

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

MARCELO BATISTA

**ESTUDO MORFOPEDOLÓGICO DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA DE
SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERRA ROXA-PR**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2018

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

MARCELO BATISTA

**ESTUDO MORFOPEDOLÓGICO DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA DE
SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERRA ROXA-PR**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon como condição obrigatória para obtenção do título de Mestre em Geografia, na linha de Pesquisa: Dinâmica e Gestão Ambiental em Zonas Subtropicais. Área de Concentração: Espaço de Fronteira – Território e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha

Co-orientador: Prof. Dr. Anderson Sandro da Rocha

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B333e Batista, Marcelo
Estudo morfopedológico de uma topossequência de solos no município de Terra Roxa-PR. / Marcelo Batista.— Marechal Cândido Rondon, 2018.
91 f.

Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Sandro da Rocha

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Marechal Cândido Rondon, 2018.
Programa de Pós-Graduação em Geografia

1. Geomorfologia. 2. Erosão. 3. Paisagem. I. Cunha, José Edézio da. II.
Rocha, Anderson Sandro da. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
IV. Título.

CDD 20.ed. 551.4
CIP – NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9ª/965



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 MARCELO BATISTA, 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) 21 dia(s) do mês de dezembro de 2017 às 14h00min, no(a) Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon, realizou-se a sessão pública da Defesa de Dissertação do(a) candidato(a) Marcelo Batista, 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): Jose Edezio da Cunha, Karin Linete Hornes, Maria Teresa de Nobrega. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Jose Edezio da Cunha, 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: "Estudo Morfopedológico de uma Topossequência de Solos no Município de Terra Roxa - PR". 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): Karin Linete Hornes, Maria Teresa de Nobrega. 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) - Jose Edezio da Cunha

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

Karin Linete Hornes

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



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.

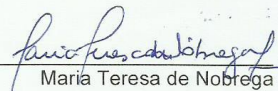


PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

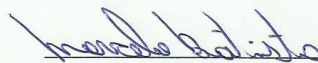
Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARCELO BATISTA, 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.



Maria Teresa de Nobrega

Universidade Estadual de Maringá (UEM)



Marcelo Batista

Candidato(a)



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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade.

A minha família pelo apoio constante, em especial aos meus pais Aparecido e Geni, a minha irmã Elizangela por sempre me incentivar com os estudos.

A minha querida esposa Sandra por sempre estar ao meu lado nas alegrias e nas dificuldades enfrentadas no mestrado.

Ao meu grande amigo Rafael, companheiro de pesquisa, que me acolheu em sua casa, me auxiliou com a pesquisa, parceiro nos trabalhos de campo, minha eterna gratidão.

Aos amigos Altair, Rita, Bruno, Michele e Luciana, pelos diálogos sobre a pesquisa e os momentos de descontração.

Aos professores Dra. Vanda Moreira Martins, Dr. Hélio Silveira, Dra. Marcia Regina Calegari, Dr. Ericson Hideki Hayakawa.

As professoras Dra. Maria Teresa de Nóbrega e Dra. Karin Linete Hornes, pelas importantes contribuições nas bancas de qualificação e defesa final.

Ao professor e amigo Dr. Vanderlei Leopold Magalhães, pelo seu apoio e ajuda para que conseguisse ingressar no mestrado.

Ao Co-orientador e amigo Anderson Sandro da Rocha, pela total dedicação e aprendizado no decorrer do mestrado.

Ao Orientador e amigo Dr. José Edézio da Cunha, o meu especial agradecimento e admiração, pelo apoio oferecido nos momentos em que mais precisei no decorrer desta trajetória.

BATISTA, M. **Estudo morfopedológico de uma topossequência de solos no município de Terra Roxa-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Marechal Cândido Rondon-PR, 2018. 91p. Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha. Co-orientador: Prof. Dr. Anderson Sandro da Rocha.

RESUMO

O conhecimento do meio físico, em especial, o da relação dos solos com as formas do relevo, tem contribuído de maneira eficaz para os estudos que procuram entender a estrutura e o funcionamento das paisagens, particularmente porque auxiliam na melhoria de propostas que visam uma ocupação e manejos corretos do ambiente, numa perspectiva sistêmica. O estudo aplicando a metodologia da análise bidimensional da cobertura pedológica tem demonstrado boa aplicabilidade porque permite entender a distribuição espacial dos solos ao longo das vertentes auxiliando, por exemplo, na compreensão da gênese e evolução de processos erosivos, sejam eles de origem natural ou antrópica. É com o intuito de corroborar com esta temática teórica e metodológica que este estudo de caso, realizado em uma vertente característica do município de Terra Roxa, região Oeste do Estado do Paraná, O objetivo principal desta pesquisa é conhecer a distribuição vertical e lateral dos solos na vertente, visando entender as modificações impostas pelo uso e manejo e o seu papel na origem e potencialidade dos processos erosivos na unidade de paisagem de Guaíra.

Palavras-chave: Paisagem. Relação solo-relevo. Erosão.

BATISTA, M. Morphopedological study of a toposequence of soils in the municipality of Terra Roxa-PR. Dissertation (Geography's Master) – State University of Western Paraná. Geography's Post-Graduation Program. Marechal Cândido Rondon-PR, 2018. 91p. Advisor: Prof. Dr. José Edézio da Cunha. Co-advisor: Prof. Dr. Anderson Sandro da Rocha.

ABSTRACT

A environment's knowledge, especially that of the relation between the soils and the relief's forms, has contributed effectively for studies that seek to understand the structure and functioning of landscapes, particularly that helps to improve proposals for environment's occupation and management, from a systemic perspective. Researches applying the morphopedologies' methodology has shown good applicability because it allows to understand the spatial distribution of the soils along the slopes, helping, for example, the understanding genesis and evolution of erosive processes, by natural or anthropic origin. The main objective of this research is to know the vertical and lateral distribution of the soils all slope long. The objective of this research is to corroborate with this theoretical and methodological theme, carried out in a characteristic slope in Terra Roxa, Paraná countryside, in order to understand the modifications imposed by the use and management and its role in the origin and potential erosive processes in the landscape of Guaíra's Land.

Palavras-chave: Landscape. Relation soil-relief. Erosion.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Níveis da organização pedológica.....	20
FIGURA 2 - Movimentos das partículas do solo.....	33
FIGURA 3 - Mapa de localização do município de Terra Roxa no Paraná.....	36
FIGURA 4 - Divisão das unidades de paisagem na bacia do rio Paraná 3.....	37
FIGURA 5 - Carta de Solos da Unidade de Guaíra.....	38
FIGURA 6 - Carta Geológica e Hidrográfica da Unidade de Guaíra.....	39
FIGURA 7 - Mapa de declividade da unidade de Guaíra.....	40
FIGURA 8 - Mapa hipsométrico.....	41
FIGURA 9 - Mapa de curvatura da vertente.....	42
FIGURA 10 - Uso e cobertura da terra do município de Terra Roxa.....	44
FIGURA 11. Mapa solo do município de Terra Roxa.....	45
FIGURA 12 - Gráfico da população total urbana e rural do município de Terra Roxa – 1970-2010.....	50
FIGURA 13 - Fluxograma metodológico com etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	51
Figura 14 - Realização do levantamento topográfico.....	53
FIGURA 15. Realização do levantamento pedológico.....	53
FIGURA 16 - Mapa de solos do município de Terra Roxa com o recorte da área estudo.....	59
FIGURA 17 - Localização da topossequência na área de estudo.....	60
FIGURA 18 - Topossequência Terra Roxa.....	62
FIGURA 19 - Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa.....	67
FIGURA 20 - Variação vertical e lateral do pH dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa.....	71
FIGURA 21 - Relação CTC com a MO dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa.....	72
FIGURA 22 - Relação Resistência a Penetração (RP) com a Densidade do Solo (Ds) dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa.....	77
FIGURA 23 - Relação Porosidade Total (PT) com a Densidade do Solo (Ds) dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CODAL	Companhia e Colonização e Desenvolvimento Rural
EMATER	Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
PMISA	Programa de Manejo Integrado de Solos e Água
PROICS	Programa Integrado de Conservação dos solos
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
pH	Potencial Hidrogeniônico
SB	Saturação por Bases

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Descrição macromorfológica dos perfis	64
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – – Atributos físicos dos perfis de solos da topossequência de Terra Roxa.....	70
Tabela 2 – Atributos químicos dos perfis de solos da topossequência de Terra Roxa.....	73

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
1.1 COMPREENDENDO A RELAÇÃO SOLO-RELEVO NA PERSPECTIVA DA PAISAGEM.....	15
1.1.1 A relação solo-relevo com base na análise estrutural da cobertura pedológica.....	17
1.1.2 As vertentes características e as suas relações com os sistemas pedológicos.....	21
1.1.3 A cobertura pedológica e suas propriedades físicas.....	24
1.2 A COBERTURA PEDOLÓGICA E AS ATIVIDADES ANTRÓPICAS: EROSÃO, DEGRADAÇÃO.....	29
1.2.1 A erosão e a degradação dos solos.....	30
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ 3 E A UNIDADE DE PAISAGEM DE GUAIRÁ	37
2.2 O MUNICÍPIO DE TERRA ROXA.....	42
2.3 BREVE HISTÓRICO DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ	45
2.4 A OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO MUNICÍPIO DE TERRA ROXA.....	49
3 MÉTODOS E TÉCNICAS	51
3.1 TRABALHO DE GABINETE	52
3.2 TRABALHO DE CAMPO	52
3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO.....	54

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	59
4.1 ASPECTOS MORFOPEDOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICO DA TOPOSSEQUÊNCIA.....	60
4.2 AS RELAÇÕES ENTRE AS ANÁLISES FÍSICAS E A VULNERABILIDADE AO PROCESSOS EROSIVOS.....	75
4.2.1 Relação entre a resistência a penetração e a densidade do solo.....	76
4.2.2 Relação entre a densidade do solo e a porosidade total	78
CONSIDERAÇÃO FINAIS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento deste estudo tem por finalidade conhecer a distribuição espacial dos solos na paisagem, proporcionando importantes contribuições para a identificação das potencialidades aos processos erosivos, particularmente aquelas decorrentes dos usos e manejos dos solos, e com isso trazendo informações adequadas para a sua aplicação.

O presente trabalho teve como suporte a metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica, a qual possibilita que haja uma compreensão e identificação dos sistemas pedológicos ao longo da vertente, trazendo informações do seu funcionamento juntamente com as relações existentes entre os demais aspectos físicos, que consequentemente tem como respostas as intervenções humanas.

Diante do pressuposto apresentado a pesquisa tem como objetivo conhecer a distribuição vertical e lateral dos solos na vertente, visando entender as modificações impostas pelo uso e manejo o seu papel na origem e potencialidade dos processos erosivos na unidade de paisagem de Guairá.

A unidade de paisagem de Guaíra está inserida na bacia hidrográfica do Paraná 3, onde encontra-se mais quatro grandes unidades: Unidade de São Francisco; Unidade de Foz do Iguaçu; Unidade de Marechal Cândido Rondon e a Unidade de Cascavel, dividida em três subunidades: (A) - subunidade de Toledo, (B) - subunidade de Santa Teresa do Oeste e (C) - subunidade de Nova Santa Rosa. As unidades foram definidas por Bade e Rocha (2013), a partir de um conjunto de informações referentes à estrutura geoecológica, com ênfase nos aspectos geomorfológicos presentes na bacia.

A unidade de paisagem de Guaíra apresenta características físicas bem distintas das demais, ela se localizada em uma área de contato de solos argilosos oriundos da Formação Serra Geral, e solos arenosos da Formação Caiuá. E para a realização da pesquisa foi identificado e selecionado uma vertente característica e representativa em termos morfológicos e pedológicos. Nessa vertente foram desenvolvidas análises detalhadas na topossequência, onde foi feito o uso da metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica, e também se utilizou estudos com mais detalhes, as análises físicas e químicas do sistema de solos.

Assim, seguindo a linha de raciocínio o presente trabalho pautou-se em compreender os estudos mais detalhados da vertente característica e dos sistemas pedológicos dominante. Este estudo subsidia o conhecimento da estrutura e da dinâmica da área de estudo, fazendo com que a uma identificação dos locais onde se encontram possíveis origens e potencialidades aos processos erosivos, principalmente daqueles referentes a avaliação da capacidade de uso de solo (ROCHA, 2016).

Diante da proposta apresentada o trabalho esta estruturado em quatro capítulos, refletindo o delineamento da pesquisa e das discussões referente a dissertação. O primeiro capítulo traz discussões teórico-metodológica, com informações pertinentes a compreensão da relação solo-relevo e a análise da paisagem dando ênfase na cobertura pedológica e suas propriedades físicas para compreender as atividades antrópicas que acarretam nos processos erosivos e na degradação de suas propriedades físicas; também são abordados estudos referentes a vertentes características com debates em seus processos que alteram suas propriedades. No segundo capítulo apresenta-se a localização e a caracterização geral da área de estudo, trazendo informações sobre os processos históricos e a estrutura socioeconômica e geoecológica da área. O terceiro capítulo destacam-se os procedimentos metodológicos e técnicas utilizadas na pesquisa, relacionando-se as atividades de gabinete, campo e laboratório.

O capítulo quatro consiste na apresentação e discussão dos resultados que expõem as particularidades morfopedológicas da topossequência. São apresentados dados sobre a vertente característica, bem como discussões sobre o comportamento físicos e químicos do sistema pedológico dominante. Finalmente, expõem-se os resultados das correlações das análises físicas e químicas identificando os locais onde a uma potencialidade maior com a erosão, através do uso da terra, contribuindo para as recomendações de uso e conservação dos solos, particularmente associados às condições morfopedológicas da unidade de paisagem.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica são abordados temas pertinentes às interações solo-relevo, com discussão sobre a degradação e conservação dos solos numa perspectiva integrada. Foi privilegiada a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, contemplando os conceitos e as técnicas utilizadas nos estudos que procuram compreender a origem e evolução dos processos erosivos.

4.1. COMPREENDENDO A RELAÇÃO SOLO-RELEVO NA PERSPECTIVA DA PAISAGEM

O solo, enquanto corpo dinâmico e em constante evolução, caracteriza-se como um instrumento de análise, já que sua formação e funcionamento dependem da integração dos vários elementos que constituem a paisagem. As pesquisas de cunho pedológico permitem entender e monitorar os complexos processos dependentes da relação solo-relevo, subsidiando um conjunto de pesquisas em escalas regionais e locais (ROCHA, 2011). Segundo o autor, independente da escala, esses estudos auxiliam no conhecimento da distribuição espacial dos solos nos diversos setores do ambiente.

Nesse sentido, o solo e o relevo, quando analisados isoladamente podem demonstrar uma falsa impressão de que cada um tem o seu papel independente na análise da paisagem, mas de fato, eles e os outros componentes estão interligados, promovendo ações mútuas (MARQUES, 1994). Para o autor, os estudos que privilegiam as interações entre o solo e o relevo, geralmente são desenvolvidos com enfoque na análise sistêmica e integrada da paisagem.

Nesse sentido, Rocha (2011) afirma que em pesquisas que buscam entender a relação solo-relevo na perspectiva da análise da paisagem, é indispensável o uso de técnicas que possibilitem desenvolver estudos integrados com informações sobre as características litológicas, pedológicas, e climáticas com ligações diretas com os dados geomorfológicos.

Vidal Torrado *et al.* (2005) afirma que os fenômenos terrestres vêm tendo uma melhor compreensão com o uso da abordagem multi e interdisciplinar, com diversos estudos utilizando as variáveis que tem o controle sobre os sistemas naturais, mesmo com modificações nos sistemas agrícolas e urbanos. Assim, quanto

mais atributos e fenômenos de transformação da pedosfera forem diagnosticados melhor será o entendimento da origem, evolução, constituição, propriedade, qualidade e distribuição espacial do solo na paisagem.

Portanto, pode-se entender o solo como uma síntese dos elementos que compõem a paisagem, tais como relevo, clima, vegetação, litologia e ações antrópicas, já que, tais fatores são responsáveis pela sua formação e evolução no tempo.

Em um processo de evolução natural da paisagem apresenta-se um solo de ampla variabilidade das suas características físicas, e isso é resultante do processo de interação natural que tem como parâmetro os fatores de formação, isso sem a presença da ação antrópica onde vem para acelerar tal processo causando danos em suas características física (MONTEZANO *et al.*, 2006).

Os processos de transformação dos solos na paisagem têm como principal influência o relevo. De acordo com Guerra e Botelho (1995) o relevo atua como um fator de formação que controla a redistribuição de massa e energia, e com isso as formas do relevo afetam também a distribuição de água e de sedimentos na paisagem, implicando também na forma de uso do solo.

Tricart (1977) enfatiza que as relações entre a geomorfologia e a pedologia sempre estiveram juntas no processo de alteração das rochas, através da morfogênese e da pedogênese.

Pesquisas voltadas a compreensão dos balanços morfogênese – pedogênese na relação do solo com o relevo deixam claro que o solo é um sistema organizado, estruturado e sua formação é constituída por formas minerais e orgânicas, que se relacionam entre si na vertical, e que isso desenvolve no solo o seu padrão morfológico, descritos em diferentes escalas de estudos, da microscópica a da paisagem (RUELLAN, 1984).

No Brasil, vários pesquisadores se preocupam em relacionar as características presentes no relevo com as variações que ocorrem no solo. Já as relações solo e paisagem vêm como um estudo mais descritivo, servindo para identificar as influências do relevo no processo de formação do solo e trazendo mais conhecimento sobre o comportamento do mesmo na paisagem (VIDAL TORRADO, 2005).

De acordo com Nóbrega *et al.* (1992) faz-se necessário o desenvolvimento de estudos integrados da paisagem, com especial atenção para as características

intrínsecas que ligam o solo e o relevo. Conforme destacam os autores, é nesse contexto que se aplica a análise bidimensional da cobertura pedológica.

Corroborando com essa temática, Rocha (2011), ressalta que, os trabalhos mais recentes referentes a relação solo-relevo, sobretudo no contexto da ciência do solo e da ciência geográfica, têm demonstrado que as maiores contribuições desta temática ocorrem a partir da análise estrutural da cobertura pedológica e da análise integrada da paisagem.

