,0	1,6	0,1	4,7	0,3	3,79	5	8,49	55,35	6	1,5	7,5	25,1
AB	4,6	1,6	1,1	0,1	2,8	0,7	3,53	3,5	6,33	44,23	20	0,7	5,8	29,7
BA	4,4	1,3	0,7	0,05	2,05	1,0	3,53	3,05	5,58	36,73	32,8	0,7	4,06	28,7
B1	4,2	1,1	0,4	0,05	1,55	1,4	3,28	2,95	4,83	32,09	47,5	1,5	2,9	24,0

PERFIL 11

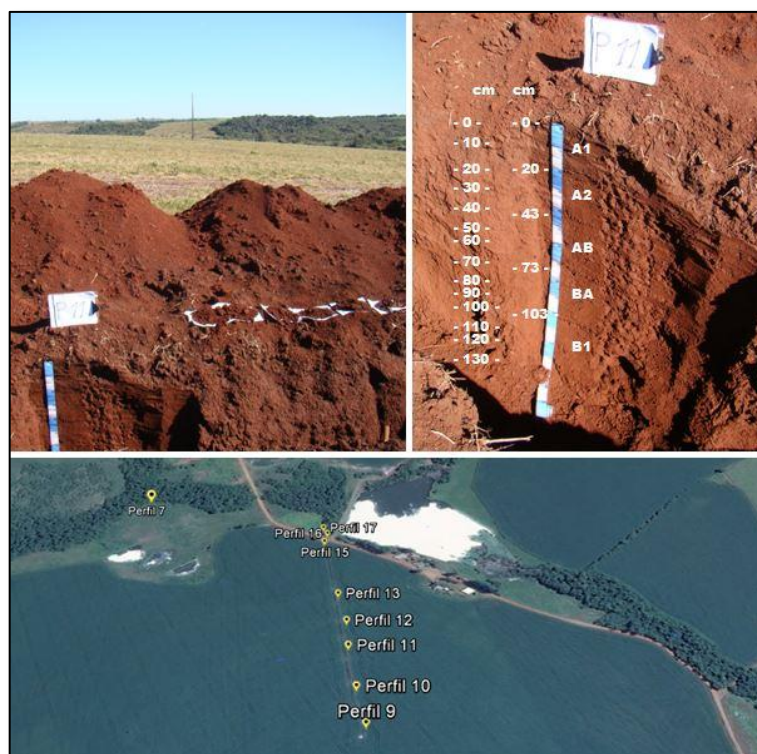


Figura 11 - Imagem do perfil 11 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'43,6"; Longitude: - 54°26'29,2". UTM: E = 750.291,633m, N = 6.837.854,119m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 276m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A1** 0-20 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; muito firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes poucas.
- A2** 20-43 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
- AB** 43-73 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares e moderado; muito poroso; firme, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- BA** 73-103 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável e ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- B1** 103+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástica e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizonte	Profundidade (cm)	Frações da amostra Total %		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) %						
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia Total (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)
A1	0 – 20	-	-	1000	81	319	600	0,5	181	69,8
A2	20 – 43	-	-	1000	53	418	529	0,8	263	50,3
AB	43 – 73	-	-	1000	47	252	701	0,3	13	98,1
BA	73 – 103	-	-	1000	40	230	730	0,3	16	97,1
B1	103 +	-	-	1000	31	213	757	0,3	21	97,2

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,5	5,9	2,6	0,3	8,8	0,0	3,53	8,8	12,33	71,4	0	11,8	10,4	27,7
A2	4,8	2,4	1,4	0,05	3,9	0,6	3,78	4,5	7,68	50,78	13,3	1,5	7,5	30,4
AB	4,4	1,5	0,9	0,04	2,4	1,0	4,29	3,4	6,69	35,87	29,4	0,7	5,2	27,3
BA	4,4	1,4	0,7	0,04	2,1	1,1	4,0	3,2	6,1	34,42	34,37	0,7	2,3	24,2
B1	4,3	1,3	0,5	0,05	1,9	1,2	3,53	3,1	5,43	34,99	38,7	0,7	2,3	23,8

PERFIL 12

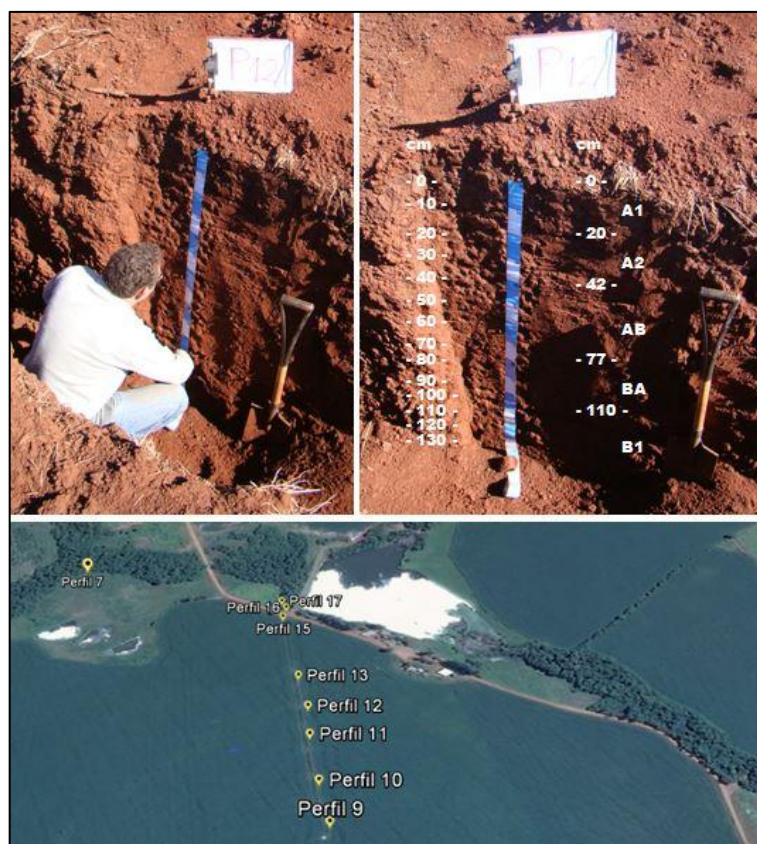


Figura 12 - Imagem do perfil 12 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'41,3"; Longitude: - 54°26'29,4" UTM: E = 750.287,709m, N = 6.837.925,053m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 271m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A1** 0-20 cm bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; muito firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes poucas.
- A2** 20-42 cm bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
- AB** 42-77 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares e subangulares e granulares; muito porosa; friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- BA** 77-110 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa, raízes ausentes.
- B1** 110+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares pequena a média e moderado; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina						
	Profundidade (cm)	Total %		Terra Fina (mm) (<2)	(dispersão com NaOH) %					
Calhaus (mm) (>20)		Cascalho (mm) (20-2)	Areia Total (mm) (2,0-0,05)		Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)	
A1	0 – 20	-	-	1000	87	321	592	0,5	236	60,1
A2	20 – 42	-	-	1000	55	260	686	0,4	137	80,1
AB	42 – 77	-	-	1000	42	236	722	0,3	120	83,4
BA	77 – 110	-	-	1000	38	214	748	0,3	19	97,5
B1	110 +	-	-	1000	36	186	778	0,2	15	98,1

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		cmol _c kg ⁻¹								%				
H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇						
A1	5,5	5,0	2,3	0,4	7,7	0,0	3,28	7,7	10,98	70,1	0,0	18,9	11,6	26,5
A2	4,7	2,6	1,3	0,06	3,96	0,7	4,80	4,66	8,76	45,2	15,0	1,5	5,8	27,7
AB	4,4	1,2	0,6	0,0	1,8	1,0	4,54	2,8	6,34	28,39	35,7	1,5	4,6	23,6
BA	4,4	1,1	0,5	0,0	1,6	1,2	4,55	2,8	6,15	26,01	42,9	1,5	3,5	27,2
B1	4,5	1,1	0,4	0,1	1,6	1,0	4,29	2,6	5,89	27,16	38,5	1,5	2,3	26,8

PERFIL 13

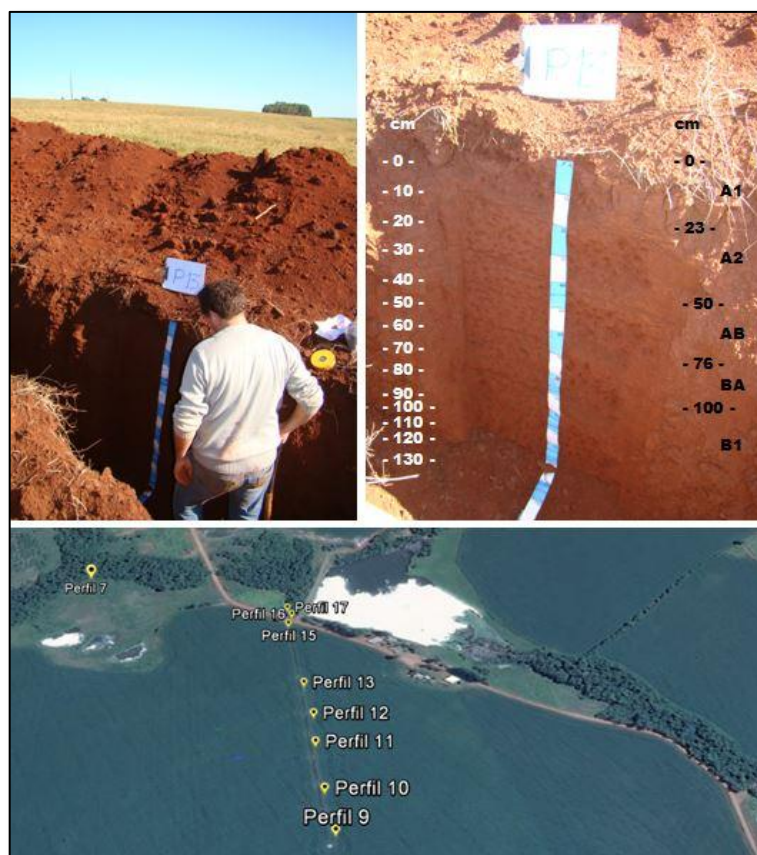


Figura 13 - Imagem do perfil 13 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'38,5"; Longitude: - 54°26'26,30" UTM: E = 750.287,709m, N = 6.837.925,053m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 270m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014)
	Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A1** 0-23 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e média, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; muito firme, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes poucas.
- A2** 23-50 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
- AB** 50-76 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena e blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- BA** 76-100 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito porosa; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- B1** 100+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico, pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina						
	Profundidade (cm)	Total %			(dispersão com NaOH) %					
Símbolo		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia Total (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)
A1	0 – 23	-	-	1000	86	264	649	0,4	206	68,3
A2	23 – 50	-	-	1000	55	247	698	0,3	144	79,4
AB	50 – 76	-	-	1000	48	229	723	0,3	30	95,8
BA	76 – 100	-	-	1000	44	173	783	0,2	19	97,6
B1	100 +	-	-	1000	43	149	808	0,2	14	98,3

