

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA -
MESTRADO**

PATRICIA ANTONIO DE OLIVEIRA

**RELAÇÃO SOLO-RELEVO ASSISTIDA POR ÁRVORE DE
DECISÃO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

PATRICIA ANTONIO DE OLIVEIRA

RELAÇÃO SOLO-RELEVO ASSISTIDA POR ÁRVORE DE DECISÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de M.C. Rondon como condição obrigatória para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Ericson Hideki Hayakawa

Co-orientadora: Profa. Dra. Márcia Regina Calegari

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Oliveira, Patricia Antonio de
Relação solo-relevo assistida por árvore de decisão /
Patricia Antonio de Oliveira; orientador(a), Ericson
Hideki Hayakawa; coorientador(a), Márcia Regina
Calegari, 2019.
128 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste
do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, Centro de
Ciências Humanas, Educação e Letras, Programa de Pós-
Graduação em Geografia, 2019.

1. Mapeamento. 2. Solos. 3. Sistemas de Informação
Geográfica. 4. Pedometria. I. Hayakawa, Ericson Hideki .
II. Calegari, Márcia Regina . III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE PATRICIA ANTONIO DE OLIVEIRA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Ao(s) 19 dia(s) do mês de março de 2019 às 14h00min, no(a) Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon, realizou-se a sessão pública da Defesa de Dissertação do(a) candidato(a) Patricia Antonio de Oliveira, aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia - nível de Mestrado, na área de concentração em Espaço de Fronteira: Território e Ambiente. A comissão examinadora da Defesa Pública foi aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Integraram a referida Comissão os(as) Professores(as) Doutores(as): Alessandro Samuel Rosa, Vanda Moreira Martins, Ericson Hideki Hayakawa. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Ericson Hideki Hayakawa, orientador(a) do(a) candidato(a). Tendo satisfeito todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor, o(a) candidato(a) foi admitido(a) à Defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, intitulada: "Relação solo-relevo assistida por árvore de decisão". O(a) Senhor(a) Presidente declarou abertos os trabalhos, e em seguida, convidou o(a) candidato(a) a discorrer, em linhas gerais, sobre o conteúdo da Dissertação. Feita a explanação, o(a) candidato(a) foi arguido(a) sucessivamente, pelos(as) professores(as) doutores(as): Alessandro Samuel Rosa, Vanda Moreira Martins. Findas as arguições, o(a) Senhor(a) Presidente suspendeu os trabalhos da sessão pública, a fim de que, em sessão secreta, a Comissão expressasse o seu julgamento sobre a Dissertação. Efetuado o julgamento, o(a) candidato(a) foi aprovado(a). A seguir, o(a) Senhor(a) Presidente reabriu os trabalhos da sessão pública e deu conhecimento do resultado. E, para constar, o(a) Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - Campus de Marechal Cândido Rondon, lavra a presente ata, e assina juntamente com os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a).

Orientador(a) - Ericson Hideki Hayakawa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Alessandro Samuel Rosa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR - Campus de Santa Helena (UTFPR)



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE PATRICIA ANTONIO DE OLIVEIRA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Vanda Moreira Martins

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Patricia Antonio de Oliveira

Candidato(a)

Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia

AGRADECIMENTOS

A Deus por tornar tudo possível.

Aos meus orientadores Ericson Hideki Hayakawa e Márcia Regina Calegari por toda a dedicação, paciência, pela prontidão em atender todas as minhas dúvidas em todas as horas. Pelos conhecimentos repassados e pela amizade.

A Fundação Araucária pela concessão da bolsa de mestrado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Itaipu Binacional (ODRA-CD) pelo suporte técnico para realização dos trabalhos de campo e empréstimo de equipamento para levantamento topográfico e por nos ceder os dados dos voos de VANT.

Ao Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada FUNDAÇÃO/SETI-PR/SENAR-PR, que por meio da Chamada Projetos 01/2017 (projeto protocolizado sob o nº 48.374) forneceu suporte financeiro e técnico para realização dessa pesquisa.

A Direção do Campus de Marechal Cândido Rondon, da UNIOESTE, pela disponibilidade de veículo, imprescindível para realização dos trabalhos de campo e pela infraestrutura física e de recursos humanos oferecidos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Nível mestrado pelo suporte acadêmico e pela prontidão da assistente Anilise Dahmer Dvojatzke.

Ao IAPAR de Santa Tereza do Oeste e de Londrina pelo suporte técnico e pela realização das análises físicas e químicas do solo.

Ao professor Jean Minella (UFSM) e professora Vanda M. Martins (UNIOESTE/MCR) e Alessandro S. Rosa (UTFPR- Santa Helena) pelas sugestões, correções e contribuição na banca de exame de qualificação desta dissertação.

Aos membros do grupo de estudos GEDATE pela amizade, pelos momentos de descontração, em especial, Anderson Habeck, Geovane Calixto, Andrews Raber, Bruno Silva, Edson Luiz Z. da Luz, Hudson Carlos Lissoni Leonardo e Eucisley David Almeida pela ajuda nos trabalhos de campo.

Ao professor Alessandro Samuel Rosa por toda a disposição e ajuda com os modelos de Pedometria.

A Erica de Souza pela amizade doce e pelos momentos de descontração.

Ao meu companheiro Guilherme por sempre me apoiar e me suportar durante toda
minha formação acadêmica.

A minha família pela ajuda incondicional e compreensão.

A todos aqueles que de alguma forma participaram e contribuíram para esta etapa de
minha formação.

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

(Marcel Proust)

RESUMO

A aplicação de técnicas relacionadas a mineração de dados tem permitido obter um prognóstico da distribuição dos tipos de solos e de seus atributos na paisagem. Um dos métodos utilizados no tratamento de um conjunto de dados morfopedológicos refere-se à Árvore de Decisão (AD). Este método apresenta-se como uma possibilidade de reconhecer as relações solo-paisagem de maneira explícita similar aos mapeamentos convencionais, como aqueles relacionados a estudos em topossequência. A similaridade ocorre devido o agrupamento por AD ser feito pela busca por padrões, o que possibilita o entendimento de como a verdade de campo e as variáveis ambientais são inter-relacionadas. Neste contexto, o objetivo principal desta pesquisa consiste em verificar se a utilização de atributos morfométricos como variáveis preditoras/independentes em mineração de dados baseada em AD permite compreender a relação entre a distribuição das classes de solos e as formas de relevo em uma bacia de primeira ordem no município de Toledo-PR. Para o estudo, foram utilizadas como variável dependente 83 pontos de amostragens de classes de solos dispostas ao longo de nove topossequências, e como variáveis ambientais preditoras o tipo de uso e atributos morfométricos do terreno, a saber: elevação, declividade, perfil e plano de curvatura, comprimento de rampa (fator LS), Índice Topográfico de Umidade (ITU) e Índice de Máximo Fluxo (IMF). A espacialização dos tipos de solos por AD mostrou-se condizente com as características geomórficas na área do estudo, com valor de acurácia da predição em 80,9 de pureza em relação as amostras conhecidas. O resultado evidencia o potencial da Árvore de Decisão em associar o tipo de solos com as características do relevo, e das variáveis morfométricas no prognóstico da distribuição dos solos na paisagem. Os atributos do terreno que melhor explicaram a distribuição das classes de solos na área foram a elevação, a declividade e o IMF. Esses atributos definem os segmentos da vertente e as áreas potenciais ao escoamento superficial e subsuperficial, o que, por conseguinte, interfere na hidrologia da encosta e no grau de atuação dos processos pedogenéticos que definem os tipos de solo.

Palavras-chave: Variáveis morfométricas, Topossequência, bacia hidrográfica do Paraná 3, Toledo - PR.

RESUMEN

La aplicación de técnicas relacionadas con la minería de datos ha generado una predicción de la distribución de los tipos de suelo y sus atributos en el paisaje. Uno de los métodos comúnmente utilizados en el tratamiento de un conjunto de datos morfopedológicos se refiere a árboles de decisión (AD). Este método presenta la posibilidad de reconocer explícitamente las relaciones suelo-paisaje similares a los mapeos convencionales, cómo los relacionados con los estudios de secuencia posterior. La similitud ocurre porque la agrupación por AD se realiza mediante la búsqueda de patrones, lo que permite comprender cómo se relacionan la verdad del campo y las variables ambientales. En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es verificar si el uso de atributos morfométricos cómo variables predictoras independientes en la minería de datos basada en AD nos permite comprender la relación entre la distribución de la clase de suelo y los accidentes geográficos en una cuenca de primer orden en el municipio de Toledo-PR. Para este estudio, fueron utilizadas cómo variable dependiente 83 muestras de clases de suelos dispuestas a lo largo de nueve toposecuencias, y cómo variables ambientales predictivas el tipo de uso y atributos morfométricos del terreno, siendo ellos: Elevación, Declividad, Perfil y Plano Curvatura, Factor LS, índice topográfico de humedad (ITU) e índice de flujo máximo (IMF). La distribución espacial de los tipos de suelos por AD se mostró consonante a las características físicas en el área del estudio. Ejemplo de ello es el alto valor de exactitud de la predicción, con 80,9 de acerto en relación a las muestras conocidas. Este valor evidencia el potencial de las variables morfométricas en las predicciones de la distribución del suelo en el paisaje. Los atributos del terreno que mejor expusieron la distribución de las clases de suelos en el área son la elevación, la declividad y el IMF. Esto ocurre debido a que estos atributos definen los segmentos de la vertiente y las áreas potenciales al flujo superficial y subsuperficial, lo que por lo tanto interfiere en la hidrología de la ladera y en el grado de actuación de los procesos de formación de suelos.

Palabras-clave: Variables morfométricas, Toposecuencia, Cuenca del río Paraná 3, Toledo - PR.

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1. Nove unidades hipotéticas do modelo de segmento de vertentes de Dalrymple et al. (1968).....	26
Figura 2. Método de implantação das tradagens em um estudo de segmento de transeção.	28
Figura 3. Localização da área do estudo.	43
Figura 4. Mapa hipsométrico (A) e mapa de Declividade (B).	44
Figura 5. Mapa da Geologia da região onde se insere a área do estudo.	45
Figura 6. Momentos de uso e ocupação do solo da área do estudo.	48
Figura 7. Fluxograma das etapas do trabalho.	49
Figura 8. Localização das topossequências na área da bacia.	56
Figura 9. Representação temática do Uso e cobertura da terra (A), hipsometria (B), curvas de nível (C) e declividade (D).	59
Figura 10. Perfil e Plano de Curvatura e porcentagem de área correspondente.	62
Figura 11. Espacialização de ITU, IMF e Fator-LS e porcentagem de área correspondente.	65
Figura 12. IMF e áreas de maior erosão.....	67
Figura 13. Representação esquemática da segmentação das vertentes da microbacia. ..	69
Figura 14. Pontos amostras por trincheira e/ou tradagem.	70
Figura 15. Árvore de Decisão.....	71
Figura 16. Distribuição das classes de solos por AD.....	72
Figura 17. Representação bidimensional do sistema pedológico em vertentes longas... 79	
Figura 18. Representação bidimensional do sistema pedológico em vertentes curtas. ..	80
Figura 19: Representação bidimensional dos sistemas pedológicos na T4.....	82
Figura 20: Representação bidimensional dos sistemas pedológicos na T8.....	84
Figura 21. Compactação dos solos encontrada em todos os pontos.	85
Figura 22. Distribuição dos solos por AD e a distribuição nas vertentes curtas.	88
Figura 23. Distribuição dos solos por AD e a distribuição nas vertentes longas.	90

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1. Porcentagem de área de uso e declividade.	58
Gráfico 2. Porcentagem de área das formas do terreno segundo as curvaturas.	63
Gráfico 3. Pontos de amostras por classe.	70
Gráfico 4. Porcentagem de área por classe.....	73
Gráfico 5. Importância das variáveis preditoras na AD.	75

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1. Principais atributos topográficos primários e sua aplicação	32
Tabela 2: Classes de declividade e suas respectivas denominações qualitativas	51

LISTA DE SIGLAS

AD - Árvore de Decisão
AECp - Análise Estrutural da Cobertura Pedológica
BP3 - Bacia Hidrográfica do Paraná 3
CARET - Classification And Regression Training
C-Cv - Côncavo-Convergente
Cfa - Clima Subtropical Úmido
CTC - Capacidade de Troca de Cátions
D-Cx - Convexa-Divergente
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS - Equação Universal de Perdas de Solos
FES - Floresta Estacional Semidecidual
GNSS - Sistema de Posicionamento Global por Satélite
IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMF - Índice de Máximo Fluxo
ITU - Índice Topográfico de Umidade
LOOCV - Leave One Out Cross Validation
MDE - Modelo Digital de Elevação
MDS - Mapeamento Digital de Solos
PRONASOLOS - Programa Nacional de Solos do Brasil
Rede MDS - Rede Brasileira de Pesquisa em Mapeamento Digital de Solos
RGB - Bandas espectrais Red, Green e Blue
RLM - Regressões Logísticas Múltipla
RLMM - Regressões Logísticas Múltiplas Multinomiais
RNA - Rede Neural Artificial
RPA – Aeronave Remotamente Pilotada
RPART - Recursive Partitioning and Regression Trees
RTK - Real-time Kinematic
SENAR-PR - Nacional de Aprendizagem Rural do Estado do Paraná
SETI - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná
Serviço
SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG - Sistemas de Informação Geográfica
SR - Sensoriamento Remoto
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

APÊNDICE

Apêndice 1. Descrição Geral dos Perfis de Solos.....	105
Apêndice 2. Atributos físicos e químicos dos solos na T8.....	123

ANEXOS

Anexo 1. Plano de voo seguido pela Itaipu Binacional.....	125
Anexo 2. Atributos físicos e químicos dos solos na T4.....	126

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.1 A GEOGRAFIA DOS SOLOS	17
1.1.1 Formação dos solos.....	17
1.2 LEVANTAMENTO DE SOLOS	20
1.2.1 Relação solo-relevo.....	23
1.2.2 Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECp) na relação solo-relevo.....	27
1.2.3 Relação solo-relevo e variáveis geomorfológicas	30
1.2.4 Árvores de Decisão e variáveis morfológicas na relação solo-relevo	35
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	42
2.1.1 LOCALIZAÇÃO	42
2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	42
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	49
3.1 VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS E ÁRVORE DE DECISÃO.....	50
3.1.1 Atributos Topográficos Primários	51
3.1.2 Atributos Topográficos Secundários	52
3.1.3 Construção da Árvore de Decisão (AD)	53
3.2 RECONHECIMENTO DOS SISTEMAS MORFOPEDOLÓGICOS: DADOS EMPÍRICOS E CONJUNTO AMOSTRAL.....	54
3.2.1 Métodos de análise do solo	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS.....	58
4.1.1 Produtos Primários.....	58
4.1.2 Produtos Secundários:.....	63
4.2 CONJUNTO AMOSTRAL E DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DOS SOLOS POR ÁRVORE DE DECISÃO	68
4.3 SISTEMAS PEDOLÓGICOS REPRESENTATIVOS DA ÁREA: DADOS EMPÍRICOS	78
4.4 DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS POR AD E A DISTRIBUIÇÃO NAS VERTENTES.....	87
6. REFERÊNCIAS.....	94

INTRODUÇÃO

O solo constitui um recurso que serve de substrato para diversos serviços ecossistêmicos e desempenha papéis básicos para o meio ambiente e para a sociedade (FAO, 2015). Mesmo diante de sua conhecida importância e fragilidade, observa-se que o atual sistema de exploração agrícola, em muitos casos, tem contribuído para aceleração dos processos de degradação do solo e suas propriedades físico-químicas, promovendo a sua deterioração, à redução de produtividade, a sua contaminação e dos corpos d'água, dentre outros impactos. Tais processos estão relacionados a práticas inadequadas de manejo e conservação do solo, como, monocultura, utilização intensa de implementos agrícolas e insumos químicos e na ausência de práticas conservacionistas vegetativas (adubação verde, rotação de cultura e etc.) (HERNANI & SALTON, 1998).

No Estado do Paraná, atualmente há uma série de problemáticas concernentes ao solo. O estado que se destacava nas décadas de 1980 e 1990 como referência nas práticas de Manejo e Conservação de Solos, atualmente sofre com processos de erosão e outros tipos de degradação do solo. Embora pioneiro na implementação do Sistema de Plantio Direto na década de 1970, o Estado do Paraná gradativamente mudou sua configuração de práticas conservacionistas como plantio direto, terraceamento, cultivo em nível, rotação de culturas, dentre outras (SBCS – NEPAR, 2017) e atualmente, convive com processos erosivos no ambiente rural e urbano. Neste contexto, no início de 2017 foi lançada uma chamada pública para subsidiar o desenvolvimento de pesquisa aplicada sobre os problemas erosivos no Estado (Chamada Pública 01/2017 Programa da Rede Paranaense de apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada – Fundação Araucária/ SETI-PR, SENAR-PR).

A Chamada Pública 01/2017 é resultado de uma parceria entre a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) como Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná (SETI) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Estado do Paraná (Senar-PR). De modo geral, os objetivos da chamada vão de encontro aos problemas concernentes ao manejo e conservação dos solos no Estado do Paraná. Trata-se de uma chamada cujos projetos selecionados estão ligados ao eixo temático principal que é o de quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo em sete mesorregiões do Paraná, a partir do monitoramento de parcelas implantadas em áreas pilotos de cada mesorregião. A pesquisa

de mestrado em tela¹ faz parte do projeto da Mesorregional 6 que foi aprovado na Chamada Pública, cujos resultados apresentados nesta dissertação, juntamente com os resultados dos demais projetos vinculados a chamada 01/2017 poderão auxiliar o Programa Integrado de Conservação do Solo e Água do Paraná por meio da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, dentre outros propósitos.

Diante do exposto, considera-se que o conhecimento de como as classes de solo e seus respectivos atributos estão distribuídos na paisagem são fundamentais para amparar ações que envolvam uso e manejo adequado para diversos fins. Ações de manejo e conservação do solo sem o devido conhecimento dos seus atributos, bem como do tipo de solo presente na área podem conduzir a decisões equivocadas, com implicações negativas no futuro em âmbito ambiental, social e econômico. Neste contexto, tem-se o esforço contínuo para se conhecer os tipos, os atributos, a espacialização e demais aspectos dos solos com maior rapidez e precisão. Apesar dos avanços nos últimos anos, o território nacional ainda carece de conhecimento e espacialização pedológica com representações nas mais variadas escalas, principalmente em escala de detalhe.

Na mesorregião oeste do Paraná, que abarca a denominada Bacia Hidrográfica do Paraná 3 (BP3), os diversos estudos (tradicionais) de cunho pedológico na área têm retratado as características peculiares da região em relação a sua distribuição na paisagem (ROCHA et al., 2012; CALEGARI & MARCOLIN, 2014; MARTINS et al., 2015; SILVA, 2017). Dentre os diferentes agentes que influenciam a formação e arranjo do solo na paisagem, o relevo tem assumido posição de destaque como agente definidor da distribuição dos solos nessa região. Observa-se uma relação direta entre a configuração do relevo e as classes de solo, o que permite recorrer às discussões amparadas no conhecimento das relações solo-relevo nos estudos de levantamentos ou conhecimentos do solo (BUI et al., 1999; VIDAL-TORRADO et al., 2005; CALEGARI & MARCOLIN, 2014, SILVA, 2017). A partir de observações em campo e pautando-se na relação solo-relevo, considerando atributos topográficos como por exemplo, a forma da vertente, a declividade e o comprimento de rampa, tem sido possível inferir não só sobre a classe de

¹ Esta pesquisa está vinculada ao projeto da Mesorregional 6 – "Monitoramento Hidrossedimentológico em Bacia de Primeira Ordem no Oeste do Paraná" (Chamada Pública 01/2017 Programa da Rede Paranaense de apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada – Fundação Araucária/ SETI-PR, SENAR-PR). Os estudos que fazem parte da Mesorregional 6 refletem a preocupação com os desdobramentos causados por processos erosivos desordenados na região oeste do Paraná e visam reconhecer o potencial erosivo dos solos, de modo a auxiliar nas decisões sobre as práticas de manejo e conservação que vêm sendo adotadas no oeste paranaense.

solo e suas propriedades e características, mas também sobre os processos pedogenético e morfogenéticos predominantes na região (ROCHA, 2016; SILVA, 2017).

Por outro lado, o aprimoramento de recursos computacionais e os avanços das geotecnologias nos últimos anos, têm oportunizado evoluir no conhecimento pedológico (TEN CATEN et al., 2012ab; DEMATTÊ et al., 2014). A aplicação de técnicas relacionadas ao Mapeamento Digital de Solos (MDS), principalmente a partir dos anos de 1980, como por exemplo, a utilização de variáveis morfométricas e a mineração de dados ampliaram as formas de predição dos tipos de solos e de seus atributos em áreas não amostradas (CUNHA, 2013; COSTA, 2016).

Dentre as diferentes abordagens metodológicas para a predição dos tipos de solos e de seus atributos, citam-se por exemplo, a utilização de modelos geoestatísticos, como Redes Neurais Artificiais (RNA), Árvore de Decisão (AD), Regressão Linear Múltipla, Regressão Logística Múltipla (RLM) e Lógica *Fuzzy* (TEN CATEN et al. 2011; TEN CATEN et al., 2012ab; LIMA, 2013; SOARES, 2015), baseando-se comumente em amostras de campo e em variáveis morfométricas (atributos topográficos primários e secundários) obtidas de um Modelo Digital de Elevação (MDE) (MOORE et al. 1991; WILSON & GALLANT, 2000). Dos exemplos citados acima, e considerando a relação solo-relevo no entendimento da distribuição das classes de solo e demais atributos na paisagem, o emprego da técnica de mineração de dados é uma abordagem que possibilita a reconstituição das relações solo-relevo similar a concepção do pedólogo (conhecimento tácito), com certo grau de precisão (GIASSON et al., 2011). Adicionalmente, ao considerar validações estatísticas, pode ser mais confiável, quando comparada a delimitação dos tipos de solos realizadas por métodos tradicionais, pautados exclusivamente em trabalhos de campo e na experiência do pesquisador em ‘ler’ a paisagem (em campo ou a partir de técnicas de fotointerpretação) para predizer a configuração pedológica da área.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é verificar se a partir da concepção solo-relevo assistida por Árvore de Decisão (AD) é possível delimitar distribuição das classes de solo, reduzindo assim a dependência do conhecimento tácito de cada pesquisador para a leitura da paisagem. Com isso, pode-se obter um produto confiável estatisticamente e que supra a falta de dados sobre a disposição dos solos em áreas não mapeadas em escalas de detalhe, por exemplo. Especificamente, a presente pesquisa objetiva:

- Avaliar a influência das variáveis morfométricas utilizadas na predição de distribuição das classes de solos pela AD;
- Verificar se os atributos morfométricos permitem inferir sobre locais potenciais ao desenvolvimento de processos erosivos;
- Identificar os sistemas pedológicos mais recorrentes na bacia e caracterizar as principais classes de solos encontradas para fins de classificação dos solos e detalhamento da legenda do produto obtido pela AD.

Para atingir os objetivos citados acima, o trabalho foi estruturado em cinco capítulos. O primeiro consiste na revisão bibliográfica, no qual são apresentados os aspectos relacionados a geografia do solo (gênese, morfologia e distribuição), os tipos de levantamento dos solos, abordando principalmente a relação solo-relevo. No segundo capítulo é apresentada a área do estudo e os principais aspectos que caracterizam o meio físico regional, e as mudanças de uso/ocupação do solo. O terceiro capítulo, de materiais e métodos, descreve as etapas seguidas nesta pesquisa e os procedimentos adotados. O quarto capítulo descreve os resultados encontrados em cada etapa da pesquisa, os quais são discutidos com a literatura consultada. E no capítulo 5, são apresentadas as conclusões da pesquisa.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 A GEOGRAFIA DOS SOLOS

Neste tópico são apresentados os aspectos relacionados a geografia do solo a partir da concepção de Schaetzl & Anderson (2005). Pauta-se na distribuição geográfica dos solos com ênfase em atributos e gênese, suas inter-relações com o meio ambiente e os seres humanos, bem como sua história e possíveis mudanças futuras.

1.1.1 Formação dos solos

Dos elementos da superfície terrestre, o solo é um dos recursos básicos necessários para o sustento da vida animal e vegetal. Por isso o solo tem sido objeto de interesse de estudo desde muito tempo. Estudos realizados por Dokuchaev na segunda metade do século XIX estabeleceram as bases da Pedologia moderna² e definiram o primeiro conceito de solo (KÄMPF & CURI, 2012). Dokuchaev estabeleceu uma nova maneira de estudar os solos, valorizando o que viria a ser sintetizado por Jenny (1941) como os fatores de formação do solo ($S(f) = M, P., R, C, O, T$) isto é, topografia (R), material de origem (M.P), clima (C), organismos (O) e tempo (T). Tratava-se de uma abordagem que visava o reconhecimento da diferenciação vertical do solo e de sua significação genética. Assim, segundo Dokuchaiev, a morfologia de cada solo corresponde a uma secção vertical de seus diferentes horizontes e reflete os efeitos conjuntos dos fatores genéticos específicos, responsáveis por sua formação.

A identificação de múltiplos fatores começou a revolucionar a maneira como o solo era conceituado, estudado e mapeado, o que permitiu a formulação das modernas bases da Ciência do Solo (MILLER & SCHAETZL, 2016). Entretanto, cabe ressaltar que o estudo e a interpretação da diferenciação vertical do solo constituiu, e ainda se constitui, em preocupação na Ciência do Solo, haja vista que todas as classificações pedológicas levam em conta, como objeto, o perfil ou o pedon, uma vez que sua utilidade é incontestável para o desenvolvimento do conhecimento e inventário dos solos (BOULET et al 1993).

² Pedologia é o ramo da Ciência do Solo que trata de estudos relacionados a identificação, formação, classificação e mapeamento dos solos (KER et al. 2012).

A palavra solo deriva do latim *solum* que significa superfície, base, suporte. O conceito de solo pode variar conforme a atividade profissional e o ramo do conhecimento em que é usado. Por exemplo, para um engenheiro civil o solo é o material capaz de suportar edificações; para o agrônomo é suporte de nutrientes e água para as plantas; para os físicos e químicos o solo é uma massa de material que muda suas características em função das variações de temperatura e presença de água, e para os arqueólogos como um registro do passado (LEPSCH, 2002; KÄMPF e CURI, 2012). Já para os pedólogos o solo é uma coleção de corpos naturais dinâmicos que interagem com a atmosfera e a biosfera (RUELLAN et al., 1989; LEPSCH, 2002). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018), solos são corpos naturais dinâmicos, tridimensionais, constituídos por parte sólida, líquida e gasosa que se formam a partir de materiais minerais e orgânicos e que ocupam a maior parte da superfície terrestre.

As propriedades e características químicas e físicas dos solos, dispostas em camadas, denominadas horizontes, resultam da ação combinada de processos de adição, perdas e transformações ocorridas pela ação do clima, organismos, relevo e o tempo sobre o material de origem (LEPSCH, 2002; EMBRAPA, 2018). A ação dos fatores de formação dos solos e as relações estabelecidas entre os horizontes podem se dar com maior ou menor intensidade dependendo das circunstâncias e características de cada ambiente, gerando diferentes tipos de solos.

O tempo representa o período no qual o solo esteve se formando, sob a ação de processos químicos, físicos e biológicos responsáveis pelas mudanças do seu material de origem. Ressalta-se que não há um limite para o desenvolvimento do solo, pois mesmo que lentamente, estão em constante evolução (KÄMPF & CURI, 2012).

O material de origem refere-se aquele onde se iniciou o processo de pedogênese, podendo ser uma rocha, um sedimento ou até mesmo restos de um antigo solo. Corresponde ao material do qual o solo atual foi formado e é primordial na definição de suas características e propriedades (composição granulométrica, química e mineralógica e cor) consideradas para classificação taxonômica, sendo assim a base para o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018) e para a tomada de decisão em relação ao uso e manejo adequado. Segundo Kämpf e Curi (2012), o material de origem é o principal determinante na textura do solo, pois está relacionado com maior ou menor resistência a processos de desintegração. Por exemplo, mesmo sob intenso intemperismo, um material que consiste principalmente em grãos de quartzo, irá formar solos arenosos, pois o quartzo é o mineral mais resistente a alteração. Por outro lado,

rochas ígneas básicas, como o basalto, originam solos de textura argilosos, devido ao baixo teor de quartzo em sua composição que é dominada por minerais ferromagnesianos.

A alteração de uma fonte primária (rochas) ao longo do tempo dá-se pela ação de processos de intemperismo (físico, químico ou biológico), que desagregam/fragmentam as rochas e transformam a mineralogia primária. Isto gera novos minerais, os chamados argilominerais ou minerais secundários, que são minerais de origem pedogenética, por isso denominados minerais do solo, cuja quantidade e diversidade definem e/ou diferenciam os tipos de solos. Os processos de intemperismos que agem na alteração das rochas (e de outros materiais de origem do solo, por exemplo sedimentos fluviais e coluviais) coexistem e são, até certo ponto, dependentes da ação dos organismos e do clima. Segundo Lepsch (2002), a ação direta do calor e umidade (definidos pelo tipo de clima) nas rochas da litosfera, tanto nas internas como nas expostas na superfície, inicialmente as desintegram para posterior decomposição e/ou alteração, gerando os minerais do solo (minerais secundários), que compõem a maior parte da matriz dos solos mais evoluídos. A ação dos microrganismos (algas, bactérias e fungos) pode ser considerada como o início da decomposição das rochas e também decomposição de outros organismos, vegetais e animais, que se unirão formando os agregados primários (*peds*) de solo. Adiciona-se a ação física dos organismos vegetais, marcante na ruptura mecânica das rochas, principalmente através de fendilhamento ocasionado pela penetração das raízes que contribuem na desintegração das rochas. A variação de temperatura com o aquecimento durante o dia e resfriamento durante a noite também propiciam a dilatação e contração das rochas, o que intensifica os processos de desintegração (LEPSCH, 2002; KÄMPF & CURI, 2012).

Oliveira (2005) destaca que o clima é um dos fatores mais importantes na determinação das propriedades dos solos, agindo como fornecedor de energia e água. A precipitação pluvial, além de ser importante na formação do modelado da paisagem (processos morfogênicos), fornece água ao sistema, necessária em grande parte das reações físico-químicas que se processam no solo. O fator temperatura refere-se a incidência de radiação solar e duração do fotoperíodo, responsável pela intensidade e velocidade das reações no solo (LEPSCH, 2002; OLIVEIRA, 2005). Assim, como ressaltam Lepsch (2002) e Resende (1995), quanto mais úmido e quente for o clima de uma região, mais rápida e intensa será a alteração das rochas. Os solos formados tendem a ser mais espessos, com abundância de minerais secundários, principalmente argilominerais e óxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, que atribuem cores avermelhadas

e amareladas (presença de hematita e gibsita, respectivamente) aos solos. Em regiões mais secas e frias, os solos tendem a ser pouco espessos, contendo mais minerais primários do que argilominerais, porque sua evolução foi afetada pela falta de água/umidade no sistema edáfico, limitando o intemperismo químico.

Além dos fatores climáticos a formação dos solos está intimamente ligada com a geomorfologia da área. As formas do relevo não interferem somente no volume e velocidade de escoamento superficial nos solos, mas também nos estágios dos processos de evolução pedogenética (CHAGAS et al., 2013). Isto porque o relevo influencia no clima do solo (diferenciação de incidência solar segundo a inclinação da vertente e decréscimo de temperatura com aumento de altitude) e na dinâmica da água, pois o modelo do terreno condiciona a maior ou menor infiltração de água no solo (OLIVEIRA, 2005).

Por sua vez, a atuação dos fatores e dos processos de formação dos solos (adição, perda, transformação e translocação) em diferentes combinações e intensidades resultam em tipos de solos diferenciados com comportamentos e composição distintas (LEPSCH, 2002). Dada as distintas dinâmicas e características dos solos, para um melhor entendimento é necessário estudos sob diferentes abordagens e a tentativa de sua espacialização. Dessa forma, pode-se ter o conhecimento da sua distribuição espacial e a intensidade das interações dos fatores e processos que atuam na formação dos solos e as especificidades locais/regionais. Este tipo de informação é essencial para orientar o uso e manejo racional da terra, na tentativa de reduzir os impactos e prejuízos ao meio ambiente e à sociedade.

1.2 LEVANTAMENTO DE SOLOS

O levantamento/mapeamento de solo reflete o esforço em entender o recurso solo, a dinâmica de formação pedogenética, quais os tipos de solos existentes, bem como sua relação com os demais elementos da natureza. Segundo Santos et al. (2015), os levantamentos de solos correspondem ao prognóstico da distribuição geográfica dos solos determinados por um conjunto de relações e propriedade observáveis na natureza, que estima e delinea suas áreas nos mapas em termos de classes de solos. O objetivo principal dos levantamentos de solos, independente da escala, é subdividir áreas heterogêneas em parcelas homogêneas, que apresentem a menor variabilidade possível, em função dos parâmetros de classificação e das características utilizadas para distinção dos solos

(IBGE, 2015). As etapas dos levantamentos incluem o conhecimento do solo por meio de trabalhos de campo, utilização de mapas precedentes para melhor identificação de limites, à utilização de sensores remotos e processamentos computacionais.

Os levantamentos de solos diferenciam-se entre si principalmente quanto aos objetivos a que se destinam e quanto a extensão de área que abrangem. Conforme Santos et al. (1995) e IBGE (2015), podem variar de:

- levantamentos ultradetalhados e detalhados (1:500 - 1:5.000; 1:5.000 - 1:20.000, respectivamente), com vistas a estudos específicos e otimização do uso do solo;
- levantamentos semidetalhados (1:25.000 - 50.000), para fins de planejamento e implementação de projetos urbanos e rurais;
- levantamentos de reconhecimento (1:60.000 - 1:500.000), que pode ter por finalidade estimar recursos potenciais de uso do solo (escalas menores), e avaliação de áreas prioritárias para conservação (em escalas maiores) e;
- levantamentos exploratórios (1:750.000 a menores), que fornecem uma visão generalizada sobre a distribuição dos solos.

Os trabalhos de levantamento de solos no Brasil que resultaram em mapas iniciaram-se na década de 1940, com o “Esboço Agro-geológico do Estado de São Paulo”, publicado em 1945. Trata-se do primeiro mapa de solos elaborado no país. Ressalta-se que o desenvolvimento de trabalhos de levantamento de solos no Brasil, e na maior parte do mundo sempre estiveram ligados aos interesses agrícolas. Os avanços no conhecimento dos solos eram considerados como a chave para uma maior produção agrícola que, conseqüentemente, repercutiriam em maior desenvolvimento econômico do país (CAMARGO et al., 2010; CARVALHO et al., 2013).

Foi a partir dos levantamentos de solos realizados no Rio de Janeiro, no Distrito Federal e em São Paulo no final dos anos de 1950 e início da década de 1960, que começaram a ser empregadas combinações de fatores de formação do solo segundo critérios taxonômicos, impulsionando o reconhecimento dos solos em classes³ (FLACH & CORRÊA, 2017). Nos anos de 1960 alguns recursos como as fotografias aéreas combinadas ao uso de estereoscópios e mesas de luz passaram a ser utilizadas, permitindo fazer inferências sobre as relações solo-paisagem e sugerir limites mais precisos entre os

³Inicialmente o Brasil se baseou no sistema taxonômico dos Estados Unidos da América. Entretanto, muitas adaptações nos termos e definições dos solos tiveram de ser feitas devido as disparidades dos solos de clima temperado, bem como diferenças geológicas. Cujos empasses só puderam ser superados com a elaboração do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

tipos de solos. Isto contribuiu, por exemplo, para o avanço da cultura da soja no país, que demandava conhecimentos mais específicos sobre a distribuição dos solos com maior potencial para o cultivo dessa planta (CARVALHO et al., 2013).

Nas décadas de 1970 e 1980 destacaram-se as iniciativas do projeto RADAMBRASIL. Este projeto foi uma ação pioneira do governo brasileiro para a pesquisa de recursos naturais e responsável pela execução de levantamentos de solos na escala 1:1.000.000 de 43 folhas do sistema de projeção UTM (CARVALHO et al., 2013; FLACH & CORRÊA, 2017). Este projeto também propiciou notáveis avanços na utilização de interpretação de produtos obtidos por sensores remotos.