1.1.1 A relação solo-relevo com base na análise estrutural da cobertura pedológica

O desenvolvimento teórico e metodológico da pedologia tem seu desenvolvimento concomitante à história da evolução das ciências da Terra. Queiroz Neto (1995) afirma que para melhor compreensão da evolução da ciência do solo é necessário retomar os trabalhos desenvolvidos na Rússia por Dokouchaev no século XIX, pois esses envolvem conhecimentos da química, física, biologia e mineralogia para entender como funciona o solo. Segundo o mesmo a herança de Dokouchaev possibilita caracterizar a história da evolução da ciência do solo, denominada de pedologia, em três grandes fases. A primeira é a mais longa pelo fato de compreender os inventários e os mapeamentos dos solos e foi caracterizada entre 1895 e 1940. A segunda tem como característica os estudos minuciosos e detalhados dos materiais em laboratório, registrada entre 1940 a 1970. Nela foram desenvolvidos estudos visando entender a lateralidade, mais ainda sem muita sistematização. A terceira fase é reconhecida pelos trabalhos de geoquímica e de mineralogia, que tiveram como precursores Ruellan (1970), Bocquier (1973), Boulet (1974), quando se materializou a metodologia da análise bi e tridimensional da cobertura pedológica.

Assim, se desenvolveu a concepção de que o solo é um corpo bem organizado, e tem seu estudo feito por descrição e análise de seções horizontais, denominadas de horizontes, que estão sobrepostas umas sobre as outras.

Segundo Queiroz Neto (1988), em meados do século XX, ocorreu uma transição que permitiu a passagem progressiva da visão vertical do solo para uma percepção de organizações laterais de solos, abrangendo inicialmente o conceito de catena.

Neste processo de transição Queiroz Neto (1988) afirma que uma das etapas foi à superação parcial do perfil de solo. Em uma catena de solo os perfis verticais sucedem-se ao longo de uma vertente, exibindo ligações genéticas, como se fossem elos de uma corrente.

Outra etapa constituiu a introdução da noção de pedon, no início da década de 1960, onde o solo passou a ser visto como um corpo tridimensional. Por este conceito, cada unidade pedológica passou a ter sua representação por horizontes verticalmente dispostos, ocupando um certo volume no espaço. Mesmo assim, o espaço pedológico ainda era definido como constituído pela sobreposição de perfis de solo verticais.

Os trabalhos realizados na década de 1970, segundo Queiroz Neto (1988) foram importantes para a estruturação da metodologia da análise estrutural da cobertura:

- Os estudos de Bocquier (1971), desenvolvidos em topossequência no Tchad, no continente africano;
- As pesquisas de Boulet (1974), desenvolvidas no Alto Volta, no continente africano;
- O trabalho de Chauvel (1974) com foco nas transformações de solos ferralíticos, realizado no Senegal.

Desta forma o solo passou, de acordo com autor (op. cit) a ser agora definido como um corpo contínuo que cobre toda a extensão das encostas. Assim Queiroz Neto (1988), a partir da proposta de Milne, ocorreu uma evolução e aperfeiçoamento desses conhecimentos, levando a percepção de cobertura pedológica como um sistema estruturado e complexo, inserido na paisagem. As transformações progressivas das organizações pedológicas são deste modo percebidas não apenas verticalmente, mas também lateralmente nas vertentes. Nessas transformações estão incluídas as transferências de matéria, neoformações mineralógicas, mantendo relações com outros elementos da paisagem, em especial com o relevo. Além disso, esses trabalhos permitiram entender que havia uma necessidade de integrar e compatibilizar as diferentes escalas de estudos dos solos, desde a escala da paisagem, até as escalas microscópicas e ultramicroscópicas (QUEIROZ NETO, 1988).

A análise estrutural tem em seus princípios metodológicos um processo de inovação, que de fato, foi e é muito importante para o estudo do solo, tendo uma

visão sistemática de *continuum*. Mostra elementos fundamentais para o conhecimento e desenvolvimento da organização, gênese e dinâmica das coberturas pedológicas, demonstrando novos métodos de análise e representação do sistema como um todo (BOULET *et al.*, 1982).

Rakssa (2007) destaca que os estudos que seguem a metodologia passaram a ter enfoque nas variações verticais e laterais dos solos com a mesma intensidade, seguindo a compreensão de forma contínua no espaço e nas suas relações históricas.

Diante do exposto Ruellan (1988a) destaca que tais observações e medidas dinâmicas, envolvendo as organizações estruturais, focam todas as escalas, mostrando que tem relações espaciais e temporais. Também mostram que as estruturas, traduzidas por sistemas de porosidade, concentrações e arranjos de certos constituintes, caracterizam os contatos entre os horizontes, atuando fundamentalmente nos processos físico-químicos, mecânico e biológico dos solos.

A cobertura pedológica é constituída por um sistema pedológico, composto por diferentes horizontes que se sobrepõem. Os horizontes são identificados em trabalhos de campo por meio de abertura de perfis de solos em trincheiras dispostas ao longo das topossequências. As observações são realizadas em diversas escalas que vão desde a cobertura pedológica, representativa da paisagem, a dos minerais microscópicos (BOCQUIER, 1981) - (Figura 1) como já foi enfatizada.

O autor ainda afirma que na busca pela compreensão do solo em uma visão bi e tridimensional, o perfil de solo passou a ter um significado de lateralidade, mantendo a visão vertical de observação. Onde com a sucessão de perfis alinhados do topo até a base da vertente, tem-se a possibilidade de identificar além da distribuição de horizontes as suas relações entre eles.

De acordo com Baize (1986), essa nova forma de compreender a distribuição e variação dos solos na paisagem, denominada de cobertura pedológica pelos franceses na década de 1970, permitiu avanços, principalmente, no campo da cartografia e das pesquisas relacionadas à pedogênese. Para o autor, a utilização da expressão cobertura pedológica representa melhor a realidade do que a palavra solo, visto que “cobertura” indica certa extensão geográfica, ou seja, uma continuidade espacial, enquanto que o adjetivo “pedológica” define bem o objeto estudado.

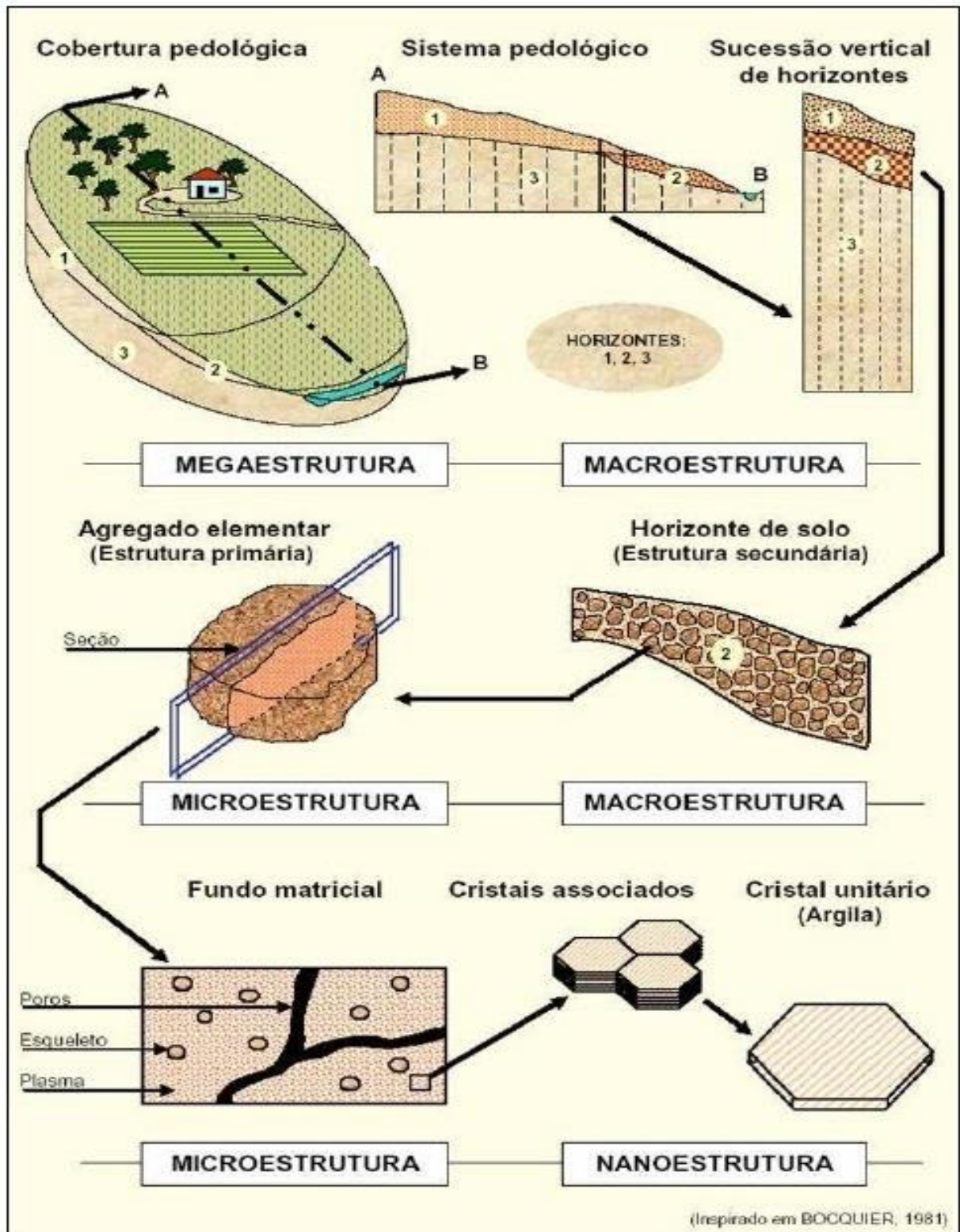


FIGURA 1. Níveis de organização pedológica.

Fonte: Bocquier (1981).

ORG. Castro (2002).

Neste contexto, os diferentes estudos que abordam o solo na perspectiva geográfica, buscam sobretudo o entendimento da dinâmica da relação solo-relevo e seu papel na paisagem, destacando as variações laterais dos horizontes pedológicos e de sua transição ao longo da vertente.

1.1.2 As vertentes características e as suas relações com os sistemas pedológicos

Os estudos em vertentes, enquanto categoria do relevo começam a ter uma maior importância acadêmica-institucional entre as duas guerras mundiais, com os trabalhos desenvolvidos por Tricart (1977), ao afirmar que a vertente se constitui como o elemento dominante no relevo na maioria das regiões, se caracterizando assim como forma de relevo mais importante para o homem. Pelo fato que se dá o desenvolvimento da agricultura e as construções estarem diretamente relacionados com a evolução das vertentes (CASSETI, 1994).

Mais a utilização do termo “vertentes características” surge na década de 1970 a 1980, com os trabalhos desenvolvidos por Young (1972) e Parsons (1988). Nesses trabalhos, os perfis de vertente foram utilizados em estudos para caracterizar diferentes tipos de terrenos utilizando distribuição típica de ângulos de inclinação. Onde as diferenças na sua distribuição de ângulo e de frequência de inclinação, particularmente relacionado com a litologia (resistência do material de origem), ao clima (por meio de precipitação e temperatura) e ao estado evolutivo da encosta, constituíram as bases para o estudo de vertentes características (DIKAU, 2004).

Dikau (2004) também destaca que tais concepções vêm do entendimento de que os perfis de vertente, geralmente, cobrem vários domínios de processos representando a área como um todo. Esses domínios em uma descrição generalizada apresentariam, ambientes de erosão na parte superior de um declive, e de transporte na média encosta e na seção basal um ambiente de deposição.

Diante disso no contexto atual, os estudos onde tem a vertente características são condicionados a uma análise qualitativa, onde utiliza-se do estudo de topossequências, vem para descrever a disposição das diferentes unidades de inclinação no interior de um mesmo perfil de encosta. De acordo com Dikau (2004) essas características de sequencias oferece informações sobre o sistema de vertente. Diante disso a topossequência podem ser utilizadas para classificar

encostas típicas, assim permitindo representar tanto uma vertente simples de sequência única, ou por exemplo, um elemento de ligação retilínea da alta a baixa vertente, ou até mesmo duas ou mais unidades multi-sequenciais, como por exemplo, as vertentes convexa-côncavas.

Os estudos de vertentes características têm como a classificação do perfil, levando em consideração as suas concavidades, convexidades e inclinação retilínea, identificadas no transecto. Dessa forma um estudo que foca a classificação morfológica possibilita a espacialização da curvatura e uma associação do grau de inclinação com os diferentes processos geomorfológicos (ROCHA, 2016).

O mapeamento de vertentes características, também vem sendo realizadas por meio de modelos digitais de elevação, ou seja, modelos matemáticos que vem para auxiliar a identificação dos graus de angulação. Nesses modelos, as vertentes côncavas têm valores de curvatura negativos, as convexas valores positivos e as retilíneas com valor de curvatura nulo ou muito próximas a zero, considerando que, na natureza, dificilmente encontra-se vertente com curvatura nula (VALERIANO, 2003; BERVIGLIERI, et al., 2012). Diante a possibilidade de caracterização da vertente típicas, por meio de análise qualitativa, em uma associação de formas e processos, e a análise quantitativas tendo em vista a utilização de modelos numéricos de terreno, muitos trabalhos vem possibilitando a identificação de domínios de vertentes de forma espacializada.

Assim fica claro que a identificação e a caracterização da estrutura e funcionamento da vertente característica vindo pela extensão da unidade de paisagem onde elas estão localizadas, se complementam com o reconhecimento do sistema pedológico a ele associada (NÓBREGA; CUNHA, 2011).

Segundo Ruellan e Dosso (1993), a cobertura pedológica é estruturada em diferentes níveis, partindo da organização das partículas até da unidade de paisagem. E tem como definição os arranjos dos horizontes entre si, vertical e lateralmente, levando em consideração a unidade de relevo. Ainda especificam que esse conjunto de horizontes que constituem o sistema pedológico sendo caracterizado por um mesmo tipo de dinâmica evolutiva, onde tais evoluções vêm para provocar modificações de estruturas, alterando o seu funcionamento, levando a sua transformação e ocorrendo um autodesenvolvimento do sistema. E como o sistema pedológico se desenvolve na escala de uma unidade de modelagem, os

autores complementam que ele corresponde também a uma unidade de funcionamento hidrodinâmico.

Como afirmam Vidal Torrado *et al.* (2005) os trabalhos as quais fazem a identificação de sistemas pedológicos e vertentes características têm recorrido a metodologia de análise estrutural da cobertura pedológica como uma das principais formas de abordagem, pelo fato de ocorrer possibilidades de sistematização e representação dos seus atributos morfopedológicos. Sob esta perspectiva, a disseminação dos trabalhos os quais fazem uso, a metodologia permite que se haja uma nova concepção de estudo e abordagem pedológica, possibilitando uma compreensão detalhadas das correlações existentes entre as formas de relevo (declividade, concavidade, convexidade e comprimento das encostas) e a organização da cobertura pedológica ao longo das vertentes.

A investigação a qual tem como princípio as relações entre as classes de solo e a morfologia das vertentes também é designado como morfopedologia e as unidades espaciais caracterizadas por determinados arranjos morfopedológicos são denominados de unidades morfopedológicas (ROCHA, 2016).

Os estudos as quais abrangem a morfopedologia de acordo com Castro e Salomão (2000), permite cartografar unidades relativamente homogêneas, sendo produtos da inter-relação entre o substrato geológico e a relação solo relevo, que vem a constituir unidades temporo-espacial e intrínseca do meio físico, reconhecidas em medias e grandes escalas. As unidades morfopedológicas, onde pedem ser definidas com ênfase no comportamento hídrico de vertente, faz com que se possa determinar sistemas pedológicos dominante, caracterizados pelo *continuum* dos seus horizontes, dispostos vertical e lateralmente do topo até a base do interflúvio (RIBEIRO; SALOMÃO, 2003).

As pesquisas com ênfase no estudo morfopedológico permitem a identificação de topossequências típicas juntamente com o entendimento da distribuição espacial da cobertura pedológica em uma determinada região, tendo ainda a possibilidade de exploração informações disponíveis em mapas de solos em qualquer escala, para locais e objetivos mais específicos, implicando a redução de tempo e custo para obtenção de dados ambientais básicos (MOTTA *et al.*, 2002).

Diante disso Vidal Torrado *et al.* (2005) enfatiza que na atualidade os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) têm a capacidade de elaborar com rapidez mapas temáticos, ordenando dados e fornecendo uma visão geral das relações

entre o solo e o relevo. Essas aproximações são de suma importância para que haja uma tendência que possa ser verificada nos estudos mais detalhados de vertentes, além de quantificar facilmente as relações que venham a existir entre superfícies geomorfológicas, solos e substrato geológico de uma mesma unidade de paisagem.

1.1.3 A cobertura pedológica e suas propriedades físicas

As características morfológicas dos solos, embora estejam associadas a um conjunto de fatores naturais, também sofrem constantes alterações pela ação antrópica. Dessa forma as condições de manejo impostas no solo podem trazer alterações nas suas propriedades físicas. Sob essa perspectiva, considera-se importante a influência do manejo em diferentes características do solo. Assim, em determinadas condições onde o cultivo possui um alto fluxo de energia, onde se tem a entrada de uma grande quantidade de compostos orgânicos, o solo tem a capacidade de se auto organizar em um processo de macroagregados com capacidade de reter energia e matéria orgânica. Com esses aspectos o solo aumenta a sua capacidade de infiltração, retenção de água, do estoque de nutriente, da ciclagem dos elementos químicos, além da resistência a erosão hídrica, dentre outros (SILVA; MIELNICZUK, 1998; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Os mecanismos de formação da estrutura dos solos ainda não são bem conhecidos, sabe-se que se inicia com a formação dos solos, e que classicamente ocorrem dois fenômenos para a sua formação. A primeira com a aproximação das partículas e o segundo com a cimentação ou estabilização dos agregados (REINERT; REICHERT, 2006).

Como já definido o solo é um sistema aberto, sistematizado, de complexidade variada e dinâmica, onde os processos físicos, químicos e biológicos interagem de forma contínua e simultânea para a formação dos agregados do solo. Os processos físicos são definidos por ciclos de umedecimento e secagem com aproximação e afastamento entre as partículas ou a fragmentação entre as mesmas. A formação de agregados menores ocorre a partir de agregados maiores. Os processos químicos se manifestam na floculação e dispersão de argila; pela precipitação do óxido de ferro e de alumínio; pela interação e associação entre a matéria orgânica e os cátions com cargas negativas da fase sólida do solo. O biológico é definido pela

ação dos microrganismos e das plantas que também atuam na formação dos agregados (SILVA, 1993).