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,3	4,4	2,2	0,2	6,8	0,2	4,28	7,0	11,1	61,8	2,9	11,8	12,2	30,9
A2	4,6	2,5	1,2	0,0	3,7	1,1	4,54	4,8	8,2	45,1	13,4	2,2	8,1	3,2
AB	4,5	1,4	0,6	0,0	2,0	1,3	4,53	3,3	6,5	30,8	39,4	0,7	5,8	27,6
BA	4,5	0,9	0,3	0,0	1,2	1,5	4,53	2,7	5,7	21,0	55,5	0,7	4,6	30,9
B1	4,4	1,0	0,3	0,0	2,3	1,5	3,53	3,8	5,8	39,6	39,5	1,5	3,4	20,4

PERFIL 14

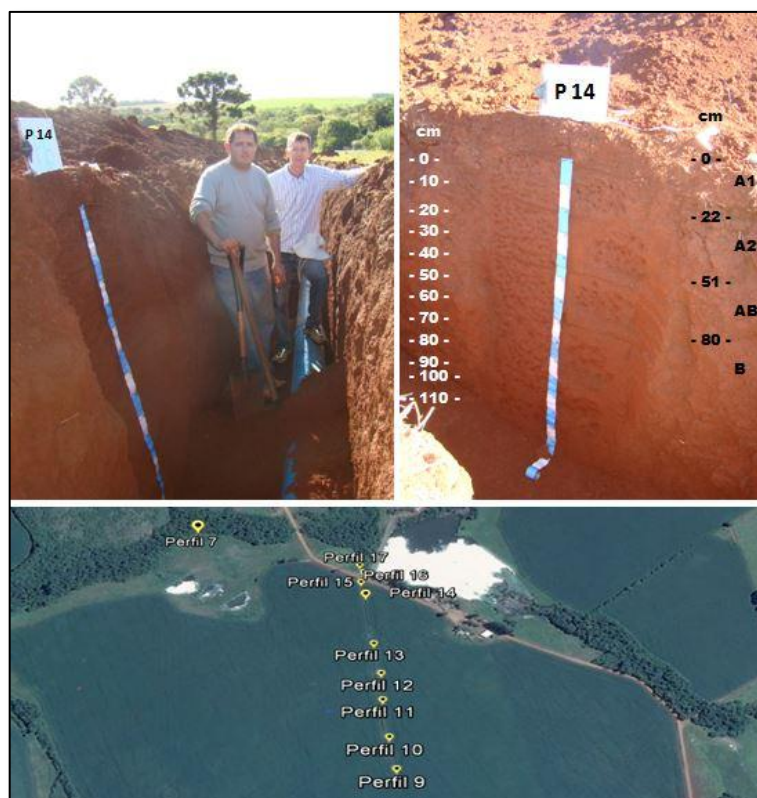


Figura 14 - Imagem do perfil 14 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'33,7"; Longitude: - 54°26'30,8". UTM: E = 750.254,650m, N = 6.838.159,871m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 260m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A1** 0-22 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares, moderada; poroso; friável a muito firme, plástico pegajoso, gradual, poucas raízes.
- A2** 22-51cm – Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco), muito argilosa, moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
- AB** 51-80 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- B** 80+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderado, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina						
	Símbolo	Profundidade (cm)	Total %		(dispersão com NaOH) %					
Calhaus (mm) (>20)			Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia Total (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)
A1	0 – 22	-	-	1000	118	271	611	0,4	254	58,4
A2	22 – 51	-	-	1000	73	300	628	0,5	134	78,7
AB	51 – 80	-	-	1000	67	217	716	0,3	14	98,0
B	80 +	-	-	1000	50	159	791	0,2	5	99,4

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,4	4,8	2,7	0,4	7,9	0,1	4,80	8,0	12,7	62,2	1,2	11,8	12,2	30,5
A2	4,6	2,5	1,2	0,0	3,7	0,8	4,54	4,5	8,2	45,1	17,7	1,5	7,5	29,0
AB	4,5	2,2	0,9	0,0	3,1	1,0	4,54	4,1	7,6	40,8	24,4	0,7	5,2	26,8
B	4,2	1,20	0,35	0,04	1,60	1,7	4,79	3,3	6,4	25,0	51,5	0,7	3,48	16,4

PERFIL 15

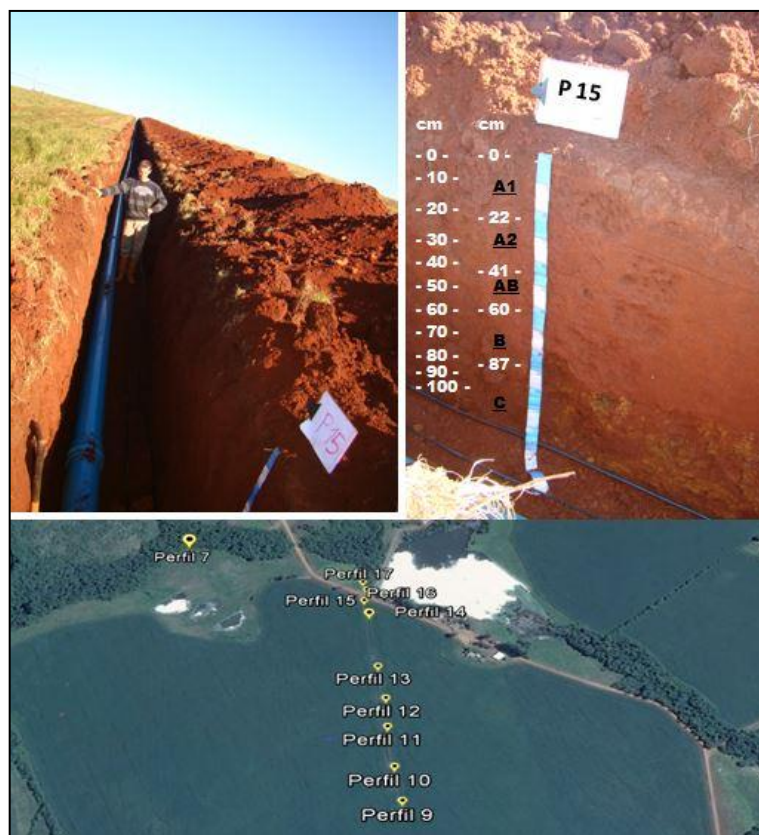


Figura 15 - Imagem do perfil 15 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado
Localização:	Latitude: - 28°33'32,2"; Longitude: - 54°26'31,2" UTM: E = 750.244,762m, N = 6.838.206,288m
Situação e declive:	Terço inferior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 258m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual resteva de soja.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas	
A1	0-22 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; muito firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes poucas .
A2	22-41 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes ausentes.
AB	41-60 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
B	60-87cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; ligeiramente friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
C	87+ cm; bruno-avermelhado-escuro e bruno-amarelado (2,5 YR 3/4, 10 YR 5/6, mosqueado - úmido), bruno-avermelhado-escuro e amarelo-brunado (5 YR 3/4 e 10 YR 6/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poroso; firme, ligeiramente plástica e pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina						
	Profundidade (cm)	Total %		Terra Fina (mm) (<2)	(dispersão com NaOH) %					
Calhaus (mm) (>20)		Cascalho (mm) (20-2)	Areia Total (mm) (2,0-0,05)		Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)	
A1	0 – 22	-	-	1000	104	332	564	0,6	194	65,7
A2	22 – 41	-	-	1000	75	252	673	0,4	175	74,0
AB	41 – 60	-	-	1000	64	201	735	0,3	9	98,8
B	60 – 87	-	-	1000	51	161	788	0,2	12	98,5
C	87 +	-	-	1000	146	209	644	0,3	2	99,7

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A1	5,6	4,9	2,6	0,184	7,68	0	4,79	7,68	12,5	61,4	0,0	3,7	11,02	31,4
A2	5,1	3,7	2,0	0,061	3,78	0,3	5,55	4,0	9,3	40,6	7,5	1,5	8,70	23,2
AB	4,9	3,0	1,4	0,041	4,44	0,3	6,06	4,7	10,5	42,3	6,38	0,7	6,38	25,5
B	4,6	2,0	0,6	0,031	2,63	0,6	7,07	3,2	9,7	27,1	18,7	1,5	4,06	22,2
C	4,7	2,0	0,8	0,051	2,85	0,6	7,57	3,4	10,4	27,4	17,6	1,5	3,48	29,6

PERFIL 16

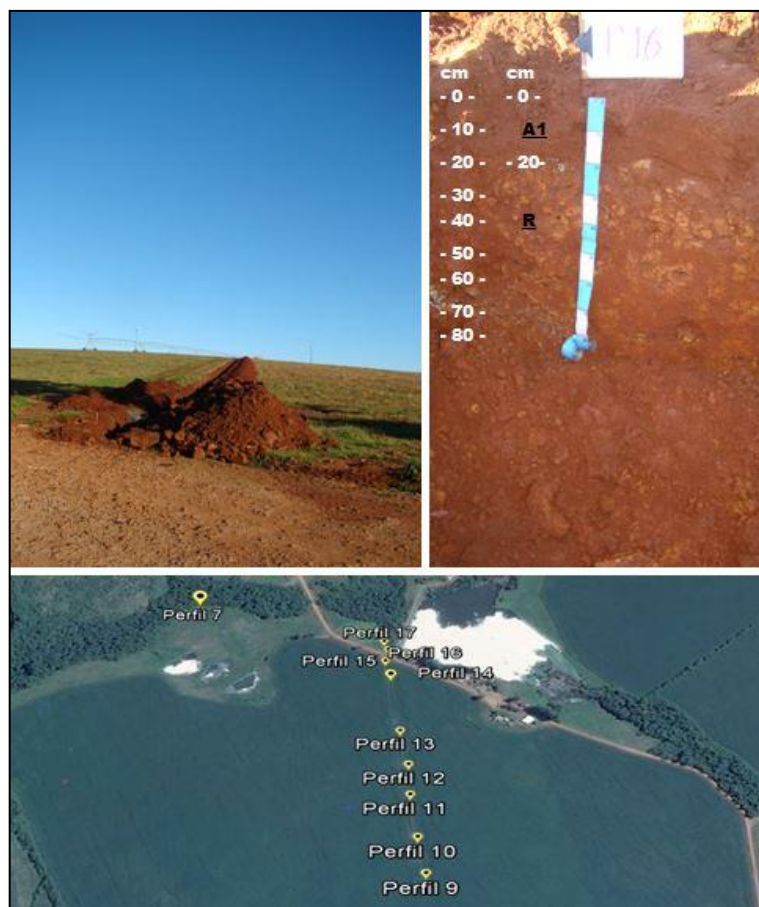


Figura 16 - Imagem do perfil 16 e pedopaisagem (NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário A moderado textura argila fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'31,1"; Longitude: - 54°26'31,1" UTM: E = 750.284,204m, N = 6.838.240,099m
Situação e declive:	Terço inferior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 254m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A** 0-20 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; muito poros; friável, plástico e pegajoso; transição clara, raízes poucas.
- R** 20 +cm – Rocha.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) %						
	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia Total (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)
A	0 – 20	-	280	720	199	357	443	0,8	185	58,2