Em 1995 foi publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária o Manual de Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos. Este material de padronização dos mapeamentos apresentou normas, critérios e métodos de levantamentos pedológicos (SANTOS et al., 1995; CARVALHO et al., 2013; FLACH & CORRÊA, 2017). A realização de mapeamento evidenciou a necessidade de um sistema de classificação taxonômica dos solos válidos para todo o território nacional. Essa demanda culminou na elaboração da primeira edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) em 1999. O SiBCS padronizou a classificação dos solos segundo as particularidades e a grande diversidade dos solos brasileiros (CARVALHO et al., 2013; FLACH & CORRÊA, 2017). Atualmente o SiBCS encontra-se em sua quinta edição e traz ajustes e correções de conceitos básicos relacionadas a definição de solo, caracteres e horizontes diagnósticos, bem como alterações de redação, redefinição da seção de controle, eliminação ou incorporação de classes de solos em todos os níveis categóricos (EMBRAPA, 2018).

Os levantamentos pedológicos no território nacional são demandas permanentes de instituições públicas e privadas de pesquisa e planejamento. Os mapas de solos constituem-se em instrumento imprescindível para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais e na busca de soluções para controle de processos erosivos que garantam o uso mais eficiente das terras (MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2003; SILVA, 2005).

Apesar dos avanços e esforços, o território nacional ainda carece de levantamentos de solos e suas representações nas mais variadas escalas. Segundo Mendonça-Santos e Ten Caten (2015), levantamentos menores que 1:750.000 correspondem a quase 85% do território nacional. Na escala entre 1:100.000 e 1:250.000 apenas cerca de 8% do território têm seus solos mapeados. Já nas escalas entre 1:50.000 a 1:100.000 não chega a 2%.

Menor ainda é proporção do território mapeada em escala de semidetalhe (escala de 1:50.000), aproximadamente 0,6% e apenas 0,0003% do território nacional em escala de detalhe (maiores que 1:20.000). Contudo, se de um lado os recursos financeiros destinados aos levantamentos de solos no Brasil diminuíram consideravelmente, assim como o número de profissionais capacitados a realizar esses levantamentos, conforme aponta Chagas et al. (2010), de outro lado, parte significativa dessa deficiência deverá ser sanada com a retomada de realização de levantamentos pedológicos em caráter multiescalar e em nível nacional a partir do Pronasolos (REYNOL, 2017).

De modo geral, os levantamentos que resultam em mapas de solos podem ser executados de duas formas: Mapeamento Convencional e, mais recentemente, o Mapeamento Digital de Solos. No primeiro, a tarefa de delimitar os tipos de solos pauta-se em métodos tradicionais, apoiado em técnicas de fotointerpretação, trabalhos de campo e principalmente da experiência e conhecimento do pesquisador em identificar as peculiaridades da paisagem de interesse e seus respectivos processos envolvidos. Já no Mapeamento Digital, a delimitação dos tipos de solos pauta-se em modelos matemáticos, geostatísticos, processados em computador, cujos resultados permitem prever a distribuição dos tipos de solos com certo nível de confiança nos locais não amostrados (LIMA et al., 2013).

A atual disponibilidade de dados, ferramentas e métodos das geotecnologias tem contribuído em aplicações desse escopo. Adicionalmente, parte das dificuldades dos levantamentos de solos tem sido amenizadas com o desenvolvimento de tecnologias e métodos preditivos de classes de solos baseados na representação digital das feições do terreno. Destaca-se neste âmbito, a Rede Brasileira de Pesquisa em Mapeamento Digital de Solos (RedeMDS), criada em 2011, sob a coordenação da EMBRAPA Solos (CARVALHO et al., 2013; MENDONÇA-SANTOS & TEN CATEN 2015; FLACH & CORRÊA, 2017). A recente assinatura do protocolo de intenções do Programa Nacional de Solos do Brasil (Pronasolos) em dezembro de 2017, como já citado anteriormente, também é um marco para os avanços nos levantamentos de solos no país. Entre as atividades previstas neste programa estão, a investigação, documentação, inventário e interpretação de dados dos solos, e, como resultado principal, o projeto almeja a criação de um sistema nacional de informação sobre os solos do Brasil (REYNOL, 2017).

1.2.1 Relação solo-relevo

A disposição dos solos na paisagem está fortemente ligada aos aspectos geográficos e geomórficos do local onde se desenvolvem, sendo a relação solo-relevo (*soil geomorphology*, em inglês) uma abordagem dentro da pedologia que estuda estas interações (MILLER & SCHAETZL, 2016; SCHAETZL & ANDERSON, 2005). Campos et al. (2006) ressalta que é consenso entre os pesquisadores que a dinâmica do relevo está intimamente ligado a formação e evolução dos solos. Segundo o autor, as formas do relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais e na intensidade e direção do fluxo da água no perfil do solo, que, por conseguinte, regulam as variações nos processos pedogenéticos. Por esta razão, a observação e o estudo das diferentes geoformas da paisagem tornaram-se premissas básicas para a execução de levantamentos de solo.

Os solos e as formas de relevo, na maioria das vezes, desenvolvem-se concomitantemente. Com isso, a relação solo-relevo permite examinar e elucidar a natureza dessa “dança” genética na paisagem, que é uma via de mão dupla, isto é, os solos são afetados pela evolução do relevo e, por meio de seus processos e características de desenvolvimento, influenciam a evolução dos solos de uma área (SCHAETZL & ANDERSON, 2005). Por esta razão, o relevo está relacionado com a distribuição dos solos em todas as escalas da paisagem, desde a escala subcontinental até as vertentes individuais (KÄMPF & CURI, 2012).

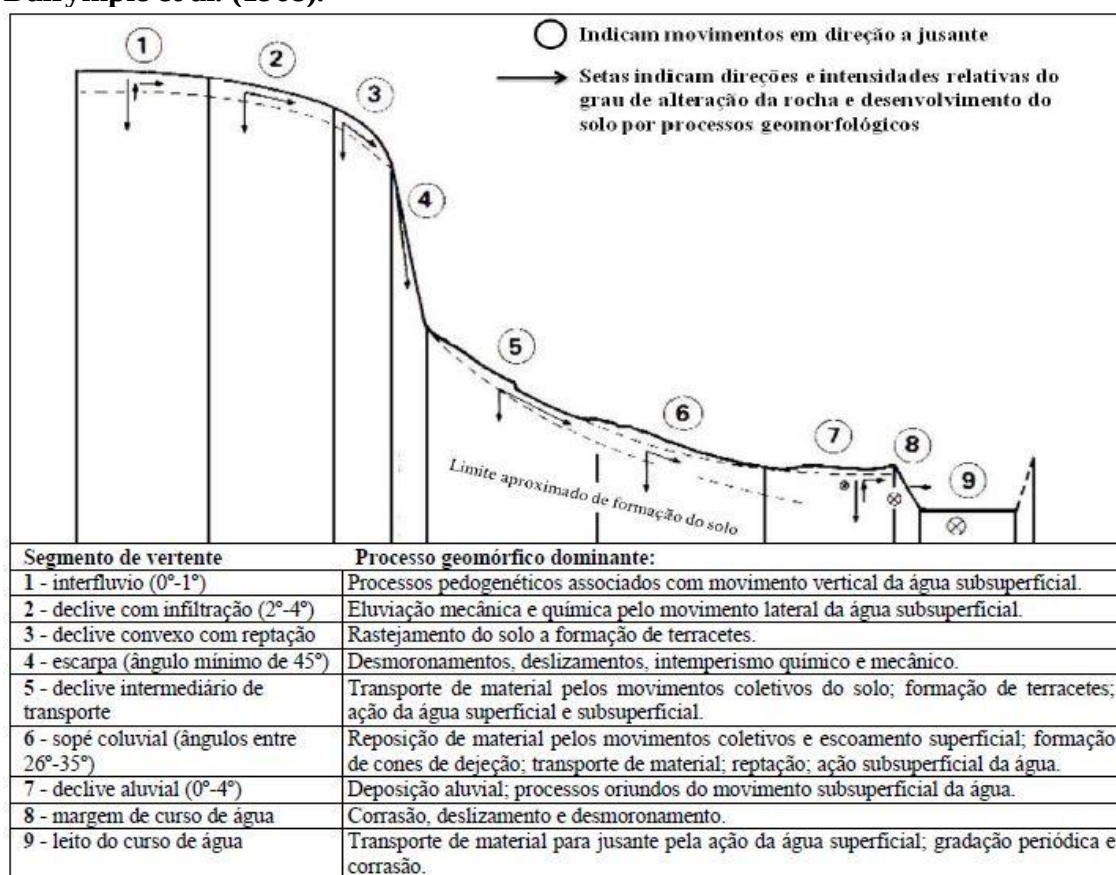
A morfologia das vertentes regula o regime hídrico no solo e atua sobre a percolação da água, na lixiviação de solutos e transporte de partículas em suspensão no meio líquido, e consequentemente nos processos de hidrólise, hidratação e dissolução (OLIVEIRA, 2005). A topografia do terreno e suas características como a elevação, a declividade, a orientação, a forma e a rugosidade da superfície do terreno, interferem diretamente nos processos hidrológicos superficiais e subsuperficiais no solo, o que implica na maior ou menor retirada de material da vertente (MOORE et al., 1991; MINELLA & MERTEN, 2012). A inclinação da vertente somada a sua forma, côncava ou convexa, convergente ou divergente, tem implicações direta na dispersão ou concentração da água escoada superficialmente, bem como de sua movimentação subsuperficial, que por sua vez, condicionam maior ou menor grau de evolução pedogenética (OLIVEIRA, 2005). Conforme Valeriano (2008), solos em posições côncavas-convergentes tendem a concentrar o fluxo de água e tornam-se mais úmidos do que solos desenvolvidos em posições convexas e divergentes.

A orientação da vertente também controla o nível de evapotranspiração e umidade dos solos. Segundo Oliveira (2005), no hemisfério sul as taxas de radiação nas encostas voltadas para o sudeste são menores, o que torna os solos mais úmidos, mas com temperaturas suficientes para que prevaleçam nestas áreas solos mais intemperizados e lixiviados. Já as encostas voltadas para o noroeste, mais ensolaradas, tendem sofrer menos os efeitos da lixiviação e intemperismos químicos devido a menor umidade. Além de alterar a evolução dos solos, a maior ou menor infiltração de água e umidade no solo também estão relacionados ao grau de oxidação. Em áreas de boa drenagem, há condições de predomínio de intemperismo químico que confere cores avermelhadas aos solos devido a formação de óxidos de ferro. Já quando a infiltração é lenta ou impedida (má drenagem), tem-se cores claras aos solos, devido a destruição do ferro (LEPSCH, 2002).

Com base nas condições do ambiente e nas diferentes combinações dos processos de formação dos solos, bem como na arquitetura e geometria dos horizontes na paisagem, Ruellan et al. (1989) ressaltam que os solos se configuram como um sistema: o sistema solo. Segundo os autores supracitados, o sistema solo organiza-se pelas relações estabelecidas verticalmente entre horizonte, e pela organização e disposição lateral dos mesmos, segundo as variações morfológicas ao longo das vertentes.

Ruhe (1960) e Dalrymple et al. (1968) propuseram modelos de segmentação da vertente para melhor relacionar os processos de formação dos solos com o relevo. Ruhe (1960) reconhece os seguintes segmentos: topo (*summit*) segmento mais elevado, relativamente plano e estável; ombro ou ombreira (*shoulder*) segmento convexo erosional; encosta (*backslope*) segmento de maior declive e que pode ser dividido em superior, médio e inferior; sopé coluvial (*footslope*) apresenta concavidade e declividade sendo um segmento erosional-deposicional; e sopé colúvio-aluvial (*toeslope*) é o trecho inferior, situado entre o sopé e o canal de drenagem, sendo um segmento deposicional (KÄMPF & CURI, 2012). Dalrymple et al. (1968) consideram nove unidades hipotéticas de vertente (Figura 1), as quais exemplificam o comportamento hídrico superficial e subsuperficial na formação dos solos. Segundo Vidal-Torrado et al. (2005), esta segmentação da vertente é útil na compreensão da dinâmica da vertente com a pedogênese, pois considera não somente a morfologia, mas os processos intrínsecos a cada segmento. É por esta razão que Rocha (2016) afirma que estas unidades constituem uma classificação de referência para os estudos de vertente.

Figura 1. Nove unidades hipotéticas do modelo de segmento de vertentes de Dalrymple et al. (1968).



Fonte: Adaptado por Silveira (2010).

As unidades hipotéticas de vertente de Dalrymple et al. (1968) constituem em um modelo de paisagem que enfatiza a movimentação, o transporte e a realocação dos materiais do solo em superfície ou em subsuperfície causados pela água e pela força da gravidade no terreno. Estas unidades podem estar ausentes ou ocorrerem repetidamente ao longo de uma vertente. O modelo, ao levar em consideração a declividade e a forma do terreno, permite inferir o grau de atuação dos processos pedogenéticos associados com o movimento e a distribuição da água (CHRISTOFOLETTI, 1982). Assim, como evidenciado no estudo de Vidal-Torrado et al. (2005), em que os autores consideraram a influência do relevo na hidrologia da vertente, e concluíram que há forte relação entre o comportamento dos solos e sua posição na vertente. Áreas correspondentes a interflúvios e/ou áreas mais planas e alongadas tendem a ser mais estáveis e os processos pedogenéticos mais intensos, devido a erosão mínima e maior infiltração de água no solo. Por esta razão, os solos desenvolvidos nestas condições são sempre mais profundos, com horizontes mais espessos. De outro lado, em locais de topografia mais íngreme, o escoamento superficial tende a superar a infiltração de água no solo, e os solos formados

nestas condições são menos espessos, e dependendo do grau de inclinação da rampa, podem ocorrer afloramento de rocha associados a Neossolos Litólicos e Rególicos (LEPSCH, 2002; KÄMPF & CURI, 2012).

As variações de solo em relação as variações de relevo passaram a ter maior visibilidade quando a diferenciação lateral da cobertura pedológica começou a ser percebida e rapidamente os pedólogos procuraram expressá-la e representá-la (BOULET, 1993) por meio de catena (MILNE, 1934).

Por muitas décadas os trabalhos mantiveram atrelado a este conceito de catena, isto é, ao conceito de perfil vertical, pois a diferenciação lateral era expressa em termos de sucessão de solos ou de combinação, de polipedons contíguos, no máximo descrevendo que as transições laterais são geralmente progressivas (BOULET, 1993). Este mesmo autor destaca que as representações bidimensionais expressavam a “interpolação entre os diferentes tipos de perfil observados em uma vertente, sem que fossem estudadas nem as passagens laterais entre horizontes, nem sua geometria ou, mais comumente, sem que uma análise minuciosa da organização lateral da cobertura pedológica fosse feita”.

Foi somente com proposta da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica que essa abordagem clássica começou a ser modificada, principalmente do ponto de vista genético e dinâmico, pois demonstra que a distribuição do solo em uma vertente, quando estudada desta forma aparecem muitas vezes como sistemas de transformação, onde uma cobertura inicial transforma-se em outra frequentemente muito diferente, muitas vezes comandada pelos processos morfogénéticos.

1.2.2 Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECp) na relação solo-relevo

Estudos da distribuição dos solos na paisagem, por meio da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECp) (BOULET et al., 1982abc), constituem-se em exemplos de estudos em topossequência que se baseiam nas relações solo-relevo ao longo dos segmentos da vertente. A AECp aprimorou o conceito de catena⁴ estabelecido por Milne em 1934, como citado no item anterior, sendo o solo entendido e estudado como um corpo tridimensional que se organiza verticalmente e lateralmente como um contínuo na vertente. A mudança sequencial dos solos ao longo da vertente é atribuída a posição que

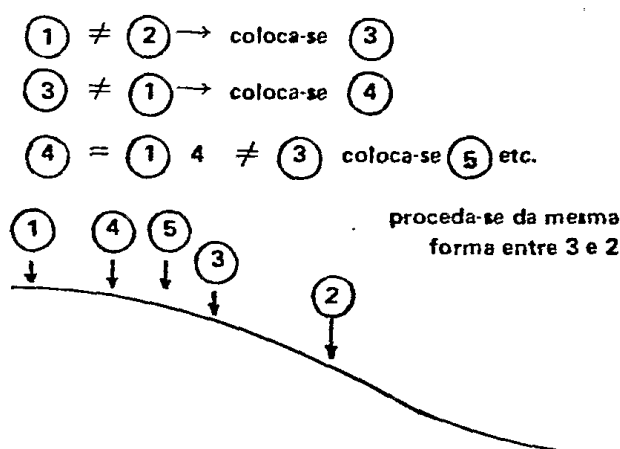
⁴*catena* (do latim = cadeia); MILNE, G. (1934) Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Londres, Soil Research v. 4, n. 2, p.183-98.

ele ocupa na mesma. A posição ocupada implica nas variações de drenagem subsuperficial, na lixiviação e no transporte e deposição diferencial de materiais erodidos ao longo da rampa, interligados a processos desde o interflúvio até o sopé de fundo de vale (KÄMPF & CURI, 2012).

Os procedimentos de campo da AECP foram desenvolvidos e sistematizados por Boulet et al. (1982a, b, c), a partir de estudos realizados na África e na Guiana Francesa. No Brasil AECP foi introduzida na década de 1980. Dentre os trabalhos que envolvem esta temática, citam-se: Queiroz Neto (1988), Castro (1989), Salomão (1994), Cunha et al. (1999), Vidal-Torrado e Lepsch (1999), Calegari (2000), Clemente et al. (2009), Santos et al. (2010), Werlang et al. (2013), Calegari e Marcolin (2014), entre outros.

A AECP baseia-se na reconstituição bi e tridimensional da distribuição dos solos a partir de sondagens sistemáticas ao longo da vertente (Figura 2) e posterior abertura de trincheiras em pontos privilegiados da topossequência para descrição macromorfológica e coleta de amostras para análises.

Figura 2. Método de implantação das tradagens em um estudo de segmento de transeção.



Fonte: Boulet (1993).

Segundo Boulet (1988), ao seguir este tipo de análise, é notório o caráter complexo da formação e disposição da cobertura pedológica, sendo impossível de atribuir e reduzir esta complexidade apenas na superposição vertical dos horizontes, senão também lateralmente. Com a adoção deste enfoque é possível obter informações mais precisas sobre a dinâmica pedológica. Isto porque se torna perceptível a influência dos processos e mecanismos de acumulação e transferência de matérias ligadas

intrinsecamente a circulação lateral dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, que interferem tanto na formação dos solos como também das paisagens (QUEIROZ NETO, 2002).

O solo, desta forma, constitui-se como um meio organizado e estruturado continuamente ao longo das vertentes. A organização das estruturas estão presentes em todas as escalas de observação: 1) as organizações elementares que correspondem aos constituintes do solo (argila, silte, areia); 2) as assembleias, que representam a associação de certo número de organizações elementares; 3) os horizontes que correspondem a presença de um ou mais tipos de assembleias, e; 4) os sistemas pedológicos que representam a escala da unidade do relevo, isto é, a organização dos horizontes verticalmente e a disposição e superposição dos mesmos lateralmente ao longo da vertente (RUELLAN et al. 1989).

A compreensão da complexidade das relações estabelecidas pelos níveis de organização, permitem identificar que estas estruturas se relacionam e se modificam também ao longo do tempo (sistemas de transformação). E, desta maneira, a análise estrutural da cobertura pedológica, somadas as suas representações cartográficas bi e tridimensionais dos solos, constitui em importante instrumento de estudos da geografia do solo no seu mais amplo sentido, isto é, da gênese de solos, de transferência de elementos, dos mecanismos de fluxos hídricos, bem como das dinâmicas e complexidades dos processos envolvidos na evolução da paisagem.

Os estudos sobre a disposição dos solos permitiram progredir não só sobre o entendimento da sua formação, mas também dos processos envolvidos na distribuição espacial na paisagem. Desde a concepção de solo definida por Dokuchaev na metade do século XIX, isto é, solo é como um corpo natural organizado em perfil vertical, observou-se um avanço, passando pela percepção da variação lateral dos solos na década de 1930 por Milne, até o entendimento dos solos como sistemas em transformação verticais e laterais por Boulet et al. (1974, 1982a).

Desta forma, destacam-se três momentos de mudanças progressivas do entendimento do solo na pedologia. O primeiro consiste na introdução do conceito de *catena* por Milne em 1935, que estabeleceu que os perfis de solo se sucediam ao longo de uma vertente, e, desta forma, parte da ideia do solo como um perfil foi superada. O segundo momento, década de 1960, corresponde a introdução da noção de *pedon*, quando o solo passou a ser encarado como um corpo tridimensional, mas, ainda muito ligado a concepção de perfil (variação vertical). É neste momento que se apresentam as primeiras

tentativas de se estabelecer relações entre a topografia do terreno com a evolução dos solos (*soil geomorphology*). O terceiro momento, a partir da década de 1970, corresponde a introdução da análise estrutural (bi e tridimensional) da cobertura pedológica (AECF) com estudos em topossequências, onde os solos passam a ser entendidos como um *continuum* que recobre as vertentes. Cabe ressaltar que este último ainda hoje é ignorado ao nível da ciência internacional do solo, como ressaltado por Boulet (1993).

Recentemente novas demandas por informação pela sociedade, têm emergido, como interesse em temas como qualidade do solo e do ambiente (TEN CATEN et al., 2009a, b). Isso propiciou, por exemplo, avançar nos métodos de obtenção de informação e utilização de novas e mais sofisticadas técnicas e o desenvolvimento de modelos para o conhecimento das relações entre a paisagem e a distribuição dos solos, mais rápidos e menos onerosos.

1.2.3 Relação solo-relevo e variáveis geomorfométricas

Segundo Ten Caten et al. (2012a) e Demattê et al. (2014), um dos avanços da ciência do solo a partir principalmente dos anos de 1980 foi a possibilidade de aplicação de tecnologias de Mapeamento Digital de Solos (MDS)⁵. O MDS é sustentado pela tecnologia da informação e por um conjunto de dados de campo para a inferência das variações espaciais dos tipos de solos e suas propriedades (DALMOLIN et al., 2017). Corresponde ao emprego de métodos matemáticos e estatísticos para a modelagem quantitativa do solo, com o intuito de analisar a distribuição dos solos e o comportamento dos seus atributos em uma paisagem (MCBRATNEY et al., 2003). O MDS surgiu como alternativa para a criação de mapas com maior resolução espacial, baseado em mineração de dados⁶ (*data mining*, em inglês), com o objetivo de suprir a demanda de informações sobre os solos e seus atributos.

Com o desenvolvimento, difusão e consolidação das tecnologias da informação geográfica, exemplificados pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GNSS),

⁵O MDS faz parte do que se denominou de Pedometria por Mc Bratney e colaboradores em 2003. O termo Pedometria deriva do grego *Pedos*= solo e *Metron*= medida (DALMOLIN et al., 2017).

⁶Mineração de dados é “um processo altamente cooperativo entre homens e máquinas que visa a exploração de grandes bancos de dados com o objetivo de extrair conhecimentos através do reconhecimento de padrões e relacionamento entre as variáveis, conhecimentos esses que possam ser obtidos por técnicas comprovadamente confiáveis e validados pela sua expressividade estatística”. (DA COSTA CÔRTEZ et al. 2002 p.1).

dentre outros, o MDS tem se consolidado como uma forma de espacialização dos solos e seus respectivos atributos em áreas não mapeadas, bem como de complementar os levantamentos de solos (CUNHA, 2013; COSTA, 2016). Ademais, a representação digital das feições do terreno permitiu conhecer, segmentar e classificar as formas da paisagem e definir os limites dos solos de modo mais rápido e com menor subjetividade (TEN CATEN et al., 2012b; CUNHA, 2013).

As variáveis do terreno explicativas para a definição da distribuição dos tipos de solos ou de seus atributos são obtidas através do Modelo Digital de Elevação (MDE) (COELHO & GIASSEN, 2010; TEN CATEN et al., 2009ab; TEN CATEN et al., 2012ab; CHAGAS et al., 2013; COSTA, 2016). Um modelo digital de elevação é definido como a variação contínua do relevo sobre o espaço, que pode ser utilizado para obter diversas variáveis geomorfométricas ou atributos topográficos (WILSON & GALLANT, 2000). Conforme evidenciado por Ippoliti et al. (2005) a utilização de variáveis derivadas do MDE consiste numa alternativa rápida e econômica para a quantificação e classificação do relevo, permitindo a definição automática ou semiautomática das unidades morfológicas da paisagem.

Segundo Moore et al. (1991), os levantamentos de solos foram melhorados com a utilização das variáveis morfométricas derivadas do MDE, fornecendo dados para mapeamentos em alta resolução e permitindo identificar aspectos do relevo difíceis de serem notados na interpretação de fotografias aéreas tradicionais. Vidal Torrado et al. (2005) e Campos (2006) enfatizam que a utilização destas variáveis permite indicar e quantificar as relações entre os solos e o relevo. Fornecem uma compreensão detalhada do comportamento da superfície, de modo a indicar possíveis tendências e inferir o comportamento dos atributos do solo, e, desta forma, favorecer os levantamentos pedológicos. Por esta razão que as variáveis geomorfométricas são usualmente utilizadas como as variáveis preditoras nos mapeamentos digitais de solos (COSTA, 2016).

As variáveis geomorfométricas ou atributos do terreno podem ser divididos em dois tipos: os atributos topográficos primários e os atributos topográficos secundários. O primeiro refere-se aqueles que são extraídos diretamente do MDE. Representam características básicas como a altitude, declividade, orientação e forma da vertente e podem ser aplicados de diferentes formas (Tabela 1).

Tabela 1. Principais atributos topográficos primários e sua aplicação

Atributo	Definição	Aplicação
Altitude	Elevação	Clima; Tipo de vegetação; Energia potencial
Altura a montante	Altura média da área a montante	Energia potencial
Aspecto	Direção/orientação do gradiente	Direção de fluxo; Irradiação solar; evapotranspiração; vegetação
Declividade	Gradiente	Volume e velocidade do escoamento; capacidade de uso
Declividade a montante	Declividade média de uma área a montante de um ponto	Velocidade do escoamento
Declividade da bacia	Declividade média de uma bacia	Tempo de concentração
Área da bacia	Área de drenagem da bacia	Volume do escoamento
Área de contribuição específica	Área a montante dividida por unidade de contorno	Volume do escoamento; Taxa de escoamento superficial
Comprimento de fluxo	Distância máxima do escoamento para um ponto	Erosão; Produção de sedimentos; Tempo de concentração
Comprimento a montante	Comprimento médio dos comprimentos de fluxos para um ponto na bacia	Aceleração do escoamento; Taxas de erosão
Curvatura no perfil	Curvatura do perfil de declividade	Aceleração do escoamento; Taxas de erosão e deposição (convexo/côncavo)
Curvatura no plano	Curvatura do contorno	Fluxo divergente ou convergente; Conteúdo de água no solo
Curvatura tangencial	Curvatura do plano multiplicada pela declividade	Fluxo divergente e convergente local

Fonte: Adaptado (MOORE et al., 1991).

A elevação corresponde ao MDE propriamente dito, e apresenta a distribuição das classes de altitudes ou dos patamares hipsométricos (SIRTOLI, 2008). Segundo Moore et al. (1991) esse atributo está ligado a energia potencial do terreno. Já a declividade ressalta o poder erosivo do terreno, porque está diretamente ligado ao volume e velocidade do escoamento superficial (MOORE et al., 1991). Áreas com maior declividade representam locais propícios a presença de solos menos desenvolvidos pedogeneticamente, pois há maior potencial de escoamento superficial e retirada de

material. Já áreas com menor declividade relacionam-se com locais onde há pouco escoamento superficial e maior percolação de água no solo, o que intensifica os processos de intemperismo (LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI, 2012).

A curvatura de vertentes refere-se à identificação do tipo de forma da vertente, que compreende o perfil de curvatura e o plano de curvatura. O plano de curvatura refere-se ao caráter convergente, planar ou divergente da encosta (ANJOS et al., 2011). Nos terrenos convergentes as direções de maior declividade tendem a convergir; nos terrenos divergentes os pontos de maior declividade tendem a divergir. É utilizado devido ao caráter divergente/convergente da encosta estar ligado com o conteúdo de água no solo (ANJOS et al., 2011; MOORE et al., 1991). Desta maneira, quanto maior o embaciamento da vertente, isto é, maior convergência dos fluxos, maior será a concentração de água tanto superficial, como subsuperficial, na vertente (OLIVEIRA, 2005).

O perfil de curvatura refere-se ao caráter côncavo, retilíneo, e convexo da encosta, cujas características estão intimamente ligadas na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o terreno, influenciando nas taxas de erosão e deposição de sedimentos (MINELLA & MERTEN, 2012). Valeriano (2008) ressalta que o perfil de curvatura apresenta forte relação com a distribuição dos solos, pois o caráter côncavo-convexo, além de influenciar no teor de água, também atua no regime térmico do terreno. Ademais, a forma do terreno, dada pela combinação do perfil e do plano de curvatura, influencia a distribuição de águas superficial e subsuperficial vertical e lateralmente. Interferindo desta maneira na distribuição e migração de materiais solúveis, minerais e matéria orgânica das partes mais elevadas para as mais baixas, desempenhando importante papel na pedogênese (SILVEIRA, 2010).

Segundo Valeriano (2008) a curvatura do terreno representada pela forma côncavo-convergente (C-Cv) caracteriza maior concentração e acúmulo do escoamento, e a forma convexa-divergente (D-Cx) maior dispersão do escoamento. As combinações intermediárias têm características hidrológicas mais dependentes das relações entre as intensidades dos efeitos individuais.

Já os atributos topográficos secundários são calculados a partir de um ou mais atributos primários e representam características mais complexas. Por exemplo, a umidade no solo e as áreas preferenciais de escoamento superficial e erodibilidade dos solos, o Índice Topográfico de Umidade (ITU), o Índice de Máximo Fluxo (IMF) e Fator-LS, respectivamente (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; SIRTOLI, 2008, MINELLA & MERTEN, 2012), dentre outros.

O ITU apresenta distinção espacial de concentração de umidade subsuperficial e superficial, as quais estão associadas principalmente com o embaciamento na paisagem, caráter côncavo e convergente da vertente. Podendo-se desta maneira identificar zonas de saturação e locais de boa drenagem (MOORE et al., 1991; SILVEIRA, 2010; NOWATZKI, 2013).

O Fator LS corresponde a dois elementos da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), e representam a intensidade dos processos erosivos dados pela influência do perfil da encosta, avaliada pelo comprimento (L) e grau do declive (S) (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; BOEHNER & SELIGE, 2006; COUTINHO et al., 2014). O IMF é um índice topográfico que integra a declividade, o comprimento da rampa, e a forma da vertente (MOORE et al., 1991; SILVEIRA et al., 2010; MINELLA & MERTEN, 2012). Este índice calcula o potencial erosivo da água em movimento, e desta maneira ressalta locais com maior propensão a perda de solo por unidade de área.

Estes índices indicam locais preferenciais de escoamento superficial e produção de sedimentos e os locais de deposição. Segundo Silveira et al. (2010), índices relacionados a corrente de fluxo e capacidade de transporte de sedimento indicam áreas com possível rejuvenescimento do solo, pois quanto maior a declividade do terreno e maior área de contribuição, maior será a capacidade de transporte de sedimentos e, consequentemente, os solos formados nessa condição serão menos desenvolvidos pedogeneticamente. Minella e Merten (2012) ressaltam que índices deste tipo são importantes no estudo de evolução da vertente, pois podem indicar a formação de bacias de ordem zero, já que a preferência do escoamento ao retirar maior quantidade de sedimentos começa a entalhar a vertente.

Os produtos secundários obtidos a partir do MDE identificam com melhor precisão o comportamento resultante da interação dos atributos primários do relevo. Matematicamente, os produtos secundários descrevem o padrão de comportamento como uma função dos processos gerados pelos produtos primários (WILSON & GALLANT, 2000). Estas funções, como evidenciado, permitem inferir, por exemplo, sobre a quantidade de umidade presente no solo, o potencial de escoamento superficial e a retirada de sedimentos ao longo da vertente, o que corrobora para as deduções sobre o grau de evolução dos solos e a classe correspondente (MOORE et al., 1991; CRIVELANTI et al., 2009; COELHO & GIASSON, 2010; CHAGAS et al., 2013; SILVEIRA et al., 2012).

Conforme o exposto, entende-se que, assim como para Moore et al. (1991) e Ippoliti et al. (2005), os produtos topográficos oriundos do MDE constituem-se em importantes elementos na identificação dos principais processos que atuam na formação dos solos. E que esses atributos, associados a modelos/classificadores estatísticos, utilizado nas técnicas de MDS, constituem-se em importantes variáveis no conhecimento da distribuição dos tipos de solos na paisagem.

1.2.4 Árvores de Decisão e variáveis morfométricas na relação solo-relevo

Para descobrir os padrões existentes num banco de dados, as tarefas de data *mining* ou mineração de dados (associação, classificação, clusterização, regressão, entre outras) necessitam que um determinado método, ou modelo estatístico, seja adotado, de acordo com o conhecimento que se deseja extrair da base de dados (RAIMUNDO et al., 2008).

Os modelos estatísticos comumente utilizados na compreensão dos padrões entre as variáveis ambientais e a distribuição dos solos correspondem a: Regressão Linear e Não Lineares, Regressões Logísticas Múltipla (RLM), Árvore de Decisão (AD), Redes Neurais Artificiais (RNA), Análises Discriminantes, Lógica *Fuzzy*, Algoritmos Genéticos (KHEIR et al., 2010; GIASSON et al., 2011; TEN CATEN et al., 2009ab; TEN CATEN et al., 2011; TEN CATEN et al., 2012ab; LIMA, 2013). Cada modelo estatístico possui suas particularidades e alcance.

Adicionalmente, cada técnica de prognóstico da distribuição dos solos apresenta aspectos positivos e negativos, conforme as particularidades da dimensão da área ou variáveis utilizadas. Kheir et al. (2010) exemplificam particularidades de alguns métodos. Por exemplo, segundo os autores, a regressão linear é apropriada para dados que podem ser modelados a partir de uma função de linha reta, o que dificilmente ocorre na natureza. Além disso, raramente indica interações entre as variáveis. Por sua vez, as redes neurais artificiais não apresentam um modelo de fácil compreensão, onde seja possível explicar todas as relações entre a natureza e os dados analisados. Métodos de aprendizagem de máquinas não supervisionados como análise de cluster e análise de componentes principais não consideram as variáveis de forma distinta, tratando-as igualmente.

Diante do exposto, as Árvores de Decisão (AD) estão entre os algoritmos de inferência mais populares e têm se destacado nas mais diferentes áreas, como também no diagnóstico médico e risco de crédito (SILVA, 2005, VON ZUBEN & ATTUX, 2012, DE ALVARENGA JUNIOR, 2018). As AD constituem-se em uma técnica de mineração

de dados baseada na indução em fases de decisão (COSTA, 2016; WOLSKI, 2016). Em outras palavras, um problema complexo é decomposto em subproblemas mais simples e recursivamente esta técnica é aplicada a cada subproblema afim de se chegar a uma decisão (resultado) com menor variância, isto é, mais homogêneo (puro) possível (SILVA, 2005; DE ALVARENGA JUNIOR, 2018).

Wolski (2016, p.49) salienta que:

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 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 MDS.

Para o seu treinamento, uma árvore de decisão utiliza alguma função para medir o grau de impureza (ou pureza) entre as variáveis induzidas na divisão em subproblemas. Quanto mais pura é a divisão de um subproblema, melhor é a predição (DE ALVARENGA JUNIOR, 2018). A pureza de uma subdivisão (ou nó, ou subproblema) pode ser obtida através do índice de *Gini*. Este índice é uma medida de dispersão estatística bastante conhecido proposto em 1912 pelo estatístico italiano Corrado Gini (VON ZUBEN & ATTUX, 2012; RAIMUNDO et al., 2008). Este índice mede o grau de homogeneidade/heterogeneidade dos dados. Segundo Silva (2005), o índice de Gini quanto mais próximo de zero mais puro é o nó (ou subdivisão), ou seja, um nó é puro quando todos os casos pertencem a uma única classe do nó. Já quando o valor do índice de Gini se aproxima de 1 mais impura é a subdivisão, ou seja, número de classes distribuídas neste nó aumenta.