Bastos (2005) afirma que para a formação dos agregados maiores que 2 mm de diâmetro são necessários agentes cimentantes que são derivados dos compostos orgânicos. Os agentes são as hifas de fungos e raízes que permanecem no solo até uma semana, associado as Fe e Al de baixa cristalinidade. Diante dos fatos Dufranc *et al.* (2004) destaca a importância de se manter o solo em contato com a matéria orgânica em um sistema de manejo, pois sua ação age como condicionador do solo, mediante uma estrutura complexa com longas cadeias de carbono que agregam as partículas de minerais. Alguns autores destacam a importância da matéria orgânica para a estruturação do solo BASTOS, 2005; PORTUGAL *et al.*, 2010, dentre outros.

Quando se fala em processos de estabilização dos agregados do solo cabe destacar a capacidade do solo em conservar suas estruturas sob a ação da água e quando ele for submetido a uma grande pressão pelo tráfego de máquinas agrícolas. Richart *et al.* (2005) relata que de fato o tráfego de máquinas pesadas corrobora para que se acentue os processos de compactação do solo.

Essas interferências, recorrentes do uso e manejo do solo, facilitam um fracionamento mecânico dos macroagregados favorecendo as reações de oxidação da matéria orgânica. Isso ocorre por meio de uma pressão parcial do oxigênio e da exposição de novas superfícies para um possível ataque microbiano e com isso reduz a estabilidade estrutural do solo (DEXTER, 1988).

O fato é que quando ocorre a desestabilização dos macroagregados do solo, recorrente com a eluviação das argilas dispersas e com um intenso tráfego de máquinas agrícolas, ocorre a aproximação das partículas causando a diminuição da porosidade e aumentando a sua densidade do solo. Fato que gera a sua compactação com diminuição da infiltração da água, e que consequentemente favorece o aumento das enxurradas e a ocorrência dos processos erosivos (DEXTER, 1988).

Em um estudo de estabilidade de agrego em sistema de cultivo do solo no Mato Grosso do Sul, Salton *et al.* (2008) verificaram que os sistemas de cultivos que incluíam pastagem se mostraram mais eficientes em manter os macroagregados do solo, seja em rotação de culturas ou em pastagem permanente, comparados aos sistemas de plantio direto e convencional, sendo atribuídos esses valores ao sistema radicular das gramíneas que são mais eficazes em aumentar a matéria orgânica do

solo. Na relação entre o soja e a pastagem 23,9% dos agregados apresentaram diâmetros médio ponderados superiores a 4,76 mm na camada de 0 a 20 cm do solo, enquanto na pastagem permanente foram 35,5% dos agregados. E com relação aos solos entre o plantio direto e o convencional, observou-se maior diâmetro médio ponderados dos agregados no plantio direto, com 17,3% dos agregados superiores a 4,76 mm, enquanto que no cultivo convencional apenas 5% dos agregados.

Na análise do estudo verificou maior diâmetro médio ponderado dos agregados sob o plantio direto comparado ao cultivo convencional, atribuídos principalmente a maior quantidade de matéria orgânica e a não mobilização do solo. Mais mesmo o sistema de plantio convencional ou direto, em comparação a pastagem, demonstraram que a formação e manutenção dos macroagregados dos solos são mais eficientes na pastagem.

Assim os dados obtidos no estudo Salton *et al.* (2008) não relacionam o uso excessivo do solo, como de pisoteio do gado, o uso de máquinas cada vez mais pesadas, desde o plantio até a colheita da cultura, tem provocado com maior frequência a compactação das camadas superficiais do solo. Com implicações na distribuição das frações líquidas, sólidas e gasosas do solo e consequentemente na maior resistência a penetração devido a diminuição do tamanho dos poros que reduz a aeração, a infiltração e a condutividade hidráulica saturada (MARCATTO, 2016).

Um solo é caracterizado como compactado quando as suas partículas se encontram agregadas pela ação de forças antrópicas ou naturais, ocorrendo uma redução no volume ocupado antes por ele. Essas alterações afetam as propriedades físicas do solo incluindo: aumento da densidade do solo, decréscimo do volume de macroporos, movimentação mais lenta da água em seu interior e menor aeração. E, em casos extremos podem reduzir a produtividade biológica do solo, com uma resistência mecânica ao crescimento das raízes, podendo chegar a ser inadequado ao crescimento das plantas (FILHO, 2014).

De acordo com Mantovani (1987) o solo se encontra compactado quando a proporção total do volume dos seus poros está em um estágio de inadequação máxima, impedindo o desenvolvimento de uma cultura ou para o desenvolvimento de um manejo eficiente do campo.

O possível fato de que tais processos de compactação se agravem em áreas de culturas anuais é devido a intensidade com que ocorre a mobilização das

máquinas durante o preparo do solo para o plantio. Já em áreas onde a pastagem tem maior predominância temos como fator o pisoteio excessivo do gado que vem sendo a causa dos processos de compactação na camada superficial, e em área onde se constitui florestas o que mais tem causado impacto é o corte de árvores em períodos inadequados onde se concentra maior umidade.

Indiferentemente do uso de solo a compactação altera as suas propriedades físicas tais como as densidades do solo, a porosidade total e o processo de infiltração (DIAS JUNIOR; ESTANISLAU, 1999).

Quanto aos indicadores de padrões de compactação do solo é necessário que o pesquisador tenha conhecimento tanto do solo como da fisiologia das plantas, para de fato indicar se está ou não compactado, de acordo com Mazurana (2011) ele aponta que os indicadores mais utilizados para avaliar o estado de compactação estão as análises: densidade do solo (D_s) e a resistência mecânica do solo a penetração (RP).

A densidade do solo pode variar consideravelmente em virtude da textura, do teor de matéria orgânica encontrada no solo ou da frequência do cultivo. Geralmente, em profundidade a densidade do solo tende a aumentar devido as pressões exercidas pelas camadas superficiais sobre as subjacentes, reduzindo assim a porosidade e dificultando a infiltração de água no solo. Também podem dificultar a penetração das raízes o que altera a dinâmica das plantas, seja por falta ou por excesso de água ou por deficiência na nutrição (ALVES, 2011 e CAMARGO; ALLEONI, 2006).

Brady (1989) também destaca que quando a densidade do solo aumenta, ocorre um aprofundamento do perfil, como consequência também a uma menor quantidade de matéria orgânica, e sua presença é de suma importância para o funcionamento do mesmo. Nota-se que não existe consenso sobre o que vem a ser o nível crítico da densidade do solo. Não se determinou um valor que demonstre quando o solo esta compactado. Isso ocorre porque a densidade do solo varia de solo para solo devido as suas características, variando devido as formas e os seus arranjo das partículas de areia e argila.

De acordo com Arshad et al. (1996) para solos argilosos (mais de 35% argila) a densidade do solo considerada como crítica situa-se entre 1,30 a 1,40 kg.dm^{-3} ; para solos de textura média entre 1,40 a 1,50 kg.dm^{-3} e para solos de textura arenosa de 1,70 a 1,80 kg.dm^{-3} . E solos siltosos apresentam uma densidade

intermediária. Assim, diante de tais valores as áreas de cultivos podem prejudicar o crescimento das plantas (REICHERT *et al.*, 2007).

A porosidade do solo é definida pelos espaços vazios, conectados ou não. Esses espaços são ocupados por ar ou água, podendo ser definidos como a proporção entre o volume de poros e o volume total do solo. Tem um papel inversamente proporcional ao da D_s , com grande importância tanto para o crescimento das raízes e como para a movimentação de ar, água e solutos. A textura e a estrutura dos solos explicam, em grande parte, o tipo, tamanho, quantidade e continuidade dos poros (REINERT; REICHERT, 2006 e REICHERT *et al.*, 2007).

De acordo com alguns estudos os espaços do solo têm um papel importante na dinâmica da água, pois essa dinâmica ajuda a entender a distribuição e os tamanhos dos seus poros. Isso ocorre porque tem influência direta na movimentação e armazenamento de água e gases, no fluxo e retenção de calor e no desenvolvimento no sistema radicular. Diante dos fatos, pode se dizer que a determinação da distribuição dos poros na matriz do solo é necessária, visto que a distribuição dos diferentes tamanhos de poros influencia negativa ou positivamente quando se fala do fluxo de água no solo (RIBEIRO *et al.*, 2007; COMIN *et al.*, 2014; PEARSON, 1966 e CASTRO, 2001).

A porosidade do solo se divide em duas classes: micro e macroporosidade, a microporosidade como uma classe de tamanho dos poros, que após saturado em água, a retém contra a gravidade. Já os macroporos tem uma reação contrária ao ser saturado em água ele não a retém, ou eles são esvaziados pela ação da gravidade. Então a funcionalidade desses poros fica em evidência quando se considera que os microporos têm um papel de retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos pela aeração e maior contribuição na infiltração de água no solo. A compactação do solo altera, portanto, essas características, interferido diretamente na dinâmica do solo (REINERT E REICHERT, 2006).

No entanto quando o solo tem uma grande resistência à penetração pode ocorrer alterações na dinâmica do fluxo de água, refletindo na diminuição da produtividade. No processo de compactação, tem-se um aumento no escoamento superficial, pelo fato, que para a água infiltrar no solo depende dos macroporos, que são os primeiros a serem afetados, e com isso tem-se o início dos processos erosivos (REICHERT *et al.*, 2007).

Quando há a necessidade de se fazer testes para identificar o estado de compactação do solo, um aparelho usado é o penetrômetro de uso manual. Embora se tenha vários tipos de penetrômetros o seu uso depende do tipo de solo e do grau de compactação. De acordo com Reinert *et al.* (2007) os penetrômetros têm sido e serão usados para medir a resistência do solo a penetração, que tem impactos onde a o relacionamento direto com atributos do solo e das plantas.

Para se determinar o nível crítico de resistência a penetração, as classes de interpretação de valores de RP estabelecidas no Soil Survey Staff (1993) e descritas em Arshad *et al.* (1996) foram utilizadas no presente trabalho e são descritas a seguir: extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa; e extremamente alta: $RP > 8,0$ Mpa, como sendo o limite crítico de resistência à penetração de raízes para diferentes solos (DORAN *et al.*, 1996 e RICHART *et al.*, 2005).

Beutler *et al.* (2006) discorrem que analisando a literatura sobre a terra, mostram que os problemas que levam a compactação do solo são praticamente inevitáveis nas condições modernas da agricultura, e que é de suma importância estabelecer valores limitando a compactação para que se proteja o solo do tráfego excessivo de máquinas pesadas, e maneja de forma a evitar perdas de produtividade, e assim, proteger o meio ambiente.

4.2. A COBERTURA PEDOLÓGICA E AS ATIVIDADES ANTRÓPICAS: EROSÃO, DEGRADAÇÃO

De acordo com Guerra e Jorge (2014) os fatores causadores da degradação do solo são definidos de forma direta e indireta. Se inicia, quase sempre, com o desmatamento que geralmente é acompanhado por uma ocupação desordenada onde ocorre, por exemplo: cortes de taludes para a construção de casas, estradas, rodovias e uma agricultura, muitas vezes, inadequada com queimadas e com irrigação excessiva. Os autores ainda enfatizam que a ação antrópica vem causando danos no solo, como a diminuição da sua fertilidade natural. Vale lembrar, que tais impactos têm grande dispersão, não afeta somente o local pode chegar a vários quilômetros.

1.1.4 A erosão e a degradação dos solos

A erosão é o principal e mais sério impacto decorrente da ação humana sobre o meio ambiente. De acordo com Macedo *et al.* (2009), os solos podem apresentar basicamente cinco tipos de degradação:

- 1) Erosão hídrica: consiste em perda de horizontes superficiais, a deformação do terreno, e movimento de massa, deposição;
- 2) Erosão eólica: perda de horizontes superficiais, deformação do terreno, deposição;
- 3) Química: perda de nutrientes e/ou matéria orgânica, desbalanço de nutrientes, salinização, acidificação, poluição;
- 4) Física: compactação, selamento ou encrostamento superficial, inundação, aeração deficiente, excesso ou falta de água;
- 5) Biológica: redução da biomassa, redução da biodiversidade (MACEDO *et al.*, 2009, p. 20).

Vale ressaltar que em ambientes tropicais e subtropicais a principal causa da degradação do solo resulta da erosão hídrica e das atividades humanas. De acordo com Macedo *et al.* (2005) estudos realizados pelo ISRIC/UNEP, em parceria com a Embrapa Solos, evidenciam que 15% das terras do planeta já foram severamente degradadas por atividades humanas. Dentre as formas mais comuns de degradação, destacam-se a perda da camada superficial (70%), a deformação do terreno (13%), a perda de nutrientes (6,9%) e a salinização (3,9%).

A erosão hídrica tem como princípio de suas ações as gotas de água da chuva, gerando danos ao solo com o escoamento superficial e subsuperficial, tendo a força de arrancar as partículas do solo. Segundo a Embrapa (2012), de acordo com os dados levantados pela Associação dos Engenheiros Agrônomos do Brasil, 600 milhões de toneladas de solo produtivo se perdem no Brasil pela ação da erosão, anualmente, e no Paraná esse número fica entre 15 a 20 toneladas por ano.

Segundo Macedo (2015) a erosão hídrica é um processo complexo e que ocorre em três fases distintas, a saber:

- Impacto das gotas de chuva: quando se chocam ao solo as gotas de chuva contribuem para a ocorrência de erosão, pois quando se encontram com o solo vão despreendendo as partículas, e são transportadas por salpicamento, ao se desprenderem as partículas do solo são carregadas pelo fluxo de água da superfície. Desagregação de partículas do solo: os fluxos de chuva quando atinge a

superfície do solo provoca o umedecimento dos agregados e com isso reduzem as suas forças coesivas. E com a continuidade da chuva e a ação dos impactos das gotas de chuva no solo, os seus agregados vão tomando formas ainda menores, dando origem ao salpicamento, fenômeno que ganha magnitude com a intensidade da chuva.

- Transporte de partículas do solo: esta etapa ocorre no momento em que a intensidade da chuva excede a taxa de infiltração do solo, ocorre tanto pelo umedecimento quanto pelo selamento ou encrostamento da superfície. Uma vez iniciada a enxurrada ela tende a acompanhar a declividade da vertente, ganhando velocidade nas pequenas depressões. Com o aumento da chuva e da depressão da vertente a sua capacidade de gerar atrito e desagregação só aumentam.

- Deposição de partículas do solo: tem início quando a enxurrada produz uma carga maior de sedimentos que a sua capacidade de transporte e isso ocorre geralmente em solos exposto ou recém-mecanizado.

Guerra *et al.* (2005) afirmam que os processos se iniciam com o impacto das gotas de chuva sobre o solo, splash ou salpicamento. É onde o solo tem sua capacidade de infiltração reduzida e com isso inicia-se a saturação e então as partículas de solo são preparadas para serem carregadas pelo escoamento superficial. Isso ocorre pela ruptura dos agregados que ao se romperem em menores preenchem os poros da superfície do solo, aumentando o selamento com diminuição da porosidade e aumento do escoamento (GUERRA *et al.*, 2005).

Segundo Vitte e Vilela Filho (2006) os processos de erosão hídrica são condicionados por cinco fatores: chuva, solo, cobertura e manejo, topografia e práticas de conservação. Tais combinações determinam as variações das taxas de perda de solo. A ocorrência da chuva tem importância para o processo erosivo, sua intensidade e tempo são o que mais afeta o solo, caso os seus intervalos sejam curtos o solo se encontrará com um teor de umidade muito alto o que favorecerá a formação do escoamento superficial.

Costa *et al.* (2007) destaca que um dos principais fatores que influenciam nos processos erosivos é a erosividade, que tem como medição a intensidade da energia cinética que é produzida pela chuva; a erodibilidade que é determinada pelas características físicas, químicas, morfológicas do solo, a cobertura vegetal, juntamente com o tamanho de sua rampa, as práticas de manejo e a conservação do solo, tudo isso tem um papel importante quando se refere a erosão.

O entendimento da dinâmica da erosividade da chuva ajuda a planejar o melhor uso da terra. Detendo esses conhecimentos fica mais fácil identificar quais os períodos de maior e menor risco à erosão, elaborando técnicas de prevenção e controle dos processos (SALOMÃO, 2005).

A erodibilidade é determinada pela suscetibilidade do solo aos processos erosivos. Por ser determinada como um atributo que tem suas particularidades diferentes em cada solo, seu conhecimento é fundamental para a estimativa de perdas e para o planejamento de uso da terra (BRADY, 1989).

Os processos erosivos apresentam características diferentes em cada tipo de solo. Isso ocorre porque as propriedades físicas, principalmente aquelas relativas a estrutura, textura, permeabilidade ou densidade atrelada as características químicas e biológicas de cada tipo de solo ajuda a definir a maior ou menor resistência aos processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993; DOMINGOS, 2006).

Assim, Bertoni e Lombardi Neto (1993) afirmam que os solos mais siltosos são facilmente erodíveis porque suas partículas possuem pequenas coesão entre si e quando ocorre a quebra dos agregados do solo pelo impacto das gotas de chuva, são facilmente transportados pela água.

De acordo com Flauzino (2012), existem três maneiras de determinar a erodibilidade do solo. A primeira tem relação com a determinação direta do fator K em condições de campo, com chuva natural. A segunda segue o mesmo procedimento da primeira etapa, mais as condições propostas são sobre chuva simulada. A terceira, mais utilizada, é uma determinação indireta tendo como base regressões múltiplas que tem como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos ou as relações com o mesmo.

A autora afirma ainda que a determinação direta da erodibilidade é bem mais complexa, por ter inúmeras variáveis envolvidas no processo, como por exemplo: a morosidade e os custos envolvidos nos procedimentos experimentais. Também destaca que esses fatos influenciaram na baixa procura de estudantes nas pesquisas sobre a erodibilidade em solos brasileiros.