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	4,8	2,9	1,4	0,37	4,67	0,5	8,8	5,17	13,47	35	10	1,5	12,18	31,7

PERFIL 17

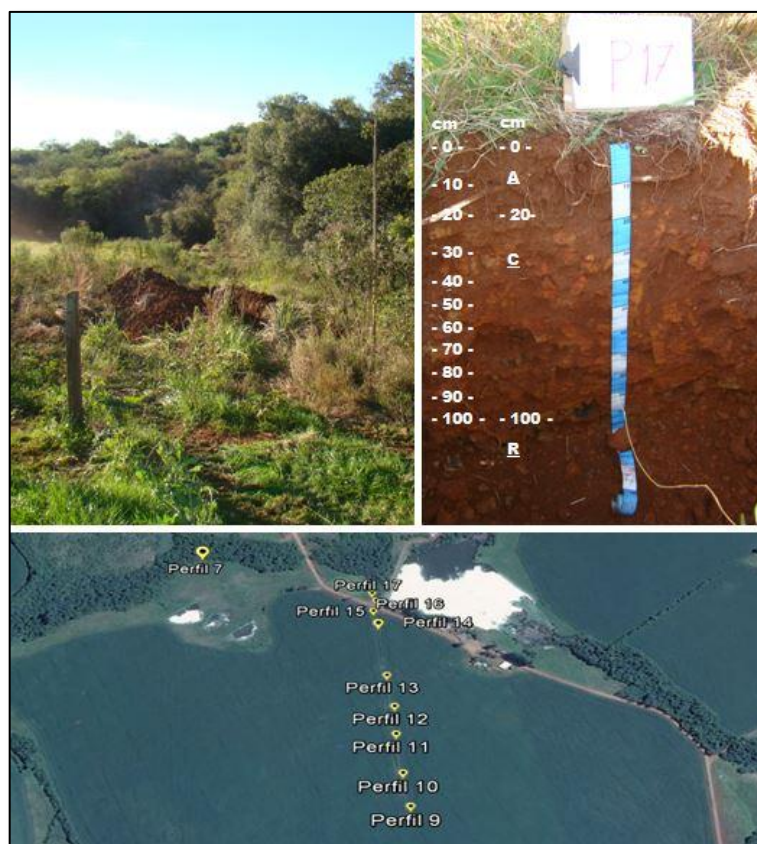


Figura 17 - Imagem do perfil 17 e pedopaisagem (NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico A moderado textura francoargilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'30,3"; Longitude: - 54°26'31,4" UTM: E = 750.240,575m, N = 6.838.264,906m
Situação e declive:	Terço inferior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 252m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar ligeira a moderada.
Vegetação:	Uso atual ervilha.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira na topossequência do pivô de irrigação. (Pivô Novo) (19/06/2014) Descrito e coletado por: Mario; Kaiser e Fábio.

Características morfológicas

- A** 0-20 cm; vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); muito argilosa; fraca a moderada e pequenas, blocos granulares; muito poroso; FALTA, friável, plástico e pegajoso; transição clara; raízes abundantes.
- C** 20-100 cm; vermelho (10 R 3/2, úmido), (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; muito poroso; firme, plástico e pegajoso; transição clara; raízes muitas comuns.

Análises Físicas

Horizonte	Frações da amostra			Composição granulométrica da terra fina							
	Profundidade (cm)	Total % (dispersão com NaOH) %			Terra Fina (mm)	Areia Total (mm)	Silte (mm)	Argila (mm)	Relação Silte / Argila	Argila Dispersa (gkg ⁻¹)	Grau de Floculação (%)
Símbolo	Calhaus (mm)	Cascalho (mm)									
A	0 – 20	-	180	820	266	422	312	1,35	114	63,5	
C	20 – 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC efetiva	CTC pH7	%			
A	5,2	5,9	2,4	0,399	7,78	0,2	10,35	7,98	18,13	43	3	0,7	18,56	36,6

PERFIL 18



Figura 18 - Imagem do perfil 18 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°41'17,12"; Longitude: - 54°28'30,25" UTM: E = 746.706m, N = 6.823.960m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 287m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Ligeira.
Vegetação:	Uso atual Aveia.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada (17/09/2014) (turno:manhã) Descrito e coletado por: Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- Ap** 0-10 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/3, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos granulares, poroso; firme, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes abundantes muito finas e finas.
- BA** 20-48 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes abundantes muito finas e finas.
- Bw1** 48-84 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas muito finas.
- Bw2** 84-180 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras muito finas.

Análises Físicas

Horizontes		Frações da amostra Total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa	Relação silte/argila	Grau de Floculação
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)	g kg ⁻¹	-	(%)	
Ap	0 – 20	-	-	1000	99	267	634	152	0,11	76,0	
BA	20 – 48	-	-	1000	60	151	788	17	0,19	97,8	
Bw1	48 – 84	-	-	1000	52	177	772	17	0,23	97,8	
Bw2	84 – 180	-	-	1000	39	211	750	2	0,28	99,7	

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
	H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC efetiva	CTC pH7	%				
Ap	5,2	2,2	0,9	0,1	3,2	0,3	7,9	3,5	11,1	28,8	8,5	5,3	10,54	35,3
BA	5,1	0,7	0,2	0,1	1,0	0,6	6,43	1,6	7,43	13,4	37,5	2,2	6,38	37,8
Bw1	4,9	0,5	0,1	0,1	0,7	1,0	6,41	1,7	7,11	9,8	58,8	1,5	5,47	26,8
Bw2	4,8	0,5	0,1	0,1	0,7	1,5	6,42	2,2	7,12	9,8	68,1	1,5	2,24	24,0

PERFIL 19



Figura 19 - Imagem do perfil 19 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°44'57,27"; Longitude: - 54°25'17,12" UTM: E = 751.803m, N = 6.817.069m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 280m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Ligeira.
Vegetação:	Uso atual Trigo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada (17/09/2014) (turno: tarde) Descrito e coletado por: Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- Ap** 0-27 cm vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); franco argilosa; fraca, muito pequena e pequena, blocos subangulares e granulares; poroso; muito friável, plástico e pegajoso; transição plana gradual; raízes abundantes finas e muito finas.
- BA** 27-53 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); franco argiloso; moderada a forte, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes comuns finas.
- Bw1** 53-110 cm vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); franco argilosa; fraca a moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas muito finas.
- Bw2** 110-200 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); franco argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso, transição plana difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm (>20))	Cascalho (mm (20-2))	Terra Fina (mm (<2))	Areia (mm (2,0- 0,05))	Silte (mm (0,05- 0,002))	Argila (mm (<0,002))			
Símbolo	Profundidade (cm)									
Ap	0 – 27	-	-	1000	20	322	658	147	0,49	77,7
BA	27 – 53	-	-	1000	41	202	757	3	0,27	99,6
Bw1	53 – 110	-	-	1000	65	274	661	110	0,41	83,4
Bw2	110 – 200	-	-	1000	33	157	811	5	0,19	99,4

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC efetiva	CTC pH7	%			
Ap	5,2	2,5	1,0	0,1	3,6	0,2	7,90	3,8	11,5	31,3	5,2	2,2	11,0	23,5
BA	4,8	1,0	0,2	0,1	1,3	1,1	5,92	2,4	7,22	18,0	45,8	1,5	7,5	26,8
Bw1	5,1	1,6	0,5	0,1	2,2	1,0	6,90	3,2	9,1	24,2	31,2	1,5	6,5	22,9
Bw2	5,1	0,9	0,2	0,1	1,2	1,0	4,45	2,2	5,65	21,2	45,4	2,2	5,2	26,1

PERFIL 20



Figura 20 - Imagem do perfil 20 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°41'27,43"; Longitude: - 54°21'09,46" UTM: E = 758.667m, N = 6.823.383m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 294m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar.
Vegetação:	Uso atual Trigo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochividade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada (17/09/2014) (turno: tarde) Descrito e coletado por: Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas	
Ap	0-20 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada, forte, muito pequena, pequena e média, blocos granulares; poroso; macio, friável, plástico e pegajoso; transição plana gradual, raízes abundantes.
BA	20-47 cm vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada, pequena e grande, blocos subangulares; poroso; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes comuns.
Bw1	47-100 cm – vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-acinzentado (10 R 4/4, seco); muito argilosa; forte, pequena e média, blocos subangulares e angulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa; raízes poucas.
Bw2	100-150/160 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho (10 R 4/6, seco); muito argilosa; moderada, forte, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.
Bc	150/160-200+ cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho (10 R 4/6, seco); franco argilo siltosa; moderada, forte, pequena e média, blocos angulares e subangulares; poros; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada clara; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm (>20))	Cascalho (mm (20-2))	Terra Fina (mm (<2))	Areia (mm (2,0- 0,05))	Silte (mm (0,05- 0,002))	Argila (mm (<0,002))			
Símbolo	Profundidade (cm)									
Ap	0 – 20	-	-	1000	134	290	576	118	0,50	79,5
BA	20 – 47	-	-	1000	53	375	572	76	0,65	86,7
Bw1	47 – 100	-	-	1000	62	207	730	5	0,28	99,3
Bw2	100 – 150/160	-	-	1000	54	192	754	2	0,25	99,7
Bc	150/160 – 200+	-	-	1000	154	338	508	5	0,66	99,0