Segundo Silva (2005), Kheir et al. (2010), Wolski (2016) e De Alvarenga Junior (2018), a construção e interpretação de AD são fáceis, pois, cada nó não terminal representa um teste ou decisão sobre o item de dado considerado demonstrando regras de fácil compreensão, como, por exemplo, regras do tipo “se então”. Conforme Kheir et al. (2010) as AD podem indicar automaticamente as interações entre as variáveis contínuas

(como a elevação) e as variáveis categóricas (como os materiais parentais), no caso, variáveis preditoras. São frequentemente utilizadas como ferramenta no mapeamento digital de solos devido seu potencial em explicitar e esclarecer as relações entre fatores de formação e classes de solos (TEN CATEN et al. 2012b; WOLSKI, 2016). As AD auxiliam na identificação das variáveis mais decisivas e os pesos relativos de cada variável (KHEIR et al., 2010) e as ramifica conforme sua inter-relação. Isto se dá principalmente devido a sua forma de representação, como um fluxograma hierárquico em forma de árvore o que permite reconhecer os estágios de decisão e a ligação entre cada um deles (WOLSKI, 2016). Adicionalmente, segundo Giasson et al. (2011), as decisões utilizadas pelo modelo na separação das ramificações (nós) da árvore são similares ao raciocínio do pedólogo. Nos estudos com MDS as decisões de classificação são feitas a partir de dados de solos (amostras) e variáveis ambientais derivadas do Modelo Digital de Elevação (MDE) (COSTA, 2016).

Conforme Ten Caten et al. (2012b), predições baseadas em Árvores de Decisão apresentam a vantagem de possibilitar reconhecer as relações solo-paisagem, pois o agrupamento é feito pela busca por padrões e possibilita o entendimento de como a verdade de campo e as variáveis ambientais são inter-relacionados. Dessa forma, a utilização deste modelo (AD) é pertinente nos estudos de prognóstico das classes de solos, pois permite reconstruir as relações solo-relevo de modo análogo às concepções tradicionais dos levantamentos de solos, como nos estudos relacionados a AECP. Ademais, conforme Giasson et al. (2011), esse modelo tem apresentado melhor aproximação com a realidade de campo, obtendo maiores acurácias nas predições.

Desta maneira, técnicas de mineração de dados utilizadas no mapeamento digital de solos vai além de relações matemáticas estabelecidas por modelos em computador, mas corroboram com os critérios dos levantamentos convencionais, pois baseiam-se nas relações entre os solos e as características ambientais que determinam a formação dos mesmos na paisagem (MINASNY & McBRATNEY, 2016; LAGACHERIE & McBRATNEY, 2006). Uma vez que o modelado do terreno está ligado as características litológicas, que são observadas no padrão de drenagem do relevo local, que permite o reconhecimento de áreas propícias a infiltração ou deflúvio da água das chuvas em uma bacia, tais técnicas estão de acordo com as primeiras preposições sobre os levantamentos dos solos propostas por Dokuchaev nos primórdios da ciência do solo, e por Janny (1941),

cuja proposta estão pautadas na abordagem *Clorpt*⁷ (MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2003).

São vários os exemplos pautados na aplicação de técnicas de mapeamento digital de solos utilizando atributos morfométricos na predição de solos observados na literatura. Moore et al. (1993) utilizou Análises de Regressão Linear Múltipla em atributos topográficos derivados de MDE para prever atributos dos solos derivados de calcário em uma bacia no Colorado – EUA. Os autores encontraram uma correlação significativa entre as variáveis do terreno e os atributos dos solos, sendo que a declividade e o índice de umidade para a área estudada foram os atributos que apresentaram maior correlação com o solo. Chagas et al. (2013) utilizaram atributos morfométricos para caracterizar as relações solo-paisagem-material de origem numa bacia de aproximadamente 10.000 ha em São José de Ubá no Rio de Janeiro. Os autores encontraram que a declividade é o atributo do terreno que mais influência na distribuição dos solos na paisagem. Haja vista que a área estudada pelos autores mencionados compreende elevações de grande amplitude topográfica com vertentes íngremes e escarpadas, modeladas principalmente em granulitos noríticos. Os autores também constataram que a curvatura do terreno é o principal fator que determina a profundidade do solo, com solos menos profundos em locais côncavos e mais profundos em áreas convexas.

Sirtoli (2008) avaliou a utilização da geologia, produtos topográficos e índices espectrais na predição das classes de solos a partir de redes neurais artificiais (RNA). A área do estudo localizada no município de Pinhais – PR, compreende 447,3 ha, composta por sedimentos recentes do Quaternário, aluviões e depósitos coluvionares secundários, da Formação Guabirotuba. O mapa obtido por RNA obteve correlação de 0,88 com o mapa convencional. Ademais, o autor identificou que os solos mais evoluídos como os Latossolos, encontram-se predominantemente em locais planos de maior altitude na paisagem e em curvaturas divergente e convexa. Associações de Gleissolos e Organossolos predominam em plano convergente e perfil côncavo. A declividade foi o atributo que apresentou maior relação com as unidades de solos. Os solos de caráter

⁷ Segundo Mendonça-Santos & Santos (2003: 8) esta abordagem “estabelece que o solo é o resultado da interação entre cinco fatores: clima (**Cl**), organismos (**O**), relevo (**R**), material de origem (**P**) e tempo (**T**). Os quatro primeiros fatores interagindo no tempo, criam uma série de processos específicos que levam à diferenciação em horizontes e, consequentemente, à formação do solo. Jenny (1941), estabeleceu a seguinte equação para descrever o processo de formação do solo: $S = f(ClORPT)$, sendo o tempo visto como uma variável independente, enquanto as outras são variáveis dependentes”.

hidromórficos predominaram em declividade inferior a 3%, os Latossolos em declividades inferiores a 8% e os Cambissolos localizaram-se em declividade de até 20%.

Silveira (2010) em estudo na bacia Arroio do Corvo, modelada sobre rochas sedimentares da Formação Guabirota, no município de Pinhais – PR, comparou classificações de unidades preliminares dos solos por RNA e por tabulação cruzada. Segundo este autor, o mapa obtido por RNA concorda em 77% de área com o obtido por tabulação cruzada. No entanto, nas unidades de solos preditas por RNA os limites se mostraram mais precisos e as discordâncias com os mapas preliminares foram menores, mostrando melhor resultado comparativo ao mapa convencional (exatidão global de 0,72). No estudo os atributos topográficos de declividade, IMF, ITU, e índice de capacidade de transporte de sedimento apresentaram melhor relação entre as unidades de mapeamento e os tipos solos existentes.

Coelho e Giasson (2010) compararam métodos de classificação dos solos por regressões logísticas múltiplas multinomiais (RLMM) e por Árvores de Decisão (AD) numa área de aproximadamente 102.000 ha, localizada na unidade geomorfológica do Planalto Rio grandense, formação Serra Geral, do Estado do Rio Grande do Sul. Os autores constataram que as classificações por AD apresentam sensíveis melhoras na acurácia global (67,31% contra 67,01% obtida por RLMM) e significativas melhoras no índice Kappa (38,6% contra 32,81 obtida por RLMM). Segundo os autores, as variáveis morfométricas que melhor explicaram a distribuição das classes de solos foram a 1) declividade, 2) o perfil de curvatura, 3) a elevação, 4) o plano de curvatura e 5) o índice de umidade topográfico. Teske et al. (2014) compararam diferentes modelos digitais de elevação na predição dos solos no município de Dois Irmãos – RG, cuja geologia abrange rochas basálticas da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu. Para tanto, os autores utilizaram árvores de decisão e identificaram que os atributos do terreno que melhor explicaram a distribuição dos solos em todos os modelos digitais de elevação testados foram, a elevação, a declividade, comprimento de fluxo e orientação da vertente. Neste estudo os autores encontraram acurácia de 54,71% e índice Kappa de 0,46% com relação ao mapa convencional de solos. Em outro estudo, na bacia do Rio Santo Cristo, com quase 90.000 ha sobre basalto da Formação Serra Geral, Teske et al. (2015), compararam três esquemas diferentes de amostragens, também utilizando árvores de decisão e evidenciaram que a elevação foi a principal variável na ocorrência dos solos em todas as formas de amostragem.

Pozza et al. (2015) desenvolveram um mapa digital de solos utilizando árvores de decisão em uma sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Vista Bela, localizado à margem direita do Rio Aiuruoca, no município de Andrelândia em Minas Gerais. A partir de um modelo digital de elevação os autores geraram quinze atributos de terreno⁸ dos quais foram extraídas informações de cada pixel por classe de solo de um mapa pedológico na escala de 1:10.000. As informações corresponderam ao polígono como um todo e das partes mais centrais dos polígonos (20 e 40 m da borda). Tais informações serviram como base para a geração das árvores de decisão em ambiente R. Os autores geraram mapas de solos para cada árvore de decisão, sendo que a validação de cada um deles foi realizada com 20 pontos visitados em campo. Como resultado, os autores verificaram que o mapa de solos gerado pelo polígono que desconsiderava 20 m da borda apresentou maior acurácia com os pontos em campo (kappa 0,3525 e global 55%), ademais a elevação foi a principal variável preditoras dos tipos de solos no estudo.

Para a região não foram constatados estudos que utilizassem modelos geostatísticos para o prognóstico da distribuição dos solos. O trabalho desenvolvido por Silva (2017) é o que mais se aproxima da proposta empregada nesta pesquisa. Na carta de Marechal Cândido Rondon, Silva (2017) desenvolveu e comparou mapeamento de solos por técnicas tradicionais e mapeamento de solos por álgebra de mapas usando variáveis morfométricas atribuindo-se pesos conforme a intensidade da influência dos processos pedogenéticos. O autor obteve as informações morfométricas do terreno: altimetria, declividade, índice de capacidade de transporte de sedimentos, índice topográfico de umidade, a partir dos dados *SRTM* (30 metros de resolução), e curvatura do terreno do Projeto Topodata (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil). A validação do mapeamento consistiu na observação em campo de 160 pontos mapeados. O mapeamento por álgebra teve 71,9% de correspondência com os pontos, e o mapeamento convencional 76,3%. A comparação entre o mapeamento convencional e o mapeamento por álgebra indicou correspondência espacial de 66%. Silva (2017) constatou que os Latossolos Vermelhos estão associados a locais de estabilidade do terreno, às classes de declividade de até 6%, curvaturas divergentes e retilíneas, nas menores classes do índice de transporte de sedimentos (classes 1 e 2) e do ITU (classe 2). Enquanto que solos menos desenvolvidos pedogeneticamente, como os Neossolos e

⁸Aspecto, declividade, distância vertical para a rede de drenagem, índice topográfico de umidade, índice de umidade SAGA, multiresolution index of valley bottom flatness, elevation, multiresolution index of ridge top flatness, plan e profile curvatures, hillshade, slopeheight e valleydepth.

Cambissolos, encontram-se em declives superiores a 20% e nas maiores classes de índice de transporte de sedimentos.

Como observado, a implementação e utilização de variáveis morfométricas, e a utilização de modelos geoestatísticos no prognóstico da distribuição dos solos, permite inferir variações espaciais e temporais dos tipos e propriedades dos solos com mais rapidez e níveis de confiança satisfatórios (SAMUEL-ROSA & VASQUES, 2017; SOUZA et al., 2017). Estas técnicas podem ser consideradas como um avanço no entendimento das relações solo-relevo na formação dos solos e contribui para melhor delineamento dos limites dos solos (LIMA et al., 2013; DEMATTÊ, 2014). Ressalta-se que o produto depende da qualidade e da resolução dos dados bases. Desta maneira, como salientado por Thompson et al. (2001) e Vaze et al. (2010), a resolução dos dados deve estar atrelada a escala de representação da paisagem desejada. Pois, segundo os autores, diferentes resoluções e precisões dos dados de entrada podem gerar características topográficas e hidrológicas variadas, que afetam as previsões da distribuição dos solos, por exemplo.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

2.1.1 LOCALIZAÇÃO

A área do estudo possui 190 hectares e integra o setor leste do município de Toledo, no limite com o município de Cascavel (Figura 3). Corresponde a uma bacia hidrográfica de 1ª ordem, de um tributário do rio Lopei, na localidade conhecida como Esquina Memória. A área está inserida no Planalto de Cascavel no extremo leste da Bacia do Paraná 3 (BP3), no limite com a Bacia do rio Piquiri.

2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A bacia hidrográfica possui forma alongada, vale em V aberto, dissimétrico, com canal confinado. Apresenta gradiente topográfico de 107 metros (587 à 694 metros) (Figura 4 A). O relevo local varia de suave ondulado (3-8% de declividade) nos segmentos de topo e média alta vertente, à ondulado (8-20%) nos segmentos de jusante e média baixa vertente (Figura 4 B).

A geologia consiste de rochas formadas pelos derrames basálticos do tipo fissural, que ocorreram durante a separação do continente Sul Americano e da África. As rochas vulcânicas básicas acamadas nas bacias do Paraná e Huab na África formam uma das maiores províncias de basaltos de platô do Planeta (WICANDER & MONROE, 2009; FERNANDEZ et al., 2011). Amparando-se em Arioli e Licht (2013), a área do estudo integra o Grupo Serra Geral, cujos derrames ocorreram entre o Jurássico e o Cretáceo. Pormenorizadamente, a área insere-se no Membro Toledo da Formação Cascavel (Figura 5). Este Membro é a subunidade mais espessa e extensa da Formação Cascavel, em que a espessura total aparente chega a atingir 380 metros, sendo composto essencialmente por basalto maciço de coloração cinza-arroxeadado, com rochas vulcanoclásticas subordinadas, procedentes predominantemente de derrames tabulares, que contribuíram para formação e evolução de interflúvios alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em V, com predomínio de declividades entre 6 a 12% (ARIOLI & LICHT, 2013; ARIOLI & SALAZAR JR, 2014).

Figura 3. Localização da área do estudo.

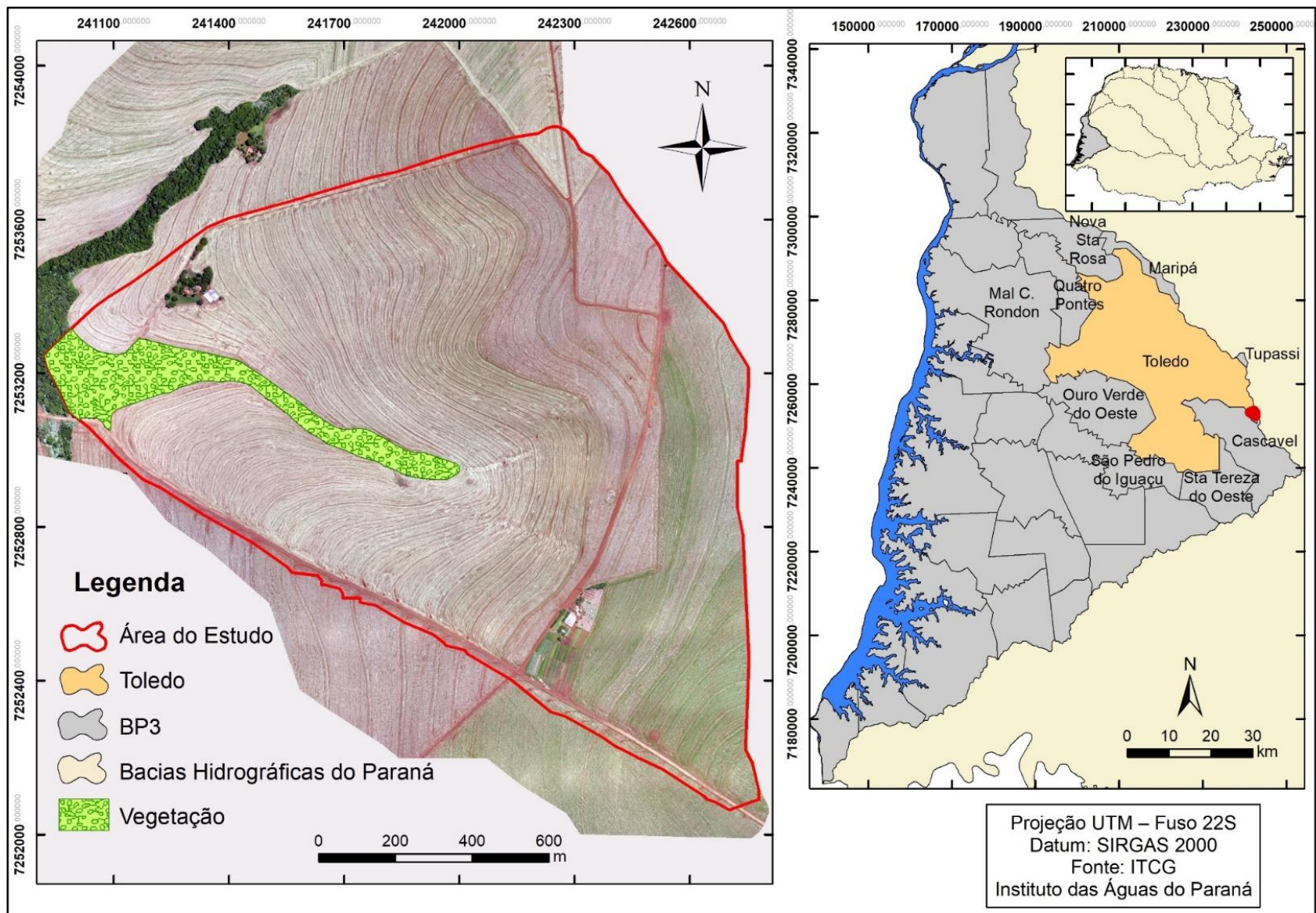


Figura 4. Mapa hipsométrico (A) e mapa de Declividade (B).

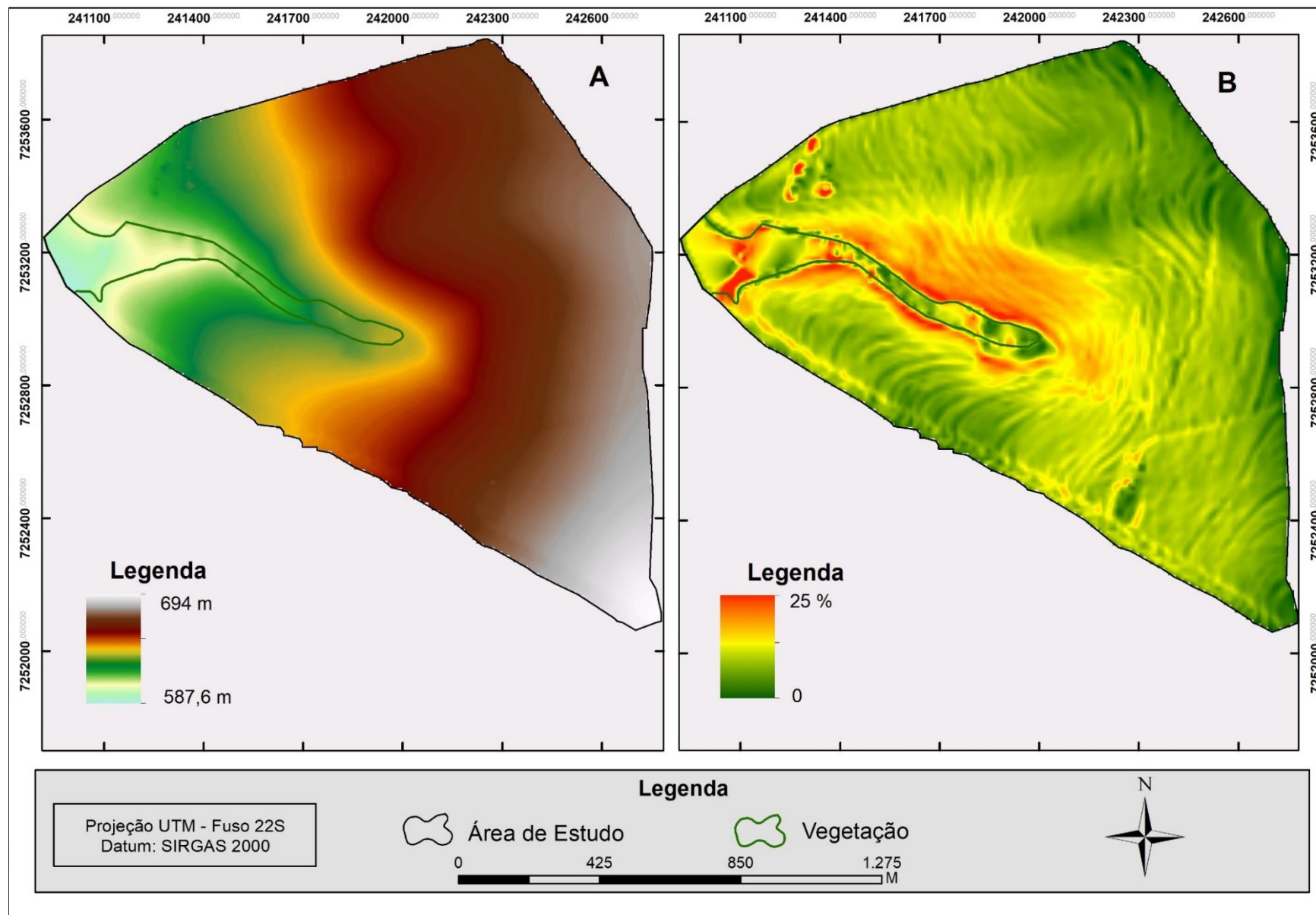
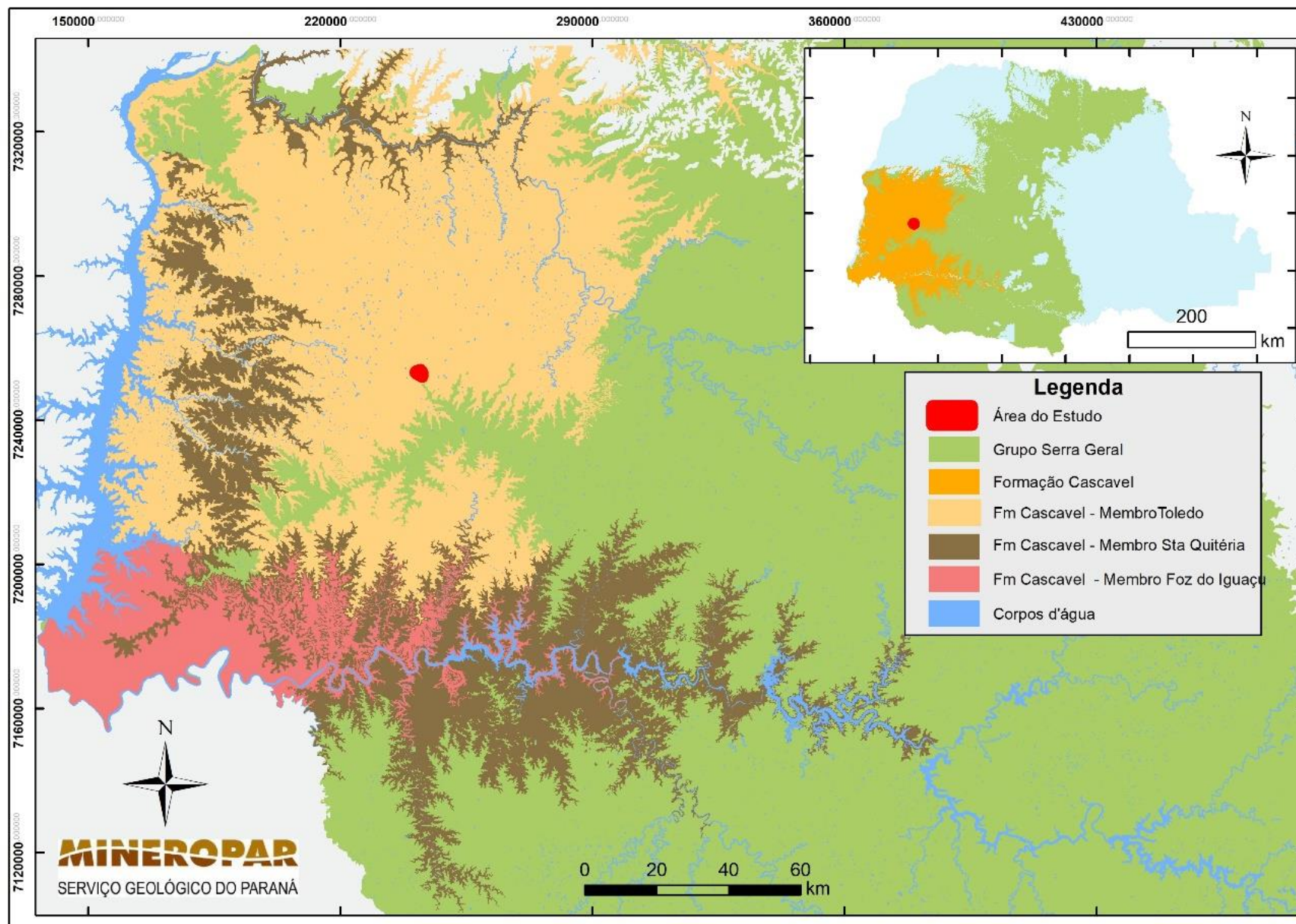


Figura 5. Mapa da Geologia da região onde se insere a área do estudo.



As características geológicas combinadas ao fator climático foram fundamentais na evolução da paisagem da região e na instalação e distribuição dos corpos d'água, os quais ao longo do tempo promoveram o recuo das vertentes e o entalhamento de canais perenes (SILVA, 2017). No planalto de Cascavel, devido a predominância de relevo mais plano, a densidade de drenagem é considerada baixa, e os canais tendem a ser caudalosos e sinuosos (FERNANDEZ et al., 2011).

O clima quente e úmido da região favoreceu a ação de intemperismo químico e físico, decompondo e desintegrando os minerais presentes no basalto, como os plagioclásios, piroxênios, magnetita, olivina e apatita. A decomposição destes minerais contribui para a formação de solos com textura muito argilosa, profundos e evoluídos, com fertilidade variável, devido ao incremento de elementos como oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (hematita e goethita), magnésio e cálcio (PINESE & NARDY, 2003; WICANDER & MONROE, 2009). Segundo Fernandez et al. (2011), o Planalto de Cascavel da BP3 é formado por vertentes longas, convexa-retilínea, onde predominam sequências de solos compostas por Latossolos Vermelho Distroférrico nos seguimentos de topo e ao longo dos interflúvios, Nitossolo Vermelho Distroférrico na média vertente, e, solos rasos (Neossolos Regolíticos e Litólicos e Cambissolos) nos setores mais íngremes das rupturas de declividade que definem o fundo de vale, e, em situações em que o fundo do vale é amplo tem-se o desenvolvimento de Neossolos Flúvicos.

A vegetação natural que recobria a região é a Floresta Estacional Semidecidual (FES), caracterizada pela perda parcial de folhas, condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica (RODERJAM et al., 2002). Segundo Feiden et al. (2011), nos fundos de vales, associadas às margens dos rios, encontram-se as formações Aluviais que abrigam as matas ciliares, e, em áreas bem drenadas com elevações acima de 400 metros de altitude, predominam florestas do tipo Montana, com dossel elevado e denso. Estas fisionomias recobriam a maior parte da região até início da década de 1960. Com a colonização da região, substituiu-se vegetação por culturas agrícolas.

No fator climático a área do estudo está sob influência do tipo climático Cfa, Clima Subtropical Úmido, segundo a classificação de Köppen. Corresponde a um clima mesotérmico, que devido a estacionalidade dos sistemas de alta e baixa pressão, apresenta predominância de verões quentes e com maior índice pluviométrico nessa época do ano (BORSATO & MENDONÇA, 2013). A região não apresenta uma estação seca definida, e possui média anual de 1600 mm a 1800 mm de chuva (CAVIGLIONE, et al., 2000; LIMBERGER, 2007; BORSATO & MENDONÇA, 2013). Segundo os autores

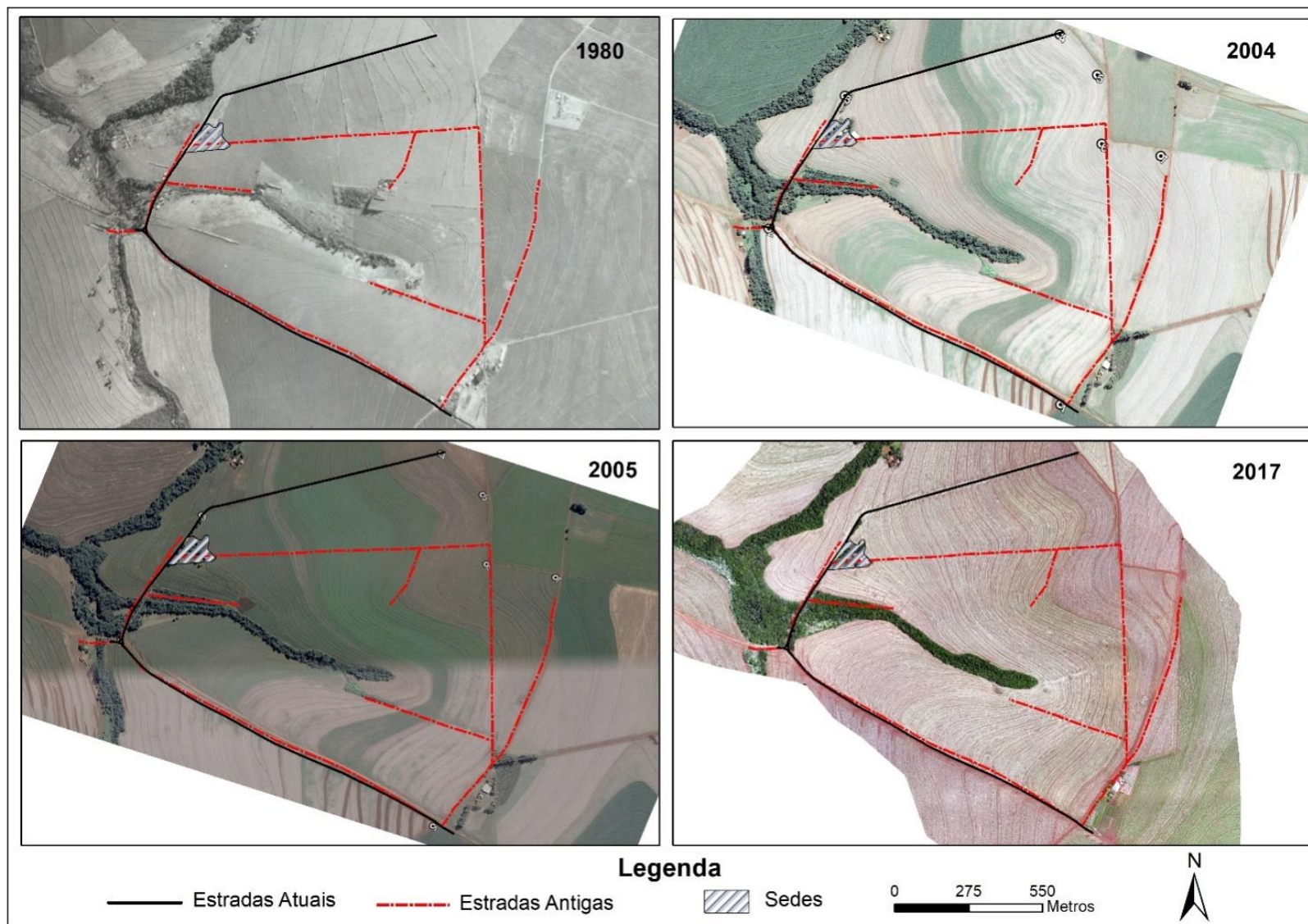
supracitados, os sistemas atmosféricos atuantes na região como a Massa Polar Atlântica, a Massa Tropical Atlântica, a Massa Tropical Continental, a Massa Equatorial Atlântica e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), em conformação com o relevo, contribuem para homogeneidade na distribuição das chuvas ao longo do ano. Segundo Caviglione et al. (2000), no trimestre mais chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro), o índice pluviométrico pode variar de 400 a 500 mm de chuva. Este período corresponde também ao trimestre mais quente, onde a temperatura pode variar de 27 a 39 °C. De modo geral, a temperatura média no período mais frio é inferior a 18 °C, e a temperatura média no período mais quente é superior a 22 °C.

O desenvolvimento populacional e econômico do município de Toledo ocorreu de forma acelerada. Oficialmente decretado como município no ano de 1951, sua colonização deu-se a partir de frentes pioneiras oriundas principalmente de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os colonizadores estavam em busca de novas fronteiras agrícolas e consideravam a área do município como de grande potencial de produção (TOLEDO-PR, 2015). Conforme dados do IBGE de 2010, quase 60% da atividade econômica de Toledo tem ênfase no cultivo de lavouras temporárias, principalmente lavouras de soja e milho (FABRIS et al., 2011; ZANÃO JÚNIOR et al., 2015).

Na área de estudo em específico, quatro momentos de evolução do uso e a cobertura da terra (Figura 6). Em 1980 a quantidade de construções (casas e galpões) e o sistema de estradas na bacia eram mais densos do que atualmente, com carreadores ligando as casas/galpões com as estradas rurais principais (nos divisores de água). Algumas construções da propriedade foram mantidas, enquanto outras foram retiradas. Na sede, apenas foram modificadas as estradas de acesso. O uso da terra também apresentou variações. Na década de 1980 o segmento de baixa vertente, na margem esquerda da bacia e parte da cabeceira era ocupado por pastagens. Em 2005 as pastagens eram restritas ao segmento de baixa vertente, no setor jusante da microbacia, próximo a estrada. Esta mesma área na imagem de 2017 já se apresentava ocupada pela vegetação ciliar, com características de regeneração. Em 2017 espécies típicas de hidromorfismo são retiradas do setor de cabeceira para melhor utilização agrícola. Porém, ainda há a ocorrência de área hidromórfica bem definida com lençol freático aflorando na superfície neste setor.

Atualmente a área é destinada à agricultura. A malha de estradas na área também foi modificada ao longo do tempo. Especificamente, ressalta-se a estrada localizada na cabeceira de drenagem, que quase se conecta ao curso de água da área.

Figura 6. Momentos de uso e ocupação do solo da área do estudo.



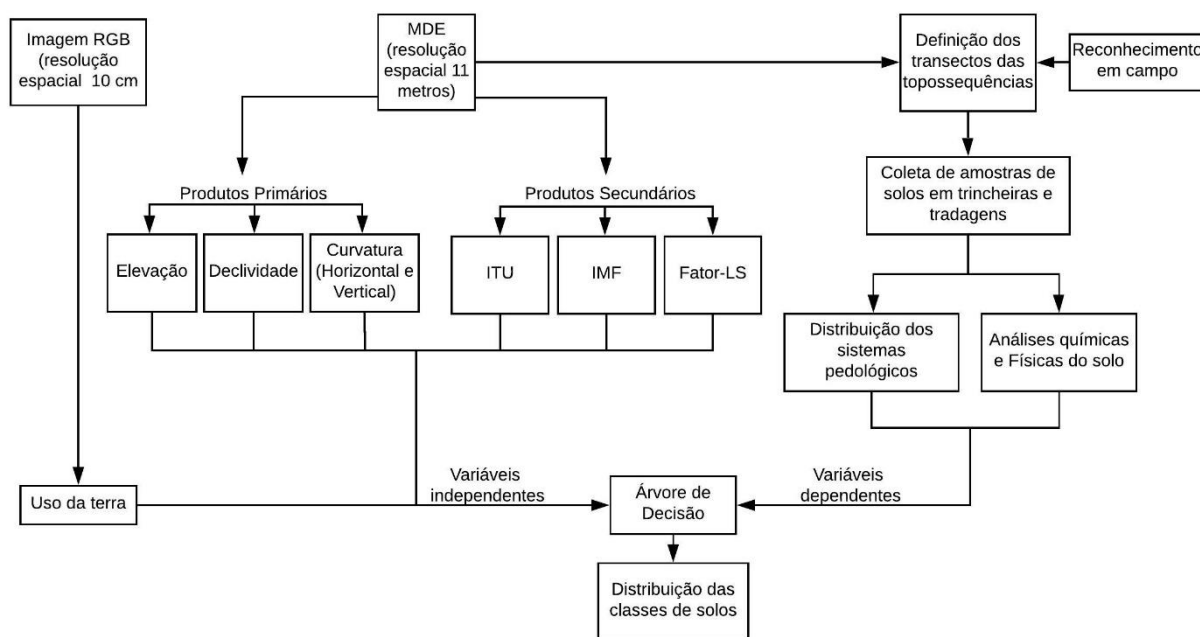
Fonte: Google Earth e ITC-PR (1980). Organizado pela autora.

3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

O desenvolvimento do trabalho consistiu basicamente no cumprimento de duas etapas descritas abaixo, e, que podem ser visualizadas no esquema da Figura 7.

- i) Utilização de variáveis morfométricas derivadas de Modelo Digital de Elevação obtidas via VANT como variáveis ambientais independentes no modelo de prognóstico da distribuição das classes de solos por meio de Árvore de Decisão e compreensão das relações solo-relevo.
- ii) Reconhecimento dos sistemas morfológicos da bacia por meio de topossequências e obtenção de dados para caracterização das classes de solo identificados. Os pontos de verificação – sondagens e trincheiras – foram utilizados como conjunto amostral – variável dependente – no modelo de Árvore de Decisão.