As formas de relevo também influenciam nos processos erosivos, quanto mais irregulares foram as formas de relevo, mais vulnerável será à erosão hídrica. Isso decorre dos processos de salpicamento e escoamento superficial que têm seus efeitos aumentados em locais de declividades acentuadas (GUERRA, 2016). Também pode-se afirmar que a declividade do relevo tem influência nos processos

erosivos porque a força da enxurrada tem tendência de ser mais agressiva (BRADY, 1989).

A velocidade do escoamento superficial tem relação com a declividade e o comprimento da encosta, pois tem influência direta no tamanho e na quantidade de material em suspensão que será transportado pela água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993), na figura 2 mostra-se como as gotas de chuvas ao se chocar com o solo sem restos de cultivos arrancam suas partículas favorecendo que elas sejam carregadas mais facilmente pela enxurrada.

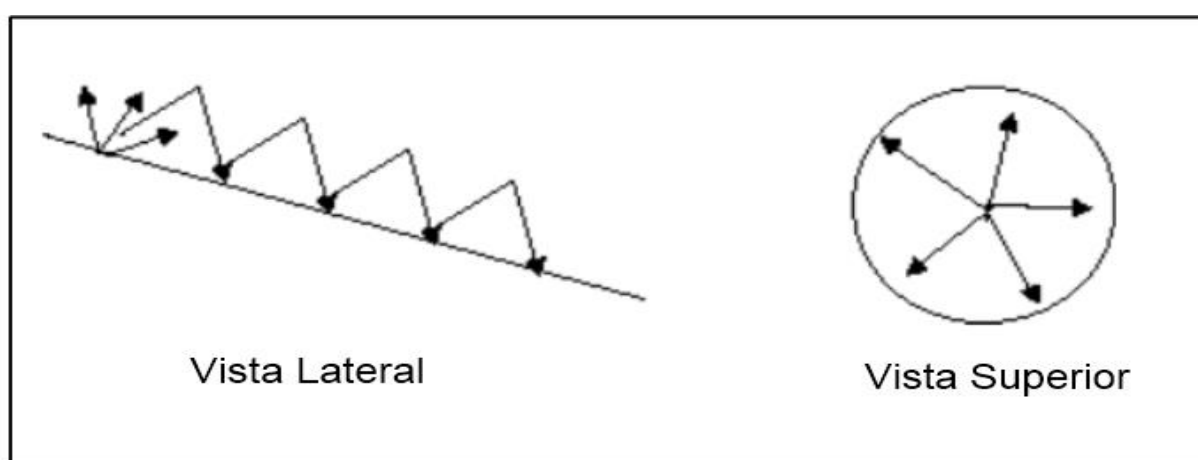


FIGURA 2. Movimentos das partículas do solo

Fonte: Macedo *et al.* (2009).

De acordo com Flauzino (2012) a pedoforma côncava favorece a convergência das águas, podendo levar a erosão mais localizada com tendências ao surgimento de formação de voçorocas e sulcos e deposição de material nas partes mais baixas, enquanto que a pedoforma convexa tendem a favorecer a divergência da água com erosão mais uniforme e laminar.

Neste contexto, é importante destacar que a cobertura vegetal tem papel fundamental no solo quando se trata de processos erosivos. Por ter uma influência positiva e diminuir as perdas de solo pelo escoamento superficial, os efeitos sobre a erosão também são diminuídos quando se deixa os restos dos cultivos anteriores, como por exemplo a cobertura protetora de superfície (BRADY, 1989).

Portugal *et al.* (2010) relata que a remoção da cobertura vegetal natural para a implantação de atividades agropecuárias provoca desequilíbrio no ecossistema,

pelo fato do manejo empregado na área influenciar diretamente os processos físicos, químicos e biológicos do solo.

Por esses e outros motivos afirma-se que a cobertura tem um papel fundamental na proteção do solo, contra o impacto das gotas de chuva, pois inibe os processos erosivos, em virtude da interceptação e dissipação da energia cinética das gotas, agindo como uma proteção contra a desagregação das partículas do solo. Sem contar que a presença da matéria orgânica contribui para a retenção de água e para a estruturação do solo. Além de todos esses benefícios ela também ajuda a diminuir a velocidade da água da chuva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993).

A erosão hídrica pode se manifestar de três formas: erosão laminar ou em lençol; erosão linear, tais como sulcos, ravinas e voçorocas e erosão em movimentos de massa do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993; GUERRA *et al.*, 2005; GUERRA, 2016), a saber:

- Erosão laminar-lençol: Consiste na remoção da camada superior do solo ao longo da vertente de certa declividade, afetando as partículas liberadas pelo salpicamento. O escoamento é iniciado quando o solo se encontra saturado e as poças não conseguem mais conter a água, provocando a erosão em lençol, ou erosão laminar (GUERRA *et al.*, 2005).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), esse tipo de erosão afeta primeiro as partículas mais superficiais e de materiais mais soltos, arrastando-os para as partes mais baixas da vertente. Guerra (2016) relata que esse tipo de erosão atinge o horizonte A, o mais superficial, e de maior impacto para a fertilidade, consequentemente com redução da produção agrícola.

- Erosão do tipo sulcos: se caracteriza como a segunda fase no que diz respeito a evolução dos processos erosivos hídricos. Esse processo é marcado pela mudança na forma de escoamento. Ocorre a concentração da água em pequenas depressões na superfície do solo. Nesse processo a lâmina de escoamento tem mais tensão de cisalhamento pelo aumento de sua espessura, elevando, portanto, a capacidade do escoamento desagregar o solo (LAFAYETTE *et al.*, 2011; FLAUZINO, 2012). Bertoni e Lombardi Neto (1993) destacam que esta é a forma de erosão que os lavradores prestam mais atenção.

- Erosão do tipo ravinas: Ocorre em canais de escoamento pluvial concentrado. São bem definidas, e com o passar do tempo podem sofrer

aprofundamento devido à força da enxurrada, podendo chegar até alguns metros de profundidade se não forem controladas. Macedo (2015) coloca as ravinas como uma evolução dos sulcos. Como a sua evolução é muito rápida pode trazer sérios prejuízos, como por exemplo, a total destruição da superfície dos solos. São responsáveis também pelo rápido assoreamento das várzeas, dos leitos fluviais, lagoas e represas, facilitando o transbordamento das águas de seus cursos e provocando possíveis inundações. O aprofundamento e alargamento das ravinas podem originar as voçorocas (GUERRA, 2016).

- Erosão do tipo voçorocas: Caracterizada como uma forma de erosão ocasionada por grandes concentrações de enxurradas no mesmo local, ano após ano, que vai se ampliando pelo deslocamento de uma grande massa de solo, até atingir o lençol freático. E com o aprofundamento desse tipo de processo erosivo, ao chegar ao lençol freático, o fluxo natural da água subterrânea passa a atuar como transportadora de partículas do leito, solapando as suas bases e provocando o desmoronamento da cabeceira, ou também denominada pela sua dimensão espacial considerando-se como voçoroca valas lineares maiores de 50 cm de largura e profundidade. Quando tal fato é constituído fica conhecido como erosão remontante (MACEDO, 2005).

Guerra (2016) afirma que as voçorocas têm força para atingir com facilidade os horizontes B e C, e em algumas vezes atingir até mesmo a rocha matriz, dependendo da magnitude do processo erosivo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no município de Terra Roxa, no extremo Oeste do Paraná. Do ponto de vista ambiental a área se localiza na unidade hidrográfica do Paraná 3 (Figura 3).

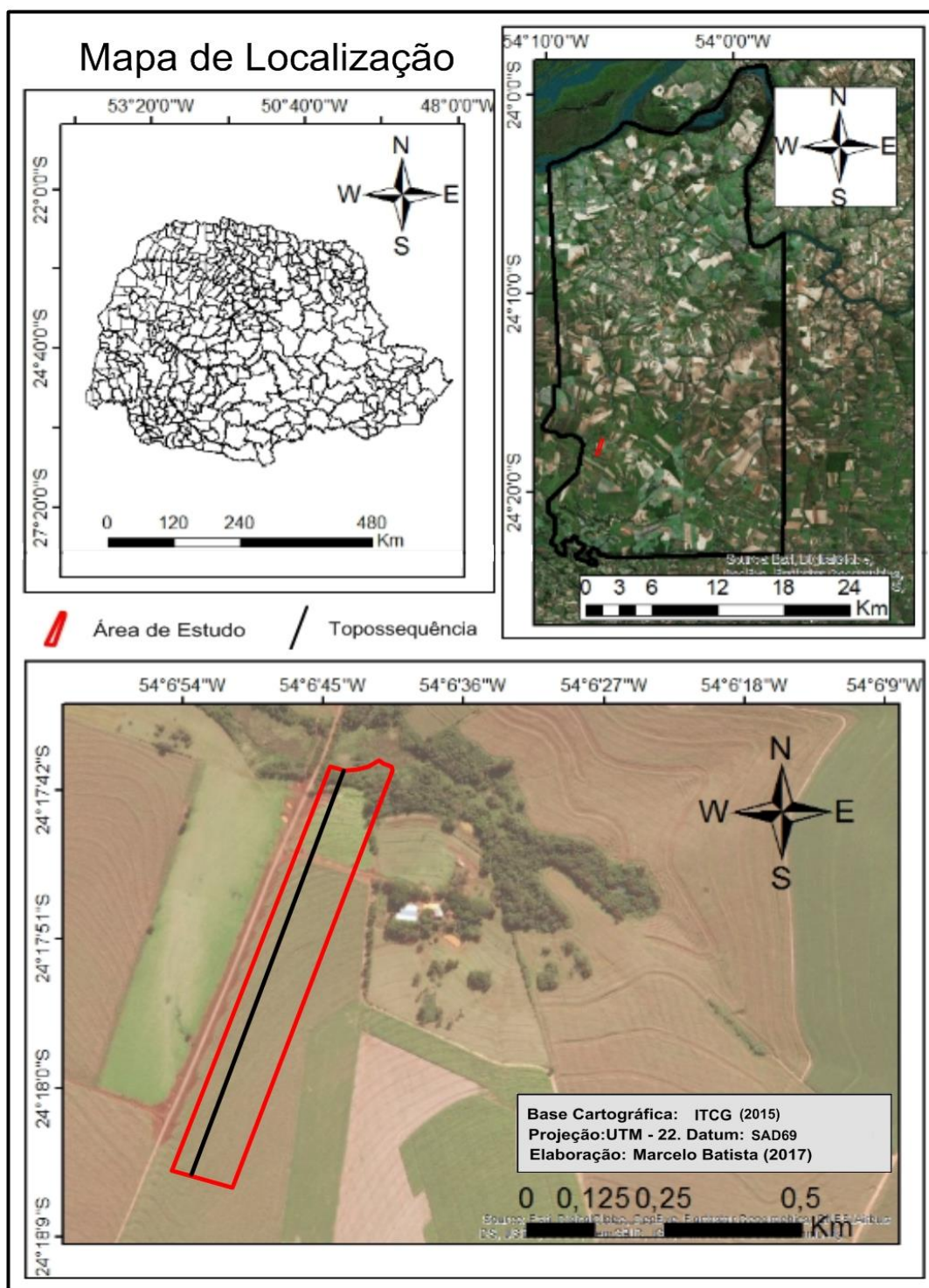


FIGURA 3. Mapa de localização do município de Terra Roxa no Paraná

2.1. A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ 3 E A UNIDADE DE PAISAGEM DE GUAIRÁ

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraná 3, localizada no Terceiro Planalto Paranaense, é recoberta por derrames vulcânicos do período Cretáceo (Formação Serra Geral), onde predominam os basaltos (MAACK, 2002). Faz sua divisa com o território paraguaio. Com 8.707 Km² de área, corresponde à cerca de 4% da área total do estado e abriga 642.684 habitantes (IBGE, 2010)

A área de pesquisa está inserida na bacia hidrográfica do Rio Paraná 3, onde concentram os estudos do grupo GEA, em um compartimento paisagístico denominado de unidade de paisagem de Guaíra. Este compartimento foi definido após a realização da pesquisas de Bade (2014) que delimitou e caracterizou em cinco unidades de paisagem, a saber: Platô de Cascavel, Foz do Iguaçu, São Francisco, Marechal Cândido Rondon e Guaíra, onde vários estudos de fragilidade ambiental vêm sendo desenvolvidos (Figura 4).

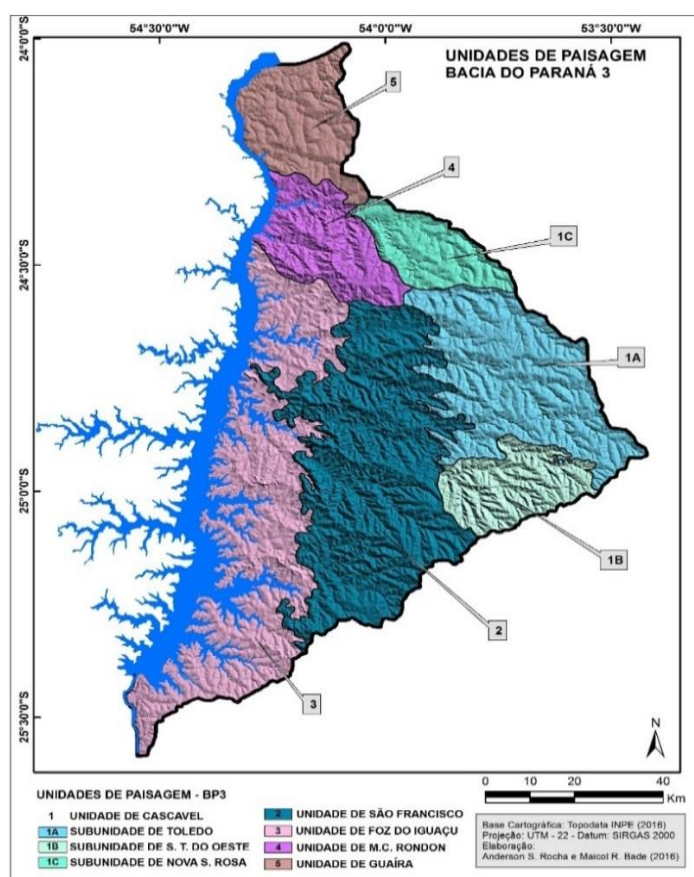


FIGURA 4. Divisão das unidades de paisagem na bacia do rio Paraná 3

Fonte: Rocha e Bade (2016).

Segundo Rocha (2016) predominam na Bacia Hidrográfica do Paraná 3 os solos Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos. Os demais solos tais como os Organossolos, Chernossolos, Gleissolos e Argissolos são menos comuns, ocorrem com maior frequência no setor norte da Bacia Hidrográfica do Paraná 3, próximo da faixa de transição com o Arenito Caiuá (Figuras 5 e 6).

Na porção norte da bacia, onde está localizada a unidade de Guaíra, predominam os Latossolos Vermelhos distroficados e eutroficados, Nitossolo Vermelho Eutroférrico, Organossolo, Argissolo Vermelho Eutroférrico e Gleissolo Háptico (Figura 5).

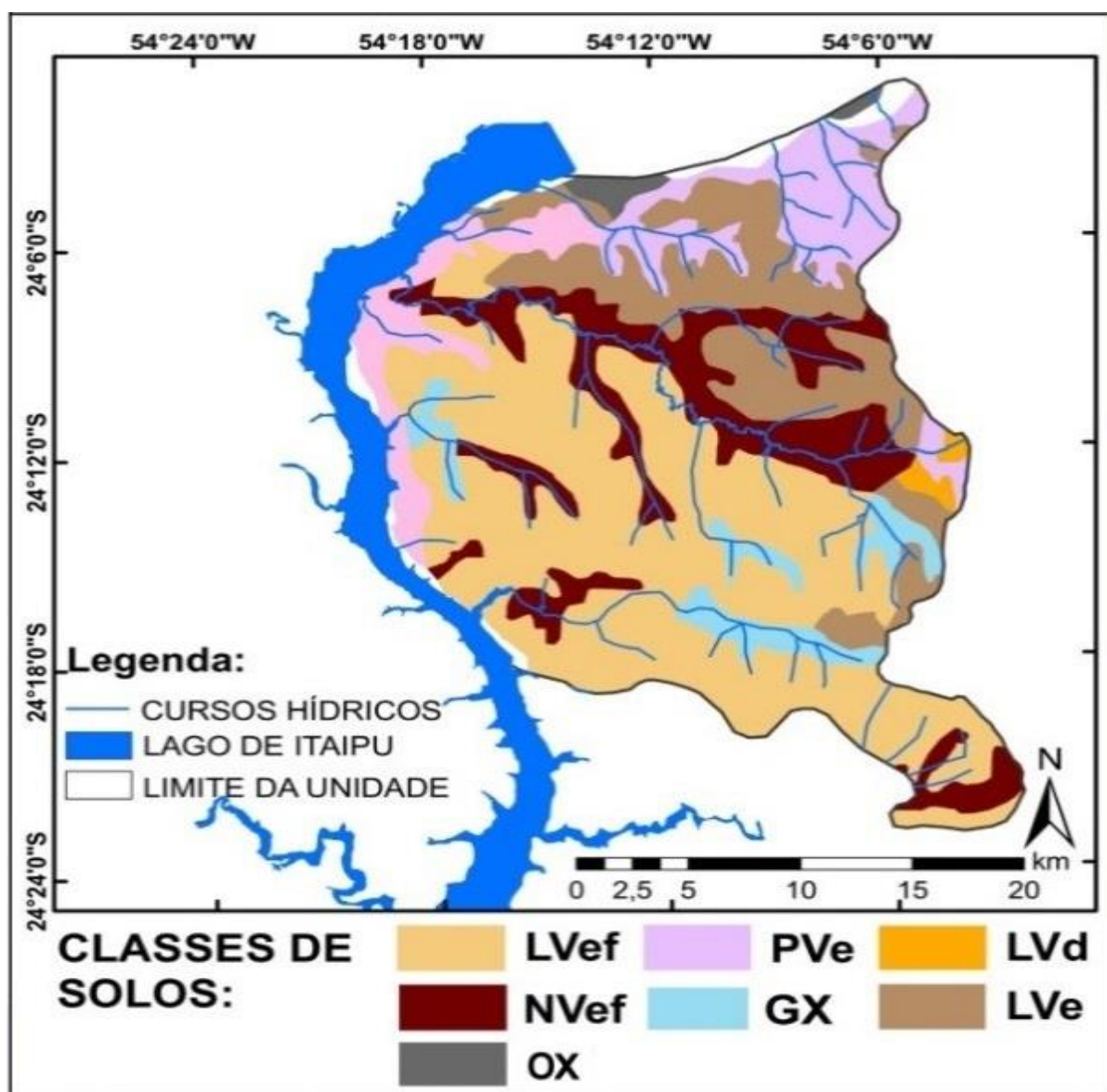


FIGURA 5 - Carta de Solos da Unidade de Guaíra

Fonte: Rocha e Bade (2016).