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmolc kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC efetiva	CTC pH7	%			
Ap	4,9	1,2	0,4	0,1	1,7	1,4	8,38	3,1	10,08	16,8	45,1	1,7	11,0	23,9
BA	4,9	0,9	0,3	0,0	1,2	1,4	6,91	2,6	8,11	14,8	53,8	1,6	11,0	33,0
Bw1	4,5	0,6	0,2	0,0	0,8	1,8	5,92	2,6	6,72	11,9	69,2	1,5	7,5	29,7
Bw2	4,7	0,6	0,1	0,0	0,7	1,6	5,93	2,3	6,63	10,5	69,5	1,5	4,6	29,9
Bc	4,8	0,5	0,1	0,0	0,6	1,4	4,45	2,0	5,05	11,8	70	1,5	3,4	28,2

PERFIL 21



Figura 21 - Pedopaisagem e imagem do perfil 21 (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°37'24,95"; Longitude: - 54°17'12,52" UTM: E = 765.270m, N = 6.830.705m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 349m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual Milho.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada (18/09/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- Ap** 0-30 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequenos e médio, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana gradual; raízes muitas.
- BA** 30-70 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas.
- Bw1** 70-120 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro (10 R 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.
- Bw2** 120-210+ cm; vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; porosa; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Profundidade (cm)	Frações da amostra Total g kg ⁻¹		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
Ap	0 – 30	-	-	1000	117	97	786	139	0,12	82,3
BA	30 – 70	-	-	1000	110	246	644	39	0,38	93,9
Bw1	70 – 120	-	-	1000	83	182	735	2	0,25	99,7
Bw2	120 – 210+	-	-	1000	61	152	787	5	0,19	99,4

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC efetiva	CTC pH7	%			
Ap	4,1	1,3	0,6	0,1	1,9	2,0	8,40	3,9	10,3	18,4	51,3	2,2	12,18	31,2
BA	4,7	0,7	0,3	0,0	1,0	2,1	6,91	3,1	7,91	12,6	67,7	1,5	11,02	29,3
Bw1	4,7	0,7	0,2	0,0	0,9	1,8	5,93	2,7	6,93	13,0	66,6	1,5	8,12	33,9
Bw2	5,0	0,3	0,1	0,0	0,4	1,8	3,64	2,2	4,04	9,9	81,8	2,2	5,22	41,5

PERFIL 22

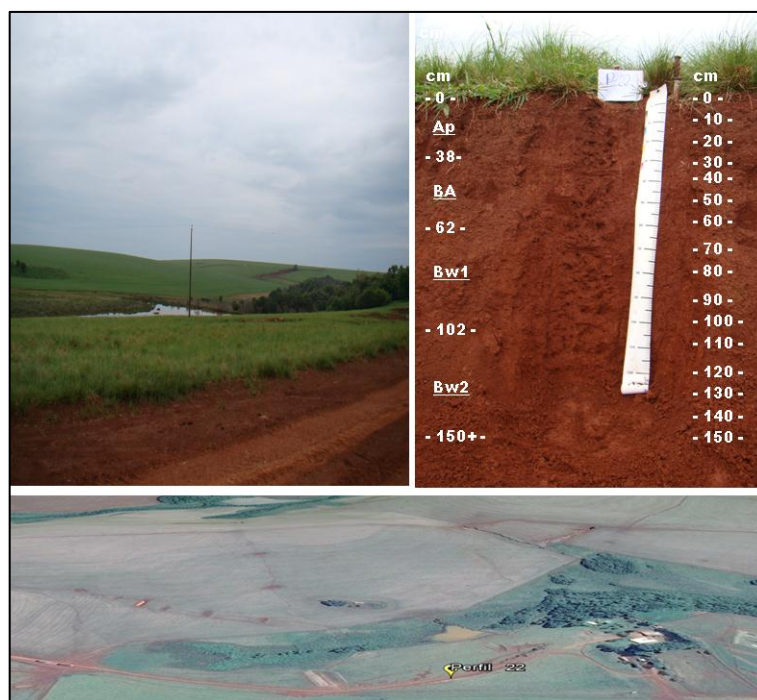


Figura 22 - Pedopaisagem e imagem do perfil 22 (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura francoargilosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°35'17,85"; Longitude: - 54°15'52,05" UTM: E = 767.546m, N = 6.834.569m (Sede Milanesi)
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 320m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual Braquiária.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Talude de corte de estrada (18/09/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- Ap** 0-38 cm; – bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana gradual; raízes muitas.
- BA** 38-62 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas.
- B1** 62-102cm – vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso, transição plana difusa; raízes raras.
- B2** 102-150+ cm vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
A	0 – 38	-	-	1000	116	282	602	127	0,47	78,9
BA	38 – 62	-	-	1000	57	194	748	2	0,26	99,7
B1	62 – 102	-	-	1000	45	264	691	18	0,38	97,4
B2	102 – 150+	-	-	1000	40	154	805	2	0,19	99,7

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC efetiva	CTC pH7	%			
	A	5,0	1,5	0,7	0,2	2,4	1,4	6,42	3,8	8,82				
BA	4,6	0,5	0,1	0,1	0,7	2,5	6,43	3,2	7,13	9,8	78,1	2,2	8,70	29,3
B1	4,7	0,8	0,2	0,1	1,1	2,2	6,43	3,3	7,5	14,6	66,6	1,5	9,28	26,4
B2	5,0	0,6	0,1	0,1	0,8	2,5	4,44	3,3	5,24	15,7	75,7	2,2	5,80	28,4

PERFIL 23

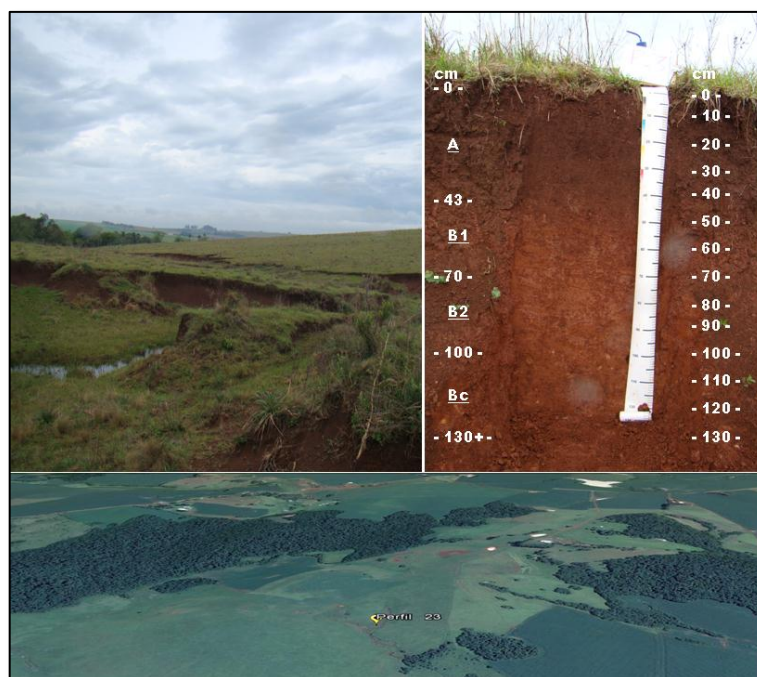


Figura 23 - Pedopaisagem e imagem do perfil 23 (NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico A moderado textura francoargilosa/argila fase relevo ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°35'10,63"; Longitude: - 54°23'53,49" UTM: E = 754.466m, N = 6.835.083m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 294m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Severa.
Vegetação:	Campo Nativo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Presente. Presente/Afloramento de rochas.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em barranco de erosão (18/09/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- A** 0-43 cm; bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, seco); argilosa; moderada, pequena e média, granulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana clara; raízes abundantes.
- B1** 43-70 cm vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares, cerosidade; poroso; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas.
- B2** 70-100 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); argilosa; moderada, pequena e média; cerosidade; poroso; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição plana difusa, raízes raras.
- Bc** 100-130+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); argiloso; moderada, pequena e média, blocos subangulares, cerosidade; poroso; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
A	0 – 43	-	-	1000	296	382	322	97	1,19	69,9
B1	43 – 70	-	-	1000	110	350	540	133	0,65	75,4
B2	70 – 100	-	-	1000	137	307	556	40	0,55	92,8
Bc	100 – 130+	-	-	1000	162	396	441	76	0,90	82,7

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,3	5,0	1,3	0,1	6,4	0,6	8,4	7,0	14,8	43,2	8,5	2,2	15,66	23,9
B1	5,4	3,9	1,1	0,1	5,1	0,8	7,41	5,9	12,5	40,8	13,6	2,2	8,70	31,5
B2	5,5	4,4	1,8	0,1	6,3	0,3	3,71	6,6	10,0	63	4,5	2,2	6,38	24,7
Bc	5,3	5,6	2,5	0,1	8,2	0,3	2,23	8,5	10,4	78,8	3,5	2,2	6,38	22,9

PERFIL 24

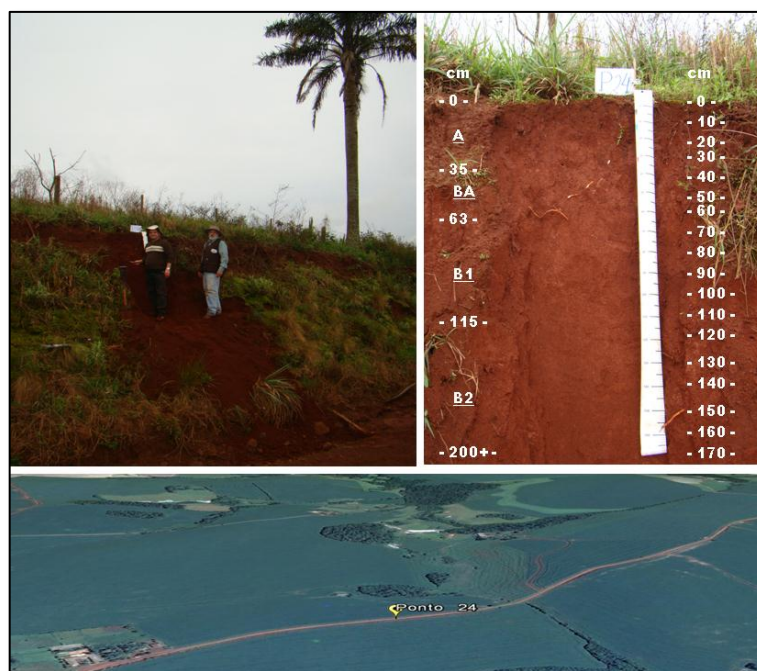


Figura 24 - Imagem do perfil 24 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°32'27,58"; Longitude: - 54°20'48,06" UTM: E = 759.617m, N = 6.839.993m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 347m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar.
Vegetação:	Uso atual Aveia.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochividade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil em talude de corte de estrada (18/09/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- A** 0-35 cm; ermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, seco); argilosa; moderada, pequena, blocos angulares, subangulares e granulares; poroso; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana gradual; raízes abundantes.
- BA** 35-63 cm vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); argilosa; moderada e pequena blocos subangulares; poroso; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas.
- B1** 63-115 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); argilosa; moderada, média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.
- B2** 115-200+ cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm >20)	Cascalho (mm 20-2)	Terra Fina (mm <2)	Areia (mm 2,0- 0,05)	Silte (mm 0,05- 0,002)	Argila (mm <0,002)			
Símbolo	Profundidade (cm)									
A	0 – 35	-	-	1000	36	336	628	126	0,54	79,9
BA	35 – 63	-	-	1000	41	227	732	7	0,31	99,0
B1	63 – 115	-	-	1000	38	234	728	10	0,32	98,6
B2	115 – 200+	-	-	1000	37	240	724	10	0,33	98,6