Figura 7. Ilustração das etapas realizadas no trabalho.



Todos os dados utilizados nesta dissertação, bem como seus resultados, pertencem a Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada e estão disponíveis em banco de dados próprio da Rede.

3.1 VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E ÁRVORE DE DECISÃO

Os equipamentos e ferramenta utilizados nesta etapa são descritas no Quadro 1.

Quadro 1. Materiais para Mapeamento Digital de Solos e sua utilização

Equipamento/Programa	Utilização/Produto
Aeronave Remotamente Pilotada, modelo <i>Ebee SenseFly®</i> (equipamento de propriedade da Itaipu Binacional)	Obtenção dos dados em campo para posterior elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e imagens RGB.
<i>Software</i> ArcGis, versão 10.4 (licenciado para o Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento da Unioeste – Campus de Marechal Cândido Rondon)	Elaboração das representações cartográficas de Declividade e mapas finais
<i>Software</i> SAGA, versão 2.2.6, obtido em http://www.saga-gis.org/en/index.html	Utilização do MDE para obtenção dos produtos: Curvatura, ITU, IMF e Fator-LS
<i>Software</i> R: <i>A Language and Environment for Statistical Computing</i>	Utilizado para obtenção do MDS por Árvore de Decisão, Acurácia e Importância das variáveis

As informações sobre as variáveis morfométricas da área do estudo foram obtidas do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de dados obtidos de um sobrevoo com Aeronave Remotamente Pilotadas (RPA). Trata-se de uma aeronave modelo Ebee SenseFly® acoplado a um Sistema de Satélite para Navegação Global RTK (*Real-time Kinematic*). O sobrevoo foi realizado pela Divisão de Apoio Operacional (ODRA.CD) da Itaipu Binacional em novembro de 2016, durante o período de entressafra, ou seja, sem cobertura por culturas agrícolas (Anexo 1). As imagens foram obtidas por câmera multiespectral Sony® modelo WX500 RGB acoplada a aeronave. Possuem precisão planimétrica de 3 cm e altimétrica de 5 cm, com resolução espacial de 10 cm em RGB e 11 metros em altimétrica. Um segundo voo foi realizado em novembro de 2017, após evento de precipitação intensa. Contudo, não foi obtido um modelo digital de elevação, apenas imagem RGB.

Os dados matriciais referentes as variáveis morfométricas derivadas do MDE obtido do VANT foram processados no *software* de Sistema de Informação Geográfica ArcGis 10.4 e SAGA 2.2.6. Estes produtos foram obtidos em duas etapas: atributos topográficos primários (Elevação, Declividade e Curvatura) e atributos topográficos secundários (ITU, IMF e Fator-LS). Especificamente, a Declividade considerando as classes da EMBRAPA

(2018) foi obtida no SIG ArcGis10.4⁹. No SAGA 2.2.6 foram obtidos a Curvatura e os atributos topográficos secundários ITU, IMF e Fator-LS¹⁰. A representação final (layout) foi organizada no ArcGis 10.4.

3.1.1 Atributos Topográficos Primários

Os atributos topográficos primários utilizados consistem na Elevação e nos dados referentes à Declividade e Curvatura das vertentes. Esses atributos permitem inferir respectivamente sobre a energia potencial do terreno, o volume e velocidade de escoamento superficial e ao conteúdo de água no solo (MOORE et al., 1991; LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI, 2012). As classes de declividade para a área foram definidas conforme proposto em (EMBRAPA, 2018) (Tabela 2).

Tabela 2: Classes de declividade e suas respectivas denominações qualitativas.

Gradiente	Classes de Relevo
0% a 3%	Plano
3% a 8%	Suave ondulado
8% a 20%	Ondulado
20% a 45%	Forte ondulado
45% a 75%	Montanhoso
>75%	Escarpado

Fonte: (EMBRAPA, 2018).

Para serem utilizadas no modelo de predição das classes de solos, a curvatura no plano foi classificada em convergente, planar ou divergente e a curvatura no perfil em côncavo, retilíneo e convexo. Estas separações permitem identificar com maior clareza os locais de maior acúmulo e/ou dispersão dos fluxos superficiais e subsuperficiais no terreno, bem como locais propensos à erosão e deposição (OLIVEIRA, 2005; VALERIANO, 2008; MINELLA & MERTEN, 2012).

⁹No ArcGis 10.4 a declividade é obtida através da ferramenta “Slop” da extensão “*Spatial Analyst Tools*”.

¹⁰ No SAGA 2.2.6 o perfil e plano de curvatura é obtido pelas ferramentas de *Análise de Terreno > morfometria*. E os demais atributos topográficos secundários (ITU, IMF e Fator-LS) são obtidos por *Análise de Terreno > Índices Topográficos*.

3.1.2 Atributos Topográficos Secundários

Os atributos topográficos secundários utilizados consistem no Índice Topográfico de Umidade (ITU) e no Índice de Máximo Fluxo (IMF) e Fator LS. Esses índices ressaltam, respectivamente, áreas que concentram maior teor de umidade no solo e os locais relacionados ao potencial de erodibilidade e transporte de sedimentos (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; SIRTOLI, 2008; MINELLA & MERTEN, 2012). O índice de umidade do terreno é um atributo calculado com a área de contribuição específica (A_c) e com o gradiente local ($\tan\beta$), e pode ser descrito pela seguinte equação:

$$ITU = (A_c / \tan\beta)$$

Eq. 1

Valores elevados correspondem a áreas com maior umidade no solo e estão associados às áreas mais baixas, possibilitando a identificação de hidromorfismo, ou zonas preferenciais de concentração de escoamento superficial na vertente. Já valores mais baixos representam condições de boa drenagem (MOORE et al., 1991; SILVEIRA, 2010; NOWATZKI, 2013).

O Fator LS (Equação 2) é dado pelo comprimento da rampa (L) e grau do declive (S), em que A_s é a área de contribuição específica, $\sin\beta$ é o seno da declividade, e os valores das constantes m e n são 0.6 e 1.3, respectivamente (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; BOEHNER & SELIGE, 2006; COUTINHO et al., 2014). Por sua vez, o IMF é definido pelo produto da área específica de contribuição (A_c) e a tangente da declividade (β) (Equação 3).

$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n$$

Eq.2

$$\Omega = A_c \tan \beta$$

Eq.3

Os maiores valores desses índices indicamos locais preferenciais de escoamento superficial e produção de sedimentos. Os locais de deposição são discretizados pelos

menores valores. Para utilização no modelo de Árvore de Decisão, os atributos secundários foram separados empiricamente em sete classes mais representativas com a realidade da área levando em consideração as relações solo-relevo. O agrupamento em classes permite inferir os locais de maior ou menor umidade do solo e maior ou menor atuação de processos de erosão/deposição. Segundo Silveira (2010) essas informações permitem identificar a possibilidade de solos com caráter hidromórficos e áreas de rejuvenescimento dos solos.

3.1.3 Construção da Árvore de Decisão (AD)

Os dados referentes aos atributos morfométricos e amostras coletadas em campo foram utilizados para integrar a AD. Os dados relativos as classes de solos foram obtidos através dos pontos de amostragem por tradagem e trincheira ao longo de 9 topossequências conforme proposto por Boulet et al. (1982ab) (tal etapa de coleta de amostras será descrita no item subsequente). As classes de solos correspondem a variável dependente no modelo e, os atributos topográficos primários e secundários as variáveis preditoras ou independentes.

Os dados supracitados, juntamente com as classes de uso da terra foram incorporados em ambiente R para a modelagem do prognóstico da distribuição das classes dos solos para áreas não amostradas através de Árvores de Decisão. No R a AD foi obtida através da função *rpart* (*Recursive Partitioning and Regression Trees*) (THERNEAU et al., 2017) seguindo os parâmetros estabelecidos na Equação 4.

Suscintamente, as variáveis ambientais independentes utilizadas na Árvore de Decisão correspondem ao tipo de uso, o qual foi separado entre as áreas de agricultura e de vegetação; e nos atributos topográficos de: Elevação, Declividade, Curvatura no Perfil, Curvatura no Plano, Fator LS, Índice Topográfico de Umidade e Índice de Máximo Fluxo (Equação 4).

$$\text{AD} = (\text{Classe de solo} \sim \text{Uso} + \text{Elevação} + \text{Declividade} + \text{Curvatura Perfil} \\ + \text{Curvatura Plano} + \text{Fator LS} + \text{ITU} + \text{IMF})$$

Eq. 4

em que $\sim$ significa dependência.

Para avaliar a pureza das previsões da AD foi utilizado o recurso de Validação Cruzada pelo método LOOCV (*Leave One Out Cross Validation*). Segundo De Avarenga Junior (2018, p.12):

A validação cruzada do tipo LOOCV, utiliza como conjunto de treinamento $n - 1$ observações, de um total de n instâncias, separando apenas uma (1) amostra para a validação. Em cada treinamento realizado, a amostra de validação é trocada de modo que todas as amostras existentes sejam utilizadas para esta finalidade. Ou seja, para um conjunto de n amostras, haverá n treinamentos.

n corresponde ao total de observações e i cada observação individual. O resultado da validação cruzada (CV) é dado pela média simples da avaliação de cada rodada ($\mathcal{L}_i$), conforme equação:

$$CV_{(n)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}_i$$

Eq. 5

A identificação de quais variáveis ambientais foram mais importantes na definição dos cortes de decisão pelo modelo foi possível a partir da utilização da função de importância da variável para modelos de regressão e classificação (*varImp*) do pacote *caret* (*Classification And Regression Training*). As medidas de importância das variáveis são dimensionadas para ter um valor máximo de 100 (KUHN et al., 2018). Essa identificação permite elucidar a aplicabilidade de resposta das variáveis preditoras na distribuição dos solos. Por fim, o resultado da AD especializou a distribuição dos solos na área e possibilitou identificar as relações da disposição dos solos com as características do relevo.

3.2 RECONHECIMENTO DOS SISTEMAS MORFOPEDOLÓGICOS: DADOS EMPÍRICOS E CONJUNTO AMOSTRAL

Para esta etapa da pesquisa foram utilizados os vários materiais e equipamentos, descritos no Quadro 2.

Quadro 2. Materiais, equipamentos de campo e utilização.

Equipamento/ferramenta	Utilização
Máquina Retroescavadeira	Abertura das trincheiras
Material de campo (faca, enxada, enxadão, pá, Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, Tabela Munsell de cores, Ficha de Descrição de perfis de solo, embalagens para coleta)	Limpeza dos perfis e descrição macromorfológica e coleta de amostras de solo
GPS Garmim ® 62S	Localização dos pontos de estudo
Trado Holandês	Sondagem por tradagem
Estação Total LAICA Geosystems TCR – Serie 1103 (com prisma original)	Levantamento detalhado da topografia das topossequências – para representação bidimensional da cobertura pedológica

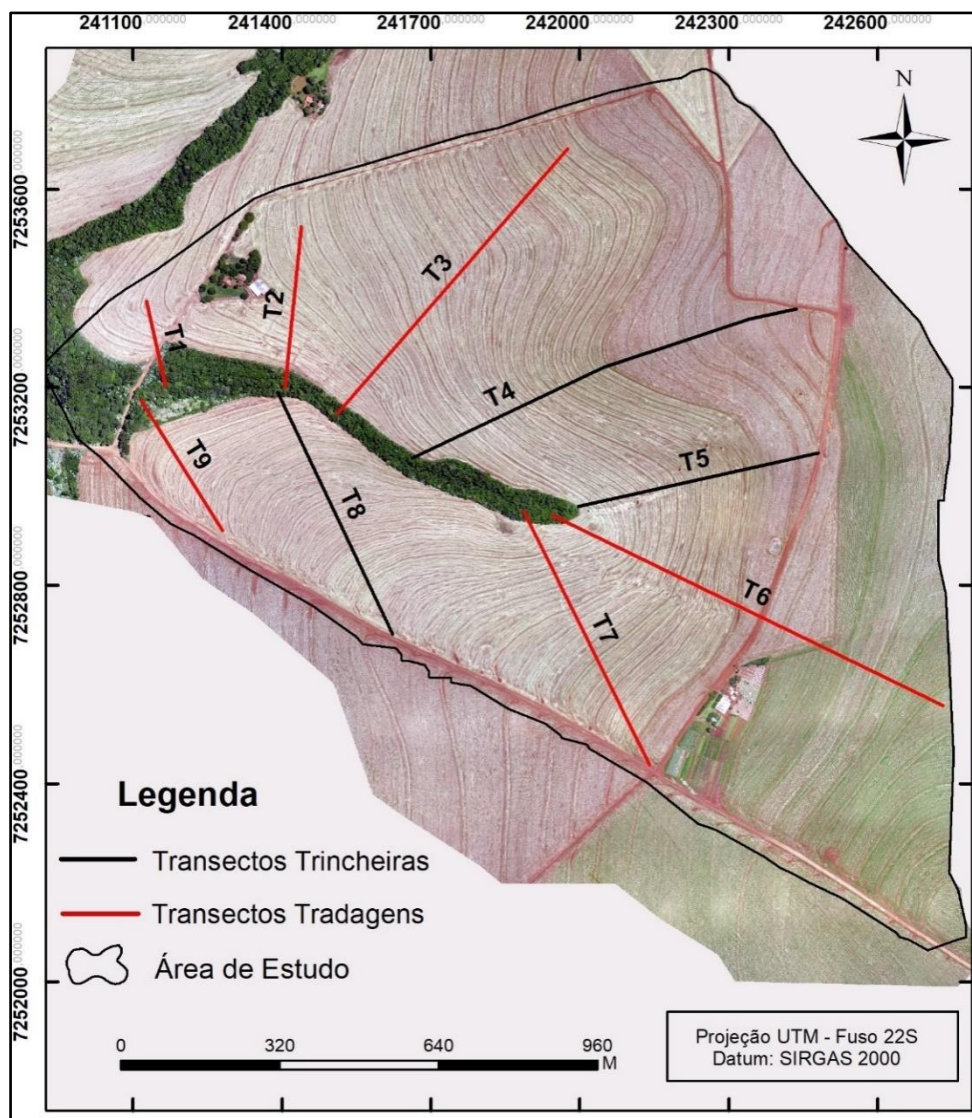
O reconhecimento dos sistemas morfopedológicos predominantes amparou-se nos procedimentos descritos como Análise Estrutural da Cobertura Pedológica proposta por Boulet et al. (1982a,b). Inicialmente foram realizadas expedições na área do estudo amparados com produtos cartográficos como cartas topográficas, figuras da área do estudo elaboradas a partir de imagens de satélites e modelos digitais de elevação para o reconhecimento prévio da área. Pautando-se nas observações em campo e na relação solo-relevo, definiram-se os seguimentos de vertente conforme Dalrymple et al. (1968). O blocodiagrama dos segmentos de vertente da área de estudo foi elaborado em software livre Surfer 9.11. Com a delimitação dos segmentos foi possível definir os locais que seriam explorados por meio de trincheiras e tradagens.

O total de oito trincheiras foram abertas pela máquina retroescavadeira. Cada trincheira possuía dois metros de profundidade e estavam dispostas ao longo de duas topossequências com sistemas pedológicos representativos da área do estudo, identificadas como Topossequência 4 (T4) e 8 (T8) (Figura 8). Em cada trincheira foram realizadas descrições das feições macromorfológicas dos solos seguindo o Manual de Descrição de Solos (SANTOS, 2015). Em cada perfil de solo, os horizontes foram descritos e amostrados para análises químicas e físicas de rotina para fins de classificação dos solos até o quarto nível categórico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Os dados de uma terceira topossequência, com abertura de cinco trincheiras, foram utilizados para a caracterização dos sistemas morfopedológicos neste trabalho. No entanto, os resultados detalhados dos atributos macromorfológicos, físicos e químicos não serão apresentados, visto que a topossequência em questão (T5) é parte dos resultados da pesquisa de doutorado de outro integrante do Programa RedeAgro. No segmento de

fundo de vale, na área recoberta pela vegetação arbórea, os solos foram identificados por meio de tradagem e de descrição de perfis expostos em barrancos. Outras seis topossequências foram investigadas por meio de tradagens para identificação dos tipos de solos na área da bacia (Figura 8).

Figura 8. Localização das topossequências na área da bacia.



As topossequências levantadas por meio de tradagem tem por finalidade identificar a mudança vertical e lateral dos solos e as variações na forma e extensão das vertentes, a fim de demonstrar os sistemas morfopedológicos. Os pontos de verificação (por trincheira e tradagem) constituem-se na verdade de campo e no conjunto amostral utilizado para alimentar a Árvore de Decisão na predição das classes de solos em áreas não amostradas na área do estudo.

3.2.1 Métodos de análise do solo

Nos perfis da T4 e T8 foram coletadas amostras de cada horizonte do solo e enviadas ao laboratório do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) em Londrina (PR). Realizou-se as análises físicas (granulometria) e químicas de rotina (macro e micronutriente, pH, matéria orgânica do solo). Os resultados foram utilizados para fins de classificação do solo.

Análise granulométrica

A análise granulométrica expressa a composição granulométrica e a textura do solo através da distribuição do percentual das partículas primárias do solo (areia, silte, argila). A análise foi realizada através do método da pipeta (adaptado de EMBRAPA, 1997).

Análise química de rotina

As análises químicas (macro e micronutrientes) permitiram a caracterização e classificação dos solos. Foram determinados os seguintes elementos químicos: Cálcio e Magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), Fósforo (P), Potássio (K^+), Alumínio trocável (m), Acidez potencial (H+Al) (tampão SMP) e pH (Acidez ativa) em KCl (1 Mol).

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) foi determinada através dos valores da soma de bases (Ca+Mg+K) e da acidez potencial (H+Al). O teor de matéria orgânica foi determinado conforme o método Walkley-Black (Embrapa, 1997), pela obtenção de carbono orgânico na oxidação por via úmida com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N) em meio sulfúrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O MDE elaborado a partir dos dados obtidos pelo VANT e os atributos morfométricos extraídos ampararam a delimitação da distribuição espacial das classes de solo na área a partir da relação solo-relevo assistida por AD. Adicionalmente, os atributos também permitiram a observação de algumas dinâmicas na paisagem que podem explicar a ocorrência de processos erosivos presentes na área do estudo. A apresentação dos resultados dar-se-á com a descrição dos produtos primários e secundários obtidos do MDE, e em seguida, a distribuição das classes de solos obtidas pela Árvore de Decisão para as áreas não amostradas, e posteriormente a distribuição dos solos identificados no estudo por topossequência.

4.1 ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS

4.1.1 Produtos Primários

Os produtos primários obtidos dos dados do VANT correspondem aos tipos de uso e ocupação do solo, a hipsometria, as curvas de nível e a declividade (Figura 9). Sobre o primeiro item, dos 189,9 ha da área do estudo, apenas 9,8 ha (5,2%) correspondem a área de vegetação (Gráfico 1), que se limita ao fundo de vale da área, com presença de vegetação arbórea de diferentes estratos e de lianas (cipós e trepadeiras). O restante da área da bacia (94,8%) é destinado a agricultura (Figura 9A, Gráfico 1).

Gráfico 1. Porcentagem de área de uso e declividade.

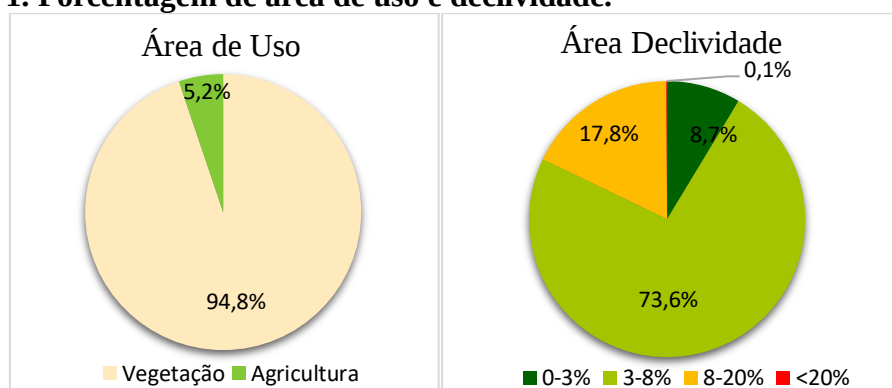
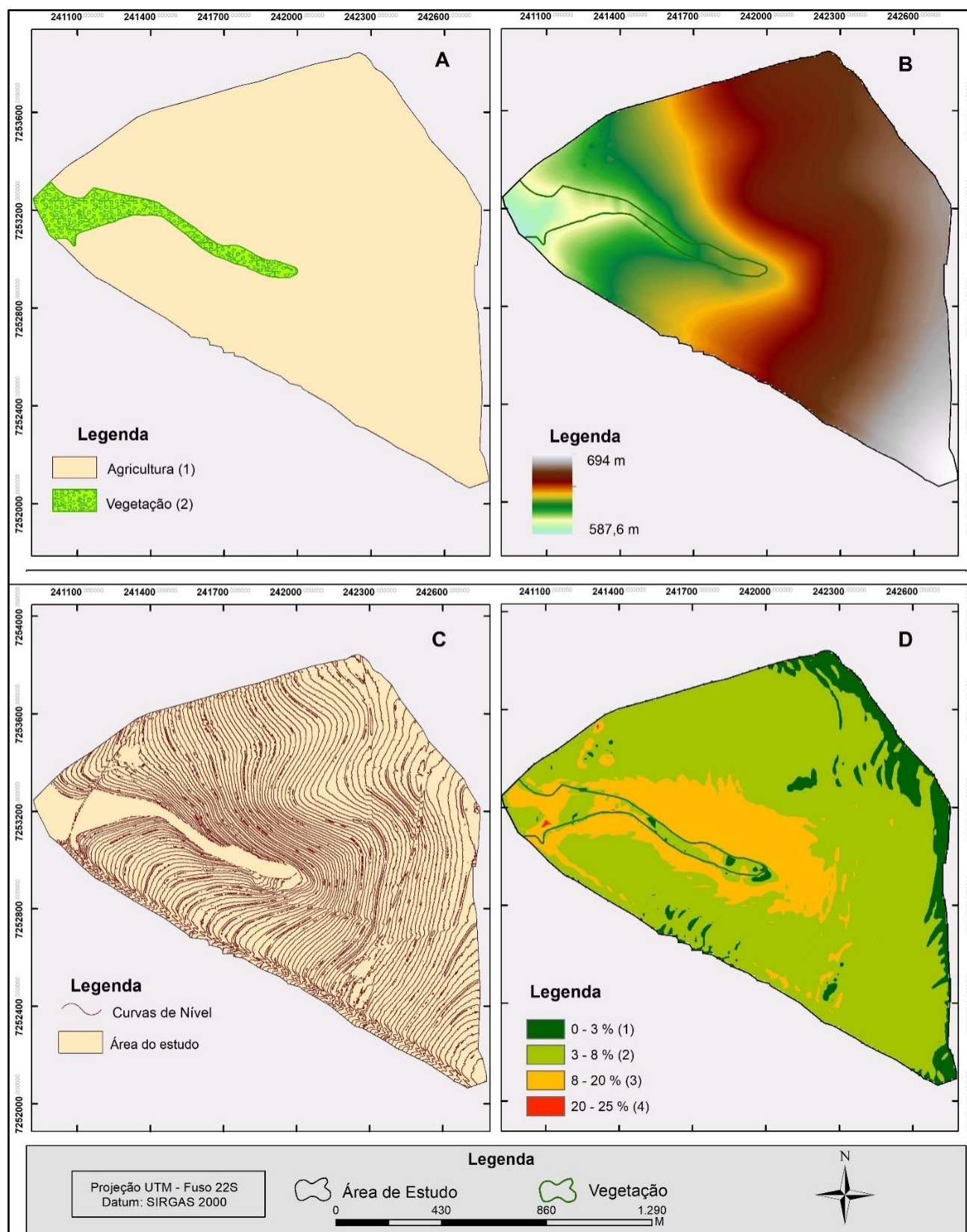


Figura 9. Representação temática do Uso e cobertura da terra (A), hipsometria (B), curvas de nível (C) e declividade (D).



Os patamares hipsométricos na área de estudo (Figura 9B) apresentam amplitude de 106,4 m, com altitudes acima de cerca de 660 m na alta vertente e nos setores de interflúvio alcançam 694 m de altitude. Nos setores de média vertente (coloração amarelada) a altitude varia entre 630 m e 640 m. Os patamares decaem em direção ao canal e no sentido oeste da área chegando a 587 m de altitude.

A disposição das curvas de nível¹¹ indica para os setores norte e centro da bacia possíveis áreas de canal de ordem zero, em que o fluxo superficial pode se canalizar em eventos de maior precipitação (Figura 9C). Em relação a declividade (Figura 9D), do total da área do estudo, 8,7% (15,6 ha) correspondem a áreas planas, de 0 – 3% de declividade; 132,5 ha ou 73,6% da área correspondem a declividade de 3 – 8% e; 32 ha às declividades de 8-20%, equivalente a 17,8% da área (Gráfico 1). No segmento de média vertente tem-se uma mudança de declividade, com valores entre 8 a 20%. Nas áreas de alta vertente, predominam as menores declividades, entre 0 e 3 %, seguida da declividade de 3 a 8%, maior parte da área. Próxima a cabeceira da drenagem há uma área de baixa declividade, entre 0 a 8%, formando um pequeno anfiteatro (proto cabeceira) (Figura 8D). A relação entre a configuração das curvas de nível com possíveis canais de ordem zero não são relacionadas diretamente com as áreas de maior declividade, as quais se encontram na média vertente.

A observação dessas representações cartográficas demonstrou o gradiente de inclinação da área e indica as áreas propícias a um maior volume e velocidade de escoamento, sua capacidade de uso, processos de erosão e deposição. Quando relacionadas aos processos pedogenéticos, de modo geral, entende-se que o comportamento nas áreas mais planas é de potencial erosivo praticamente nulo e com maior tempo de concentração da água. São comumente associadas a áreas de deposição, e no contexto pedológico, prevalece a pedogênese sobre a morfogênese. Nessas áreas com maior altitude, declividade reduzida e de ampla abrangência espacial predominam a presença de solos mais profundos e evoluídos. Nas áreas de declives suaves de 3 – 8%, o tempo de concentração é menor, com maior escoamento superficial, mas ainda prevalece a pedogênese sobre a morfogênese, pois a percolação de água no solo auxilia nos processos de intemperismos (LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI, 2012). Nessa condição, os solos comumente observados na área do estudo são representados pelo Nitossolo

¹¹ As curvas de nível não foram consideradas na árvore de decisão, o que se considerou foi a curvatura já classificada em perfil e plano de curvatura conforme descrito nos materiais e métodos. A figura das curvas de nível é demonstrada apenas para maior detalhamento das características físicas da área.

Vermelho Férreo. As áreas que apresentam maior declividade possuem menor tempo de concentração e maior potencial erosivo, contribuindo para menor desenvolvimento dos perfis de solo.

As representações de curvatura do terreno (Figura 10) evidenciaram a configuração da área em relação ao plano e perfil de curvatura. O perfil de curvatura indica que no segmento norte há uma área onde a vertente é côncava, no sentido NE-SO. Essa mesma área foi sugerida pela disposição das curvas de nível na área, ficando também evidente no perfil de curvatura. No setor oeste da área do estudo também se observa uma área côncava, com direção predominante NE-SO e SE-NO, sendo esta última mais difusa. Contudo, a primeira também foi sugerida pelas curvas de nível. Demais áreas de perfil de curvatura côncava são observadas margeando a vegetação, na baixa vertente. As áreas convexas abrangem os demais setores da área do estudo, assim como as áreas planas, que se encontram distribuídas principalmente na transição entre as áreas convexas e côncavas. O plano de curvatura indica que as áreas de fluxo convergentes e divergentes quase que se sobrepõem as áreas de curvatura côncava e convexa, respectivamente.

Os dados de perfil e plano de curvatura podem indicar as áreas potenciais a aceleração do escoamento, ao processo de erosão ou deposição, e ao comportamento dos fluxos e ao conteúdo de água no solo. As representações da curvatura do terreno podem indicar o conteúdo de água no solo. Conforme evidenciado por Valeriano (2008), a curvatura do terreno representada pela forma côncavo-convergente caracteriza maior concentração e acúmulo do escoamento. Na área do estudo, estas formas, juntas, representam 27,2 % da área (49 ha) (Gráfico 2). Estes locais, por concentrarem os fluxos, têm maior possibilidade de retirada de material. Ainda segundo Valeriano (2008), a forma convexa-divergente, que representa 25,3% da área (45,5 ha) (Gráfico 2), expressa maior dispersão do escoamento. Nestes locais o risco de escoamento concentrado é menor, e desta maneira permite maior possibilidade de infiltração da água no solo, e por esta razão, são mais propícias a formar solos mais profundos e evoluídos pedogeneticamente (LEPCH, 2002; KAMPF & CURI, 2012). As combinações intermediárias, dadas pelas curvaturas retilíneas e planares têm características hidrológicas mais dependentes das relações entre as demais formas (VALERIANO, 2008).

Figura 10. Perfil e Plano de Curvatura e porcentagem de área correspondente.

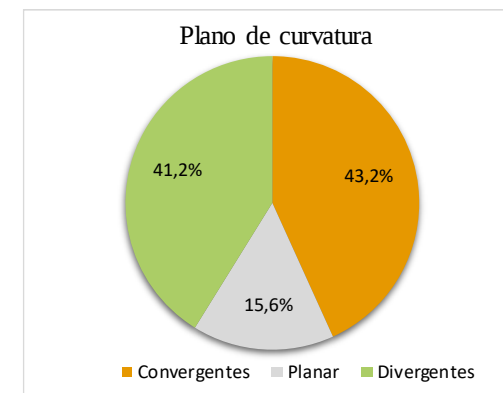
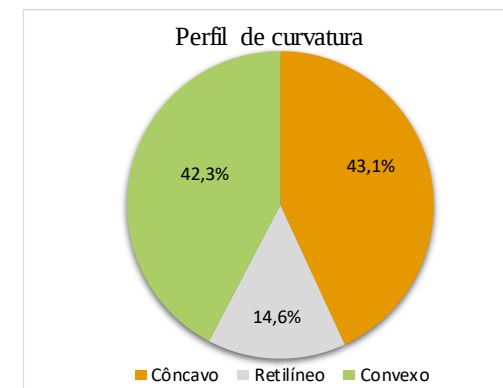
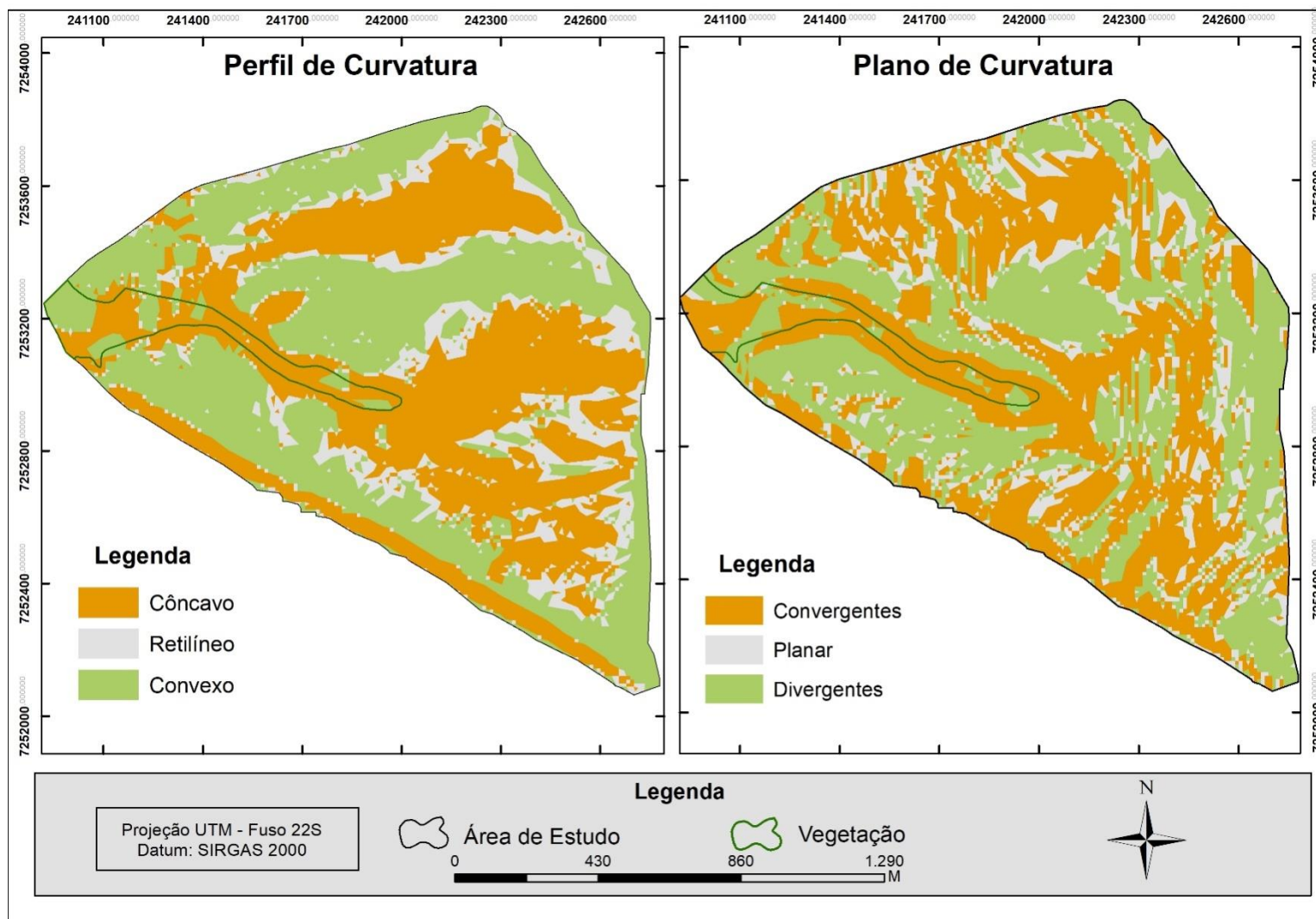
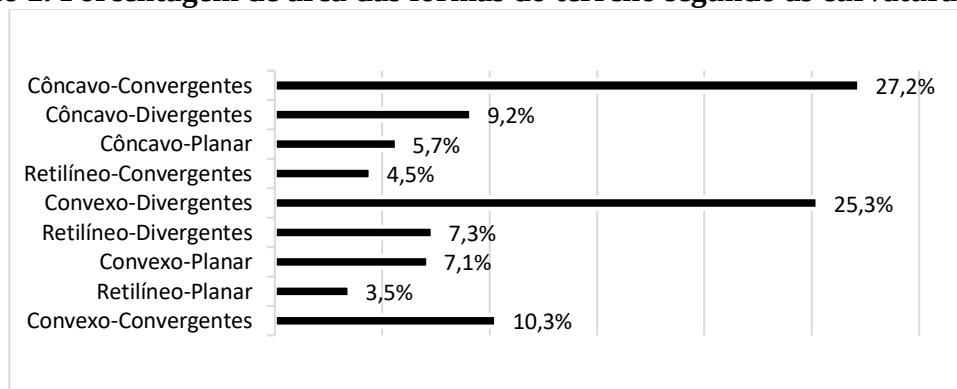


Gráfico 2. Porcentagem de área das formas do terreno segundo as curvaturas.