De acordo com Bade (2014) a unidade de paisagem de Guaíra (Figura 4, unidade 5) abrange o setor norte da bacia em território brasileiro e possui uma área total de 707,22 km². Localizada às margens do Rio Paraná, esta unidade caracteriza-se como uma área de transição geológica, zona de contato do basalto, (ao Sul), com o Arenito Caiuá (ao Norte) (Figura 6).

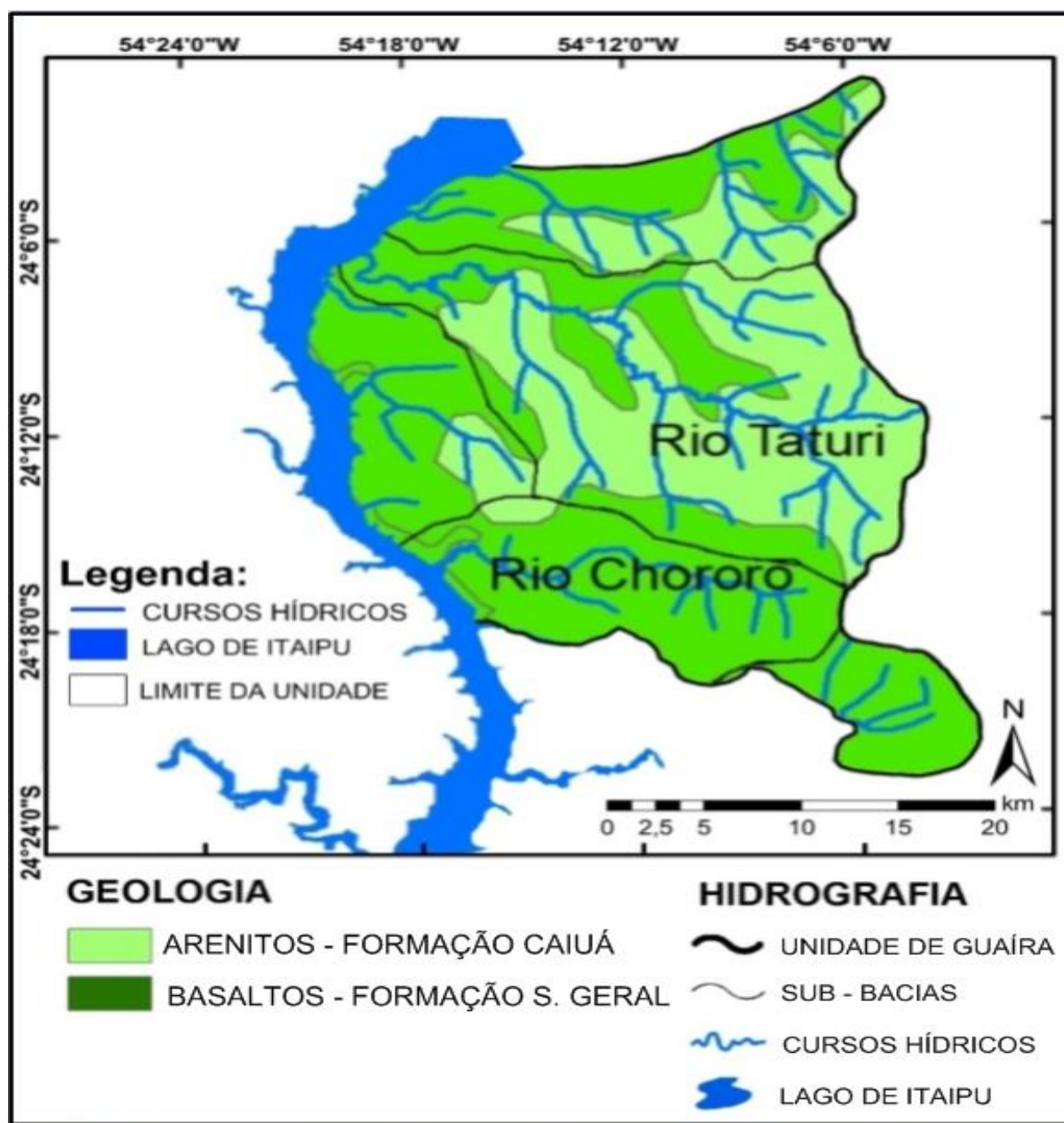


FIGURA 6. Carta Geológica e Hidrográfica da Unidade de Guaíra

Fonte: Rocha e Bade (2016).

Por estar situada em área de transição, verificam-se solos de textura argilosa sobre litologia basáltica da Formação Serra Geral (Latosolos nos segmentos com

declividades entre 0% e 6% e Nitossolos nos segmentos com declividades entre 6% e 12%) e textura arenosa a média sob litologia arenítica (Latosolos entre as classes de 0% e 6% de declive e Argissolos em declividades que predominam entre 6% e 12%) - (Figura 7), que correspondem a Formação Caiuá (Figura 6). Apresentando relevo plano a suave ondulado e dissecação fraca a unidade de Guaíra, é caracterizada por declividades entre as classes de 0% e 3% e 3% e 6%, onde juntas somam uma área total de 534,54 km², correspondendo a 75,59% da unidade.

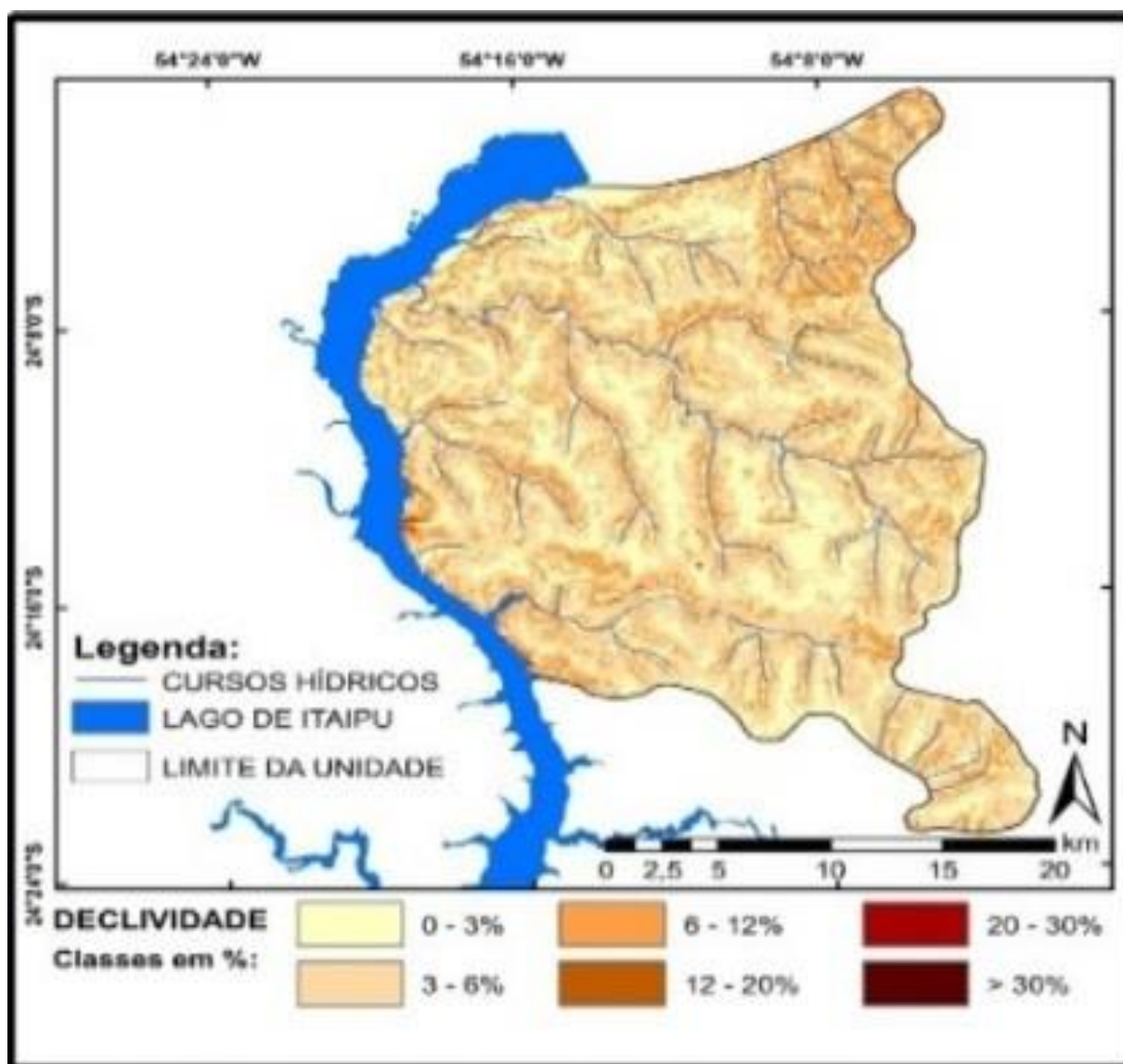


FIGURA 7. Mapa de declividade da unidade de Guaíra

Fonte: Rocha (2016).

A unidade apresenta cotas que variam entre 200 e 400 metros de altitude (Figura 8). Predomina na unidade vertentes retilínea, somando uma área total de

613,15 km², o que equivale a 86,70%. Somente nos setores de fundos de vale é que exibem formas côncavas, que juntas somam um total de 62,07 km² (8,78% desta unidade) - (Figura 9).

O uso do solo na unidade de paisagem de Guaíra caracteriza-se, em sua maioria, pela atividade agrícola (cultivo de soja e milho). Somente no extremo norte, verifica-se sua utilização pela agropecuária, com a produção de *commodities* intercalada pelas áreas de pastagem.

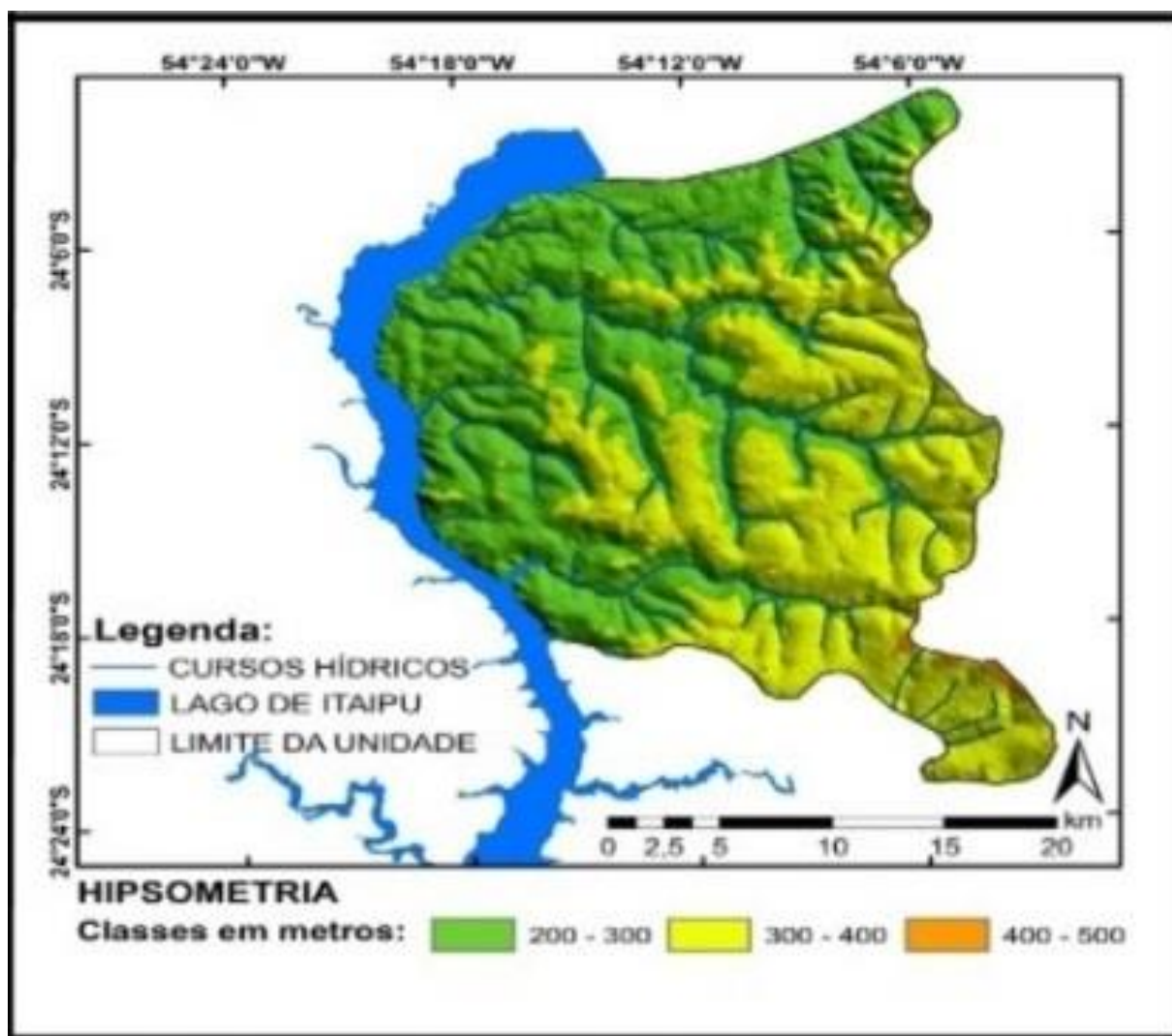


FIGURA 8. Mapa hipsométrico

Fonte: Rocha (2016).

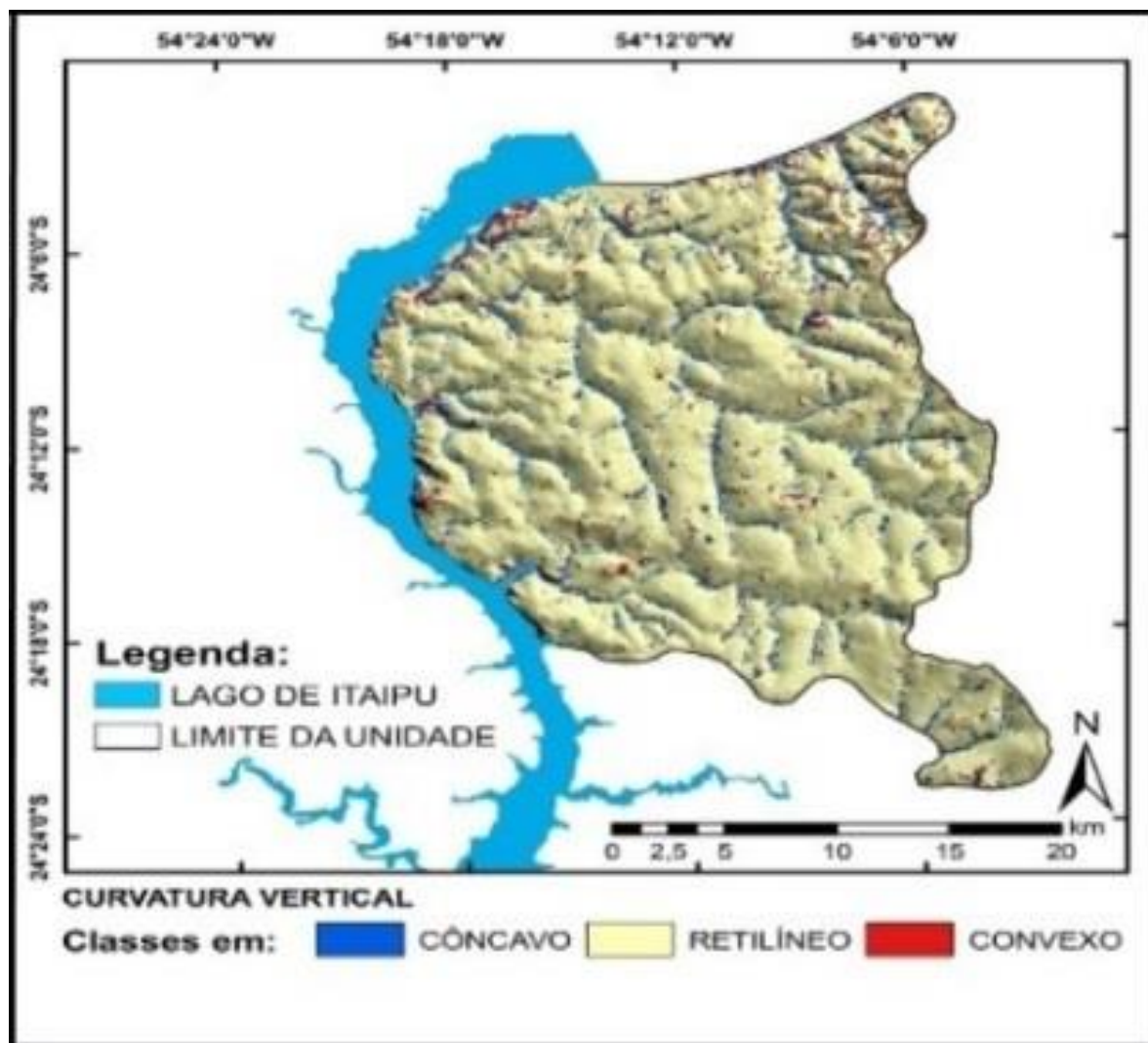


FIGURA 9. Mapa de curvatura da vertente

Fonte: Rocha (2016).

2.2. O MUNICÍPIO DE TERRA ROXA

O município de Terra Roxa, área de realização desse estudo de caso, se concentra no setor norte da unidade de Guaíra, numa área de 800,810 Km². Encontra-se localizado na região Oeste do estado do Paraná, mais precisamente próximo a latitude 24°09'24" Sul e a longitude 54°05'49" Oeste. (Figura 3).