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₂ g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,1	1,7	0,7	0,2	2,6	1,9	5,93	4,5	8,53	30,5	42,2	2,2	9,86	28,0
BA	4,7	0,8	0,2	0,1	1,1	1,9	5,44	3,0	6,54	16,8	63,3	2,2	5,80	16,1
B1	5,1	0,4	0,1	0,1	0,6	1,9	4,70	2,5	5,3	11,3	76	2,2	3,48	15,8
B2	4,8	0,6	0,1	0,1	0,8	1,9	5,92	2,7	6,7	12,0	70,3	2,2	2,32	28,4

PERFIL 25

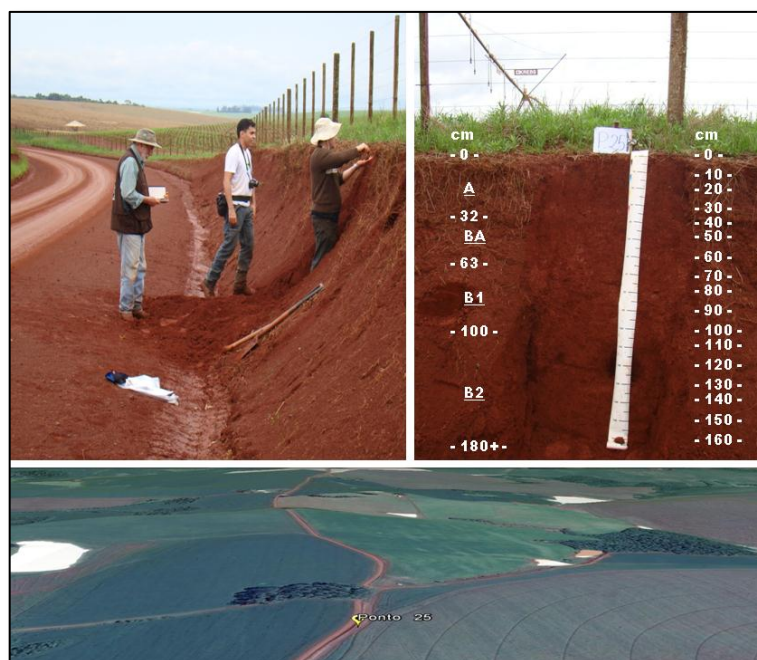


Figura 25 - Imagem do perfil 25 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°31'00"; Longitude: - 54°22'55,20" UTM: E = 756.219m, N = 6.842.766m
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 340m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual Aveia/Milho.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.

Características morfológicas

- A** 0-32 cm vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido); vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos granulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana gradual; raízes abundantes.
- BA** 32-63 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho (2,5 YR 4/6, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas.
- B1** 63-100 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho (10 R 4/6, seco), argilosa, moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.
- B2** 100-180+ cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa, raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm (>20))	Cascalho (mm (20-2))	Terra Fina (mm (<2))	Areia (mm (2,0- 0,05))	Silte (mm (0,05- 0,002))	Argila (mm (<0,002))			
Símbolo	Profundidade (cm)									
A	0 – 32	-	-	1000	70	244	686	128	0,35	81,3
BA	32 – 63	-	-	1000	35	225	740	7	0,30	99,0
B1	63 – 100	-	-	1000	33	230	737	6	0,31	99,2
B2	100 – 180+	-	-	1000	32	216	752	5	0,29	99,3

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,2	1,9	0,9	0,3	3,1	0,7	4,21	3,8	7,31	42,4	18,4	2,2	8,70	25,1
BA	4,7	0,8	0,3	0,1	1,2	1,8	6,93	3,0	8,13	14,7	60,0	2,2	6,38	24,9
B1	4,6	0,4	0,1	0,1	0,6	1,9	4,95	2,5	5,55	24,0	76,0	2,2	3,48	22,6
B2	5,3	0,5	0,1	0,1	0,7	1,8	4,45	2,5	5,15	13,6	72	3,0	2,90	18,9

PERFIL 26

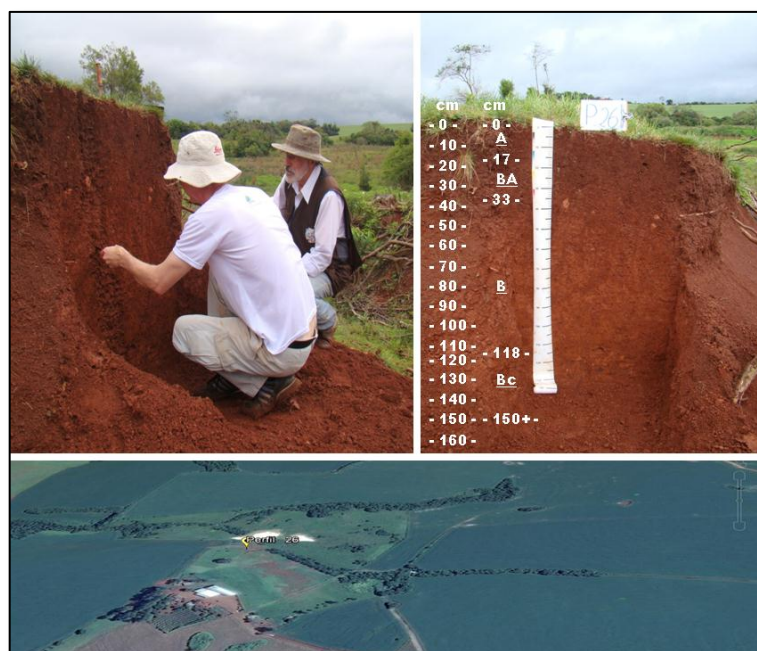


Figura 26 - Imagem do perfil 26 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura franco-argilossiltosa/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'43,95"; Longitude: - 54°25'17,00" UTM: E = 752.254m, N = 6.837.801m (Granja do Sr.Juliani)
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 292m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Vossoroca.
Vegetação:	Campo nativo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Barranco de vossoroca (19/09/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- A** 0-17 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, seco); argilosa; moderada, muito pequena e pequena, blocos subangulares e granular; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana clara; raízes abundantes.
- BA** 17-37 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); argilosa; moderada a forte, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, plástico e pegajoso; transição plana gradual; raízes abundantes.
- B** 37-118 cm; vermelho (2,5 YR 4/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); argilosa e muito argilosa; moderada a forte, pequena e média, blocos subangulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes poucas.
- Bc** 118-150+ cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); argilosa; moderada a forte, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana difusa; raízes raras.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
	Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)			
A	0 – 17	-	-	1000	183	433	384	174	1,12	54,7
BA	17 – 37	-	-	1000	88	311	602	201	0,52	66,6
B	37 – 118	-	-	1000	37	190	773	22	0,24	97,1
Bc	118 – 150+	-	-	1000	62	387	550	11	0,70	98,0

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	4,8	4,0	1,2	0,2	5,4	0,6	7,17	6,0	12,6	42,9	10	3,0	14,50	21,4
BA	5,7	4,8	1,5	0,1	6,4	0,1	5,94	6,5	12,3	52,0	1,5	2,2	9,28	19,8
B	5,3	3,0	1,3	0,1	4,4	1,0	5,19	5,4	9,6	45,8	18,5	2,2	9,28	25,1
Bc	5,0	1,6	1,5	0,1	3,2	5,4	6,18	8,6	9,4	34,0	62,8	2,2	4,64	18,6

PERFIL 27

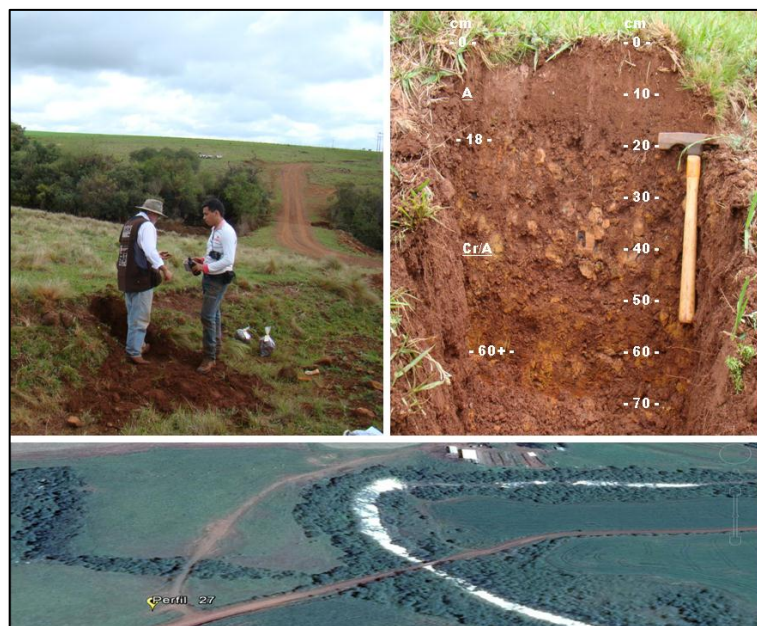


Figura 27 - Imagem do perfil 27 e pedopaisagem (NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico A moderado textura argila fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°40'14,90"; Longitude: - 54°21'13,86" UTM: E = 758.597m, N = 6.825.619m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 259m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Campo Nativo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Presente. Afloramento de rocha.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Perfil aberto em talude de corte de estrada (19/09/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

A 0-18 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/3, seco); franco argilosa; moderada, pequena, blocos angulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana abrupta; raízes abundantes.

Cr/A 18-60+ cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); argilosa; grande quantidade de cascalho e calhaus; poroso; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; raízes poucas.