4.1.2 Produtos Secundários:

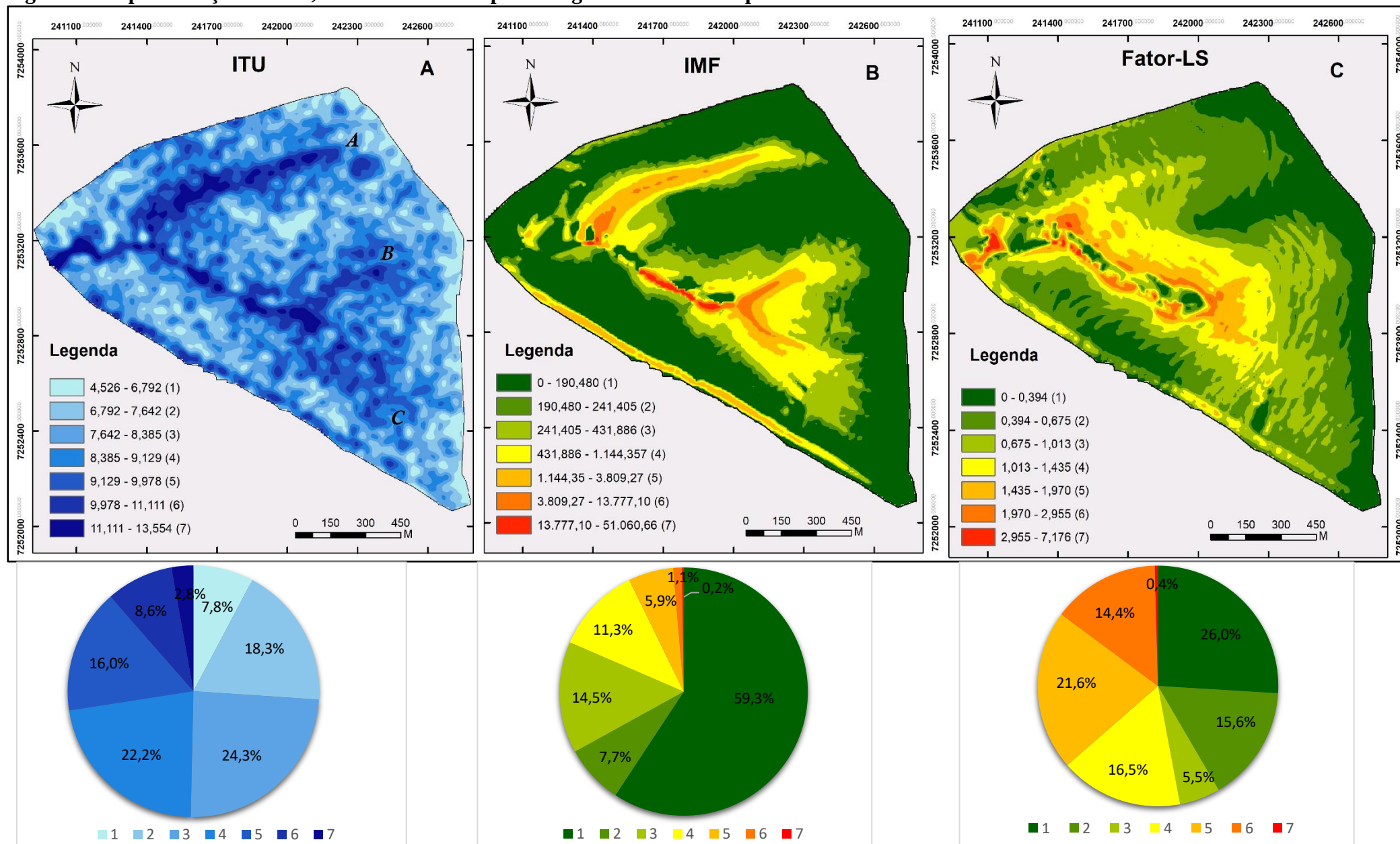
Os produtos topográficos secundários, ITU, IMF e Fator-LS (Figura 11 A, B e C respectivamente) permitiram inferir sobre as áreas que concentram maior teor de umidade no solo e as áreas com maior potencial de erodibilidade e transporte de sedimentos. O Índice Topográfico de Umidade (Figura 11A) demarcou não só as áreas de maior umidade na área do estudo, mas também ressaltou a presença de segmentos contínuos onde a umidade é maior. Observa-se no setor norte da área um segmento contínuo de maior umidade, que se inicia próximo do divisor de água e flui até a vegetação que margeia o rio, no sentido NE-SO (Figura 11A–A) de aproximadamente 800 metros de extensão. Embora não haja presença de solos hidromórficos na área, este corredor mais úmido coincide com uma área côncavo-convergente, o que potencializa a concentração de escoamento superficial na vertente.

No setor leste da bacia também é observado presença de área mais úmida. Esta não chega a formar um segmento contínuo tão bem definido como o citado anteriormente, mas se observa dois segmentos de maior umidade orientados no sentido NE-SO e SE-NO (Figura 11A– B e C) respectivamente. Partem de uma área mais elevada do terreno, que após aproximadamente 400 metros de extensão, unem-se próximo da cabeceira da atual drenagem. Margeando a vegetação observam-se pontos onde a umidade também é maior. Estes locais correspondem as áreas de maior embaciamento e estão associados às áreas côncavas-convergentes da bacia. Nos demais locais da área do estudo, tem-se menores valores para o índice de umidade, o que em condições normais, implica em melhor infiltração no solo. Estes locais referem-se aos segmentos de topo da bacia, estando associados principalmente ao modelado convexo-divergente da vertente.

O Índice de Máximo Fluxo (Figura 10B) permitiu inferir sobre os locais preferenciais de escoamento superficial e produção de sedimentos. Observa-se que os locais associados as classes 1 e 2 representam juntas a maior parte da área (126,5 ha, cerca de 67% da área total). Estas classes estão associadas ao menor potencial de erodibilidade dos solos que em geral localizam-se em segmentos de topo, divisores de água e áreas mais planas da bacia. A classe 3 corresponde a 14,3% da área (27,1 ha) e apresenta potencial erosivo maior em relação as classes anteriores. As áreas associadas as classes 4 e 5 retratam aumento do potencial da erodibilidade dos solos e transporte de sedimentos. Correspondem a cerca de 17% da área, perfazendo um total de 32,6 ha. Estas classes estão associadas a locais onde os fluxos de água tem maior potencial para começar a convergir, e uma vez concentrado, pode implicar em erosão e transporte de sedimentos (SILVEIRA, 2012).

As áreas representadas pela classe 6 e 7 do IMF configuram-se como os locais onde os possíveis fluxos acumulados mais a montante já estão concentrados, e nesse caso, podem ser as áreas mais propícias a erosão devido ao escoamento superficial acelerado e concentrado. Estes locais ocupam aproximadamente 1,5% (2,9 ha) da bacia. Os locais de maior convergência dos fluxos no IMF se sobrepõem às áreas de maior umidade indicada anteriormente pelo ITU. Estes locais, correspondem a áreas côncavas e convergentes da paisagem e, desta maneira, tendem a apresentar maior umidade e transporte de sedimentos. O Fator LS também apresenta comportamento semelhante ao ITU e IMF, sinalizando áreas vulneráveis a erosão. As classes 1, 2 e 3 do Fator LS (Figura 11C), cujas áreas somam 47,1% da área do estudo (49,3 ha, 29,7 ha e 10,4 ha, respectivamente) caracterizam-se por baixo potencial de erodibilidade dos solos. Localizam-se em interflúvios nas maiores altitudes, com baixa declividade, o que permite maior possibilidade de infiltração da água no solo (LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI, 2012). Áreas correspondentes a classe 4 abrangem 31,4 ha e marcam os setores de maior propensão a erodibilidade dos solos. As áreas das classes 5, 6 e 7 correspondem a 36,4% da área total (41 ha, 27,4 ha, 0,8 ha, respectivamente), e se caracterizam por apresentar alto potencial de erodibilidade, pois correspondem aos locais de acumulação de energia e maior declividade do terreno.

Figura 11. Espacialização de ITU, IMF e Fator-LS e porcentagem de área correspondente.



A espacialização de áreas de maior umidade e locais propícios a deposição e maior retirada de material permitiu inferir sobre o comportamento de pedogênese/morfogênese na área. Por conseguinte, permitiu inferir sobre os possíveis locais onde os solos tendem a uma maior evolução pedogenética, como nos setores de topo, ou os locais em que predominam a maior movimentação lateral superficial e subsuperficial da água, como na baixa vertente, e os locais que são mais propícios a retirada de material e pouco desenvolvimento pedogenético, como no fundo de vale.

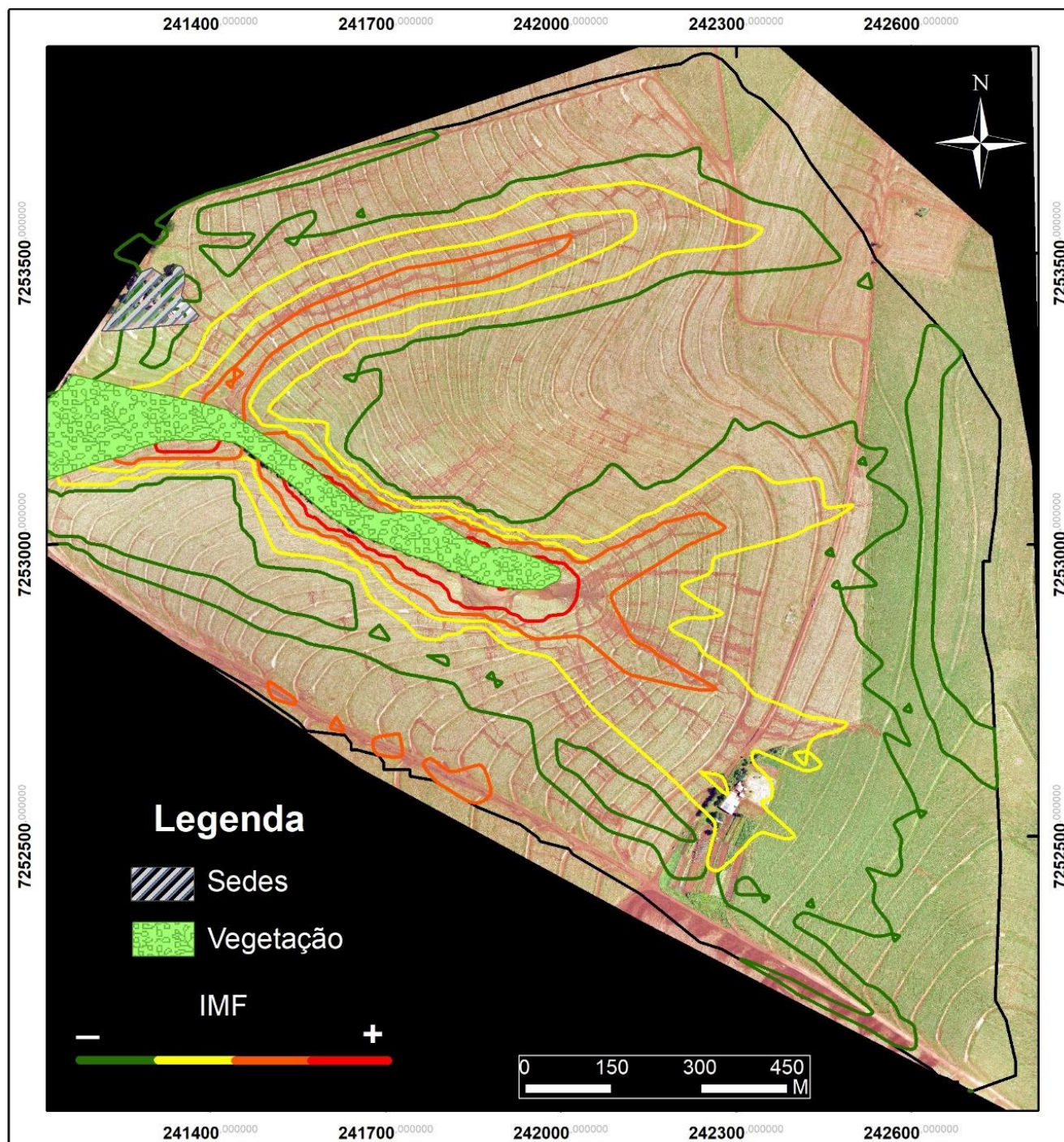
As relações matemáticas construídas para descrever os atributos topográficos, principalmente relacionados aos atributos topográficos secundários, não se apresentam de forma explícita na paisagem, indicando que, embora fundamentados teoricamente, a aplicação destes índices muitas vezes é comprometida no que tange a validação ou verificação em campo de tais processos. Contudo, em função de um evento de precipitação intensa ocorrido no final do mês de outubro de 2017, quando um expressivo conjunto de processos erosivos foi desencadeado na área (Figura 12), foi possível verificar a sobreposição das áreas indicadas pelos índices com aquelas de maior suscetibilidade a erosão, por exemplo.

Os locais identificados como os de maior umidade definidos pelo ITU, bem como os locais de maior IMF coincidiram com os locais afetados pela erosão linear (sulcos e pequenas ravinas) na área, corroborando de certa forma, com a importância, aplicabilidade e acurácia destes índices. Somados a estes fatores, a declividade nestes locais também é maior, 8-20% no setor de cabeceira, o que corrobora para maior velocidade dos fluxos superficiais (GUERRA, 2005), favorecendo os processos erosivos e o desenvolvimento de canais de ordem zero (MINELLA & MERTEN, 2012) sobretudo na margem direita da bacia.

Ressalta-se que, a ativação dos processos erosivos na área também foi potencializada pelas práticas de manejo e conservação do solo inadequados. A alta compactação dos solos verificada em todos os perfis estudados nos horizontes superiores (Figura 19), contribuiu para o maior escoamento superficial. Adicionalmente, ausência de cobertura por vegetação ou palhada na área, curvas de nível organizadas de forma inadequada ou a baixa estatura de crista e presença de estradas em divisores de água também favoreceram ao escoamento superficial e perda de solos. Em específico, as estradas, que como salientado por Salomão (2005), constituem em locais de máxima compactação do solo, dificultam ainda mais a infiltração da água. Culminam no aumento do volume de água, concentrando-os em algumas curvas de nível, as quais se não estão

conservadas ou não estão adequadamente dimensionadas, não suportam a precipitação e se rompem, intensificando ainda mais os processos erosivos vertente abaixo, como ocorrido nesta bacia.

Figura 12. IMF e áreas de maior erosão.



Como destacado por Curcio (2018) em relatório elaborado para a área do estudo, os processos erosivos desencadeados na área de agricultura têm implicações diretas na hidrologia fluvial do canal. Segundo o autor, os processos erosivos que ocorrem dentro do fundo de vale decorrem de uma instabilidade complexa que envolve diversos processos e elementos. Isto porque além da instabilidade que ocorre fora do fundo de vale, os taludes do canal possuem uma predisposição a processos erosionais por solapamento de base devido sua forte declividade caracterizada por perfis escarpados. Conforme Curcio (2018), o resultado é a grande quantidade de movimentos de massa bastante intensos ao longo do canal, formando na sua parte mais a jusante, uma planície soerguida pelo sequenciamento de processos contínuos de soterramento. Segundo o autor, há que se considerar as características dos taludes, a declividade, tipo de solo, composição da vegetação, entre outros, nas discussões técnicas para a definição da largura efetiva das florestas ciliares para contenção eficaz das enxurradas em zona de nascentes.

4.2 CONJUNTO AMOSTRAL E DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DOS SOLOS POR ÁRVORE DE DECISÃO

A partir da análise da morfologia do relevo e da interpretação das imagens obtidas via VANT, aliada a atividades de campo e no modelo hipotético de Dalrymple et al. (1968), compartimentou-se a bacia em: segmento de topo, média alta, média baixa, baixa vertente e fundo de vale (Figura 13). A compartimentação em segmentos morfológicos representativos indicou a relação entre as classes de solo e sua posição nas vertentes, bem como direcionou a seleção dos locais das topossequências, abertura de trincheiras e sondagens por tradagem.

Conforme a disposição definida para as nove topossequências (Figura 8) e a metodologia de Boulet et al. (1982a,b) (Figura 2), o conjunto amostral resultou em amostras de solo coletadas em 83 pontos (Figura 14). Deste total 37 pontos correspondem a amostras da classe dos Nitossolos Vermelho, 28 pontos a Latossolos Vermelho, 11 pontos a Cambissolos, 5 pontos a Gleissolos e 2 pontos a Neossolos Regolíticos (Gráfico 3). Estes dados serviram de base para a análise em árvore de decisão.

Figura 13. Representação esquemática da segmentação das vertentes da microbacia.

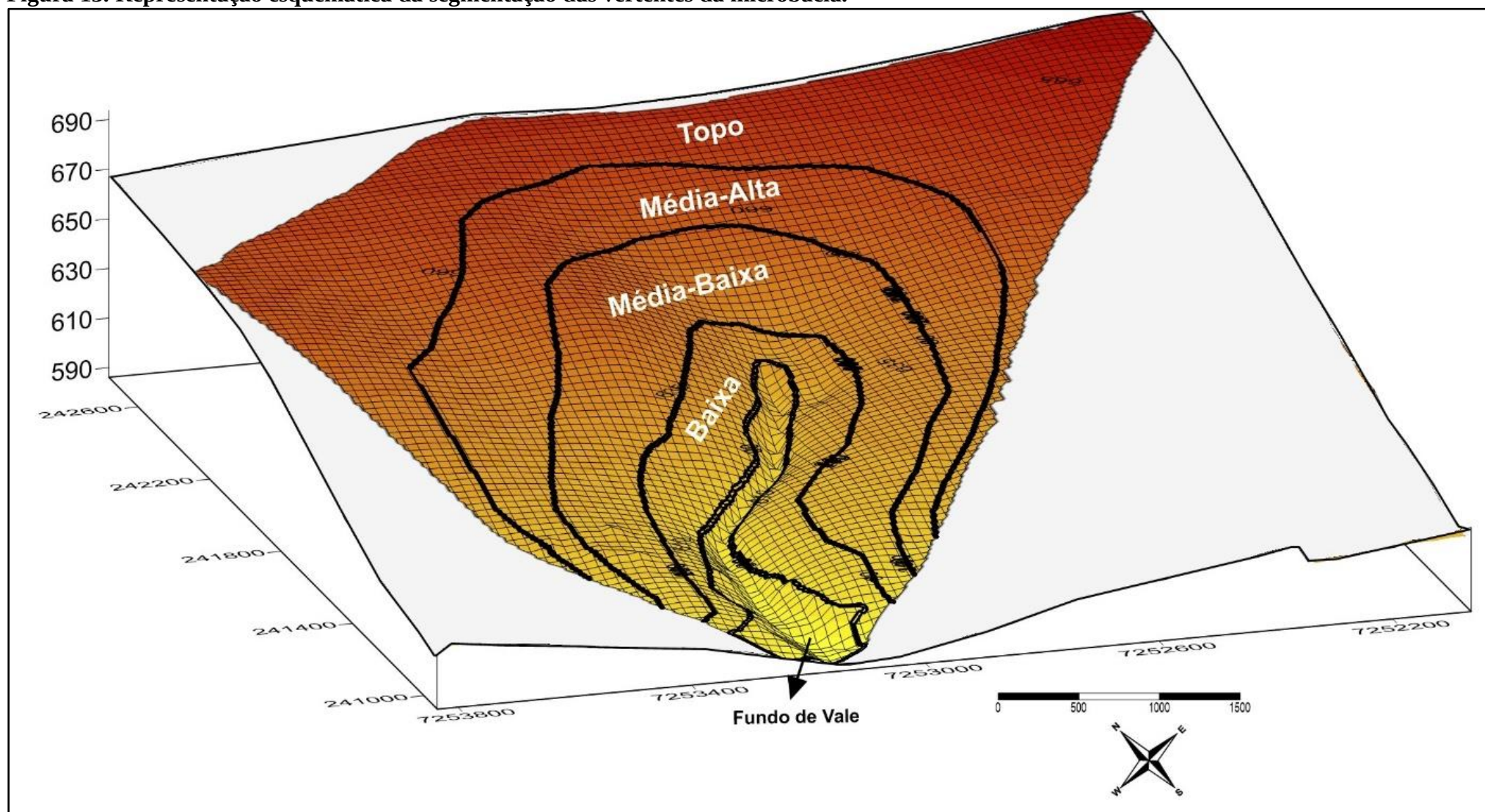


Figura 14. Pontos amostras por trincheira e/ou tradagem.

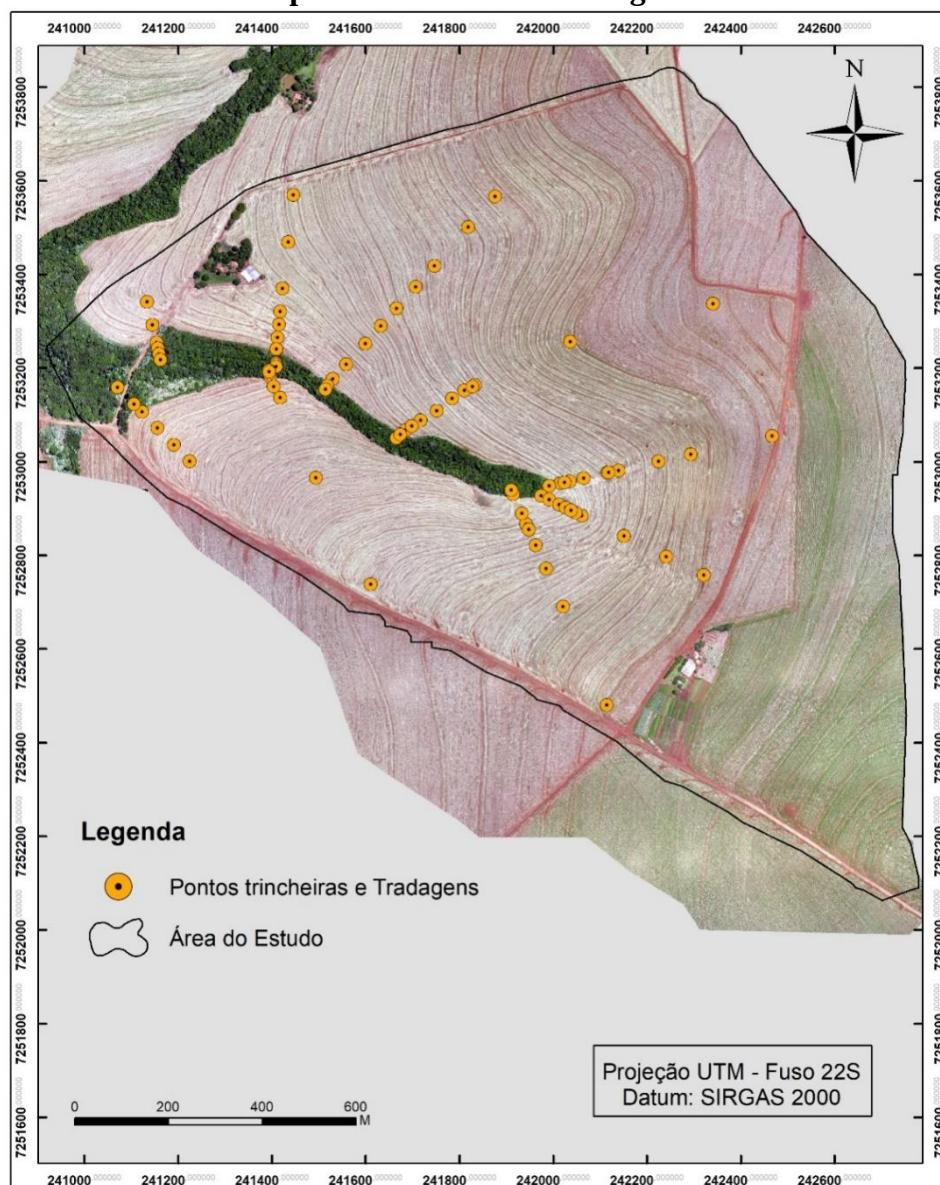
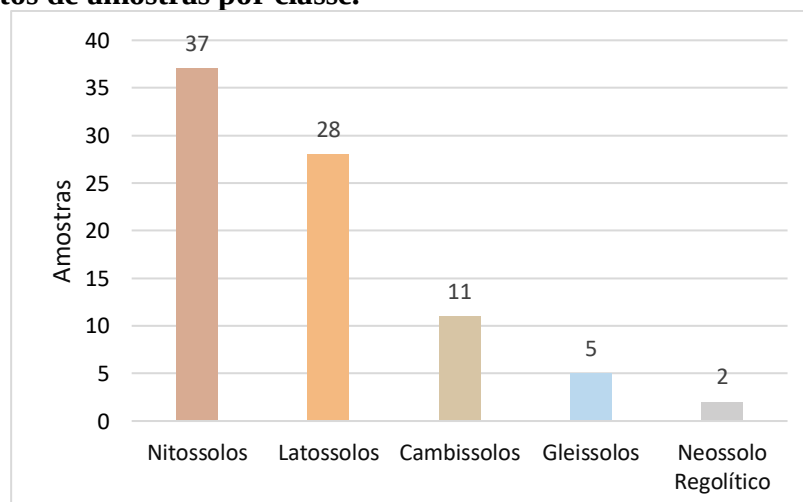
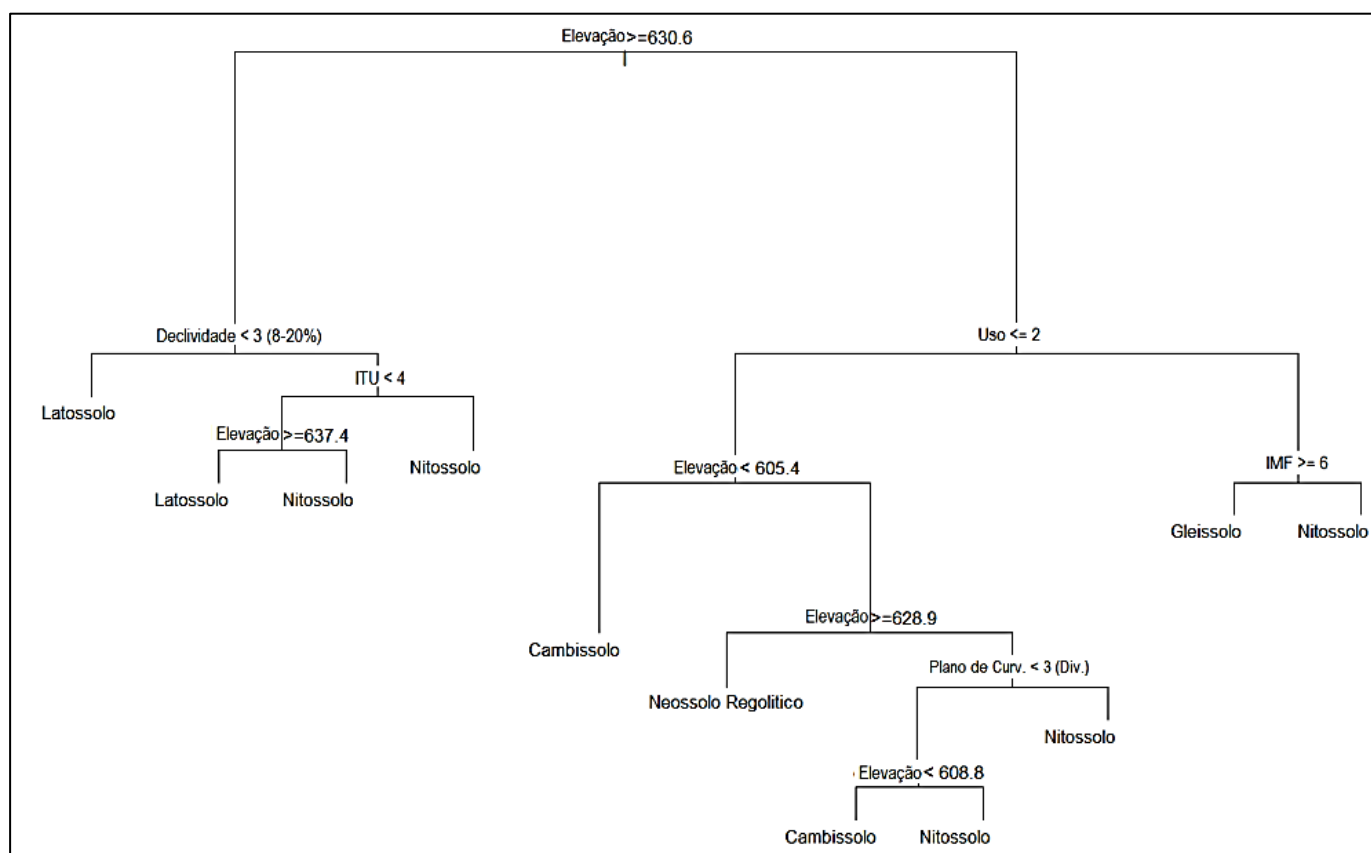


Gráfico 3. Pontos de amostras por classe.



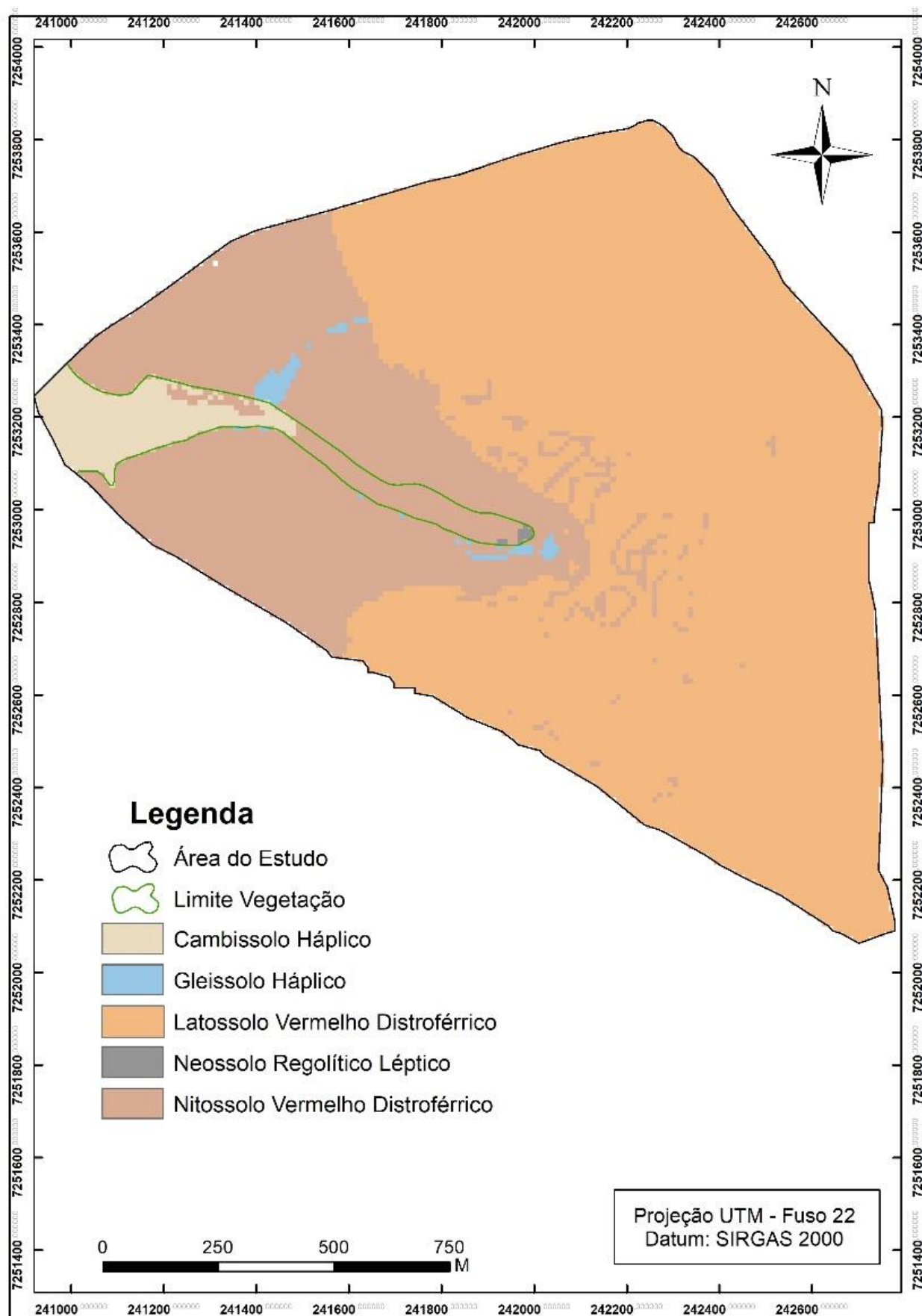
A espacialização das classes de solos por meio de Árvore de Decisão (Figura 15) amparando-se nos 83 pontos de amostragem ao longo das nove topossequências apresentou uma distribuição coerente com a área considerando as relações solo-relevo (Figura 16). Na Árvore de Decisão obtida para essa configuração fisiográfica e de amostragem, o melhor critério de separação das variáveis ambientais preditoras e o conjunto amostral correspondeu a elevação superior a 630 m ou inferior a 630 m (Figura 15).

Figura 15. Árvore de Decisão.



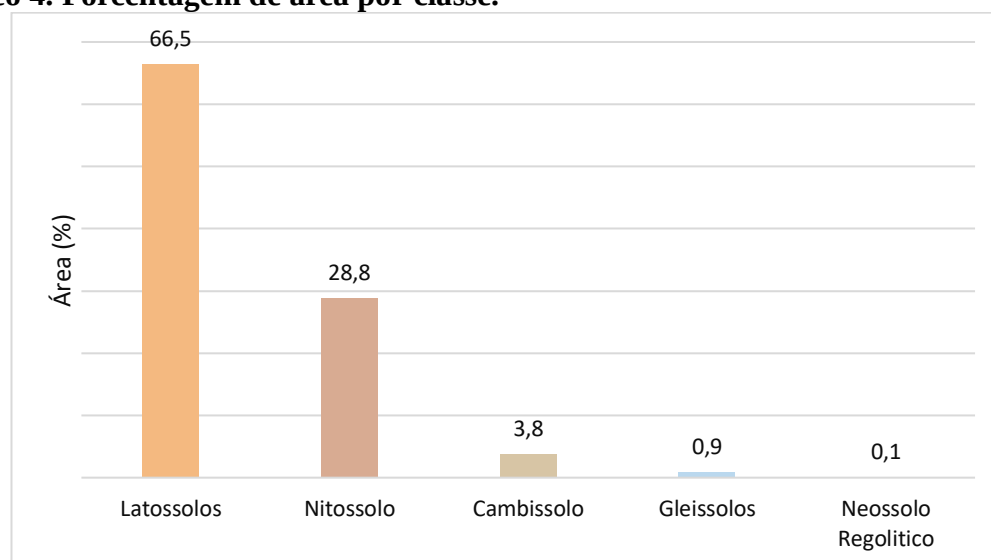
Destaca-se a classe dos Latossolos, que nos resultados encontram-se predominantemente em áreas de elevação superior a 630,6 m e associados a declives inferiores a classe 3, isto é, em declives de 0-3% e 3-8% (classe 1 e 2 respectivamente). Tais características estão presentes nos segmentos de topo e média alta vertente, cujas condições proporcionam menor escoamento superficial e maior infiltração da água no solo favorecendo os processos pedogenéticos (LEPSCH, 2002; OLIVEIRA, 2005). Em declives superiores a esses, os Latossolos são delimitados quando possuem Índice Topográfico de Umidade menor que 4 e elevação acima de 637,4 m.

Figura 16. Distribuição das classes de solos por AD.



De modo geral, os locais delimitados por Latossolos correspondem a áreas de baixo potencial de erodibilidade e capacidade de transportes de sedimentos, e recobrem aproximadamente 126 ha (cerca de 67%) da área (Gráfico 4, Figura 16). Também predominam nas áreas onde as vertentes apresentam principalmente forma convexas e divergentes, o que garante um bom espraçamento dos fluxos superficiais e boa percolação da água para o interior do solo, haja visto que os Latossolos, por definição, são solos bem porosos e bem drenados (EMBRAPA, 2018). Esta condição é coerente ao exposto por Vidal-Torrado et al. (2005), em que salientam que os locais correspondentes a interflúvios e/ou áreas mais planas e alongadas tendem a desenvolver perfis de solos mais profundos, com horizontes mais espessos. Esses locais são mais estáveis propiciando que os processos pedogenéticos atuem de maneira mais intensa, devido a erosão mínima e maior infiltração de água no solo.

Gráfico 4. Porcentagem de área por classe.



Conforme a AD, os Nitossolos quando em elevação superior a 630 m relacionaram-se a declives superiores a 8% (classe 3), com ITU superior a 8, (classe 4). Em ITU inferior a classe 4 os Nitossolos estão condicionados a elevação até 637 m. Em locais onde a elevação é inferior a 630 m em ambos os tipos de usos, mas que esteja entre 605 e 629 m de altitude, os Nitossolos encontram-se nas curvaturas divergentes da paisagem (classe 3). Quando influenciados pelas curvaturas planares (classe 2) e convergente (classe 1), os Nitossolos estão presentes nos locais com elevação superior a 609 m. Quando em agricultura estes solos encontrem-se em Índice de Máximo Fluxo inferior a classe 6.