O município de Terra Roxa apresenta em sua rede hidrográfica o Rio Paraná (atualmente, lago de Itaipu) a Oeste, ao Norte pelo Rio Piquiri e, por cerca de 400 metros, arroios e pequenos córregos, tais como os Rios Guaçu, Açu, Taturi, São João, Caçador, Chroró e os Córregos Jacaré, Erva-Mate, Braço do Norte e o Arroio do Canto. Vale ressaltar, que quando se trata da hidrografia, ocorreram mudanças

significativas em boa parte da paisagem, em particular das matas ciliares, no ano de 1982, com a formação do lago de Itaipu.

Predomina-se o clima do tipo Cfa, segundo a definição de Köppen (1936), subtropical úmido mesotérmico, com uma média pluviométrica de 170 mm média anual, com verões quentes e invernos com baixa frequência de geadas. As temperaturas médias dos meses mais quentes são superiores a 22°C e a dos meses mais frios inferiores a 18°C, concentrando-se os valores médios mensais mais elevados nos meses de janeiro e fevereiro, em torno de 28°C. Os períodos mais frios ocorrem nos meses de junho, julho e agosto, com temperaturas médias mínimas mensais em torno de 18°C (ITCG, 1987).

A vegetação era constituída pela Floresta Estacional Semidecidual. Ainda são encontradas em reservas legais averbadas e ao longo de matas ciliares. Muitas vezes, estão localizadas isoladamente em propriedades agrícolas, com poucas espécies nativas, como por exemplo, Peroba, Cedro, Angico, Canafístula, Palmeira, Jussara, Ipê-Roxo, dentre outras. Na sua maioria tem espécies secundárias, originadas do reflorestamento.

Vale ressaltar, que o desmatamento ocorreu com a modernização agrícola, iniciada no final da década de 1960, embora Maack (2002) tenha alertado para a necessidade de controle do desmatamento já no início da década de 1960. Atualmente a vegetação ocupa principalmente as áreas marginais aos rios Paraná e seus afluentes.

O município apresenta uma distribuição fundiária de pequenas e médias propriedades. O uso do solo evidencia uma paisagem composta por áreas de pastagem dominando a porção Norte e culturas temporárias como milho, trigo e soja na porção Centro-Sul (Figura 10). Em algumas propriedades ocorre a criação de suínos e gado de leite. Recentemente nota-se crescimento na instalação de novos aviários devido a implantação e apoio de frigoríficos que se instalam na região.

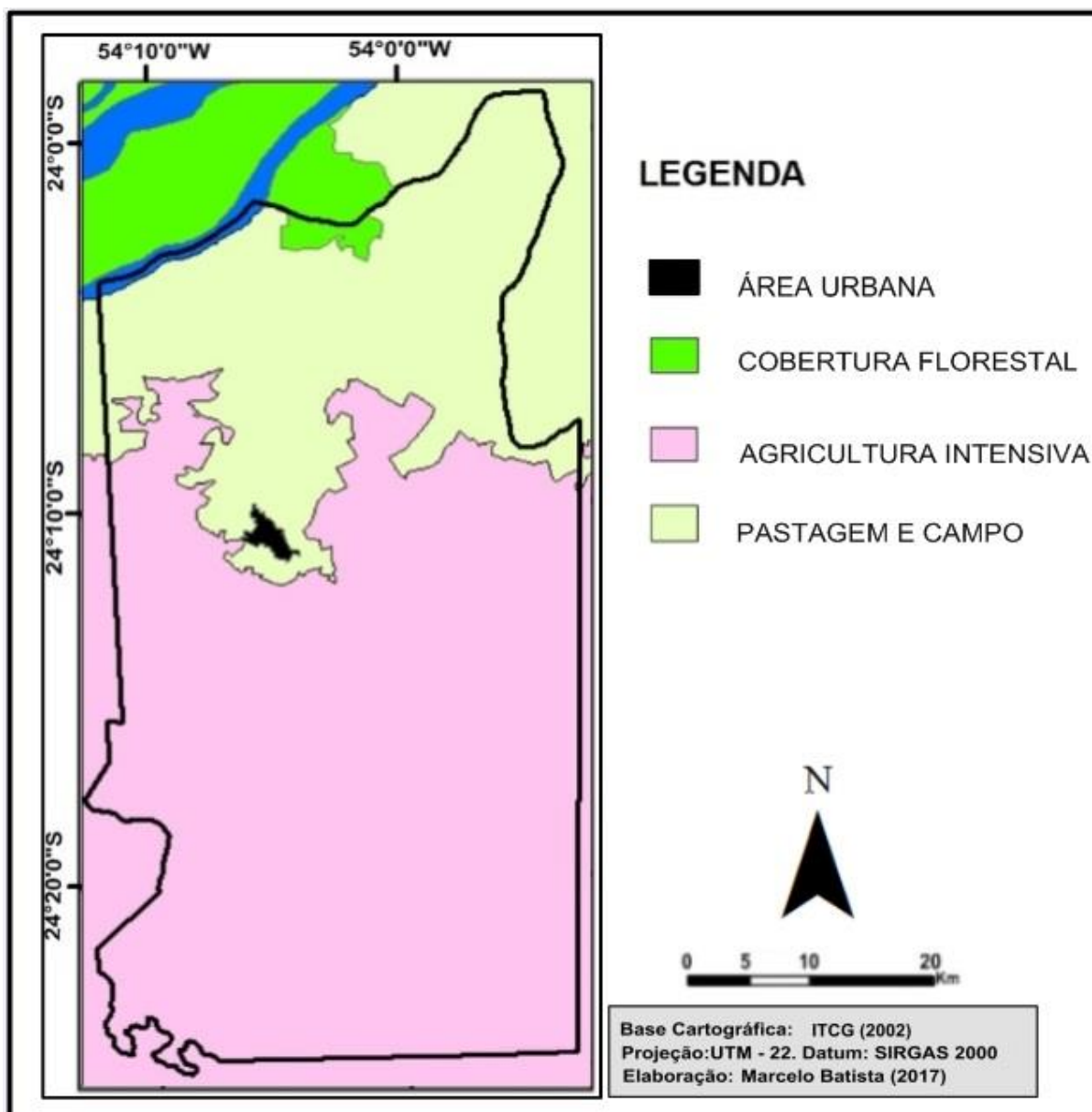


FIGURA 10. Uso e cobertura da terra do município de Terra Roxa

No município de Terra Roxa a cobertura pedológica apresenta importantes variações por se localizada em uma área de transição entre rochas basálticas e areníticas. Ao Norte onde encontra-se a presença de rochas sedimentares (Formação Caiuá) encontram-se os solos de textura média e arenosa e ocorrem as classes de Argissolos Vermelhos Eutróficos, Latossolos Vermelhos Eutróficos, Latossolos Vermelhos Distróficos. Já ao sul do município, encontram-se os solos argilosos proveniente das rochas ígneas (Formação Serra Geral), tais como os Latossolos Vermelhos Eutroféricos e Nitossolos Vermelhos Eutroféricos.

Verificando-se ainda os Gleissolos nos fundos de vale e os Organossolos nas áreas de planície as margens do Rio Paraná (Figura 11).

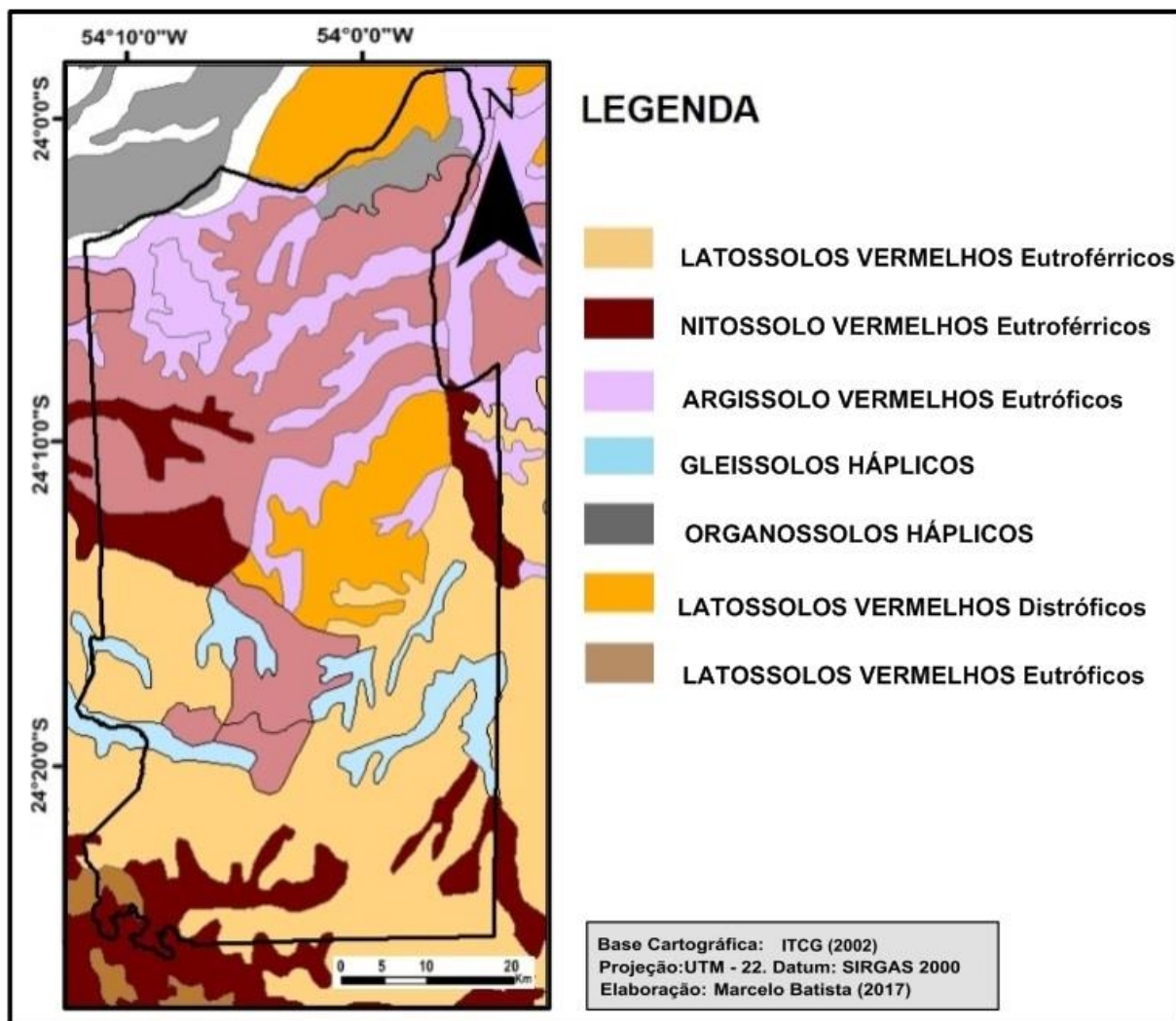


FIGURA 11. Mapa solo do município de Terra Roxa

2.3. BREVE HISTÓRICO DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ

O Oeste do Paraná, que hoje é constituído pelas microrregiões de Toledo, Foz do Iguaçu e Cascavel, onde já foram ocupados por indígenas, espanhóis, já pertenceu à Capitânias de São Paulo, formou o Território Federal do Iguaçu. O seu território só foi anexado ao Brasil após vários tratados com Espanha, onde passou a pertencer à Província de São Paulo. Em 1853 conseguiu sua emancipação. Após se tornar parte da Província do Paraná, acomodou imigrantes europeus, sobretudo eslavo, poloneses, ucranianos, alemães e italianos. Porém a área já era conhecida

desde a primeira metade do século XVI, quando Dom Alvar Nunes Cabeza de Vaca percorreu a região juntamente com índios e os europeus o território paranaense de Leste a Oeste em direção ao Paraguai, onde assumiu o governo em nome do rei da Espanha (PRIORI *et al.*, 2012).

Assim pode-se dizer que o processo de ocupação da região Oeste ocorreu em quatro etapas. A primeira etapa se define como a mais antiga, tendo uma ocupação indígena, como Xetá, Kaingang e Guaraní, que conseqüentemente se espalha também por todo o território sul-americano, foi notado no processo recente da colonização, onde essa população mais uma vez fosse reprimida. A segunda etapa se define com a chegada dos padres jesuítas espanhóis, onde desenvolveram várias missões pelo território, que apesar de destruídos na primeira metade do século XVII pelos bandeirantes paulistas, ainda assim se manteve uma grande presença de espanhóis na região.

A terceira etapa é dada do período entre 1881 e 1930, onde corresponde a introdução do sistema de (abranges) definidas como grandes áreas de terras concedidas pelo governo brasileiro a empresas estrangeiras (argentina e inglesa) para a extração da erva-mate e madeira no Oeste do Paraná, entre Foz do Iguaçu e Guaíra. E por fim a quarta etapa que se define como a mais recente onde se tem a atuação de empresas colonizadoras as quais efetivaram a colonização moderna do Oeste paranaense (PRIORI *et al.*, 2012).

Como se deu em outras regiões do Paraná, a ocupação dessas novas terras pelas populações europeias e brasileiras definidas como (população brancos) ocorreu em áreas pertencentes aos povos nativos. Onde que no fim do século XIX principalmente os espanhóis fizeram a retirada da erva-mate do Paraná e mandavam para a Argentina e o Uruguai. Assim também tinham os abrageros que controlavam alguns trabalhadores que contrabandeavam a erva-mate nos portos clandestinos que se situavam as margens do rio paraná (GREGORY, 2002).

No início do século XX houve um grande aumento demográfico na região, sua população que era de aproximadamente 126,977 passaram para 685,711 habitantes. Onde pode ser explicado com a chegada de mais de 100mil imigrantes que vieram para o Paraná, outro fator que vem a explicar esse aumento significativo na população foi o deslocamento de pessoas vinda de outras regiões do país, sobretudo de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (PRIORI *et al.*, 2012).

Na década de 1920 houve uma entrada significativa de imigrantes alemães e italianos, que se concentraram no Oeste paranaense, se estabelecendo em pequenas propriedades familiares rurais, modelos semelhantes ao que foram realizados em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul (NADALIN, 2001).

Na década de 1930 diante de uma grande movimentação demográfica, que ficou conhecida como a “marcha para o Oeste”, onde o governo brasileiro incentivou a migração para ocupar as terras de fronteiras e do interior do país. Essa campanha tinha como finalidade que as áreas estivessem ocupadas em toda a sua extensão, para que se fosse ocupado uma área conhecida como “sertão”, ignorando assim a presença das populações tradicionais que residiam nesses locais, onde o discurso oficial perpetuava uma visão de que esse movimento colaborou para a ocupação de uma região vazia, isolada, praticamente abandonada a ação das obras estrangeiras (WACHOWICZ, 1988).

Diante da independência política da Província do Paraná em 1833, o governo do estado ficou responsável pela distribuição das terras tidas como devolutas, onde sempre eram beneficiadas as grandes empresas colonizadoras, em uma espécie de troca de benefícios, os caboclos pioneiros, ou pequenos proprietários sempre eram deixados para segundo plano. Assim as grandes empresas representavam acima de tudo, o interesse do capital e por motivos maiores detinha a prioridade para marcar e vender essas terras. Diante dos fatos, desde o final do século XIX a início do século XX, o governo realizou enormes concessões a empresas estrangeiras tendo como objetivo a exploração de erva-mate, madeira e a colonização da região Oeste (PRIORI *et al.*, 2012).

O autor ainda enfatiza que essas grandes empresas eram denominadas como abranges e os seus trabalhadores os mensus (ou seja mensalistas), geralmente eram paraguaios, argentinos e (guaranis modernos) termo empregado aos índios guaranis miscigenados no Paraguai.

De acordo com tantos estrangeiros, na década de 1920, o Oeste paranaense era uma fronteira que praticamente não pertencia ao Brasil, falava-se pouco a língua portuguesa e a moeda que circulava era o peso argentino. Onde os abranges apresentavam a existência de mais de dez mil habitantes no Oeste paranaense em meados da década de 1930, sua grande maioria era de origem platina. Um dos motivos era pela região ser de difícil acesso, (pois para se chegar eram apenas por meio do rio Paraná), da estrada de ferro Guaraní-porto Mendes e da estrada que

levava de Guarapuava a Foz do Iguaçu. Onde os meios de transporte eram todos controlados pela Argentina e pela a Companhia Mate Laranjeira, de origem paraguaia (STECA; FLORES, 2008).

Sendo assim, em 03 novembro de 1930 o governo paranaense desarticulou finalmente os abranges, ao baixar o decreto de nº300, diante disso volta-se ao poder do estado, e as concessões cedidas a empresas estrangeiras e nacionais que não haviam cumprido com as cláusulas contratuais. Além da desarticulação do governo, a exploração obrageira já vinha sofrendo graves crises econômica, motivados pela desvalorização da erva-mate no mercado argentino (PRIORI *et al.*, 2012).

Ao se efetivar o cancelamento das concessões, o estado baixou o decreto nº 800, em 08 de agosto de 1931 e a lei nº 46 em 10 de dezembro de 1935. E por meio desses atos jurídicos, passa-se a vender as terras devoluta para empresa ou particulares. Diante deste momento, tem-se o início de duas frentes colonizadoras na região Oeste: uma frente publica, dominada pelo estado onde se encarregavam de fazer os loteamentos, e uma frente privada, onde eram dominadas pelas empresas de colonização e imobiliárias. Assim os projetos desenvolvidos pelo setor privadas tiveram mais sucessos do que as iniciativas do estado, umas das questões eram a maior experiência do setor privado no processo de loteamentos das terras. Dentre as empresas que atuaram no Oeste paranaense merecem destaques as companhias Industrial Madeira e Colonizadora Rio Paraná Ltda (Maripá); Pinho e Terras Ltda; Industrial Agrícola Bento Gonçalves; Colonizadora Gaúcha Ltda.; Colonizadora Matelândia; Colonizadora Criciúma; Sociedade Colonizadora União D'Oeste Ltda; e Colonizadora Norte do Paraná (PRIORI *et al.*, 2012).