Análises Físicas

Horizontes		Frações da amostra Total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)			Argila dispersa	Relação silte/argila	Grau de Floculação
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)	g kg ⁻¹	-	(%)
A	0 – 18	-	220	780	145	291	565	49	0,51	91,3
Cr/A	18 – 60+	80	230	690	73	333	594	66	0,56	88,9

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,1	2,1	0,5	0,1	2,7	1,0	7,89	3,7	10,59	25,5	27,0	2,2	12,18	21,2
Cr/A	5,1	1,2	0,1	0,1	1,4	1,9	8,15	3,3	9,55	14,6	57,6	2,2	12,76	29,5

PERFIL 28



Figura 28 - Imagem do perfil 28 e pedopaisagem (NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura argilossiltosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°40'20,45"; Longitude: - 54°28'08,00" UTM: E = 747.347m, N = 6.825.692m (Faz. Maragato)
Situação e declive:	Terço superior de encosta de coxilha. Altitude + ou - 254m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Campo Nativo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Presente.
Drenagem:	Bem drenado.

Características morfológicas

A 0-6/14 cm; buno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); argilosa; moderado, pequena e média, blocos granulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada clara; raízes abundantes.

Cr

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
Símbolo	Profundidade (cm)									
A	0 – 6/15	-	300	700	74	507	419	89	1,21	78,8
Cr	15+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₂ kg kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,5	4,6	1,6	0,5	6,7	0,0	6,63	6,7	13,3	50,4	0,0	3,0	16,82	30,8

PERFIL 29

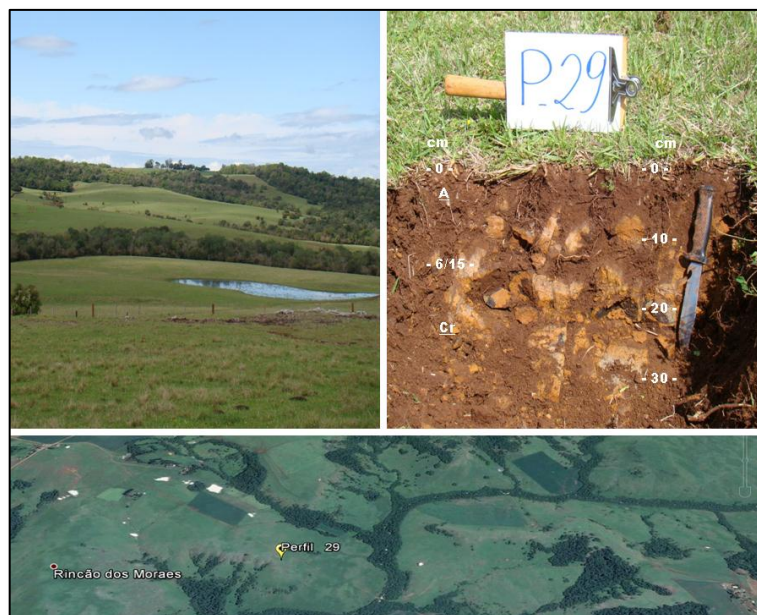


Figura 29 - Pedopaisagem e imagem do perfil 29 (NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura franco-argilossiltosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°37'18,68"; Longitude: - 54°25'52,39" UTM: E = 751.150m, N = 6.831.210m
Situação e declive:	Terço médio de encosta de coxilha. Altitude + ou - 248m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Campo Nativo.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Presente. Afloramento de rocha.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (19/09/2014) https://www.youtube.com/watch?v=R7bQP4tYV24&feature=youtu.be Fazer fração grosseira do cascalho. Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario e Pedro.

Características morfológicas

- A** 0-6/15 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, seco); argilosa; moderada, pequena e média, blocos granulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada abrupta; raízes abundantes.
- Cr** Fendas de 0,5 – 1cm com horizonte A e raízes que entram nas fendas.

Análises Físicas

Horizontes		Frações da amostra Total g kg ⁻¹			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)			Argila dispersa	Relação silte/argila	Grau de Floculação
Símbolo	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)	g kg ⁻¹	-	(%)
A	0 – 6/15	-	280	720	143	478	378	40	1,26	89,4
Cr	15+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
A	5,6	5,7	2,0	0,3	8,0	0	6,64	8,0	14,6	54,8	0,0	3,0	22,0	33,7

PERFIL 30

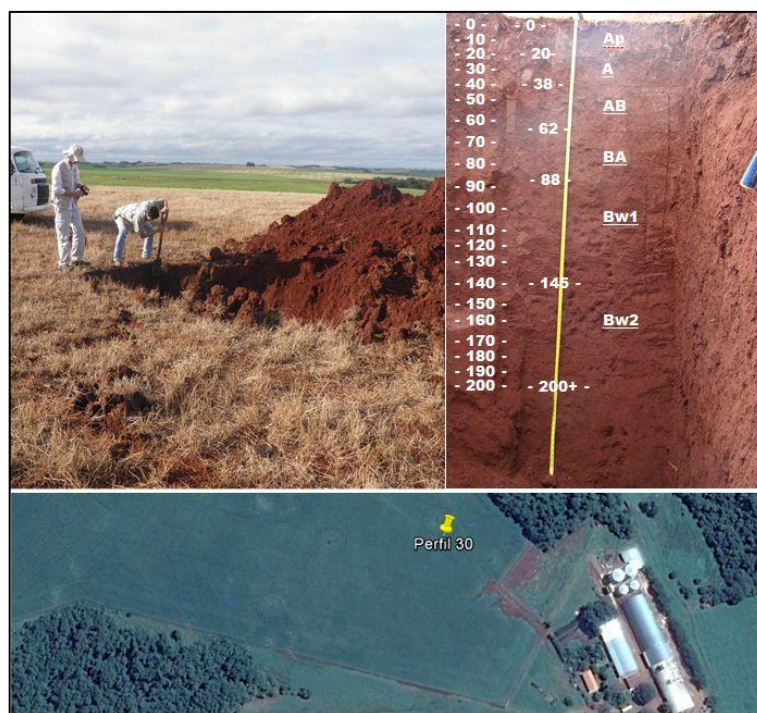


Figura 30 - Imagem do perfil 30 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°34'04,84"; Longitude: - 54°26'53,21" UTM: E = 749.625,000m, N = 6.837.214,000m
Situação e declive:	Topo de coxilha. Altitude + ou - 271m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual resteva de azevém.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochosidade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (11/12/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Jean e João Pedro.

Características morfológicas

Ap	0-20 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e grande, blocos subangulares, angulares, colunares e laminares; pouco poroso; muito firme a extremamente firme, FALTA, plástico e pegajoso; transição clara plana; raízes muitas.
A	20-38 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, média e grande, blocos angulares; poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes comuns.
AB	38-62 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes poucas.
BA	62-88 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada, média e grande, blocos angulares; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes poucas.
Bw1	88-145 cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada, média e grande, blocos angulares; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes poucas.
Bw2	145-200+ cm; vermelho-escuro (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos subangulares e granulares; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)						Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
Ap	0 – 20	-	-	1000	127	268	605	200	0,4	66,9
A	20 – 38	-	-	1000	39	283	679	2	0,4	99,7
AB	38 – 62	-	-	1000	60	299	641	40	0,5	93,7
BA	62 – 88	-	-	1000	52	154	793	11	0,2	98,6
Bw1	88 – 145	-	-	1000	47	134	820	1	0,2	100,0
Bw2	145 – 200+	-	-	1000	56	154	790	1	0,2	100,0

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
Ap	5,2	6,6	4,6	0,3	11,5	0,2	6,4	11,7	18,1	63,5	1,7	30,2	20,8	8,4
A	5,1	5,6	4,8	0,1	2,6	4,8						13,4	2,90	30,2
AB	4,6	3,2	3,4	0,1	1,2	5,9						5,7	8,70	25,9
BA	4,5	2,2	2,4	0,04	0,9	6,1						2,1	6,96	23,0
Bw1	4,3	1,9	1,3	0,03	3,2	1,0	5,5	4,2	18,7	17,1	23,8	1,8	4,64	26,3
Bw2	4,2	1,4	1,1	0,03	1,4	5,6						0,9	2,90	20,5

PERFIL 31

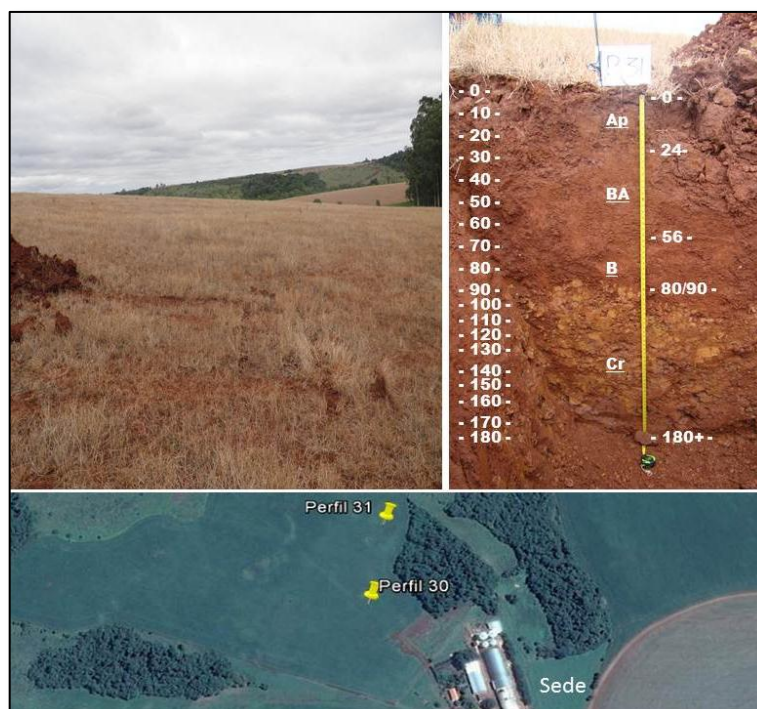


Figura 31 - Pedopaisagem e imagem do perfil 31 (LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado textura argila/ muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'59,34"; Longitude: - 54°26'52,46" UTM: E = 749.649,000m, N = 6.837.383,000m
Situação e declive:	Terço médio/inferior da coxilha. Altitude + ou - 261m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual resteva de azevém.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochividade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.

Características morfológicas

- Ap** 0-24 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e grandes (alterado pelo manejo), blocos angulares, subangulares, colunares e laminares; pouco poroso; muito firme a extremamente firme, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes comuns.
- BA** 24-56 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes poucas.
- B** 56-80/90 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos angulares; poroso; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta ondulada; raízes raras.
- Cr** 80/90-180+cm – coletado.