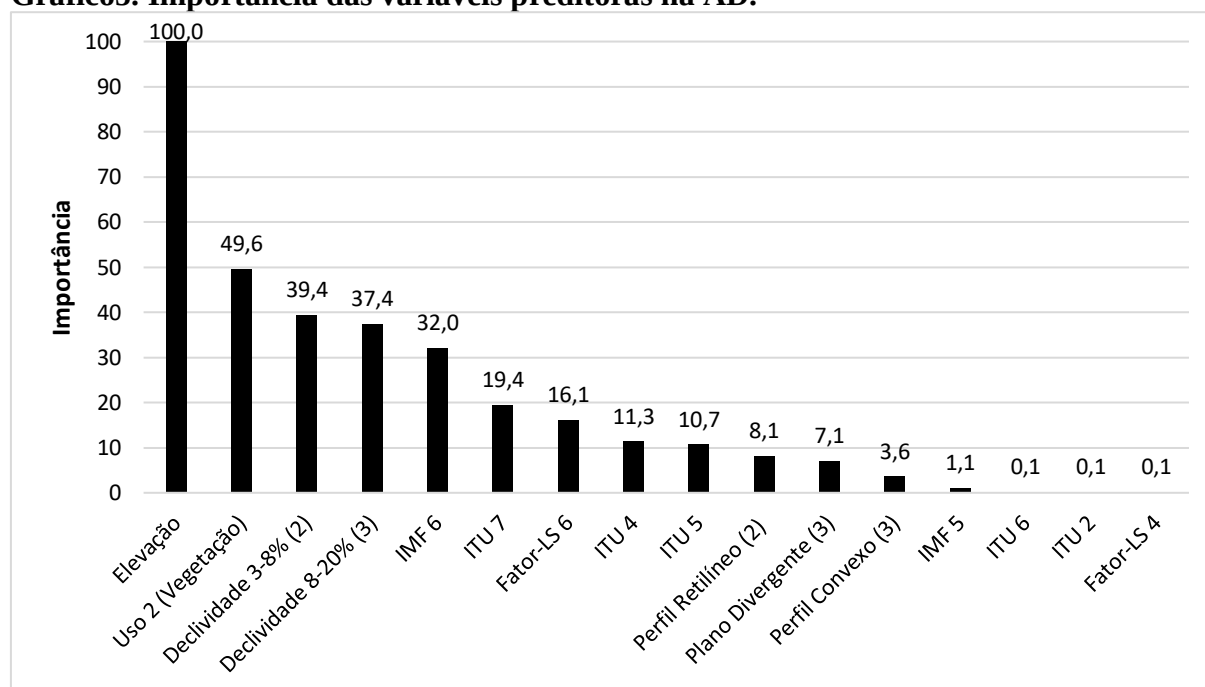
Os Nitossolos recobrem quase 29% da área (54,3 ha) (Gráfico 4, Figura 16), e se encontram predominantemente nos segmentos de média-baixa vertente, em que predominam declives mais acentuados, com formas divergentes, planares, e côncavas da paisagem, sendo bem drenados, mas com valores de ITU superior ao dos das áreas de Latossolos. Entende-se que a associação de boa umidade do solo com influência de declives médios, favorecem, de modo geral, os processos de translocação vertical e lateral de partículas mais finas, as quais preenchem os poros existentes no horizonte B, causando maior estruturação e formação de horizonte B nítico, com cerosidade, mediamente profundo, típico dos Nitossolos, conforme apontado pela EMBRAPA (2018).

Os Cambissolos ocupam 3,8% da área (7,1 ha) e se distribuem predominantemente nos locais recobertos pela mata ciliar no segmento de fundo de vale, associados a elevação inferior a 605m. Quando em elevações superiores, não ultrapassam 608 m de altitude, estando influenciado pelas formas convergentes e planares. A estrutura incipiente do horizonte Bi nos Cambissolos, além de estar associada às características evidenciadas pelo modelo da AD, deve-se também a maior declividade existente no fundo de vale onde esses solos são encontrados, cujas condições propiciam menor desenvolvimento pedogenético (OLIVEIRA, 2005; KÄMPF & CURI, 2012). Por ser um vale encaixado e bastante íngreme, esta configuração também auxiliou na identificação de ocorrência de Neossolos Regolíticos (0,1 ha, 0,06% da área - Gráfico 4, Figura 16) pelo modelo, onde o aparecimento de rocha exposta é comum neste setor em locais de maior altitude (acima de 629 m) próximos a cabeceira de drenagem.

Os solos com horizonte glei, os Gleissolos, correspondem a cerca de 1% da área, com 1,7 ha (Gráfico 4, Figura 16). Segundo a AD, os Gleissolos encontram-se em altitudes baixas, inferiores a 631 m e em locais com Índice de Máximo Fluxo igual ou superior a classe 6. Apesar de não ser considerado pela AD na predição, estes solos estão relacionados aos maiores valores de ITU (classe 6 e 7), visto que os maiores valores de IMF correspondem também aos maiores valores de ITU como evidenciado na Figura 11. Isto ocorre devido os valores elevados do IMF nestes setores corresponderem ao maior embaciamento da paisagem e que tendem a concentrar os fluxos hídricos não só superficiais, mas também subsuperficiais. A concentração dos fluxos somadas aos altos valores de umidade, permitem o acúmulo de água e encharcamento contínuo nestes locais. Isto impede a oxidação do ferro e garante o aparecimento de horizonte glei com cores acinzentadas (EMBRAPA, 2018).

A pureza entre a distribuição dos solos encontradas pela árvore de decisão com as amostras de solos conhecidas corresponde a 80,9. O valor de pureza evidencia que as variáveis ambientais utilizadas retrataram de forma coerente os processos de formação dos solos, permitindo inferir sobre a atuação do relevo na distribuição dos mesmos. Ademais, no que se refere a importância das variáveis, a predição das classes de solos pela AD inferiu valor máximo (100) para a Elevação (Gráfico 5), seguido do uso referente a vegetação com 49,6 de importância. A declividade de 3-8% e de 8-20% possuem, respectivamente, 39,4 e 37,4 de importância, enquanto que a classe 6 do IMF, a classe 7 do ITU e classe 6 do Fator-LS apresentam, respectivamente, 32, 19,4, e 16,1 de importância sobre as predições das classes de solos.

Gráfico5. Importância das variáveis preditoras na AD.



Observa-se que nem todas as variáveis ambientais foram descritas pela Árvore de Decisão. As predições mostraram-se mais dependentes da Elevação (Gráfico 5), devido aos valores de altitude definirem os setores de interflúvio, média ou baixa vertente, e desta maneira como evidenciado por Moore et al. (1991) está ligada a energia potencial da paisagem (Tabela 1). Ademais, é da elevação que os demais produtos topográficos são derivados (MOORE et al., 1993; VALERIANO, 2008; SILVEIRA, 2010). O tipo de uso resultou em significativa importância no modelo, neste caso, porque fora da área de vegetação não ocorrem Cambissolos nem Neossolos Regolíticos o que auxilia a tomada

de decisão pelo modelo. A declividade também é expressiva e ressalta o poder erosivo do terreno em velocidade e volume. Indicam locais propícios a presença de solos menos desenvolvidos, como Cambissolos e Neossolos, presentes comumente nas áreas mais íngremes onde há maior potencial de escoamento superficial e retirada de material (MOORE et al., 1991). Já nas áreas de declives mais suaves há pouco escoamento superficial e maior percolação de água no solo, o que auxilia em maior intemperização dos solos (LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI, 2012). Ademais, o desnível em função do comprimento da rampa (Fator-LS) como evidenciado na delimitação dos Latossolos na margem direita e dos Nitossolos na margem esquerda, também corroboram para maior ou menor percolação de água no solo, na pedogênese e no movimento de partículas entre horizontes do solo. Embora o estudo de Silva (2017) não considere modelos de predição de solos, o método de álgebra de mapas utilizado por esse autor para definir os tipos de solos na Carta de Marechal Cândido Rondon a partir de variáveis morfométricas, demonstra características semelhantes às encontradas por mineração de dados neste trabalho. Da mesma forma que neste trabalho, os locais definidos como Latossolos Vermelhos por Silva (2017) também ocupam as partes mais altas e os setores de interflúvio alongados e formas planas e suaves onduladas do relevo. Para o referido autor, os LV estendem-se até a média vertente, onde ocorre a transição para os Nitossolos. De certo modo, a mesma coerência é seguida pela AD na delimitação dos LV na margem direita, cuja maior parte encontra-se entre declives de até 8%.

A pouca importância dos índices de Máximo Fluxo e Topográfico de Umidade na predição ocorre devido estarem mais ligados a delimitação de solos com caráter hidromórficos, já que correspondem às áreas de maior embaciamento da vertente (perfil de curvatura côncavo e plano de curvatura convergente) e ressaltam os locais de maior suscetibilidade aos fluxos superficiais e subsuperficiais e a concentração de umidade.

Em estudos que aplicaram técnicas semelhantes, como o desenvolvido por Sirtoli (2008), a partir de RNA obteve correlação de 0,88 com mapa convencional, tendo a declividade como o atributo que apresentou maior relação com as unidades de solos. Para Silveira (2010) os atributos topográficos de declividade, IMF, ITU, e índice de capacidade de transporte de sedimento apresentaram melhor relação entre as unidades de mapeamento e os tipos solos existentes, concordando em 0,72 com o mapa convencional. A elevação também foi a variável que apresentou melhor relação com as unidades de solos nos estudos de Pozza et al. (2015), Teske et al. (2014) e Teske et al. (2015) usando árvores de decisão.

De modo geral, a distribuição dos solos delimitadas na área do estudo conforme as variáveis topográficas são semelhantes aos encontrados por Sirtoli et al. (2008), Chagas et al. (2013) e Silveira et al. (2012). Estes autores verificaram que nos locais onde os valores de corrente de fluxo e transporte de sedimentos¹² e ITU variaram de baixos a intermediários, houve o predomínio de processos pedogenéticos em detrimento dos morfogenéticos. Isto favorece a formação e evolução de horizontes B Latossólico nos setores de interflúvio, cujas formas são convexas e divergentes com baixo gradiente de declividade, inferiores a 8%. E assim como encontrado neste trabalho, as posições de maior embaciamento correspondem a ambientes deposicionais em constante saturação hídrica.

Nos ambientes hidromórficos nos estudos supracitados, as classes de máximo fluxo e de transporte de sedimentos correspondem a pesos com valores que variaram entre baixo a intermediário. No presente trabalho, os ambientes hidromórficos estão associados às classes de máximo fluxo com valores intermediários a altos. A explicação possível para este fato e para delimitações “salpicadas” de Nitossolos em locais próximos a cabeceira de drenagem na área de Latossolos é o refinamento e a precisão dos dados base utilizados neste trabalho¹³, o que pode ter contribuído para realçar a microtopografia do terreno. E como evidenciado em estudos comparativos de resolução e precisão de MDE por Thompson et al. (2001) e Vaze et al. (2010), os produtos topográficos gerados a partir de MDEs com resolução maior fornecem maiores detalhes sobre a rugosidade da superfície do que aqueles derivados de MDE de resoluções mais grossas. De outro lado, não é possível afirmar que as manchas ou salpicados de Nitossolos seja decorrente diretamente da influência da resolução do dado. Tal condição pode também ser resultado do modelo obtido, ressaltando uma área de transição entre Latossolo e Nitossolo. Para qualquer uma das interpretações, são necessários estudos subsequentes com propósito específico a essa análise.

Destaca-se a existência de uma pequena área com hidromorfismo na margem direita da área do estudo, que não foi identificada durante o trabalho de campo. O hidromorfismo está associado aos corredores de maior umidade e maior convergência dos

¹² O Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos não foi usado neste trabalho, no entanto, segundo Silveira et al. (2012) este índice está positivamente correlacionado ao índice de corrente de máximo fluxo, o qual foi utilizado neste trabalho.

¹³ Os dados de entrada de Sirtoli et al. (2008) e Silveira et al. (2012) foram obtidos de folhas topográficas 1:10.000 que incluíam as curvas de nível com equidistância vertical de 5 metros; os de Chagas et al. (2013) curvas de nível de 20 metros; e os de Silva (2017) SRTM de 30 metros de resolução.

fluxos superficiais e subsuperficiais neste setor da bacia, cujo relevo apresenta uma sensível concavidade que favorece a um maior tempo de permanência da água no solo. A presença destas características também pode ser indício de processos estruturais e de evolução de paisagem, como salientado por Minella e Merten (2012). Ademais, é plausível tal delimitação pelo modelo, visto que o corredor de umidade e concentração de fluxo delimitado pelo ITU e IMF, respectivamente, correspondem as mesmas condições encontradas na cabeceira de drenagem.

4.3 SISTEMAS PEDOLÓGICOS REPRESENTATIVOS DA ÁREA: DADOS EMPÍRICOS

O estudo detalhado em topossequência discretizou o padrão de distribuição do solo na paisagem revelando a existência de dois sistemas pedológicos (com variações no fundo do vale e na baixa vertente) representativos da microbacia e da região na qual a área de estudo se insere. Nas vertentes mais longas, representadas pelas Topossequências T3, T4, T5, T6, T7 e T8 (Figura 8), de montante para jusante tem-se Latossolo Vermelho Eutroférico – Nitossolo Vermelho Eutroférico – Cambissolo Háplico e/ou associação Cambissolo Háplico + Neossolo Regolítico, já no fundo de vale em condição mais íngreme. Neste sistema, a área de Nitossolo varia conforme a convexidade da vertente. Na cabeceira de drenagem, no setor côncavo convergente, da topossequência T6 e T7 há gleização (Figura 17).

Nas vertentes mais curtas representadas nas Topossequências T1, T2 e T9 (Figura 8), predominam o sistema pedológico formado por Nitossolos Vermelho Eutroférico – Cambissolo Háplico (com ocorrência de associação Cambissolo + Neossolo Regolítico) (Figura 18).

Figura 17. Representação bidimensional do sistema pedológico em vertentes longas.

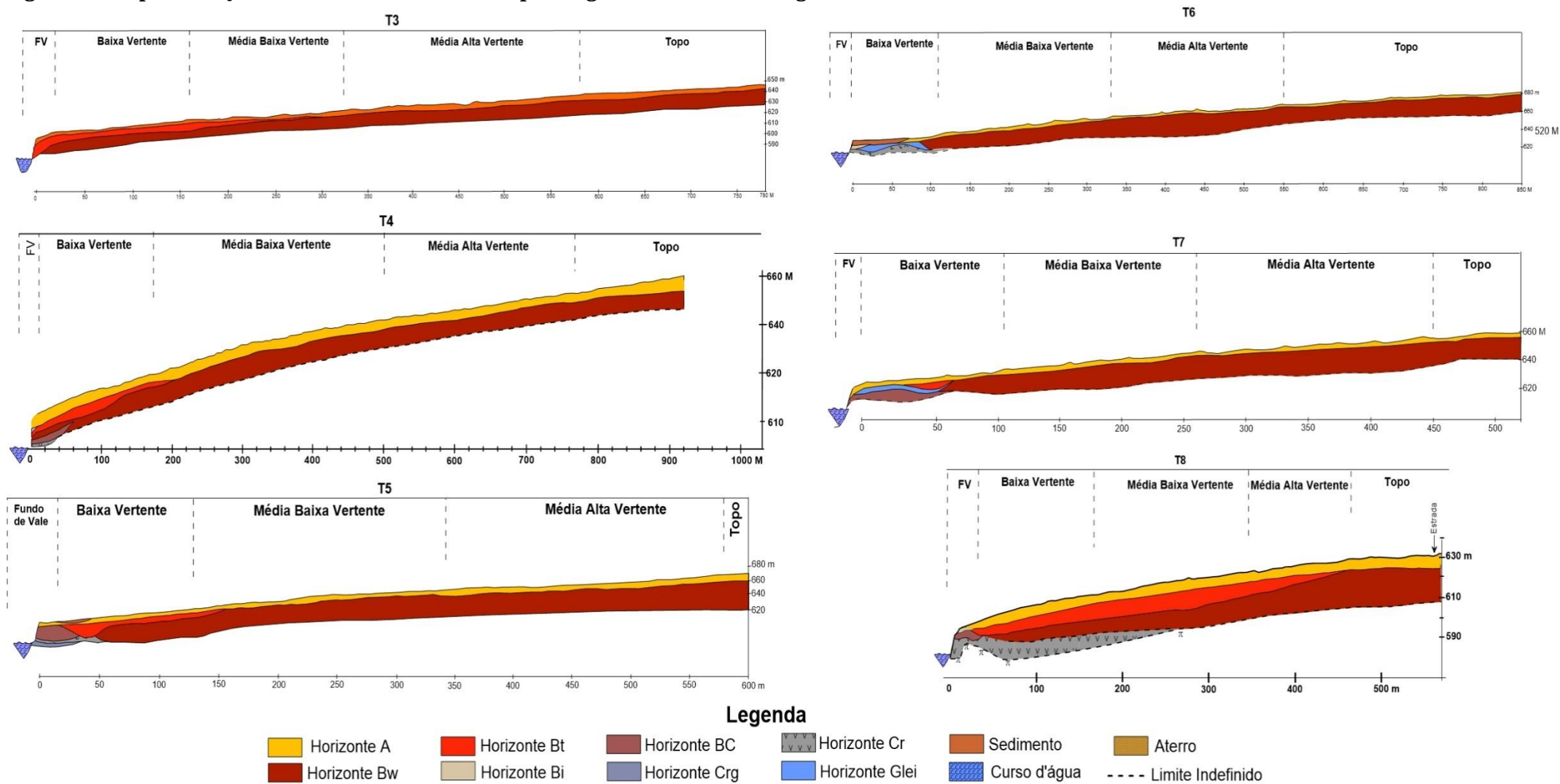
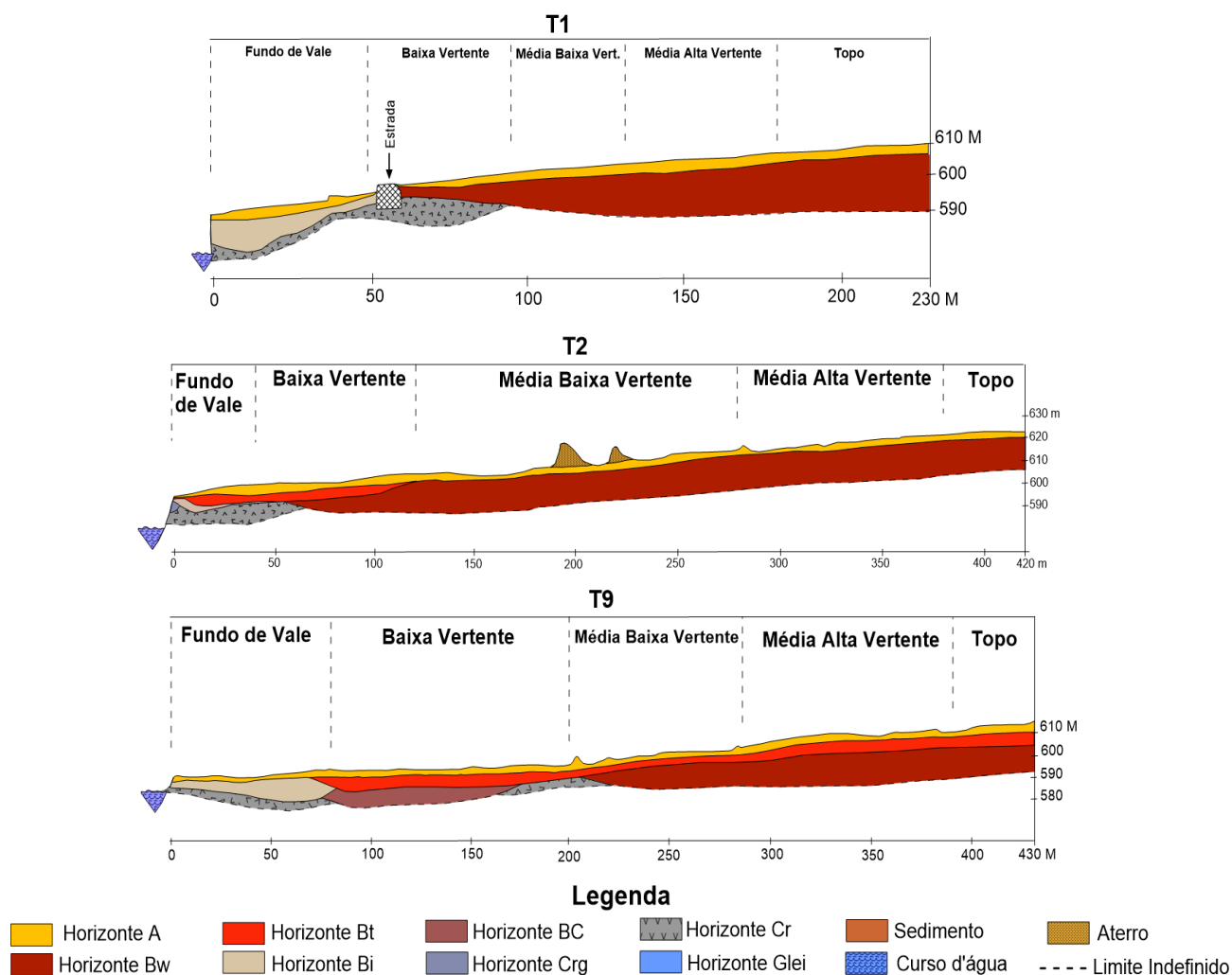


Figura 18. Representação bidimensional do sistema pedológico em vertentes curtas.

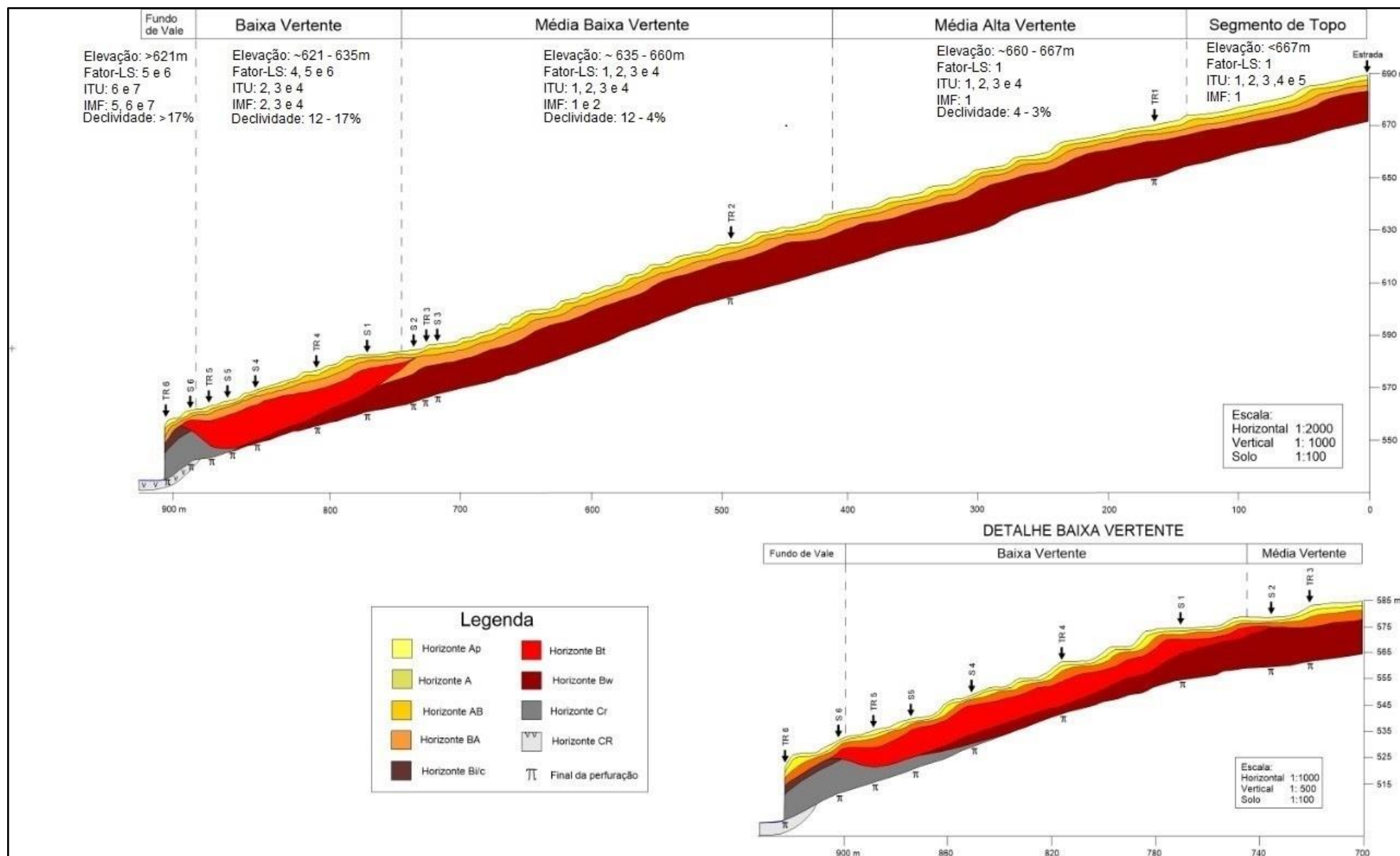


A variação dos atributos físicos e químicos ao longo das vertentes e a caracterização dos solos foi evidenciada pela descrição morfológica detalhada dos perfis em duas topossequências consideradas como representativas dos sistemas pedológicos da bacia (T4 e T8), que são também representativos do contexto pedológico regional (Apêndice 1, Apêndice 2 e Anexo 2). A topossequência T4¹⁴ situada no lado direito da bacia possui 923 m de extensão, forma convexa-retilínea-convexa e desnível topográfico de 93 m (Figura 19). Esta topossequência foi subdividida em cinco segmentos morfopedológicos: fundo de vale, baixa, média-baixa, média-alta vertente e topo:

¹⁴ Resultados detalhados desta topossequência são descritos no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Habeck (2018).

- Fundo de vale: setor mais íngreme, com declividade que varia de 17% a >35%, onde predominam os solos menos desenvolvidos pedogeneticamente, pouco espesso (<1m), com estrutura incipiente, classificado como Cambissolo Háplico – CX. A altitude máxima neste setor é de 621 m, abrange as classes 5, 6 e 7 do IMF, 6 e 7 do ITU e as classes 5 e 6 do Fator-LS.
- Baixa vertente: apresenta solos mais desenvolvidos, argiloso e distrófico, com sequência de horizonte Ap, AB, BA, Bnítico e Bw, classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico – NVf. Estes solos estão associados as áreas de maior declividade, acima de 12%, em setores convexos e retilíneos. O horizonte diagnóstico Bnítico possui 90 cm de espessura, com textura argilosa a muito argilosa, estruturado em blocos angulares, com cerosidade comum ao longo do horizonte, com cores de matiz 2,5YR úmida (Bruno-avermelhado-escuro). A altitude varia de 621 m a cerca de 635 m. Este setor abrange as classes 2, 3 e 4 do ITU e IMF, e as classes 4, 5 e 6 do Fator-LS.
- Média-Baixa vertente: a declividade diminui nesse segmento, variando de 12 a 4%, onde se inicia a ocorrência dos Latossolos Vermelhos Eutroférico–LVf. O horizonte diagnóstico (Bw) apresenta espessura de 130 cm, com textura muito argilosa e matiz de 7,5R úmida (Vermelho muito escuro-acinzentado). A altitude neste segmento varia de cerca de 635 a 660 m. Compreende as classes 1, 2, 3, e 4 do ITU e do Fator-LS, e as classes 1 e 2 do IMF.
- Média-Alta vertente: apresenta predomínio dos Latossolos Vermelhos Eutroférico – LVf associado a diminuição de declividade neste segmento, variando entre 4 e 3% apenas. O horizonte BW apresenta maior espessura, 140 cm, textura muito argilosa e matiz entre 7,5R e 10R úmida (Vermelho muito escuro-acinzentado e Vermelho-escuro-acinzentado). As classes de ITU variam entre 1 e 4, e o IMF e Fator-LS a classe 1.
- Topo: Neste setor de maior altitude, acima de 667 m, tem-se a continuidade do segmento anterior, com predomínio dos Latossolos Vermelhos Eutroférico – LVf. No entanto, devido a declives inferiores a 3%, e a classe 1 do IMF e Fator-LS, o horizonte diagnóstico (Bw) apresenta espessura acima de 150 cm. As classes de ITU variam de 1 a 5.

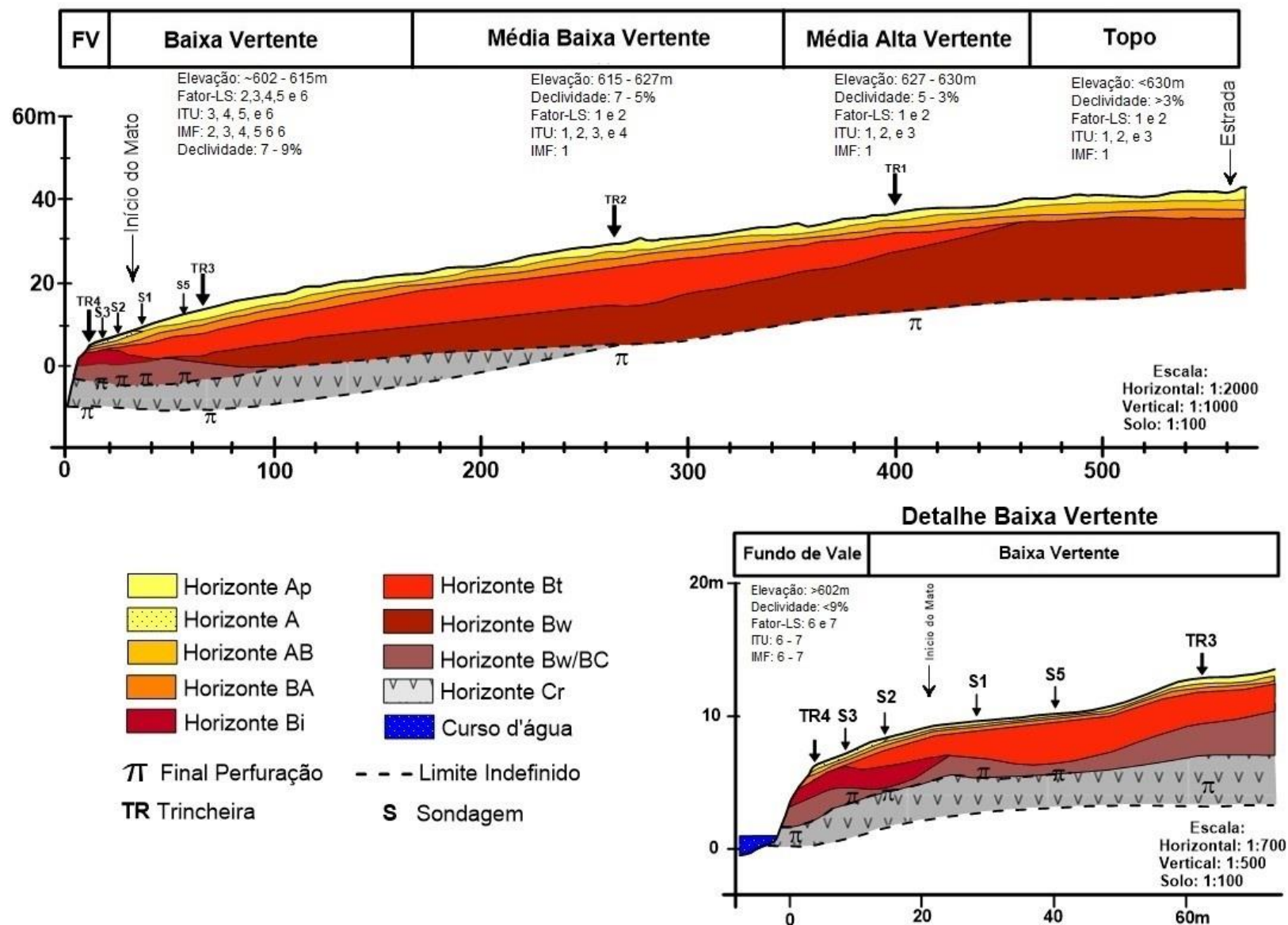
Figura 19: Representação bidimensional dos sistemas pedológicos na T4.



A topossequência T8 está disposta na margem esquerda da bacia e possui 565 m de comprimento e desnível de 44 m (Figura 20). Esta vertente divide-se nos seguintes segmentos morfopedológicos:

- Fundo de vale: segmento de forte declividade e presença das classes 6 e 7 do IMF e Fator-LS. Predominam solos rasos e pouco desenvolvidos pedogeneticamente com sequência vertical de horizonte A, Bi, Cr e CR, caracterizando a presença de Cambissolos Háplico;
- Baixa vertente: no setor convexo de maior declividade são encontrados solos classificados como Nitossolos Vermelhos Eutroférico - NVf. O horizonte diagnóstico (Bt) apresenta textura muito argilosa, estrutura em blocos, com cerosidade comum, disposto em apenas 50 cm de espessura antes do contato com o horizonte de rocha alterada (BC). As classes de IMF e Fator-LS variam de 2 a 6, sendo que as classes 4, 5 e 6 encontram-se concentradas próximas a margem da vegetação. Este setor é o que apresenta maior umidade, abrangendo as classes 6, 5, 4 e 3 do ITU;
- Média-baixa vertente: apresenta solos de textura argilosa, distróficos e profundos (135 cm), composto por sequência vertical de horizontes Ap, AB, BA, B nítico e Bw. Embora classificados como Nitossolo Vermelho Eutroférico, este seguimento possui características bem transicionais para Latossolo Vermelho Eutroférico. Este setor compreende a classe 1 do IMF, e as classes 1 e 2 do Fator-LS. As classes de ITU variam de 1 a 4.
- Média-alta e topo da vertente: predominam solos mais profundos e pedogeneticamente desenvolvidos, que apresentam sequência vertical de horizonte Ap, AB, BA e Bw definindo um Latossolo Vermelho Eutroférico. Estes solos estão associados as áreas de baixa declividade, inferior a 5%, e apresentam profundidade superior a 150 cm, com textura muito argilosa, estrutura subangular, com cores avermelhadas, matiz acima de 7,5R (Vermelho muito escuro-acinzentado). Estes setores compreendem a classe 1 do IMF e as classes 1 e 2 do Fator-LS. As classes de ITU variam de 1 a 3.

Figura 20: Representação bidimensional dos sistemas pedológicos na T8.



Observou-se nas topossequências estudadas uma camada fortemente compactada em superfície, o que descaracterizou os parâmetros estruturais do solo no horizonte A (Ap e AB) até 40 cm de profundidade (Figura 21). Esta configuração é constatada tanto em Nitossolos como em Latossolos na área destinada a agricultura mecanizada da bacia, assim como observado por Curcio e Bonnet (2018).

Figura 21. Compactação dos solos encontrada em todos os pontos.



A camada superficial do solo que está compactada dificulta a infiltração da água e o desenvolvimento das raízes, as quais se concentram nos primeiros centímetros do solo ou tendem a se fixar paralelamente a camada compactada. Somadas a outros problemas como reduzido grau de cobertura do solo por palhada e ausência de outras práticas de manejo e conservação, tem-se o favorecimento ao escoamento superficial e o desenvolvimento de processos erosivos. Esta configuração foi observada em todos os segmentos de vertente e seus desdobramentos também podem atingir outros componentes da bacia, como na relação recarga/descarga hidrológica das bacias hidrográficas, nos rios a jusante, no aporte de sedimentos nos canais de drenagem, como já citados por Curcio e Bonnet (2018), dentre outros.

Considerando os sistemas morfopedológicos da área do estudo, observa-se a relação entre as variações na morfologia da vertente, evidenciada pela segmentação da bacia e os tipos de solos presentes. Por exemplo, o predomínio dos Latossolos nas vertentes mais longas (T3, T4, T5, T6, T7), e o Nitossolo nas vertentes mais curtas (T1, T2, T8 e T9). Esta sequência de distribuição lateral e a extensão dos solos observados na área de montante para jusante é típica na região e tem sido observado nas vertentes com extensão e declive semelhantes, como descrito por Rocha et al. (2012), Calegari e Marcolin (2014), Martins et al. (2015) e Silva (2017). No estudo de Calegari e Marcolin (2014), nos segmentos de topos convexos e divergentes da vertente e com menor declividade ocorreram os solos mais desenvolvidos, seguidos de Nitossolos nos segmentos de Média Baixa vertente nos locais de maior declividade, semelhante a disposição dos solos encontrada neste trabalho.