O autor ainda relata que o processo de colonização do Oeste do Paraná, destaca-se uma ocupação constituída praticamente por migrantes de origem italiana e alemã, originários dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Um dos motivos para essa ocupação foi uma condição muito favorável para o desenvolvimento agrícola. Isso ficou explicito durante a segunda Guerra Mundial (1930–1945), que foi quando se notou uma necessidade de alguns setores do país serem ampliados, entre eles, a industrialização, a indústria de base e a criação de uma fronteira agrícola forte.

2.4. A OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO MUNICÍPIO DE TERRA ROXA

A ocupação e a colonização do município estão diretamente relacionadas aos desdobramentos históricos ocorridos no processo de ocupação da região Oeste do Estado do Paraná. O município foi criado pela lei Estadual de nº 220, de 14 de dezembro de 1961, e instalado em 27 de outubro de 1962. O início da ocupação ocorreu pela CODAL (Companhia e Colonização e Desenvolvimento Rural), com a aquisição da área onde está localizado o município. Em 1968 a área foi dividida em lotes rurais com delimitação do perímetro urbano (WILLERS et al., 2010).

O autor ainda afirma que logo após a sua emancipação ocorreram mudanças econômicas. Em 1970 com a melhoria da infraestrutura, a população chegou a 38.237 habitantes. Vale ressaltar, que dois anos após a sua emancipação a região Oeste do Paraná se instalou um sistema agrícola centrado no binômio soja-milho, altamente tecnificado, mecanizado e com vasto uso de insumos.

Rocha (2011) afirma que, nessa época, a introdução de maquinários e insumos nos municípios da região Oeste do Paraná, provocou a perda de autonomia, a descapitalização dos agricultores e a aceleração do processo migratório da população, favorecendo a concentração de terras por alguns agricultores mais abastados.

Fatos que também contribuíram para o êxodo rural foram as geadas e as secas, ocorridas na segunda metade da década de 1970, a desapropriação de terras agrícolas as margens do Rio Paraná para a formação do lago da Usina hidrelétrica de Itaipu e a instalação de algumas indústrias. Além da área rural a urbana também sofreu com esse processo. Durante a década de 1980, a população do município era de 25.535 habitantes passando para 16.885 na década de 1990 e 16.291 no ano de 2000 de acordo com o (Figura 10) - (WILLERS et al., 2010).

Esta expansão urbana da cidade de Terra Roxa é explicada pela implantação da agricultura tecnificada que diminuiu a mão-de-obra. Sem serviço no meio rural, a população se deslocou para a cidade e, apesar da melhor infraestrutura, não foi capaz de absorver tanta gente, ou seja, a única opção foi se mudar para os municípios vizinhos em busca de emprego (WILLERS et al., 2010).

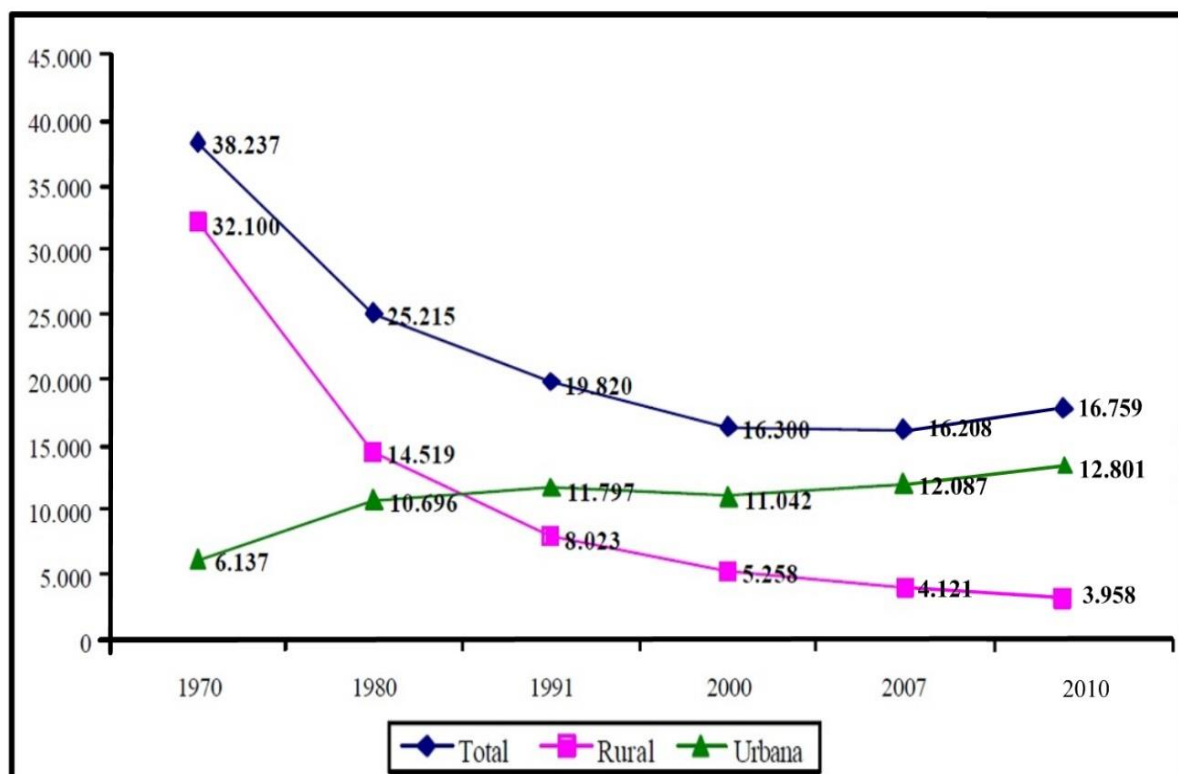


FIGURA 12. Gráfico da população total urbana e rural do município de Terra Roxa – 1970-2010

Fonte: Adaptado de Willers *et al.* (2010) e atualizado por Batista (2017).

A valorização dos imóveis urbanos, oriundos da especulação imobiliária, aliado ao êxodo rural, advindo dos processos de modernização agrícola, deu início às ocupações próximas aos fundos de vale, onde se encontram as áreas de maior fragilidade ambiental.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Para melhor compreensão do desenvolvimento do trabalho apresentamos o fluxograma (Figura 13) com as etapas da pesquisa.

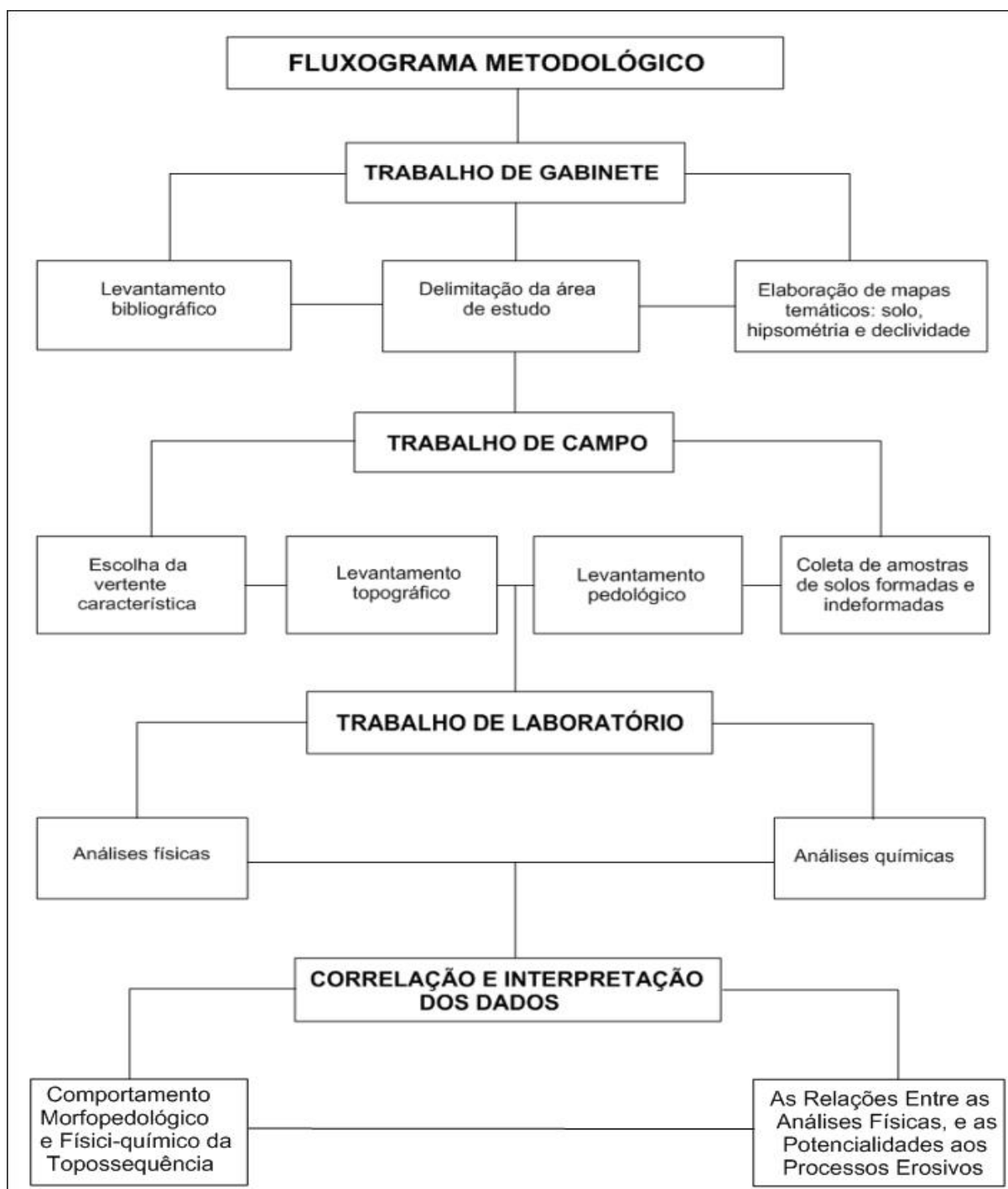


FIGURA 13. Fluxograma metodológico com etapas de desenvolvimento da pesquisa

3.1. TRABALHO DE GABINETE

► Levantamento bibliográfico: seleção e consulta de literaturas para a compreensão teórica e metodológica da pesquisa, tais como a relação solo-relevo com base na Análise Estrutural da Cobertura Pedológica; consultas referentes a caracterização morfopedológica dos perfis de solos, e também sobre os aspectos históricos e ambientais da Bacia hidrográfica do Rio Paraná 3, da unidade de paisagem de Guaíra e do município de Terra Roxa.

► Elaboração da Carta de Uso do Solo: Para a carta de uso do solo foi utilizado como base cartográfica o levantamento de solo do estado do Paraná com escala de 1:250000, onde as informações foram obtidas por meio do ITCG (2002) em formato *shapefile*. Assim as imagens foram trabalhadas nos *softwares ArcGis, Surfer 9*;

► Elaboração de Carta de Solo: Para a carta de solo foi utilizado como base cartográfica o levantamento de solo do estado do Paraná com escala de 1:250000, tais informações sobre a cobertura pedológica foram obtidas por meio do ITCG (2002) em formato *shapefile*. Onde as informações foram processadas pelos *softwares ArcGis e o Surfer 9*;

► Delimitação da área de estudo e escolha da vertente característica: para a realização destas etapas foram utilizados documentos cartográficos (mapas temáticos) do município de Terra Roxa. A confirmação dessa etapa foi obtida com a realização de trabalhos de campo.

3.2. TRABALHO DE CAMPO

► Seleção da vertente: para a escolha da vertente levou-se em consideração as características das formas de relevo, uso e ocupação do entorno da sua bacia hidrográfica do Rio Chororó.

► Levantamento topográfico: foi obtido com o clinômetro, o metro e a trena como prevê a metodologia da Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica (Figura 14) (BOULET *et al.*, 1982).

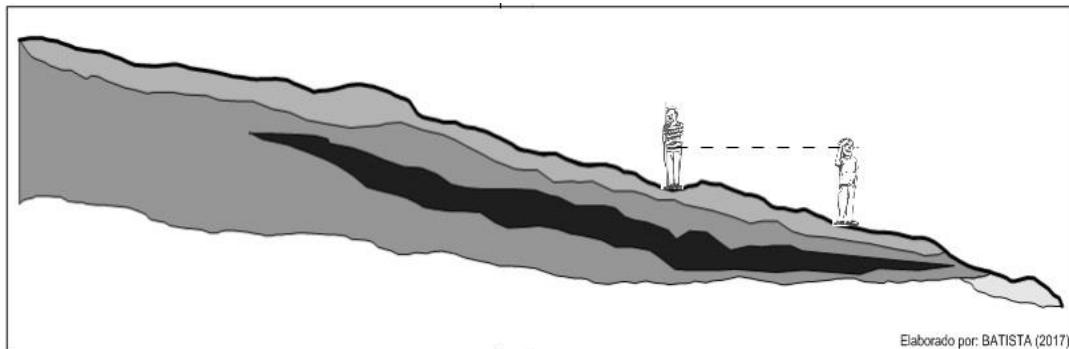


FIGURA 14. Realização do levantamento topográfico

► Levantamento pedológico: foram necessárias duas etapas. A primeira, para a realização de sondagens (trado holandês) a compreensão previa da distribuição, vertical e lateral, dos horizontes ao longo da vertente (Figura 15) e, a segunda, para a abertura de trincheiras e a realização da descrição morfológica dos perfis de solos e coleta de amostras, deformadas e indeformadas, e assim vem a realização das análises físicas e químicas. Para a descrição morfológica foi utilizado o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, de Lemos e Santos (2003). Nesta etapa, também foram utilizados os pressupostos teóricos e metodológicos da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet *et al.* (1982).

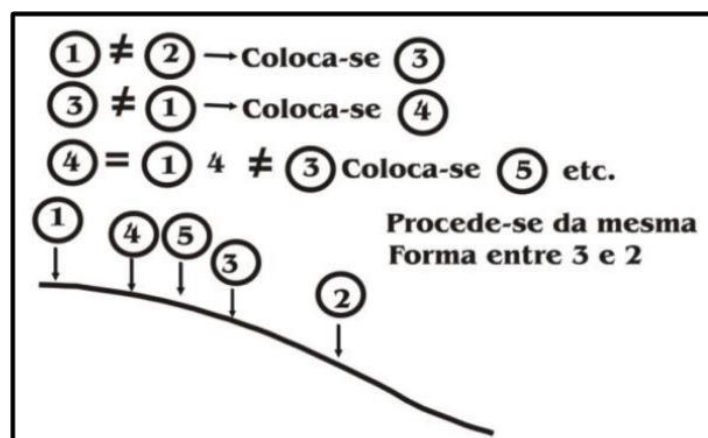


FIGURA 15. Realização do levantamento pedológico

Fonte: Boulet (1988).

3.3. TRABALHO DE LABORATÓRIO

As análises químicas foram desenvolvidas no Laboratório de Agronomia da UNIOESTE, campus de Marechal Cândido Rondon, e as análises físicas realizadas no laboratório da UTFPR de Medianeira e no Laboratório de Pedologia da Universidade Estadual de Maringá, a saber:

► Análises físicas desenvolvidas de acordo com métodos e procedimentos do Manual de Método e Análise de Solo desenvolvido pela EMBRAPA (1997).

- **Granulometria** – As análises granulométricas foram realizadas com o objetivo de conhecer a composição granulométrica dos perfis de solos do topossequência. Esta análise foi desenvolvida com base no método da pipeta. O procedimento baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que, uma vez seca em estufa é pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação e depois de secas em estufa são pesadas para a obtenção dos seus respectivos percentuais. O silte grosso e fino corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. É obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.

- **Relação silte/argila** – foi calculada dividindo-se os teores de silte por aqueles da argila, resultantes da análise granulométrica. Sendo obtido para verificar o estágio de intemperismo e movimentação de argila no perfil. Cabe ressaltar que valores $< 0,6$, no horizonte B e indicativo de grau de intemperismo alto.

- **Densidade do Solo** – foram coletadas amostras indeformadas de solo, por meio do uso de anel volumétrico de bordas cortantes e volume interno de 100 cm^3 . Depois de secas em estufa a 105°C e, por 24 horas, as amostras repassadas para o dessecador, e depois de frias forma novamente pesadas. O resultado, expresso em kg.dm^{-3} , foi obtido de acordo com a seguinte fórmula.

$$D_s = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C (kg)}}{\text{volume do anel (dm}^3\text{)}}$$

- **Densidade de Partículas** – os valores foram obtidos através da relação entre a massa de sólidos do solo e de seu volume, sendo expressa em kg.dm^{-3} . Consiste na determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo amostra de solo seco em estufa. Deve-se pesar 20g de solo, colocar em lata de alumínio de massa conhecida, levar à estufa e deixar por 6 a 12 horas. Após resfriamento, pesa-se a fim de obter a massa da amostra seca a 105°C . Em seguida, deve-se transferir a amostra para o balão volumétrico aferido de 50 ml, adicionando álcool etílico, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formam e prosseguir com a operação, vagarosamente, até a ausência de bolhas. Após 20 minutos, deve-se completar o volume do balão e anotar o volume de álcool gasto. Para obtenção do resultado, utiliza-se a seguinte fórmula matemática:

$$D_p = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C (kg)}}{50 - \text{volume de álcool gasto (m}^{-3}\text{)}}$$

- **Porosidade Total** – foi determinada pelo volume dos poros totais do solo ocupados por água e/ou ar, sendo estimada através da obtenção dos dados de densidade do solo (D_s) e densidade de partículas (D_p). Utiliza-se da seguinte fórmula matemática:

$$P = \frac{(\text{Densidade de partículas } [\text{kg.dm}^{-3}] - \text{Densidade do solo } [\text{kg.dm}^{-3}]) \times 100}{\text{Densidade de partículas } [\text{kg.dm}^{-3}]}$$

- **Resistência à Penetração** - empregou-se o penetrômetro de cone com anel dinamométrico. Para efetuar as medidas posicionou-se o penetrômetro verticalmente em degraus dispostos em cada horizonte do perfil, aplicando pressão manual constante a cada leitura, até que fosse introduzido totalmente o cone no solo. As medidas foram lidas em Kgf (quilograma-força), realizando a leitura no dinamômetro analógico instalado no anel dinamométrico do penetrômetro e convertendo-as para a carga aplicada. A resistência de penetração foi determinada dividindo-se a carga de penetração (Kgf) pela área da base do cone (cm^2). Como o diâmetro de sua base é

de 28,4 mm, a área da base do cone é de 6,33cm². Após, os resultados foram transformados em (MPa) mega pascal, aplicando-se a cálculo de conversão.

$$RP = \text{Kgf/cm}^2 * 0,0980665 \text{ MPa}$$

► **Análises Químicas:** foram realizadas no Laboratório de Agronomia da UNIOESTE, campus de Marechal Cândido Rondon, com os procedimentos propostos por Pavan *et al.* (1992), a saber:

- **Determinação do Fósforo** - deve se pesar exatamente 0,439g de KH₂PO₄ em um balão volumétrico de 1000 ml, adicionando 3ml de H₂SO₄ PA concentrado e completar com água destilada. Esta solução contém 100ppm de P, e assim diluir as soluções de P (100ppm) nas seguintes concentrações: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 ppm em solução de Mehlich. No momento da extração: deve-se transferir 5cm³ de TFSA para um copo plástico de 60ml, e adicionar 50ml da solução Mehlich-1, e agite durante 5 minutos e deixe descansar durante uma noite. Para se determinar os resultados deve-se pipetar 5ml de alíquota em tubos de 30ml e adicionar 10ml da solução B, e acrescentar uma pipetada de ácido ascórbico e agitar até a solução dissolver totalmente, e após 30 minutos efetuar a leitura no espectrofotômetro a 360nm. E em seguida deve construir a curva de calibração.