Análises Físicas

Horizontes	Profundidade (cm)	Frações da amostra Total g kg ⁻¹		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)			Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)	
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)				Argila (mm) (<0,002)
Ap	0 – 24	-	-	1000	157	260	583	210	0,4	-
BA	24 – 56	-	-	1000	94	212	694	167	0,3	75,9
B	56 – 80/90	-	-	1000	55	208	737	7	0,3	99,0
Cr	80/90 – 180+	-	200	800	161	234	605	-	0,4	-

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₂ g kg _{SS} ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
Ap	5,4	5,6	6,2	1,3	13,1	1,1	4,2	14,2	17,3	75,2	7,7	31,8	-	23,7
BA	5,2	4,6	6,6	0,7	11,9	0,1	4,4	12	16,3	73,0	1,0	11,2	8,7	25,6
B	4,7	2,6	4,9	0,3	7,8	0,2	5,4	8	13,2	59,1	2,5	2,5	5,8	28,7
Cr	4,5	1,7	2,3	0,1	4,1	1,0	6,6	5,1	10,7	38,3	19,6	1,8	5,2	24,6

PERFIL 32

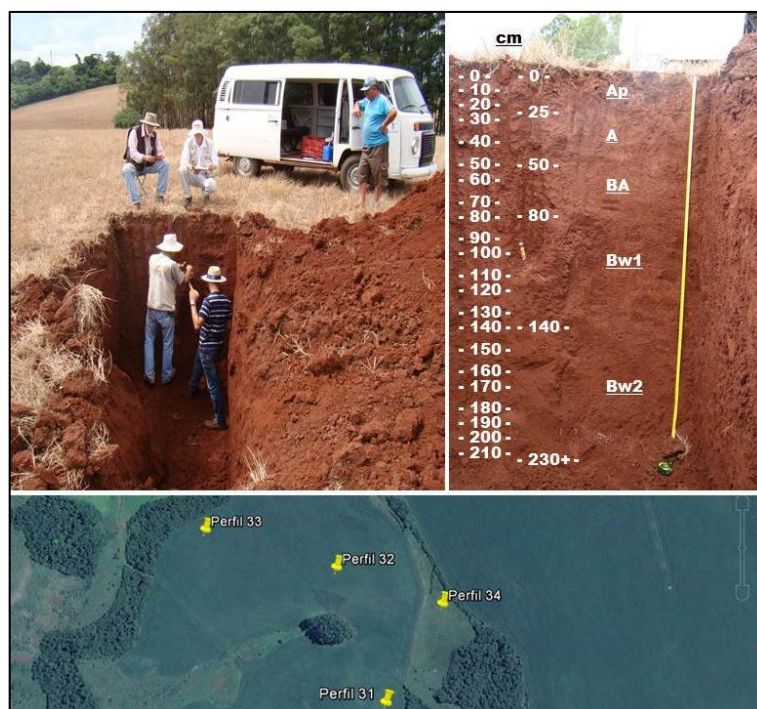


Figura 32 - Imagem do perfil 32 e pedopaisagem (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'48,71"; Longitude: - 54°26'57,24" UTM: E = 749.526,000m, N = 6.837.713,000m
Situação e declive:	Topo da coxilha. Altitude + ou - 252m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual resteva de azevém.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochividade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (11/12/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Jean e João Pedro.

Características morfológicas

- Ap** 0-25cm – bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e grande, blocos subangulares, angulares, colunares, (alterado pelo manejo) e laminares; pouco poroso; muito firme a extremamente firme, FALTA, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual; raízes muitas.
- A** 25-50 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes comuns.
- BA** 50-80 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes poucas.
- Bw1** 80-140 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.
- Bw2** 140-230+ cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada e pequena, blocos subangulares e granulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes ausentes.

Análises Físicas

Horizontes	Profundidade (cm)	Frações da amostra Total g kg ⁻¹		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)
		Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0-0,05)	Silte (mm) (0,05-0,002)	Argila (mm) (<0,002)			
Ap	0 – 25	-	-	1000	98	270	632	214	0,4	66,1
A	25 – 50	-	-	1000	57	212	732	84	0,3	88,5
BA	50 – 80	-	-	1000	47	207	746	141	0,3	81,1
Bw1	80 – 140	-	-	1000	45	179	776	2	0,2	99,7
Bw2	140 – 230+	-	-	1000	37	170	793	6	0,2	99,2

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO ₂ g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
Ap	5,3	5,5	5,8	1,1	12,4	0,9	4,2	13,3	16,6	74,6	6,7	18,0	19,1	25,4
A	5,1	2,9	3,8	0,6	7,3	1,0	3,8	8,3	11,1	65,7	12,1	22,1	10,4	15,4
BA	5,0	1,6	2,1	0,3	4	1,5	4,2	5,5	8,2	48,8	27,3	2,0	8,1	28,2
Bw1	4,5	1,6	1,2	0,1	2,9	2,7	3,1	5,6	6	48,3	48,2	1,5	5,2	38,1
Bw2	4,4	1,2	1,3	0,1	2,6	2,4	3,3	5	5,9	44,1	48,0	1,0	2,9	14,7

PERFIL 33

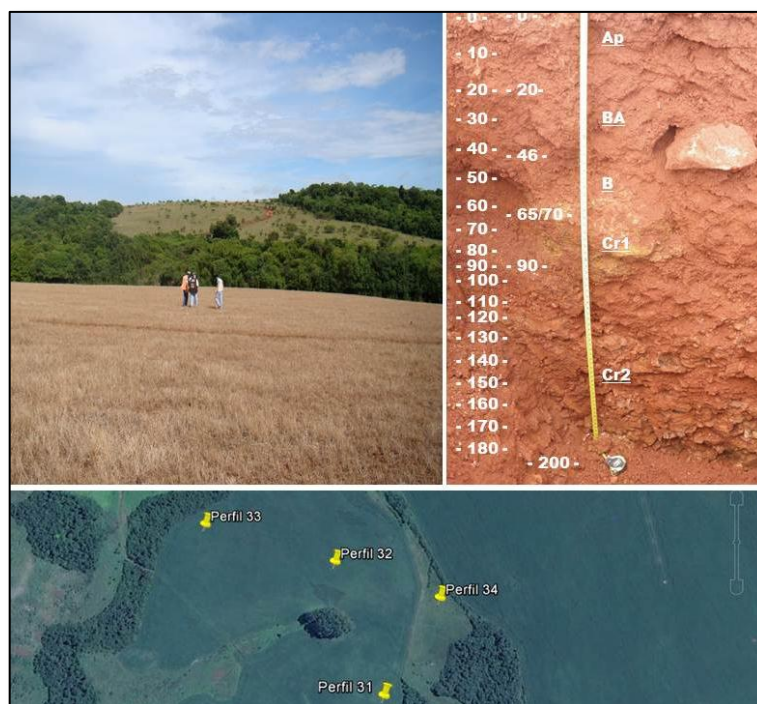


Figura 33 - Pedopaisagem e imagem do perfil 33 (LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico cambissólico).

Descrição geral	
Classificação:	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico cambissólico A moderado textura argila/muito argilosa fase relevo suave ondulado.
Localização:	Latitude: - 28°33'45,65"; Longitude: - 54°27'09,27" UTM: E = 749.201,000m, N = 6.837.814,000m
Situação e declive:	Terço inferior da coxilha. Altitude + ou - 239m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Laminar superior.
Vegetação:	Uso atual resteva de azevém.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochividade:	Ausente.
Drenagem:	Bem drenado.
Observações:	Trincheira (11/12/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Jean e João Pedro.

Características morfológicas

- Ap** 0-20 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada e grande (alterado pelo manejo), blocos angulares, subangulares, colunares e laminares; pouco poroso; muito firme a extremamente firme, plástico e pegajoso; transição gradual; raízes comuns.
- BA** 20-46 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes poucas.
- B** 46-65/70 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e granulares; poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta ondulada; raízes raras.
- Cr1** 65/70-90cm – “Pedra cupim”
- Cr2** 90-200cm – Coletado.

Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)	
	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)	Argila (mm) (<0,002)				
Símbolo	Profundidade (cm)									
Ap	0 – 20	-	-	1000	126	293	581	183	0,5	68,5
BA	20 – 46	-	-	1000	82	245	673	77	0,4	88,9
B	46 – 65/70	-	-	1000	50	224	726	42	0,3	94,2
Cr1	65/70 – 90	-	100	900	71	190	739	16	0,3	97,8
Cr2	90 – 200	-	160	840	112	218	670	7	0,3	98,5

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
Ap	5,2	4,7	5,0	0,3	10	0,8	4,5	10,8	14,5	68,9	7,4	22,1	19,7	24,1
BA	5,0	4,2	4,6	0,1	8,9	1,6	3,0	10,5	11,9	74,8	15,2	20,1	9,3	33,1
B	4,9	3,6	2,9	0,04	6,54	1,7	5,2	8,24	11,74	55,7	20,6	5,0	12,2	27,6
Cr1	4,5	2,7	2,8	0,05	5,55	1,5	5,4	7,05	10,95	50,7	21,3	0,8	7,5	27,0
Cr2	4,2	1,6	1,8	0,05	3,45	3,2	5,5	6,65	8,95	38,5	48,1	0,7	4,0	21,0

PERFIL 34

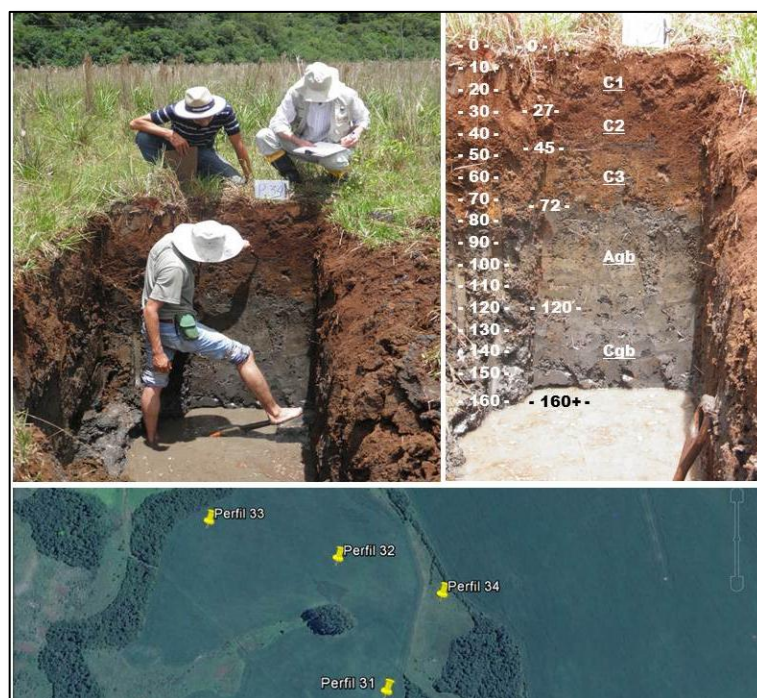


Figura 34 - Imagem do perfil 34 e pedopaisagem (GLEISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico vertissólico).