Assim como na área do estudo, os Nitossolos descritos por Rocha et al. (2012) ocorrem preferencialmente em segmentos com declives de 6 a 12%, e nos locais de declives superiores a estes, ocorrem solos menos desenvolvidos como Cambissolos e Neossolos. Além do gradiente de declividade observa-se que nos pontos descritos como Nitossolos, as classes do IMF variam de 2 a 4 e o Fator-LS de 4 a 6 na margem direita, que é mais extensa. Na margem esquerda, mais curta, o IMF varia de 2 a 6 e o Fator-LS entre 6 e 7. Condições de relevo mais acentuadas, associadas a boa umidade, com predomínio da classe 4, 5 e 6 do ITU favorecem o deslocamento lateral das partículas mais finas formando o horizonte Bnítico (OLIVEIRA, 2005; EMBRAPA, 2018). Para os Cambissolos no fundo de vale e na margem direita o IMF varia de 5 a 7 e o Fator-LS fica entre as classes 5 e 6. Já na margem esquerda, o IMF e o Fator-LS ficam entre as classes 6 e 7. Tais condições favorecem maior perda de material e menores taxas de intemperização, contribuindo para a pouca evolução pedogenética dos solos e formação de horizonte B incipiente (OLIVEIRA, 2005).

Martins et al. (2015) evidenciaram que as mudanças nos tipos de solos no Platô de Cascavel estão condicionadas pelas rupturas de declividade na vertente. Ou seja, ocorrência de Latossolos nos segmentos de topo e interflúvios, e nos setores de maior declividade, os Nitossolos, semelhantes ao encontrados na área do estudo. Adicionalmente, no Compartimento Geomorfológico de Cascavel os Latossolos Vermelhos ocupam os setores de interflúvio alongados e formas planas de relevo, conforme observou Silva (2017). Em vertentes em que a declividade não excede aos 6%, os LV estendem-se até a média vertente, onde ocorre a transição para os Nitossolos.

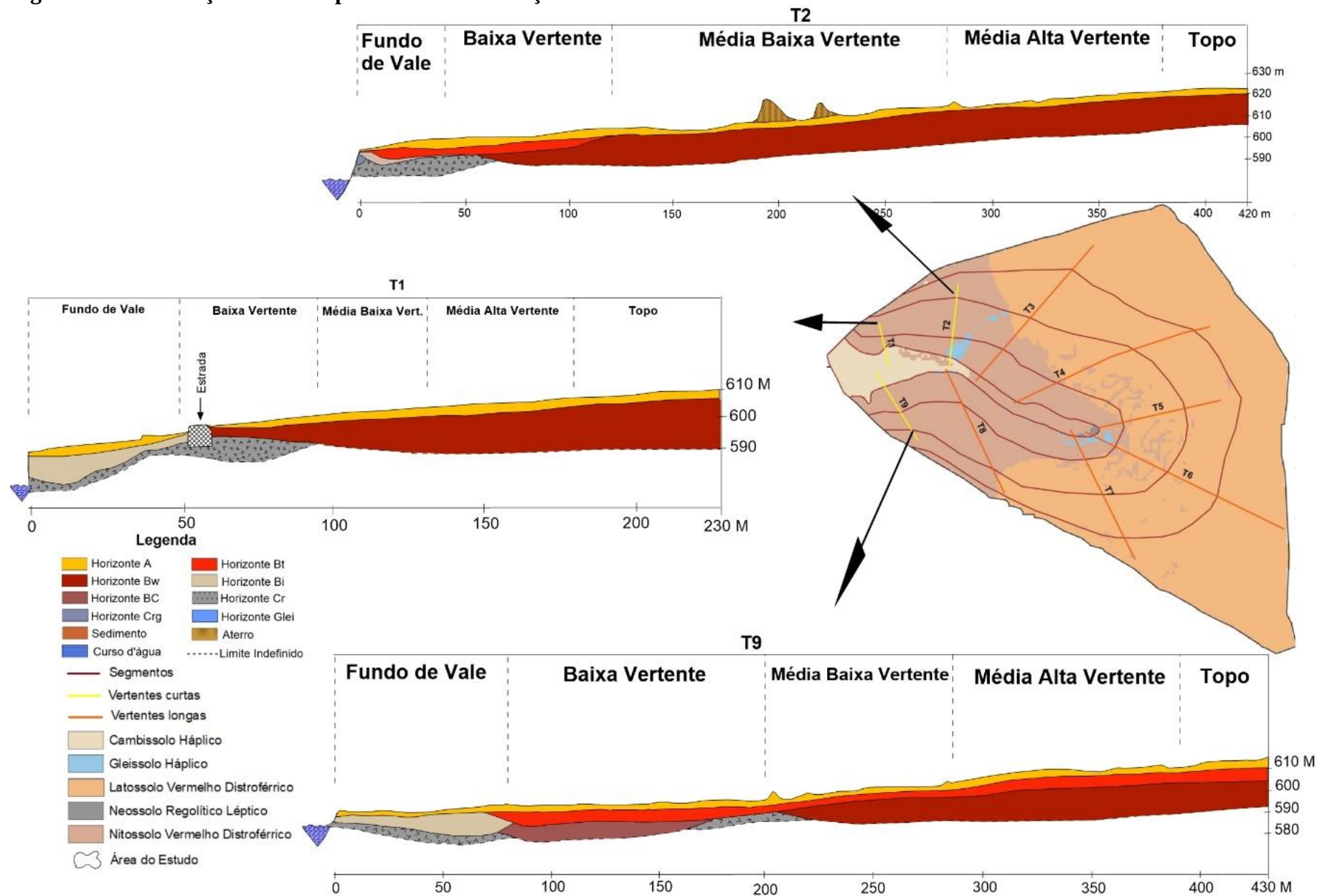
Aspecto semelhante ao observado na margem esquerda da bacia em estudo, os Latossolos encontrados na BP3 comumente situam-se nas áreas de topos longos e planos e em segmentos de vertentes longas e suaves, como já observados por Fernandez et al. (2011). Por esta razão, são solos minerais em avançado estágio de intemperismo, muito evoluídos pedogeneticamente, com horizonte B latossólico mais espesso que 150 cm. Para Fernandez et al. (2011), nos segmentos de maior declividade da vertente ocorrem os Nitossolos com textura argilosa a muito argilosa e matiz superior a 2,5 YR ou mais vermelho.

Essas características podem ser evidenciadas na área do estudo, em que há o aumento da profundidade do horizonte diagnóstico nos perfis de Latossolos, em relação aos Nitossolos, em função das formas convexas e divergentes e do baixo gradiente de declividade. Somado a isto, nos setores de Latossolos, o Fator-LS não ultrapassa a classe 4 e o IMF a classe 2. Estas características associadas, assim como salientado por Lepsch (2002), Oliveira (2005), Kampf e Curi (2012) formam as condições ideais para que se intensifiquem os processos de intemperismo e favorecem a formação de horizontes profundos bastante evoluídos e estruturados de cores avermelhadas (superiores a 2.5YR).

4.4 DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS POR AD E A DISTRIBUIÇÃO NAS VERTENTES

A distribuição dos solos nos segmentos das vertentes da microbacia delimitada pela AD é semelhante a distribuição lateral dos solos nos estudos por topossequência por meio de AECP. Percebe-se que nas vertentes curtas (Figura 22) a AECP resalta o sistema pedológico formado por Nitossolos Vermelho Eutroférico – Cambissolo Háplico (com ocorrência de associação Cambissolo + Neossolo Regolítico), o que também foi observado com a distribuição por AD. Como evidenciado na descrição detalhadas da T4 e T8, os Nitossolos situam-se em altitudes inferiores a 635 m. Isso corrobora com a primeira partição das variáveis feita pela AD, em que entre elevações maiores que 630 m predominam Latossolos, e nos locais de elevação inferior a 630 m, ocorrem os Nitossolos (como demonstrado pela AD - Figura 15).

Figura 22. Distribuição dos solos por AD e a distribuição nas vertentes curtas.

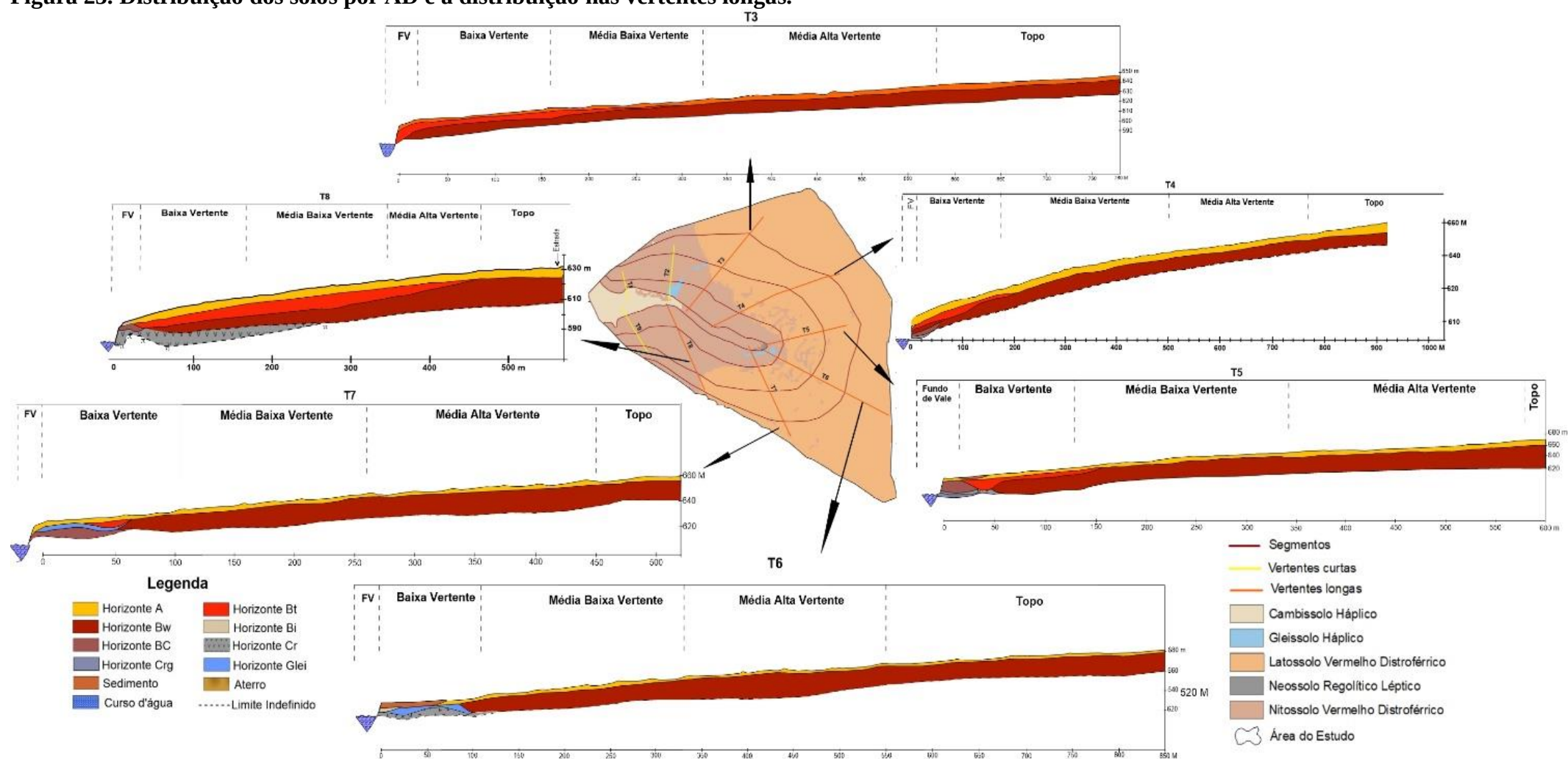


Nas vertentes curtas, os Nitossolos distribuem-se até o topo, como na vertente T9. A declividade em função do comprimento da rampa (Fator-LS) nestas vertentes são semelhantes tanto na distribuição feita pela AD como também na AECP. Os Cambissolos estão dispostos nos locais onde há ocorrência de vegetação e que estejam em elevação inferior a 608 m, na área correspondente ao segmento de fundo de vale, como observado nas topossequências T1, T2 e T9 no estudo por AECP. No entanto caso a elevação seja superior a 608 m há a ocorrência de Nitossolo, como observado na T2.

Nos locais pertencentes as vertentes mais longas (T3, T4, T5, T6, T7 e T8) a AD delimitou sistemas pedológicos formado por Latossolo - Nitossolo (podendo ocorrer associação de Nitossolo - Cambissolo) e Latossolo – Nitossolo-Gleissolo (Figura 23). O sistema Latossolo – Nitossolo da AD é semelhante a distribuição encontrada em campo por AECP. As classes de Latossolos encontram-se predominantemente nos segmentos de alta e topo de vertente. Já nos locais de menor altitude e maior declividade, principalmente na baixa vertente e fundo de vale, tem a ocorrência de Nitossolos. Essa configuração foi observada tanto na AECP, a exemplo das topossequências T4 e T5, como também na AD.

Na T3 descrita em campo, os Nitossolos estendem-se até o segmento da Média Baixa vertente, semelhante ao previsto pela AD. No caso da T8, por ser uma vertente mais curta que as demais, os Nitossolos observados em campo estendem-se até a Média Alta vertente, da mesma maneira como delimitado pela AD, tanto em função da elevação como também pelo Fator-LS. Em campo foram encontrados Gleissolos nas topossequências T6 e T7, nos segmentos de Baixa vertente em locais côncavos e de maior convergência dos fluxos superficiais e subsuperficiais. Tais locais correspondem com características de corte usadas na AD, em que os Gleissolos foram delimitados em baixas altitudes e com presença de altos valores de IMF (classe 6 e 7). Os altos valores do IMF utilizado pela AD correspondem a locais côncavos-convergentes e com maior teor de umidade (ITU).

Figura 23. Distribuição dos solos por AD e a distribuição nas vertentes longas.



As semelhanças na distribuição dos solos encontradas em campo com a distribuição delimitada pela AD retratam o potencial das variáveis morfométricas na distribuição das classes de solos em áreas não amostradas, e conseqüentemente, permite compreender a relação entre o solo e o relevo. Entende-se que o valor de acurácia alcançada pela AD de 80,9 de pureza em relação as amostras conhecidas também está associada a resolução espacial do MDE obtido do VANT. Adicionalmente, embora não fosse objetivo do trabalho avaliar os resultados de diferentes métodos de obtenção de dados em campo (conjunto amostral - por exemplo em grade regular ou aleatoriamente) para amparar o modelo, a coleta de amostras das classes de solos em topossequências alinhadas com a vertente contribuiu para que os cortes da árvore concordassem com os segmentos de vertente. E considerando a abordagem adotada nesse trabalho baseada na relação solo-relevo, entende-se que os resultados reflitam não só a espacialização das classes dos solos, mas também o solo como um corpo tridimensional organizado verticalmente e lateralmente, como um contínuo, conforme os pressupostos da AECP. Essa abordagem também é útil na compreensão da dinâmica da vertente com a pedogênese, conforme descrito por Vidal-Torrado et al. (2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados com o MDE do VANT e seus respectivos atributos morfométricos permitiram a delimitação da distribuição espacial das classes de solo na área a partir da relação solo-relevo assistida por AD com significativo valor de concordância. Além disso, os atributos também permitiram a observação de algumas dinâmicas na paisagem que podem amparar o entendimento de processos erosivos e sobre o funcionamento hidrológico da área do estudo (fato também observado pelas erosões decorrentes de evento de elevada precipitação em outubro de 2017).

A variável preditora das classes de solos que se destacou foi a elevação. No entanto, é importante lembrar que é dela que derivam os demais atributos, e que de certa forma, estes estariam atuando de forma implícita. Em outros locais e em escala de trabalho maiores, a elevação pode não ter a mesma importância que obteve na escala de trabalho utilizada neste estudo. A melhor resolução espacial dos dados mostrou-se eficiente para a espacialização das classes de solo. Contudo, a melhor resolução espacial também ressaltou a micro topografia da área, o que pode ter contribuído para manchas ou ‘salpicamento’ de Nitossolos em áreas de Latossolos. De outro lado, esta condição pode estar associada a confusão do modelo em função de se tratar de uma área de transição entre dois solos. Para qualquer uma das alternativas, estudos futuros são necessários para sanar a questão acima. Sobre a inclusão da classe de Gleissolos no segmento centro-oeste da área do estudo, deve-se a influência da variável IMF e ITU que destacaram aquele segmento.

Embora os resultados tenham se mostrado positivos e com acerto significativo, como observado também em estudos semelhantes, conforme a literatura consultada, não foi possível identificar uma regra de amostragem de dados empíricos, nem de quais variáveis ambientais devem ser usadas e de como devem ser classificadas ou se devem ser classificadas. De certa forma, isso dificulta a automatizar o processo de aplicação da metodologia para diferentes áreas e em escalas de trabalho diferentes, uma vez que o resultado ainda depende de um conhecimento prévio da área e do conhecimento pedológico em definir quais variáveis ambientais seriam mais adequadas a cada caso. Entende-se que estudos desse caráter devem ser continuados, a fim de definir uma metodologia a qual consiga obter um resultado alcançável de forma mais automática a partir dos atributos morfométricos da área de interesse.

No entanto, o uso de variáveis morfométricas tem potencial significativo para subsidiar o manejo e conservação dos solos em função de um melhor entendimento das relações entre as formas e processos da área e sua relação com a pedologia. Por exemplo, o estudo evidenciou a potencialidade da metodologia ao inferir sobre os locais com maior chance de perda de solos ou com maior escoamento superficial canalizado. Em específico, o atributo IMF evidenciou áreas sujeitas a processos erosivos a partir de escoamento superficial. Tal fato, pode de certa forma ser comprovado com o evento de precipitação intensa que ocorreu na área. Os demais atributos permitiram por exemplo, inferir sobre áreas mais úmidas e áreas de canal de ordem zero. Tais respostas contribuem para a definição de áreas que exigem maior atenção nas práticas de manejo e conservação do solo.

6. REFERÊNCIAS

- ANJOS, D. S.; MENEGUETE JUNIOR, M.; NUNES, J. O. R. Classificação da curvatura de vertentes em perfil via Modelo numérico de Terreno. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Curitiba, INPE, p.2286-2293, 2011.
- ARIOLI, E. E.; LICHT, O. A. B. **O Grupo Serra Geral no Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2013. 2 v.
- ARIOLI, E. E.; SALAZAR JR, O. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 193 p. 2014.
- BOEHNER, J.; SELIGE, T. Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation. In: Boehner, J., McCloy, K.R., Strobl, J.: '**SAGA - Analysis and Modelling Applications**'. Goettinger Geographische Abhandlungen, p.13-27, 2006.
- BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. A Dinâmica dos sistemas atmosféricos no verão 2012-2013 no Paraná e em Campo Mourão. SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: a dinâmica das cidades e a produção do espaço, v. 2, p. 1-30, 2013.
- BOULET R. **Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique**. Thèse Sci. Strasbourg et mém. ORSTOM, n° 85, 272 p., 1974.
- BOULET R. **Toposéquences de solstropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique**. Thèse Sci. Strasbourg et Mém. ORSTOM, n 85, 1974.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et pédologie. I Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM**, sér. Pédol., vol. 19, n. 4, p.309-322. 1982a.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse Structurale et Cartographie en Pédologie. II Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM**, sér. Pédol. vol. 19, n. 4, p.323-339, 1982b.
- _____. Analyse Structurale et Cartographie en Pédologie. III Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM**, sér. Pédol., vol. 19, n. 4, p.341-351, 1982c.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e a experimentação agrônômica. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21., Campinas, 1987. **Anais**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.431-446, 1988.
- BOULET, René. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. 1993. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. p. 79-90, Campinas, 1993.

BUI, E. N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil-landscape rules from previous soil surveys. **Australian Journal of Soil Research**, v. 37, n. 3, p. 495-508, 1999.

CALEGARI, M. R. **Distribuição da cobertura pedológica e o relevo no Alto Vale do Ribeirão Água do São Francisco-Nova Esperança-PR**. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000. (Dissertação de Mestrado).

CALEGARI, M. R.; MARCOLIN L. Relação solo - paisagem na bacia da Sanga Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon (Pr). **Boletim de Geografia**. Maringá, v. 32, n. 3, p. 110-121, 2014.

CAMARGO, F. A.; ALVAREZ, V.; HUGO, V.; BAVEYE, P. C. **Brazilian soil science: from its inception to the future, and beyond**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 3, p.589-599, 2010.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p.104-114, 2006.

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**. Rio de Janeiro, nº 65/5, p. 997-101, 2013.

CASTRO, S. S. **Sistema de Transformação Pedológica em Marília, SP: B latossólico em B textural**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento Geografia. São Paulo, 1989. (Tese de Doutorado).

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, IAPAR, 2000.

CHAGAS, S. C.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CARVALHO JÚNIOR, W. Atributos topográficos e dados do Landsat7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45 n. 5, p.497-507, 2010.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; BHERING, S. B. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25 n. 1, p.147-162, 2013.

CHRISTOFOLLETTI, A. Vertentes: processos e formas. ____ **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, cap. 2, p. 26-65, 1982.

CLEMENTE, E. P.; SCHAEFER, C. E. G. R.; OLIVEIRA, F.S.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R.; ALVES, R. V.; SÁ, M. M. F.; MELO, V. F, CORREA, G. R. Toposequência de solos na ilha da Trindade Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, n. 5, p. 1357-1372, 2009.

COELHO, F. F.; GIASSEN, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.10, 2010.

COSTA, J. J. F. **Mapeamento digital de solos com uso de árvores de decisão na microbacia córrego Tarumãzinho, Águas Frias, SC**. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. (Dissertação de Mestrado).

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; DE OLIVEIRA GARCIA, G.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; MOREIRA, M. C. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 8, n. 1, p.01-09, 2014.

CRIVELANTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. M. Mineração de dados para uma inferência de relações solo-paisagem em mapas digitais de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p.1707-1715, 2009.

CUNHA, J.E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23 p.943-951, 1999.

CUNHA, A. M. **Seleção de Variáveis Ambientais e de Algoritmos de Classificação Para Mapeamento Digital de Solos**. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013. (Tese de doutorado).

CURCIO, G. R. **Diagnóstico Sobre os Efeitos de Erosão em Nascente - Microbacia de Toledo, Paraná**. Relatório Técnico. Embrapa Florestas, Colombo – PR, 2018. 33p. (Inédito).

CURCIO, G. R.; BONNET, A. **Análise de erosão em nascentes e segmento de rio, município de Toledo, Paraná**. Dados eletrônicos Documentos / Embrapa Florestas,; 323) - Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

DA COSTA CÔRTEZ, S.; PORCARO, R. M.; LIFSCHITZ, S. **Mineração de dados-funcionalidades, técnicas e abordagens**. PUC, maio, 2002.

DALMOLIN, R. S. D.; CATEN, A. T.; DOTTO, A. C. Pedometria uma breve contextualização nacional e mundial. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 43, n. 3, 2017.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. An hypothetical nine unit landsurface model. **Zeitschrift für Geomorphologie**. N.F. Supplementband 12, p. 60–76, 1968.

DE ALVARENGA JÚNIOR, W. J. **Métodos de otimização hiperparamétrica: um estudo comparativo utilizando árvores de decisão e florestas aleatórias na classificação binária**. Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. (Dissertação de Mestrado).

DEMATTE, J. A.; ALVES, M. R.; GALLO, B. C.; FONGARO, C. T. Detecção de limites de solos por dados espectrais e de relevo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p.718-729, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos ganha versão eletrônica gratuita**. Notícias. Publicado em 18 de agosto de 2018. Acesso em 5 de fevereiro. Disponível em :<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36491462/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos-ganha-versao-eletronica-gratuita>>

FABRIS, D. R.; ALVES, L. R.; ROESLER, M. R. B.; RIPPEL, R.; CRUZ, D. B.; TOLFO, J. F.; SILVA, L. T. R.; KAUFER, M. M. Meio Socioeconômico. In: FEIDEN, A. (org.). **Plano da bacia hidrográfica do Paraná 3: Características gerais da bacia**. Cascavel, 2011.

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations.. <http://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/news/detail/en/c/284443/>. Data de acesso: 23/7/2018.

FEIDEN, A.; TABORDA, J.; PORTZ, R. L.; RONATO, R. R. Meio Biótico. In: FEIDEN, A. (org.). **Plano da bacia hidrográfica do Paraná 3: Características gerais da bacia**. Cascavel, 2011.

FERNANDEZ, O. V. Q.; CALEGARI, M. R.; BINDA, A. L.; MEITH, J. C.; AZEVEDO, S. T.; FOGAÇA, T. K. Meio Físico. In: FEIDEN, A. (org.). **Plano da bacia hidrográfica do Paraná 3: Características gerais da bacia**. Cascavel, 2011.

FLACH, C. W.; CORRÊA, E. A. Levantamento de Solos no Brasil: Métodos, Práticas e Dificuldades. **Geographia Meridionalis**, v. 3, n. 3, p. 420-431, 2017.

FOLHA DE LONDRINA (Online). **Agronegócio aumenta fatia do PIB das regiões oeste do Paraná**. Disponível <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/205371-agronegocio-aumenta-fatia-do-pib-das-regioes-oeste-do-parana.html#.W1Ymm7gnbIU>. Data de acesso: 23/07/2018.

GIASSON, E; SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steep slopes. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p.167-174, 2011.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

HABECK, A. **Estudo Morfopedológico em uma Topossequência na Esquina Memória – Toledo – Pr**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2018. (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia).

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. Manejo e conservação de solos. In: Embrapa Agropecuária Oeste. (Org.). **Algodão: informações técnicas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, v., p.26-50, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro 3ª ed., 2015, 430p.

IPPOLITI R, G. A., COSTA, L. M. D., SCHAEFER, C. E. G., FERNANDES FILHO, E. I., & GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de" mar de morros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, 2005.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York: McGraw Hill, 1941. 320p.

KÄMPF, N.; CURI, N. O conceito de solo e sua evolução histórica. In: KER, J.C. et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS, p.207-302, 2012.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J.C. et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012, p.207-302.

KER, J.C. et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012.

KHEIR, R. B. GREVE, M. H.; BOCHER, P. K.; GREVE, M. B.; LARSEN, R.; McCLOY, K. Predictive mapping of soil organic carbon in wet cultivated lands using classification-tree based models: The case study of Denmark. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 5, p. 1150-1160, 2010.

KUHN, M.; WING, J.; WESTON, S.; WILLIAMS, A.; KEEFER, C.; ENGELHARDT, A.; COOPER, T.; ZACHARY, M.; KENKEL, B.; BENESTY, M.; LESCARBEAU, R.; ZIEM, A.; SCRULLA, L.; TANG, Y.; CANDAN, C.; HUNT, T. (2018). **caret: Classification and Regression Training**. R package version 6.0-80. Disponível em : <https://CRAN.R-project.org/package=caret>

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soilmapping. **Developments in soil science**, v. 31, p.3-22, 2006.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI JR. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para Levantamento Utilitário do meio Físico e Classificação das Terras no sistema de Capacidade de Uso. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1983.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo. Oficina de Textos, 2002.

LIMA, L. A. S.; NEUMANN, M. B. R.; REATTO, A.; ROING, H. L. **Mapeamento de solos**: do tradicional ao digital. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF, p.52, 2013.

LIMA, L. A. S. **Aplicação dos métodos semi-automático e lógica Fuzzy para o mapeamento de solos da Bacia do Sarandi**. Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília-DF, 2013. (Dissertação de Mestrado).

LIMBERGER, L. **O clima do Oeste do Paraná: análises da presença do lago de Itaipu**. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de pós-graduação em Geografia. Rio Claro, 2007. (Dissertação de mestrado).

MARTINS, V. M.; DANZER, M.; CUNHA, J. E., ROCHA, A. S.; HAYAKAWA, E. H.; SILVA, B. A. **Relação solo-relevo no Planalto de Cascavel-PR**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal – RN, 2015.

McBRATNEY, A. B. et al. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, 2003, p. 3-52.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. dos. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.17, 2003.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; TEN CATEN A. Mapeamento Digital de Solos (MDS): avanços e desafios. In: **Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, vol.40, nº2, 2015.

MILLER, B. A.; SCHAEZTL, R. J. History of soil geography in the context of scale. **Geoderma**, v. 264, p. 284–300, 2016.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Londres, **Soil Research**, v. 4, n. 2, p.183-98, 1934.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. **Geoderma**, v. 264, p. 301-311, 2016.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, 2012.

MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological processes**, v.5, n.1, p.3-30, 1991.

MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 2, p. 443-452, 1993.

NOWATZKI, A. **Utilização de atributos topográficos no mapeamento preliminar de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno (Antonina/PR)**. Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba, FEALQ, 2ª ed., 2005, 574p.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

OLIVEIRA, Á. V. Mapeamentos de solos no Brasil: situação e perspectivas. In: **Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, vol.39, nº1, 2014.

PINESE, J. P. P.; NARDY, A. J. R. Contexto geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense. In: I ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE, 2003, Maringá, **Anais...** Maringá: UEM, 2003.

POZZA, A. A. A.; PELEGRINO, M. H. P.; SILVA, S. H. G.; MENEZES, M. D.; MARQUES, J. J. Mapeamento digital de solos com base em árvores de decisão em subbacia hidrográfica de Minas Gerais. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. **Anais...** Campinas, CBCS, p. 415-430, 1988.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, p 77–90, 2002.

RAIMUNDO, L. R. MATTOS, M. C.; SIMÕES, P. W. T. A.; CECHINEL, C. O Algoritmo de Classificação CART em uma Ferramenta de Data Mining. **Anais... SULCOMP**, v. 4, 2008.

RESENDE, M. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995, p.304.

ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; MARTINS, V. M. Relações morfoopedológicas nos setores de fundos de vale da bacia hidrográfica do córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon - PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 2 p. 99-110, 2012.

ROCHA, A. S. **As vertentes características e os sistemas pedológicos como instrumentos de análise para a identificação das fragilidades e potencialidades ambientais na bacia hidrográfica do paraná 3**. Universidade Estadual de Maringá, Programa de pós-graduação de Geografia, 2016. (Tese de doutorado).

REYNOL, F. Instituições assinam parceria para mapear solo brasileiro. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – v. 43, n. 3, 2017.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNYOSHI, Y. S. HATSCHBACH, G. G. As Unidades Fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p.75-92, 2002.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.; FRITSCH, E. L'analys structurale de lacouverture pédologique. **Science du Sol**, v. 27, p. 319-334, 1989.

RUHE R. V. Elements of soil landscape. In: Transactions of the 7th International Congress of Soil Science; Madison: **Soc. Soil Sci.** p.165-70.1960, 1960.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização e cartografia aplicada ao controle preventivo urbano e rural.** Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1994. (Tese de Doutorado).

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

SAMUEL-ROSA. A.; VASQUES, G. M. Dados para aplicações pedométricas em larga escala no Brasil. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, n. 3, 2017.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. D.; SANTOS, H. D.; KER, J. C., ANJOS, L. D.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SANTOS, H. G.; HOCHMÜLLER, D. P.; CAVALCANTI, A. C.; RÊGO, R. S.; KER, J. C.; PANOSO, L. A.; AMARAL, J. D. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos.** Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1995.

SANTOS, L. J. C. Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo. **Raega – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba: Editora da UFPR, nº. 4, 2000, p. 131-138.

SANTOS, A. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BERNINI, T. A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1297-1314, 2010.

SBCS – NEPAR. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual do Paraná. **Dia Nacional da Conservação do Solo.** Acesso em 18 de junho de 2017. Disponível em: <http://www.sbc-s-nepar.org.br/noticias/135-dia-nacional-da-conservacao-do-solo-2017>.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology.** 1ª ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

SILVA, L. M. O. da. **Uma aplicação de árvores de decisão, redes neurais e KNN para a identificação de modelos ARMA não sazonais e sazonais.** PUCRio –Departamento de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2005. (Tese de doutorado).

SILVA, B. A. **Mapeamento Convencional e Digital de Solos na Folha Topográfica de Marechal Cândido Rondon – Pr – Brasil.** Universidade Estadual do Oeste do

Paraná, programa de pós-graduação em Geografia, Marechal Cândido Rondon, 2017. (Dissertação de Mestrado).

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: Integração de atributos topográficos em Sistemas de Informações Geográficas e redes neurais artificiais.** Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2010. (Tese de Doutorado).

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R. Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13, nº 2, 2012.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; CHISATO, O. F. Atributos do Relevo derivados de modelos digitais de elevação e suas relações com os solos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.317-329, 2008.

SOARES, J. C. W. **Atributos do terreno na diferenciação e no mapeamento digital de solos.** Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Santa Maria, 2015. (Tese de Doutorado).

SOUZA, E.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES-FILHO, E. I. Pedometria e uso de novas tecnologias. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, n. 3, 2017.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R. S. Mapeamento digital de solos através da aplicação de componentes principais em modelos logísticos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009a. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.7677-7684, 2009a.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; SEBEM, L. F. C. R.; PEREIRA, E. R. S. Pedometria aplicada à predição de classes de solos utilizando de regressões logísticas múltiplas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009b, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.7685-7692, 2009b.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, S. D.; MENÇA-SANTOS, M. L. 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, 2011.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R.S.D.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; GIASSEN, E. Mapeamento digital de solos: características da abordagem brasileira. **Ciência Rural**, v.43, p.1989-1997, 2012.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C. Digital soil mapping: strategy for data pre-processing. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1083-1092, 2012.

TESKE, R.; GIASSEN, E.; BAGATINI, T. Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em Dois Irmãos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p.1367-1376, 2014.

TESKE, R.; GIASSEN, 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**. Viçosa. Vol. 39, n. 1, p.14-20, 2015.

THERNEAU, T.; ATKINSON, B.; RIPLEY, B. (2017). **rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees**. R package version 4.1-11. <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>

THOMPSON, J. A.; BELL, J. C.; BUTLER, C. A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. **Geoderma**, v. 100, n. 1-2, p.67-89, 2001.

TOLEDO – ESTADO DO PARANÁ. **Diagnóstico Socioterritorial da Política de Assistência Social do Município de Toledo**. Secretaria de Assistência Social e Proteção à Família, 2015.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, 2008.

VAZE, J.; TENG, J.; SPENCER, G. Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 10, p. 1086-1098, 2010.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Relações material de origem/solo e pedogênese em uma sequência de solos predominantemente argilosos e latossólicos sobre psamitos na Depressão Periférica Paulista. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.23, p.357-369, 1999.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L. R. F.; Cooper, M.; Silva, A. P.; Cardoso, E. J.; Prochnow, L. I. (org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS. v.4, p.145-192, 2005.

VON ZUBEN, F. J.; ATTUX, R. R. F. **Árvores de Decisão**. DCA/FEEC/UNICAMP, 2012. Acesso em março de, 2019. Disponível em:< ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ia004_1s10/notas_de_aula/topico7_IA004_1s10.pdf>.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H. **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu**. 1ed. Londrina: IAPAR, v. 1, 2015.

WERLANG, M. K.; FACCO, R.; AITA, R. A.; WERLANG, A. P. Cobertura pedológica em topossequência de vertentes na área experimental do departamento de solos/campus da Universidade Federal de Santa Maria. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas – UFSM, Ciência e Natura*, Santa v. 35, n. 2, p.190-205, 2013.

WILSON J. P.; GALLANT J. C. Digital terrain analysis. In: **Terrain Analysis: Principles and Applications**, Wilson JP, Gallant JC (eds). John Wiley: New York; 1–27, 2000.

WIKANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de geologia**. São Paulo: Cengage Learning, p.508, 2009.

WOLSKI, M. S. **Modelagem do terreno e mapeamento digital de solos por extrapolação das relações solo-paisagem**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciência do solo. Santa Maria, 2016.