Descrição geral	
Classificação:	GLEISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico vertissólico A moderado textura argila/argilossiltosa fase relevo plano.
Localização:	Latitude: - 28°33'51,39"; Longitude: - 54°26'47,90" UTM: E = 749.778,000m, N = 6.837.625,000m
Situação e declive:	Na várzea (banhado). Altitude + ou - 261m.
Litologia e Formação Geológica:	Grupo São Bento, Formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretácio, era Mesozóico.
Material originário:	Constituída por derrames de lavas basálticas.
Relevo local:	Suave ondulado.
Relevo regional:	Ondulado e suave ondulado.
Erosão:	Nula.
Vegetação:	Banhado - APP.
Clima:	"Cfa 2".
Pedregosidade e rochiosidade:	Ausente.
Drenagem:	Mal drenado.
Observações:	Trincheira (11/12/2014) Descrito e coletado por: Dalmolin; Flores; Mario; Jean e João Pedro.

Características morfológicas

- C1** 0-27 cm; vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2, úmido), (5 YR 3/3, seco); muito argilosa; maciça que se desfaz em blocos médios a grandes (material misturado); poroso; firme, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa; raízes abundantes.
- C2** 27-45 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca e pequena blocos subangulares; poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; raízes difusas; raízes muitas.
- C3** 45-72 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca e pequena, blocos subangulares; poroso; firme, friável, plástico e pegajoso; transição abrupta; raízes poucas.
- Agb** 72-120 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); muito argilosa; moderada a forte, pequena e média, blocos subangulares; pouco poroso; macio, muito plástico e pegajoso; transição gradual; raízes raras.
- Cgb** 120-160+ cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, seco); argilosa; moderada, média e grande, macia que se desfaz em prismática; pouco poroso; macio, plástico e pegajoso; raízes raras.

Obs.: Presença de *slickensides* no horizonte Cgb.

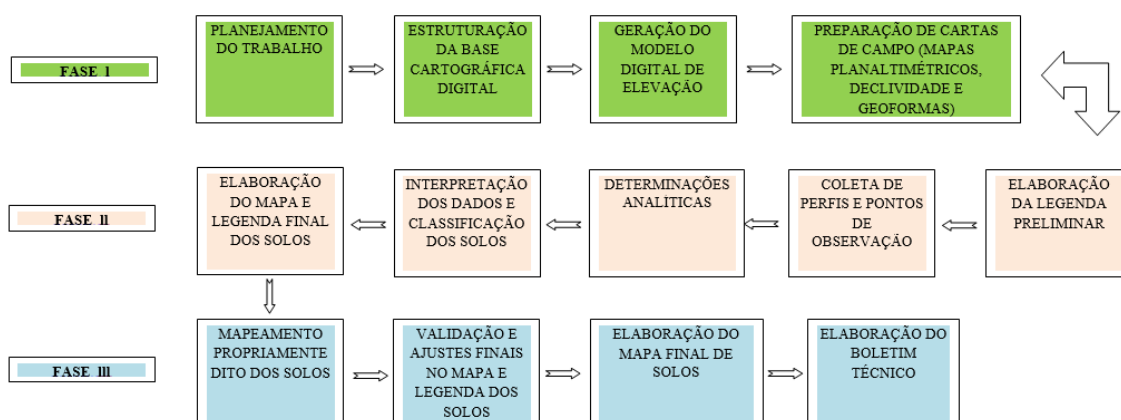
Análises Físicas

Horizontes	Frações da amostra Total g kg ⁻¹		Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH)				Argila dispersa g kg ⁻¹	Relação silte/argila	Grau de Floculação (%)	
	Profundidade (cm)	Calhaus (mm) (>20)	Cascalho (mm) (20-2)	Terra Fina (mm) (<2)	Areia (mm) (2,0- 0,05)	Silte (mm) (0,05- 0,002)				Argila (mm) (<0,002)
C1	0 – 27	-	-	1000	220	409	370	155	1,1	58,1
C2	27 – 45	-	-	1000	177	389	433	158	0,9	63,5
C3	45 – 72	-	-	1000	244	349	407	236	0,9	42,0
Agb	72 – 120	-	-	1000	67	516	417	174	1,2	58,3
Cgb	120 – 160+	-	-	1000	48	507	445	98	1,1	

Análises Químicas

Horizontes	pH (1:1)	Complexo Sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Valor m	P Assimilável	CO g kg ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %
		H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	CTC Efetiva	CTC pH ₇	%			
C1	5,0	9,7	8,2	0,1	18	0,03	6,31	18,0	24,3	74,1	0,16	5,0	20,3	18,9
C2	4,9	7,2	6,7	0,1	14	0,4	6,57	14,4	20,6	68,0	2,7	3,0	19,7	23,5
C3	4,9	13,5	5,0	0,1	18,6	0,3	5,22	18,9	23,8	78,1	1,6	2,5	8,1	25,7
Agb	4,8	11,9	6,6	0,1	18,6	0,03	4,79	18,6	23,4	79,5	0,16	15,0	8,7	19,1
Cgb	4,8	19,3	8,8	0,2	28,3	0,4	5,45	28,7	33,7	84,0	1,4	32,1	8,7	26,2

ANEXO B – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO E CUSTO DO LEVANTAMENTO SEMIDETALHADO DE SOLOS DA CARTA CARAJAZINHO – ESCALA 1:50.000



EQUIPE TÉCNICA – SERVIÇO DE CAMPO: HOMEM-HORA				
Descrição do Item	Qty	Und	Custo Und (R\$)	Custo Total (R\$)
Pedólogo sênior [(8 h/dia x 24,27) x 35 dias]	280	H/H	41,26	11.552,80
Pedólogo médio [(8 h/dia x 18,40) x 35 dias]	280	H/H	24,27	6.795,60
Pedólogo júnior [(8 h/dia x 13,11) x 35 dias]	280	H/H	13,11	3.670,80
Técnico em geoprocessamento [(8 h/dia x 13,11) x 35 dias]	280	H/H	24,27	6.795,60
Auxiliar para os trabalhos de campo [(8 h/dia x 5,80) x 35 dias]	280	H/H	7,65	2.142,00
Motorista [(8 h/dia x 6,25) x 35 dias]	280	H/H	8,25	2.310,00
ITEM EQUIPE TÉCNICA (TOTAL):				33.266,80

EQUIPE TÉCNICA – SERVIÇO DE ESCRITÓRIO: HOMEM-HORA				
Descrição do Item	Qty	Und	Custo Und (R\$)	Custo Total (R\$)
Pré-processamento dos dados [(8 h/dia x 24,27) x 30 dias]	240	H/H	24,27	5.824,80
Elaboração de plantas (MDE – mapa de declividade e mapa de classes de geofomas) [(8 h/dia x 13,11) x 10 dias]	80	H/H	13,11	1.048,80
Elaboração e editoração do mapa de solos (Pedólogo e Técnico em geoprocessamento) [(8 h/dia x 13,11) x 10 dias] [(8 h/dia x 24,27) x 10 dias]	80 80	H/H	13,11 24,27	2.990,40
Elaboração do boletim técnico (relatório)	240	H/H	24,27	5.824,80
ITEM SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO (TOTAL):				15.688,80

TRANSPORTE						
Descrição do Item	Qtd (Item)	Und (Item)	Qtd	Und	Custo Und (R\$)	Custo Total (R\$)
Deslocamento na área da carta para elaboração da legenda preliminar . Uma campanha de 5 dias (150 km/dia x 5 = 750 km) 750 km/10 = 75 lts.	750	km	75	lts	3,89	291,75
Deslocamento na área da carta para coleta de perfis de solos. Duas campanhas de 5 dias (100 km/dia x 5 = 500 km) 500 km x 2 = 1000/10 = 100 lts	1000	km	100	lts	3,89	389,00
Deslocamento na área da carta para mapeamento de solos . Duas campanhas de 5 dias (100 km/dia x 5 = 500 km) 500 km x 2 = 1000/10 = 100 lts	1000	km	100	lts	3,89	389,00
Deslocamento na área da carta para validação em campo . Duas campanhas de 5 dias (100 km/dia x 5 = 500 km) 500 km x 2 = 1000/10 = 100 lts	1000	km	100	lts	3,89	389,00
Deslocamento dos técnicos de Pelotas e Santa Maria para São Miguel das Missões (ida e volta) 1.120 km – 5 viagens – 5.600 km (5.600 km/10 km/lts = 560 lts)	5.600	km	560	lts	3,89	2.178,40
Deslocamento dos técnicos de Cerro Largo para São Miguel das Missões (ida e volta) 80 km – 5 viagens – 400 km (400 km/10 km/lts = 40 lts)	400	km	40	lts	3,89	155,60
ITEM TRANSPORTE (TOTAL):						3.792,75

ANÁLISES DE LABORATÓRIO					
Descrição do Item	Qtd	Und	Custo Und (R\$)	Custo Total (R\$)	
Análises físicas e químicas (classificação taxonômica)	12	-	700,00	8.400,00	
ITEM ANÁLISES DE LABORATÓRIO (TOTAL):					8.400,00

SERVIÇOS DE TERCEIROS				
Descrição do Item	Qtd	Und	Custo Und (R\$)	Custo Total (R\$)
Serviço de retroescavadeira com operador e combustível [(8 h/dia x 120,00) x 2 dias]	16	H/M	120,00	1.920,00
Impressão do boletim técnico no formato A4	2000	cópias	1,50	3.000,00
Planta formato A1 (Vetorial P&B)	10	cópias	10,00	100,00
Planta formato A1 (Vetorial Color)	10	cópias	13,00	130,00
Planta formato A1 (Matricial)	10	cópias	25,00	250,00
ITEM SERVIÇOS DE TERCEIROS (TOTAL):				5.400,00

HOSPEDAGEM E ALIMENTAÇÃO						
Descrição do Item	Qtd (Item)	Und (Item)	Qtd	Und	Custo Und R\$	Custo Total R\$
Hospedagem	4	Pessoas	140	Diária	70,00	9.800,00
Alimentação	8	Refeições	280	--	25,00	7.000,00
ITEM HOSPEDAGEM E ALIMENTAÇÃO (TOTAL):						16.800,00

QUADRO RESUMO		
Item	VALOR R\$	PERCENTUAL %
Homem-hora	48.955,60	58,74
Análises de laboratório	8.400,00	10,08
Transporte	3.792,75	4,55
Hospedagem/Alimentação	16.800,00	20,15
Serviço de terceiros	5.400,00	6,48
TOTAL:	83.348,35	100,00

*custo de R\$ 1,23/ha