APÊNDICE 1

DESCRIÇÃO GERAL DOS PERFIS DE SOLOS

TOPOSSEQUÊNCIA I (T4)

IDENTIFICAÇÃO T1- P1 PROJETO Rede Agro

DATA 20-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Latossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR,

SITUAÇÃO Topo

ALTITUDE (m) 666

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOSTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA Cretáceo - Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO Ligeira, laminar

DRENAGEM Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifólia

USO ATUAL Restos da cultura de milho

DESCRITO E COLETADO POR Marcia Regina Calegari

Ap0 - 20cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, Úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3, úmida amassada); argila; superfície de compressão, fosca, abundante, forte; extremamente dura, muito firme, muito plástica, muito pegajosa; muito finas, poucas; raízes muito finas, poucas; sem poros visíveis; transição plana, clara;

AB 20 - 35cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; forte, grande, muito grande, blocos angulares, prismática; superfície de compressão, fosca; extremamente dura, firme, muito plástica, muito pegajosa; muito finas, poucas; raízes muito finas, poucas; poros grandes, poucos; transição plana, clara;

BA 35 - 60cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida amassada); argila; moderada, media, grande, blocos subangulares; moderada, pequena, blocos subangulares; macia, muito dura, firme, plástica, pegajosa; raízes muito finas, poucas; poros grandes, comuns; transição plana, difusa;

Bw1 60 - 115cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, moderada, muito grande, blocos angulares, blocos subangulares; dura, friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes ausentes; poros grandes, abundantes; transição plana, difusa;

Bw2 115 - 180cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida amassada); muito

argilosa; fraca, moderada, grande, blocos subangulares; forte, muito pequena, pequena, granular; dura, friável, plástica, pegajosa; poros médios, grandes, comuns; transição plana, difusa;

Bw3 180 - 210+cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Brunoavermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, grande, muito grande, blocos subangulares; forte, muito pequena, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes ausentes; poros muito grandes, abundantes;

OBSERVAÇÕES:

- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados). Impossível identificar a estrutura natural. As raízes desenvolvem-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.
- AB e BA: Forte atividade biológica (canais de formiga preenchidos com palhada e material do Ap). Canais verticais de 2cm de largura preenchidos com material solto escuro do Ap Brunoavermelhado-escuro (2,5YR 25/4).
- AB: Raízes médias com desenvolvimento lateral (detalhe foto).



Foto 1: Topossequência I - Perfil 1 - Latossolo Vermelho férrico com detalhe do desenvolvimento lateral de raízes (30cm de profundidade no perfil).



DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T1-P2 PROJETO Rede Agro

DATA 21-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Latossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória - Toledo

SITUAÇÃO Terço superior de vertente

ALTITUDE (m) 656.0

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA ' Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO ligeira, laminar

DRENAGEM bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL Restos da cultura de milho

DESCRITO E COLETADO POR Marcia Regina Calegari

Ap0-15cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; extremamente dura, firme, plástica, pegajosa; sem poros visíveis; transição plana, abrupta;

AB 15-35cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; forte, grande, blocos angulares; forte, media, grande, blocos angulares; extremamente dura, firme, plástica, pegajosa; raízes finas, comuns; poros muito pequenos, poucos; transição plana, clara;

BA 35-65cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; moderada, muito grande, blocos subangulares; moderada, forte, pequena, media, blocos angulares; dura, firme, plástica, pegajosa; finas, grossas, comuns; raízes finas, grossas, comuns; poros grandes, muito grandes, poucos, comuns; transição plana, difusa;

Bw1 65-140cm: Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3, úmida amassada); muito argilosa; fraca, muito grande, blocos subangulares; forte, muito pequena, granular; dura, friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes finas, poucas; poros médios, comuns; transição plana, difusa;

Bw2 140-200+cm: Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, grande, muito grande, blocos subangulares; forte, muito pequena, granular; dura, friável, plástica, pegajosa; poros grandes, comuns;

OBSERVAÇÕES:

- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados).
- Impossível identificar a estrutura natural. As raízes concentram-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.



Foto 2: Topossequencia I- Perfil 2 - Latossolo Vermelho férrico.

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T1-P3 PROJETO Rede Agro

DATA 21-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Latossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR

SITUAÇÃO Colina/Morro Terço Médio

ALTITUDE (m) 637.5

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO Ligeira, laminar

DRENAGEM Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL Restos da cultura de milho

DESCRITO E COLETADO POR Marcia Regina Calegari

Ap0-20cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; forte, muito grande, blocos angulares, prismática; forte, grande, blocos subangulares; extremamente dura, plástica, muito pegajosa; raízes muito finas, comuns; sem poros visíveis; transição plana, clara;

AB 20-40cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); argila; grande, blocos angulares, prismática; media, blocos angulares; cerosidade comum, fraca; extremamente dura, firme, ligeiramente plástica, pegajosa; poros pequenos, comuns; transição plana, clara;

BA 40-75cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); muito argilosa; moderada, grande, blocos angulares; moderada, muito pequena, granular; macia, firme, plástica, pegajosa; raízes muito finas, poucas; poros pequenos, comuns; transição plana, difusa;

Bw1 75-120cm: Vermelho (2,5YR 5/6, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, grande, blocos angulares, blocos subangulares; muito pequena, granular; macia, friável, plástica, pegajosa; poros médios, abundantes; transição ondulada, difusa;

Bw2 120-165cm: Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seca); Vermelho-escuroacinzentado (10R 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, grande, blocos angulares, blocos subangulares; muito pequena, pequena, granular; macia, friável, plástica, pegajosa; poros médios, abundantes; transição plana, difusa;

Bw3 165-205+cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, muito grande, blocos subangulares; forte, muito pequena, granular; macia, friável, ligeiramente plástica, pegajosa; raízes ausentes; poros médios, poucos;

OBSERVAÇÕES:

- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados).
- Impossível identificar a estrutura natural.
- As raízes desenvolvem-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.
- Bw2: Raízes pivotantes.



Foto 3: Topossequência I Perfil 3 - Latossolo Vermelho férrico.

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T1- P4 PROJETO Rede Agro

DATA 20-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Nitossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR;

SITUAÇÃO Terço Médio Inferior

ALTITUDE (m) 626.5

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE não pedregosa

ROCHOSIDADE não rochosa

RELEVO LOCAL suave ondulado

RELEVO REGIONAL suave ondulado

EROSÃO ligeira, moderada, laminar, sulcos

DRENAGEM bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL Restos da cultura de milho

DESCRITO E COLETADO POR: Marcia Regina Calegari

Ap0-20cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); argila; forte, muito grande, blocos angulares, maciça; extremamente dura, extremamente firme, plástica, muito pegajosa; raízes finas, comuns; sem poros visíveis; transição plana, clara;

AB 20-40cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Vermelho escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); argila; forte, muito grande, blocos angulares; extremamente dura, firme, muito plástica, muito pegajosa; sem poros visíveis; transição plana, clara;

BA 40-80cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Vermelho escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; moderada, grande, blocos angulares; moderada, media, blocos angulares, blocos subangulares; cerosidade pouca, fraca, moderada; dura, firme, friável, plástica, pegajosa; raízes ausentes; poros muito pequenos, comuns; transição plana, clara;

Bt1 80-130cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); Bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, úmida amassada); argila; forte, grande, muito grande, prismática; forte, media, grande, blocos angulares; cerosidade abundante, moderada; muito dura, muito firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; raízes ausentes; poros pequenos, médios, comuns; transição plana, clara;

Bt2 130-170cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); muito argilosa; moderada, forte, grande, prismática; moderada, media, blocos angulares; cerosidade pouca, fraca, moderada; macia, firme, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; raízes ausentes; poros pequenos, comuns; transição plana, clara;

Bw1 170-210cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); argila; moderada,

grande, blocos subangulares; muito pequena, pequena, blocos angulares; dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa, pegajosa; raízes ausentes; poros médios, grandes, poucos; transição plana, clara;

Bw2 210+cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; fraca, pequena, media, blocos subangulares; forte, muito pequena, granular; dura, friável, ligeiramente plástica, plástica, ligeiramente pegajosa, pegajosa; raízes ausentes; poros muito grandes, poucos;

OBSERVAÇÕES:

- 40 cm: Limite da compactação.
- Apresenta contribuição coluvionar.
- Ap: Horizonte extremamente compactado.
- Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados).
- Impossível identificar a estrutura natural. As raízes (milho) desenvolvem-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente, acompanhando as zonas de palhada. Poros: Fissuras. AB: tão compactado que não apresenta estrutura secundária.



Foto 4: Topossequência I Perfil 4 - Nitossolo Vermelho férrico.

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T1-P5 PROJETO Rede Agro

DATA 20-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Nitossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR;

SITUAÇÃO Terço Inferior

ALTITUDE (m) 615.9

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA : Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO Ligeira, moderada, laminar, sulcos

DRENAGEM Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL Restos da cultura de milho

DESCRITO E COLETADO POR Márcia Regina Calegari

AP 0-20cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; extremamente dura, extremamente firme, plástica, pegajosa; sem poros visíveis;

AB 20-40cm: Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seca); Bruno avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; forte, grande, muito grande, prismática; forte, media, prismática; superfície de compressão, fosca, abundante, moderada; extremamente dura, muito firme, muito plástica, muito pegajosa; raízes muito finas, poucas; sem poros visíveis; transição plana, abrupta;

BA 40-70cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; forte, grande, prismática; cerosidade pouca, moderada; superfície de compressão, brilhante, pouca, fraca, moderada; firme, friável, plástica, muito plástica, pegajosa, muito pegajosa; muito finas, poucas; raízes muito finas, poucas; poros muito pequenos, pequenos, poucos; transição plana, clara;

Bt1 70-120cm: Bruno-avermelhado-escuro (2YR 3/4, seca); Vermelho escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); (2YR 2,5/4, úmida amassada); argila, muito argilosa; moderada, grande, muito grande, prismática; moderada, forte, muito pequena, pequena, blocos angulares; cerosidade comum, moderada, forte; muito dura, firme, muito friável, plástica, pegajosa; poucas; raízes poucas; poros grandes, poucos; transição plana, gradual;

Bt2 120-160cm: (2YR 3/4, seca); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; forte, media, grande, blocos angulares, prismática; forte, pequena, blocos angulares; cerosidade comum, moderada, forte; dura, firme, plástica, pegajosa; raízes ausentes; poros grandes; transição ondulada, gradual;

Bw/Bc 160-170cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; moderada,

media, grande, blocos angulares; forte, pequena, media, blocos angulares; dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa, pegajosa; raízes ausentes; poros muito pequenos, pequenos, poucos; transição ondulada, clara;

Cr 170-200cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida amassada); argilossiltosa, muito argilosa; grande; moderada, media, maciça; cerosidade pouca, moderada; dura, muito dura, firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; raízes ausentes; poros médios, abundantes;

OBSERVAÇÕES:

- Sinais de coluviamento.
- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados). Impossível identificar a estrutura natural. As raízes desenvolvem-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.
- AB: horizonte compactado.
- Bt2: Macroporos em boa quantidade (comum). Atividade biológica com cupim, formigas. Bolsões preenchidos com material mais friável.
- Bw/Bc: Poucos fragmentos de rocha. Ocorrem fragmentos de rocha alterada amarelada em tamanho e quantidade pequena.
- Cr: Ocorrência de bioturbação, canais de formigas preenchidos, distribuídos verticalmente no perfil. Presença de fragmentos de rochas muito alteradas com cores variegadas entre vermelho (10R 3/4) e amarela (7,5YR 5/6). Presença de poros fissurais. Presença de cerosidade moderada na parte mais pedogenizada.



Foto 5: Topossequência I Perfil 5 - Nitossolo Vermelho férrico.

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T1-P6 PROJETO Rede Agro

DATA 21-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Cambissolo Háplico Tb Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória - Toledo

SITUAÇÃO Terço superior de vertente

ALTITUDE (m) 614

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA ' Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE pedregosa

ROCHOSIDADE rochosa

RELEVO LOCAL Forte ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO área de deslizamento com erosão remontante

DRENAGEM drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL Restos da cultura de milho

DESCRITO E COLETADO POR Marcia Regina Calegari

A0-25 cm: Muito plástico, pegajosa, textura argilosa, estrutura grumosa grãos centimétricos, atividade biológica comum, raízes: muitas, finas, fasciculadas a média e grossas pivotantes, transição gradual e plana. Cor 2,5YR 2,5/2 (úmida), 2,5yr 2,5/3 (amassada), 10R 2,5/2 (seca).

AB 25-40 cm: argilosa, plástica e pegajosa, estrutura em blocos angular e subangular grandes fortes que se desfaz em blocos subangulares médios e pequenos fracos, transição gradual plana, raízes muitas, finas, fasciculadas poucas médias e pivotante, porosidade pouca. Cor 2,5YR 2,5/3 (seca), 2YR 2,5/2 (úmida), 2YR 3/3 (amassada).

BA 40-70 cm: Argilosa, pegajosa, ligeiramente plástica, textura em blocos angulares, grandes, forte, que se desfaz em blocos ângulos médios, moderado a forte, transição gradual plana, porosidade macroporos de atividade biológica de formigas, raízes finas, pivotantes poucas. Cor 2,5YR 3/3 10YR 3/4 (seca), 2,5YR 3/3 A 3/2 (úmida), 2,5YR 4/4 (amassada).

Bi 70-100 cm: Argilosa siltosa, pouco plástica, pouco pegajosa, estrutura em blocos subangulares médios, fracos, que se desfaz em blocos subangular pequenos a fracos, transição gradual ondulada, ocorrência de fragmentos de rocha pouco alterada em meio a massa de matriz do solo. Cor 10YR 4/3 (seca), 2,5YR 3/4 (úmida), 10YR 4/4 (amassada).

Cr 100-200 cm: rocha alterada com cores amareladas 5YR 4/6 e 5YR 5/6. No entorno ao perfil ocorrência de linhas de ferro (petroplintita) acompanhando a altura do nível do freático.

TOPOSSEQUÊNCIA II (T8)

DESCRIÇÃO GERAL DOS PERFIS DE SOLOS

IDENTIFICAÇÃO T2-P1 PROJETO Rede Agro

DATA 26-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Latossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR;

SITUAÇÃO Terço Superior

ALTITUDE (m) 630.9

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO Ligeira, laminar

DRENAGEM Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL Restos da cultura do milho

DESCRITO E COLETADO POR Marcia Regina Calegari

Ap0-20cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; muito firme, muito plástica, muito pegajosa; raízes finas, comuns; sem poros visíveis; transição plana, clara;

AB 20-45cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; forte, muito grande, blocos angulares; forte, pequena, media, blocos angulares; dura, muito firme, plástica, pegajosa; poros muito pequenos, poucos; transição plana, clara;

BA 45-65cm: Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; moderada, grande, blocos angulares; moderada, muito pequena, pequena, blocos angulares; dura, firme, friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes finas, poucas; poros muito pequenos, comuns; transição plana, clara;

BW1 Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, media, blocos subangulares; forte, muito pequena, pequena, granular; friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes ausentes; poros pequenos, médios, comuns; transição plana, clara;

Bw2 100-160cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida amassada); muito argilosa; fraca, pequena, media, blocos subangulares; forte, muito pequena, granular; ligeiramente dura, friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes ausentes; poros médios, comuns; transição plana, difusa;

Bw3 160-210cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida); Vermelho muito escuro acinzentado (7,5R 3/4, úmida amassada); muito argilosa; fraca, media, blocos subangulares; forte, muito pequena, pequena, granular; friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes ausentes; poros pequenos, médios, comuns; transição plana, difusa;

OBSERVAÇÕES:

- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados).
- Impossível identificar a estrutura natural. As raízes desenvolvem-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.
- AB: Canais de animais (4cm) preenchidos com material solto.
- Bw3: Ocorrem concentrações em blocos pequenos de argila de estrutura subarrendodados.



Foto 6:Topossequência II Perfil 1 - Latossolo Vermelho férrico.

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T2-P2 PROJETO Rede Agro

DATA 22-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Nitossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR,;

SITUAÇÃO Terço Médio

ALTITUDE (m) 620.9

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA: Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO Ligeira, laminar

DRENAGEM Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL: Restos de cultura de milho

DESCRITO E COLETADO: Marcia Regina Calegari

Ap0-15cm: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); muito argilosa; extremamente dura, firme, plástica, muito plástica, muito pegajosa; raízes finas, poucas; sem poros visíveis; transição plana, abrupta;

AB 15-25cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida amassada); argila, muito argilosa; moderada, muito grande, blocos angulares; fraca, grande, blocos angulares; extremamente dura, extremamente firme, muito plástica, muito pegajosa; sem poros visíveis; transição plana, clara;

BA 25-50cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida amassada) argila; moderada, muito grande, blocos angulares; forte, media, grande, blocos angulares; superfície de compressão, fosca, abundante, forte; extremamente dura, firme, muito friável, muito plástica, muito pegajosa; raízes muito finas, poucas; poros muito pequenos, pequenos, abundantes; transição plana, clara;

Bt1 50-107cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida amassada); argila; forte, grande; forte, media, grande, blocos angulares; cerosidade abundante, forte; extremamente dura, muito firme, muito plástica, muito pegajosa; poros pequenos, médios, poucos; transição plana, gradual;

Bt2 107-135cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida amassada); argila; forte, grande, muito grande; forte, media, grande, blocos angulares; cerosidade comum, moderada; extremamente dura, firme, muito plástica, pegajosa, muito pegajosa; raízes ausentes; poros médios, grandes, poucos; transição plana, gradual;

Bw1 135-180cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida amassada); argila; forte, grande, muito grande, blocos angulares, blocos subangulares; forte, muito pequena, pequena, granular, blocos angulares; muito dura, friável, plástica, pegajosa; raízes ausentes; poros médios, grandes, abundantes; transição plana, difusa;

Bw2 180-220+cm: Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; moderada, grande, muito grande, blocos subangulares; forte, muito pequena, granular; dura, friável, plástica, pegajosa; raízes ausentes; poros grandes, abundantes;

OBSERVAÇÕES:

- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados).
- Impossível identificar a estrutura natural. As raízes desenvolvem-se nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.
- AB: Estrutura secundária que se fragmenta em lascas devido à compactação. Sem poros devido à compactação.
- BA: Horizonte bastante compactado. Apresenta cerosidade fosca, acompanhando os planos de quebra dos macroagregados. Coesão apresenta compactação.
- Bw1: Canais e tubos circulares com bordas argilosas, preenchidos com material friável, distribuídos aleatoriamente no perfil. Ocorrência de nódulos/concentrações de argila que apresenta cerosidade incipiente na parte superior do horizonte.



Foto 7: Topossequência II Perfil 1 - Nitossolo Vermelho férrico.

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T2-P3 PROJETO Rede Agro

DATA 22-Set-17

CLASSIFICAÇÃO Nitossolo Vermelho Eutroférico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR

SITUAÇÃO Colina/Morro Terço Inferior

ALTITUDE (m) 608.3

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA : Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE Não pedregosa

ROCHOSIDADE Não rochosa

RELEVO LOCAL Suave ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO Ligeira, moderada, laminar, sulcos

DRENAGEM Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL: Restos de culturas vegetais

DESCRITO E COLETADO POR Márcia Regina Calegari

Ap0-20cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, seca); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; fosca; extremamente dura, muito firme, plástica, muito pegajosa; raízes muito finas, finas, poucas; sem poros visíveis; transição plana, abrupta;

AB 20-30cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; media, grande, blocos angulares; forte, pequena, media, blocos angulares; fosca; extremamente dura, muito firme, plástica, pegajosa; raízes finas, poucas; sem poros visíveis; transição plana, clara;

BA 30-55cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmida amassada); argila; fraca, moderada, grande, blocos angulares; moderada, pequena, media, blocos angulares; muito dura, firme, plástica, pegajosa; poros médios, grandes, poucos; transição plana, abrupta;

Bt55-105cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila, muito argilosa; forte, grande, muito grande, blocos angulares, prismática; moderada, forte, pequena, media, blocos angulares, blocos subangulares; cerosidade comum, moderada; muito dura, firme, ligeiramente plástica, pegajosa; raízes muito finas, poucas; poros médios, grandes, poucos, comuns; transição plana, gradual;

BC 105-165cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Vermelho muito escuro-acinzentado (7,5R 2,5/3, úmida); Bruno-avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argila; pouco cascalhenta; moderada, grande, blocos angulares, blocos subangulares; moderada, pequena, media, blocos angulares, blocos subangulares; cerosidade pouca, fraca; firme, plástica, ligeiramente pegajosa; raízes ausentes; poros grandes, comuns; transição plana, clara;

Cr 165-210+cm: Vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seca); Bruno- avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida amassada); argiloarenosa;

cascalhenta; forte, muito pequena, granular; ligeiramente dura, friável; raízes ausentes; sem poros visíveis;

OBSERVAÇÕES:

- Ap: Horizonte extremamente compactado. Apresenta blocos grandes, muito angulosos (quase quadrados). Impossível identificar a estrutura natural. As raízes desenvolvem-se em material grumoso com serapilheira nos primeiros 3cm do solo distribuindo-se horizontalmente.
- BA: Sinal do efeito da compactação, material mais resistente a penetração da faca. Estrutura desenvolve-se em blocos devido a compactação. Difícil visualização dos poros devido a compactação.
- Bt: Ocorrência de fragmentos de rocha na base do horizonte contato com o BC. Fragmentos semelhantes aos encontrados no BC.
- BC: Presença de minerais primários (quartzo), rocha alterada em quantidade pouca a moderada. Fragmentos de rocha de 3 a 5 cm de cor amarelada, distribuída ao longo do perfil. Ocorrência de concentração de argila de tamanho centímetro que confere ao horizonte partes de cerosidade.
- Cr: Basalto alterado com cores pálidas amareladas (7,5YR 4/6) e avermelhadas (7,5R 2,5/3). Fragmentos de rocha bastante alterada (perda isovolumétrica) que se desfaz com compressão forte dos dedos. Distribuídas em meio a massa de solo muito friável, granular muito pequena e forte (em quantidade menor que do que a fragmentos de rocha). Não foi feito a consistência molhada devido a grande quantidade de rocha.



Foto 8: Topossequência II Perfil 3 - Nitossolo Vermelho férrico

DESCRIÇÃO GERAL

IDENTIFICAÇÃO T2-P4 PROJETO Rede Agro

DATA 22-Set-17

CLASSIFICAÇÃO CambissoloHáplico

LOCALIZAÇÃO Esquina Memória, Toledo-PR

SITUAÇÃO Fundo de vale

ALTITUDE (m) 605,5

LITOLOGIA, UNIDADE Basalto, Formação Serra Geral,

LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA : Cretáceo/Jurássico

MATERIAL DE ORIGEM Autóctone

PEDREGOSIDADE pedregosa

ROCHOSIDADE rochosa

RELEVO LOCAL forte ondulado

RELEVO REGIONAL Suave ondulado

EROSÃO área de deslizamento e erosão remontante

DRENAGEM drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA Floresta Subtropical Subcaducifolia

USO ATUAL: mata ciliar

DESCRITO E COLETADO POR Márcia Regina Calegari

A 0-25 cm: Estrutura grumosa, textura argilosa e consistência plástica e pegajosa, friável. Transição clara e plana-ondulada. Raízes abundantes médias, grossas, pivotantes e pináculadas (atividades biológicas com cupins e formigas abundantes). Fragmentos de Carrião. Cor: 5YR 4/4.

Bi 25-50 cm: Estrutura maciça, firme. Textura silto-argilosa, consistência plástica e pegajosa. Transição irregular clara, feições semelhantes ao anterior com menos raízes. Cor: 5YR 3/3.

B/C 50-150+ cm: Mesma estrutura e textura da matriz do Bi. A matriz de B diminui progressivamente até 80cm, a partir daí a rocha alterada passa a predominar em meio a massa do B. A partir de 80cm o material começa a ficar úmido (lençol freático). Ocorrência de água livre a 110cm. Cor: 2,5YR 4/8.

APÊNDICE 2

Atributos granulométricos dos solos da T8 - Esquina Memória, Toledo – PR.

Horizontes	Prof.	Composição granulométrica da terra fina (g. Kg ⁻¹)			Silte/Argila
Símbolo	cm	Areia total	Silte	Argila	
		2-0, 0,2 mm	0,02-0,002 mm	<0,002 mm	
TR1 – LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mistas com Araucária, relevo plano-ondulado.					
Ap	0-20	70	200	730	0,27
AB	20-45	50	160	790	0,20
BA	45-65	40	130	830	0,16
Bw1	65-100	40	130	830	0,16
BW2	100-160	50	160	790	0,20
BW3	160-210+	50	160	790	0,20
TR2 – NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado					
		80	330	590	0,56
AB	15-25	60	180	760	0,24
BA	25-50	50	110	840	0,13
Bt1	50-107	30	110	870	0,11
Bt2	107-135	40	120	840	0,14
BW1	135-180	50	120	830	0,14
BW2	180-210+	50	140	810	0,17
TR3 – NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado					
Ap	0-20	100	220	680	0,32
AB	20-30	100	150	760	0,20
BA	30-55	80	140	780	0,18
Bt1	55-105	70	110	820	0,13
BC	105-165	110	130	760	0,17
Cr	165-210+	150	160	690	0,23
TR 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO					
A	0-25	n.a.	n.a.	n.a.	-
Bi	25-50	n.a.	n.a.	n.a.	-
BC	50-150+	n.a.	n.a.	n.a.	-

n.a. – Não Analisado

Atributos químicos dos solos da T8- Esquina Memória, Toledo – PR.

Hor. cm	pH H ₂ O	Ca ⁺²	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC	SB	V	Al	P	C
							cmolcdm ⁻³		%		mg dm ⁻³	g.kg ⁻¹
TR1 – LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mistas com Araucária, relevo plano-ondulado.												
Ap	5,70	6,65	2,17	0,56	0	3,97	13,35	9,38	70,26	0	24,8	194,8
AB	5,5	4,62	1,43	0,18	0	4,27	10,5	6,23	59,33	0	1,6	91,1
BA	5,60	4,27	1,43	0,16	0	3,68	9,54	5,86	61,42	0	1,2	75,9
Bw1	5,90	3,02	1,39	0,05	0	3,17	7,63	4,46	58,45	0	0,9	53,7
BW2	6,10	2,55	0,90	0,05	0	2,73	6,23	3,5	56,17	0	0,6	46,3
BW3	6,10	3,10	0,37	0,03	0	2,54	6,04	3,5	57,94	0	0,6	25,3
TR2 – NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado												
Ap	5,90	7,95	3,37	0,41	0	3,97	15,70	11,73	74,71	0	24,9	234,1
AB	5,40	4,92	1,52	0,07	0	4,27	10,78	6,51	60,38	0	2,9	89,2
BA	5,50	4,27	1,43	0,05	0	4,27	10,02	5,75	57,38	0	2,5	72,8
Bt1	5,20	3,50	1,39	0,03	0	4,27	9,19	4,92	53,53	0	2,4	62,3
Bt2	5,20	3,22	1,02	0,03	0	3,97	8,24	4,27	51,82	0	2,5	56,4
BW1	5,50	2,1	0,74	0,03	0	3,68	6,57	2,89	43,98	0	2,2	43,2
BW2	5,10	2,82	1,02	0,03	0	3,97	7,84	3,87	49,36	0	0,6	51,4
TR3 – NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado												
Ap	5,90	8,37	3,66	0,14	0	4,27	16,44	12,17	74,02	0	6,7	263,3
AB	5,00	3,97	1,43	0,05	0,04	4,96	10,41	5,45	52,35	0,72	3,2	86,8
BA	5,20	4,12	1,35	0,03	0	4,60	10,10	5,50	54,45	0	1,1	68,5
Bt1	5,50	4,00	0,94	0,03	0	3,97	8,94	4,97	55,59	0	1,6	54,1
BC	5,70	2,85	0,69	0,03	0	3,17	6,74	3,57	52,96	0	1,1	34,2
Cr												
TR 4- CAMBISSOLO HÁPLICO												
A	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Bi	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
BC	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a

n.a. – Não Analisado

ANEXO 1

Plano de voo seguido pela Itaipu Binacional

The screenshot displays the Pix4o flight planning software interface. The main map shows a flight path (yellow lines) over a terrain. A central information box displays flight status: 0 m/ATO, 661 m/AMSL, 0:00, GNSS status: Standalone 3D, Idle, Ready to take off, Simulator (ER-01-008). The map also shows a polygonal mission area with a ground resolution of 10.0 cm/px and a desired altitude of 353.1 m/ATO. The bottom status bar shows coordinates: 24.7989670°S 53.5871614°W 601 m/AMSL (607 m/WGS84).

Top Bar: Standalone, Format Undef, GPS Not sufficient, Glonass Not sufficient, Microsoft Satellite.

Buttons: WARNING, START MISSION, RESUME MISSION, GO TO START WPT, GO TO HOME WPT, GO LAND, HOLD POSITION, LAND NOW Click 3x, ABORT LANDING.

Camera model: WX RGB, Use camera protection kit.

Mapping and mission parameters: Difficult terrain, Easy terrain, Mission area: Polygonal, Camera: WX RGB, Ground resolution: 10.0 cm/px, Desired altitude: 353.1 m/ATO, Use elevation data to set absolute waypoint altitudes, Lateral overlap: 60%, Longitudinal overlap: 75%, Generate perpendicular flight lines, Reversed flight direction, Save parameters as default for WX RGB.

Advanced parameters: Starting waypoint: 1, After previous, Wind estimate: 180°, 0.0 m/s.

Resulting flight characteristics:

Number of flights:	3
Flight time:	3x 00:22:23
Total flight distance:	44.2 km
Total ground coverage:	381.5 ha
Number of flight lines:	16+0
Flight lines spacing:	195.8 m
Mean flight lines altitude above elevation data:	371 m (10.5 cm/px)
Max flight lines altitude above elevation data:	427 m (12.1 cm/px)
Min flight lines altitude above elevation data:	319 m (9.0 cm/px)
Distance between photos:	90.3 m
Single image coverage:	489.6x361.1 m
Number of waypoints:	35

Simulator: Wind: 2.7 m/s, 35°.

ANEXO 2

Atributos granulométricos dos solos da T4 - Esquina Memória, Toledo – PR.

Horizontes	Prof.	Composição granulométrica da terra fina (g. Kg ⁻¹)			Silte/Argila
Símbolo	cm	Areia total	Silte	Argila	
		2-0, 0,2 mm	0,02-0,002 mm	<0,002 mm	
TR 1 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mistas com Araucária, relevo plano.					
Ap	0-20	160	260	580	0,45
AB	20-35	110	130	760	0,17
BA	35-60	110	130	760	0,17
Bw1	60-115	100	130	770	0,17
Bw2	115-180	100	110	790	0,14
Bw3	180-200	100	110	790	0,14
TR 2 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mista com Araucária, relevo suave ondulado					
Ap	0-15	200	160	640	0,25
AB	15-35	200	120	680	0,18
BA	35-65	180	110	710	0,16
Bw1	65-140	160	120	720	0,17
Bw2	140-200	160	110	730	0,15
TR 3 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado					
Ap	0-20	160	210	630	0,3
AB	20-40	150	160	690	0,2
BA	40-75	100	130	770	0,17
Bw1	75-120	110	140	750	0,19
Bw2	120-165	120	140	740	0,19
Bw3	165-205+	120	140	740	0,19
TR 4 - NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado					
Ap	0-20	150	220	630	0,35
AB	20-40	130	180	690	0,26
BA	40-80	90	110	800	0,14
Bt1	80-130	90	120	790	0,15
Bt2	130-170	120	130	750	0,17
Bw1	170-210	120	120	760	0,16
Bw2	210+	110	120	770	0,16
TR 5 - NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, floresta Ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado.					
Ap	0-20	140	230	630	0,36
AB	20-40	80	110	810	0,14
BA	40-70	70	110	820	0,13
Bt1	70-120	80	110	810	0,16
Bt2	120-160	110	150	740	0,20
Bw/Bc	160-170	100	140	760	0,18
Cr	170-200+	110	170	720	0,25
TR 6 –Cambissolo Háplico Tb Eutroférico, A moderado, textura argilosa, floresta Ombrófila mista com Araucária, relevo forte ondulado.					
A	0-25	130	200	670	0,30
AB	25-40	110	170	720	0,24
BA	40-70	60	90	850	0,11
Bi	70-100	60	110	830	0,13
Bi/C	100-200	200	120	680	0,18

Fonte: Habeck, 2018.

Atributos químicos dos solos da T4 - Esquina Memória, Toledo – PR.

Hor.	pH	Ca ⁺²	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC	SB	V	Al	P	C
cm	H2O						cmolcdm ⁻³		%		mg dm ⁻³	g.kg ⁻¹

TR 1 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mistas com Araucária, relevo plano.

Ap	6,20	8,02	3,66	0,68	0,00	3,97	16,3	12,36	75,68	0,00	22,9	253,6
AB	5,30	4,05	1,85	0,14	0,00	6,20	12,2	6,04	49,34	0,00	1,8	179,6
BA	5,00	5,32	1,06	0,05	1,15	6,20	9,63	3,43	35,61	1,15	1,2	122,7
Bw1	5,30	2,15	0,90	0,03	0,00	4,96	8,04	3,08	38,30	0,00	1,2	88
Bw2	5,10	0,65	0,32	0,03	0,00	3,97	4,97	1,00	20,12	0,00	1,4	66,2
Bw3	5,10	0,45	0,12	0,03	0,00	3,97	4,57	0,60	13,12	0,00	1,4	44

TR 2 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta ombrófila mista com Araucária, relevo suave ondulado

Ap	5,30	6,35	2,59	0,14	0,00	5,34	14,4	5,34	62,96	0,00	10,3	283,2
AB	4,80	3,20	1,27	0,07	0,15	5,76	10,3	5,76	44,07	3,19	2,6	153,5
BA	5,10	2,40	0,78	0,03	0,00	5,34	8,55	5,34	37,54	0,00	2,3	94,2
Bw1	5,30	2,27	0,45	0,03	0,00	3,97	6,72	3,97	40,92	0,00	2,2	66,2
Bw2	5,60	2,02	0,16	0,03	0,00	3,17	5,38	3,17	41,07	0,00	2,2	54,5

TR 3 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado

				0,30	0,00	3,97	16,5	12,51	75,91	0,00	12,3	237,6
AB	5,70	5,12	2,67	0,07	0,00	4,60	12,5	7,86	63,08	0,00	2,7	120,7
BA	4,90	2,57	1,93	0,05	0,16	6,20	10,8	4,55	42,32	3,39	3,2	77,9
Bw1	4,80	1,42	0,86	0,03	0,08	5,76	8,07	2,31	28,62	3,34	0,9	68,1
Bw2	4,80	1,05	0,49	0,05	0,05	4,96	6,55	1,59	24,27	3,04	0,8	54,5
Bw3	4,80	0,62	0,41	0,03	0,03	4,60	5,66	1,06	18,72	2,75	0,8	38,5

TR 4 - NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa, floresta ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado

Ap	5,50	7,57	3,24	0,27	0,00	5,34	16,4	11,08	67,47	0,00	10,8	229,4
AB	5,20	4,67	2,01	0,07	0,00	4,60	11,4	6,75	59,47	0,00	1,8	107,9
BA	4,70	3,12	1,60	0,03	0,39	6,68	11,4	4,75	41,55	7,58	1,8	81,4
Bt1	4,70	2,27	1,56	0,03	0,26	5,34	9,2	3,86	41,95	6,31	2,0	67,4
Bt2	4,60	1,50	0,37	0,03	0,19	4,96	6,86	1,90	27,69	9,09	1,3	46,7
Bw1	4,90	1,72	0,12	0,03	0,02	4,60	6,47	1,87	28,90	1,05	1,6	33,1
Bw2	5,00	2,10	0,24	0,03	0,00	3,97	6,34	2,37	37,38	0,00	1,7	22,5

TR 5 - NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, A moderado, textura muito argilosa floresta Ombrófila mista com Araucária, relevo ondulado.

Ap	6,20	9,37	4,60	0,27	0,00	3,17	17,4	14,24	81,79	0,00	12,5	277,0
AB	5,40	4,82	2,71	0,03	0,00	4,27	11,8	7,56	63,90	0,00	2,7	77,9
BA	4,90	4,20	1,85	0,03	0,14	5,34	11,4	6,08	53,23	2,25	3,2	7,05
Bt1	4,60	2,70	1,39	0,03	0,41	5,34	9,46	4,12	43,55	9,05	3,4	61,1
Bt2	4,40	2,37	1,31	0,03	1,13	6,20	9,91	3,71	37,43	23,34	4,0	46,7
Bw/Bc	4,50	2,32	1,76	0,03	0,70	5,34	9,45	4,11	43,49	14,55	4,3	49,8
Cr	4,40	2,15	2,05	0,03	1,09	5,76	9,99	4,23	42,34	20,48	4,4	26,8

TR 6 –Cambissolo Háplico Eutroférico, A moderado, textura argilosa, floresta Ombrófila mista com Araucária, relevo forte ondulado.

A	5,00	5,52	2,17	0,14	0,50	5,76	13,6	7,83	57,61	0,50	2,3	151,1
AB	4,80	4,30	1,72	0,07	2,40	6,20	12,3	6,09	49,55	2,40	2,6	105,5
BA	4,50	3,12	1,60	0,05	6,65	7,20	12,0	4,77	39,84	6,65	3,4	73,2
Bi	4,30	1,57	0,65	0,03	28,57	6,68	8,93	2,25	25,19	28,57	4,5	54,1
Bi/C	4,40	1,97	0,94	0,03	16,23	4,96	7,9	2,94	37,21	16,23	3,3	22,2

Fonte: Habeck, 2018