- **Determinação do Potássio** - usa-se uma solução de K⁺ 1000ml: secar 3g de KCl PA durante duas horas a 200°C na mufla e esfriar no dessecador, para depois transferir 1,907 do sal para o frasco de 1000ml e completar o volume com água destilada, e assim quando a solução padrão de K⁺: deve-se transferir 5, 10, 20, e 40ml da solução de K⁺ 100ppm para o frasco de 1000ppm e completar o volume com água de Mehlich. Esta solução padrão contém 5, 10, 20 e 40 ppm de K⁺. Para determinar: Transferir 20ml do extrato de Mehlich-1 para um tubo de ensaio de 30ml e efetue a leitura no fotômetro de chama, após ajustar o aparelho com a solução padrão de K.

- **Determinação do pH CaCl₂** - deve-se transferir 8cm³ de TFSA para um copo plástico de 60ml e logo após adicionar 20ml da solução de CaCl₂ 0,01M, e

agitar durante 15 minutos a 250rpm e efetuar a leitura no potenciômetro após 30 minutos.

- **Determinação da acidez trocável (Al) em KCl** - deve-se transferir 10cm³ de TFSA para erlenmeyer de 125ml; aí adiciona 100ml de KCl 1N; agitar e deixar em repouso durante uma noite. A seguir, transferir 15ml do sobrenadante para o erlenmeyer de 125ml, adicionar 25ml de água destilada, 3 gotas de solução de azul de bromotimol 0,5% e titular com NaOH 0,015N. Conduzir uma prova em branco titulando-se alíquota de 25ml de KCl 1N sem o extrato de solo.

- **Fatoração da solução de NaOH 1,0N** - transferir para o erlenmeyer de 125ml cerca de 2g de ftalato ácido de potássio ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ PM = 204,23), adicionar 50ml de água destilada e 4 gotas de fenolftaleína 0,1% m/v em etanol absoluto (uma solução incolor) e titular com a solução de NaOH 1N. Quando se atinge o ponto final da titulação tem como indicador o aparecimento de uma coloração rósea. Assim a solução de NaOH deve ser fatorada semanalmente.

- **Determinação da acidez potencial (H + Al) com a solução de CaAc_2** - colocar 10cm de TFSA em erlenmeyer de 250ml, e logo após adicionar 150ml de CaAc_2 1N, deixando agitar por uma hora e depois dos processos descansar por uma noite. Depois que o processo de descanso estiver concluído colocar 100ml do sobrenadante para o erlenmeyer de 250ml, adicionar 4 gotas de fenolftaleína 0,5% e titular com NaOH 0,01N até a cor do substrato ficar rosa, e paralelamente titular também uma prova em branco.

- **Determinação da acidez potencial (H + Al) com a solução tampão SMP** - adicionar 4ml da solução SMP em copo plástico onde será realizado o pH em CaCl_2 0,01M. Agitar por aproximadamente 20 minutos em 220 rpm e deixar em repouso durante uma noite. No outro dia agitar por 10 minutos deixando mais 30 minutos, e depois é só fazer a leitura do pH com o potenciômetro.

- **Determinação de Ca e Mg trocáveis em KCl por EAA** - transferir 10cm de TFSA para um erlenmeyer de 125ml, adicionar 100ml de KCl 1N, agitando por apenas 15 minutos e deixar em repouso por uma noite. No dia seguinte retira-se

uma alíquota de 0,1 ml da solução sobrenadante e adicionar 4,9ml da solução de lantânio (La) 0,1% assim as determinações de Ca e Mg são realizadas por espectrofotometria da absorção atômica (EAA) utilizando-as as soluções padrão de Ca e Mg contendo La e KCl nas mesmas concentrações.

- **Determinação de carbono orgânico** - transferir 1,0cm³ de TFSA para um erlenmeyer de 250ml, assim adicionando 10ml da solução de K₂Cr₂O₇ 1N e 10 ml de H₂SO₄ concentrado. Deixar esfriar durante 30 minutos, logo após adicionar 50ml de água estilada, 3ml de H₃PO₄ concentrado e 0,5ml do indicador (difenilamina 1%). E a sua titulação tem que ser desenvolvida lentamente com a solução de Fe SO₄ 1N até que se atinja a coloração verde antes, e por final adicionar mais 10ml de dicromato de potássio e ácido sulfúrico.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na apresentação dos resultados serão discutidos os dados associados as características morfológicas e físico-químicas dos solos referentes aos setores de alta, média e baixa vertente da topossequência. Para tanto, serão apresentadas correlações entre o comportamento morfopedológico e uso do solo, em associação com a dinâmica dos atributos físicos (granulometria, densidade, porosidade e resistência a penetração) e químicos (CTC, pH, MO, SB e V%). A correlação dos dados permitiu compreender a distribuição da cobertura pedológica em uma vertente representativa dos solos argilosos do município de Terra Roxa - PR (Figura16).

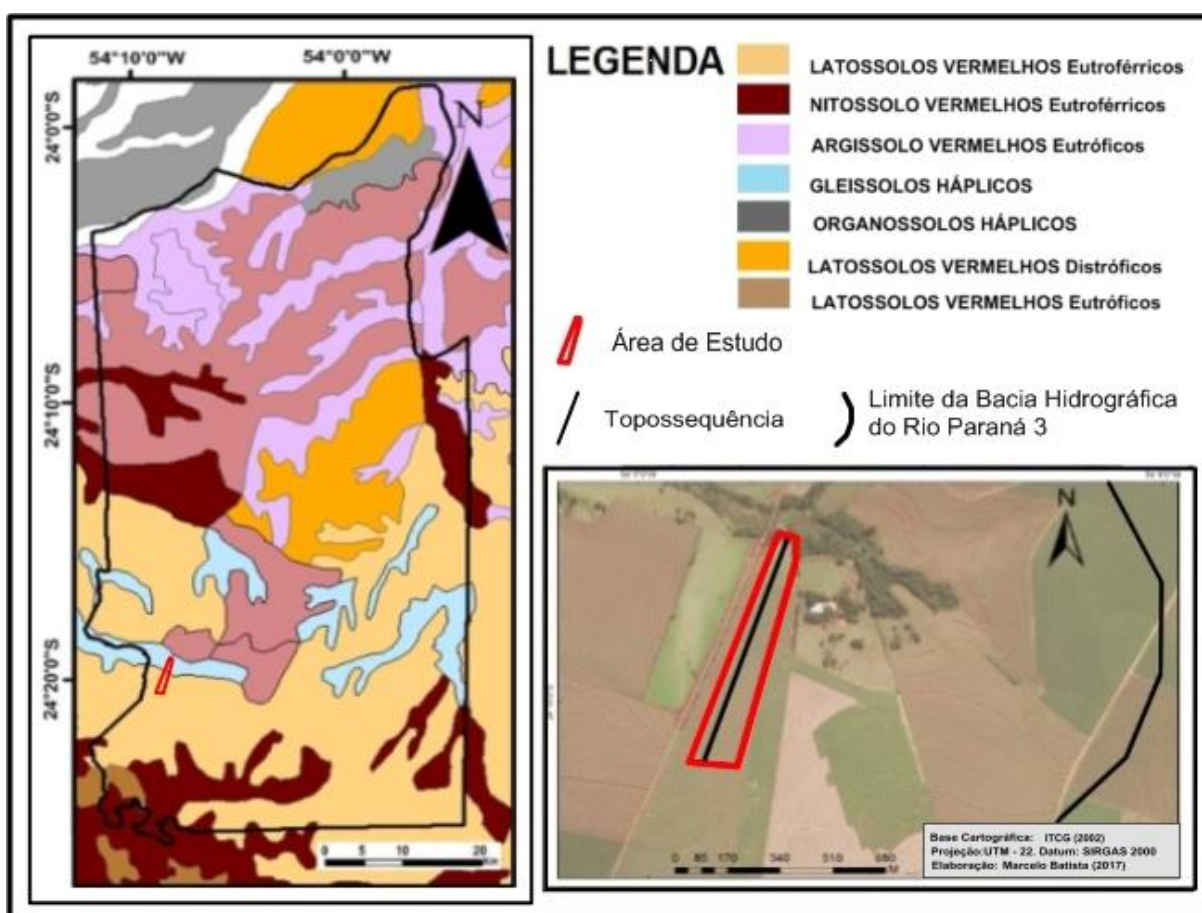


FIGURA 16. Mapa de solos do município de Terra Roxa com o recorte da área estudo.

4.3. ASPECTOS MORFOPEDOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO DA TOPOSSEQUÊNCIA

A topossequência de solos se localiza em uma propriedade rural do município de Terra Roxa (Figura 17), mais precisamente na cabeceira de drenagem da bacia hidrográfica do rio Chororó. Em toda a sua extensão a vertente apresenta aproximadamente de 1040 metros de comprimento e na sua alta vertente com uma altitude de 376 metros do nível do mar e em sua baixa vertente com 338, tendo assim um desnível topográfico 38 metros, com predominância da forma convexa (Figura 18). Em relação ao uso do solo a topossequência, apresenta cultivos temporários (milho, soja e trigo) no segmento alto e médio, bem como pastagem e cobertura florestal no segmento de baixa encosta.



FIGURA 17. Localização da topossequência na área de estudo.

A topossequência apresenta três segmentos topográficos distintos de acordo com suas formas de relevo, com variações verticais e laterais, em seus horizontes. O primeiro segmento, com 270 metros de extensão, da alta até a média vertente (sondagens 1 e 2 e trincheira 1) é constituído por três horizontes (A, A/B e Bw), com subdivisões do Bw em Bw1, Bw2 e Bw3. O segundo segmento, com 530 metros de

extensão, da média até a média baixa vertente (sondagens 2 a 6 e trincheira 2) com quatro horizontes (A, A/B, B nítico e Bw). O terceiro segmento, com 140 metros de extensão, da média baixa a baixa vertente (sondagens 6 e trincheira 3), com três horizontes (A, A/B e Bw).

Restrito ao fundo de vale, 100 metros (sondagem 7), onde não foi possível a abertura de trincheiras, verificou-se apenas com sondagem o horizonte A, A/B e o Gleissolo (Figura 16). O segmento da alta vertente fez-se presente o Latossolo foi identificado cinco horizontes A, A/B, Bw1, Bw2 e Bw3 (Figura 16). O horizonte (A), com extensão média de 15 cm de espessura, tem material predominantemente bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4) e textura argilosa, conforme demonstram os dados granulométricos apresentados na (Tabela 1 e Figura 19).

No horizonte A, a estrutura apresenta-se em blocos de aproximadamente 3 a 4 cm de diâmetro de forte a resistente, quando pressionado entre os dedos. Está maior resistência pode ser explicado pela evidente compactação verificada no campo com o teste de resistência a penetração realizada com o penetrômetro de anel dinamométrico e pela análise da densidade de solo, obtida em laboratório (Tabela 1). Neste material foram verificadas nódulos de argila, poucas raízes e uma composição de poros comuns e pequenos. A transição para o horizonte subsequente (A/B) ocorre de forma gradual.

No horizonte subjacente (A/B), de 15 a 30 cm de espessura, a cor predominante é o bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4). Sua textura é argilosa com boa plasticidade e maior pegajosidade se comparado ao horizonte superficial. Sua estrutura embora indique friabilidade apresenta-se na forma de blocos de aproximadamente 3 a 4 cm de diâmetro de forte resistência, quando pressionados entre os dedos, com fortes indícios de compactação. Além de poros comuns e pequenos foram encontrados poros oriundos da ação biológica e de restos de raízes finas. Foram verificados poucos cupins e poucos nódulos de argila. Sua transição para o horizonte subjacente é gradual.

O horizonte subsuperficial, que corresponde a um Bw, foi subdividido em Bw1, Bw2, Bw3. O Bw1 de 30 a 60 cm de profundidade tem cor vermelho-brunado-escuro (2,5YR 5/4), textura argilosa e consistência plástica e pegajosa. Em termos de estrutura apresenta-se friável ainda na forma de blocos de aproximadamente 2 a 3 cm de diâmetro de fraca resistência. Percebeu-se uma redução, ainda maior, de nódulos de argila e de poros comuns e pequenos com transição gradual para o horizonte Bw2.

Quadro 1. Descrição macromorfológica dos perfis

HZ.	PROF. (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	POROSIDADE	RAÍZES E ATIVIDADE BIOLÓGICA	TRANSIÇÃO	OBSERVAÇÕES
PERFIL 1 – Latossolo Vermelho Eutrófico									
A	0 – 15	2,5YR 3/4	Argilosa	Forte a resistência, blocos 3 a 4 cm de diâmetro	Plástica e ligeiramente pegajosa	Poros comuns e pequenos	Poucas raízes finas	Gradual	Com presença de nodulos de argila, apresentando condições de compactação
A/B	15 – 30	2,5YR 3/4	Argilosa	Blocos de aproximadamente 3 a 4 cm de diâmetro de forte resistência	Plástica e ligeiramente pegajosa	Poros comuns e pequenos, oriundos de cupins e restos de raízes finas	Cupins e restos de raízes finas	Gradual	Com uma diminuição nos nodulos de argila, ainda apresentando características de compactação
Bw1	30 – 60	2,5YR 5/4	Argilosa	Blocos de aproximadamente 2 a 3 cm de diâmetro de média resistência	Plástica e pegajosa	Poros comuns e pequenos e	Poucas raízes finas	Gradual	Com uma redução ainda maior nos nodulos de argila, material friável
Bw2	60 – 90	2,5YR 3/4	Argilosa	Blocos de aproximadamente 5 cm de diâmetro de fraca resistência	Plástica e ligeiramente pegajosa	Poros comuns e pequenos	Ausente	Gradual	Material friável
Bw3	90+	2,5YR 3/4	Argilosa	Estrutura granular	Consistência plástica e menos pegajosa	Poros comuns e pequenos	Ausente	Gradual	Material friável

Continua

PERFIL 2 – Nitossolo Vermelho Eutrófico									
A	0 – 20	10R 3/3	Argilosa	Blocos de aproximadamente 1 a 2 cm de diâmetro de forte resistência	Plástica e pegajosa	Poros comuns e pequenos	Poucas raízes finas	Gradual	Presença de nodulos de argila, fragmentos de carvão e compactação
A/B	20 – 50	10R 3/3	Argilosa	Blocos de forte resistência de 1 a 2 cm de diâmetro	Plástica e ligeiramente pegajosa	Poros comuns e pequenos	Poucas raízes finas, e atividades biológica	Gradual	Nodulos de argila e indicativo de compactação
B nítico	50 – 80	10R 3/3	Argilosa	Blocos de aproximadamente 4 a 5 cm de diâmetro de forte resistência, com presença de cerosidade	Plástica e pegajosa	Ausente	Ausente	Gradual	Nodulos de argila e indícios de compactação
Bw	80 +	10R 3/4	Argilosa	Estrutura granular	Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Ausente	Gradual	Material friável
PERFIL 3 – Latossolo Vermelho Eutrófico									
A	0 – 30	5YR 3/3	Argilosa	Blocos de 4 a 5 cm de diâmetro de forte resistência	Plástica e ligeiramente pegajosa	Poros comuns e pequenos	Com presença de muitas raízes finas e grossas	Gradual	Nodulos de argila. Localizada em uma área de mata ciliar
A/B	30 – 60	5YR 3/3	Argilosa	Blocos de 3 a 5 cm de diâmetro, moderadamente resistentes	Plástica e pegajosa	Poros comuns e pequenos	Poucas raízes e médias	Gradual	Nodulos de argila
Bw1	60 – 100	5YR 3/3	Argilosa	Estrutura granular	Plástica e pegajosa	Ausente	Poucas raízes finas	Gradual	Material friável
Bw2	100 +	5YR 3/3	Argilosa	Estrutura granular	Plástica e pegajosa	Ausente	Ausente	Gradual	Material friável

No horizonte Bw2, de 60 a 90 cm de profundidade, apresenta cor bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4), textura argilosa e consistência plástica e ligeiramente pegajosa. Embora friável o material apresenta estrutura em blocos de aproximadamente 5 cm de diâmetro, de fraca resistência, que se desfazem em blocos cada vez menores, quando pressionados entre os dedos. Tem porosidade comum e pequena e sua transição para o horizonte Bw3 é gradual.

O horizonte Bw3, de 90 a 120 cm de profundidade, continua com cor bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4) e textura argilosa. Embora continue de consistência plástica apresenta-se menos pegajoso, friável, com poros comuns e pequenos.

No segmento de média vertente encontra-se o solo Nitossolo. É constituído por quatro horizontes (A, A/B, B nítico e o Bw) - (Figura 16). Continua apresentando um horizonte A, de aproximadamente 15 cm de espessura, de cor vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3), textura argilosa, de consistência plástica e pegajosa. Apresenta estrutura na forma de blocos de aproximadamente 1 a 2 cm de diâmetro de forte resistência quando pressionados entre os dedos. Foram verificados poros comuns e pequenos, nódulos de argila e fragmentos de carvão com transição gradual para o horizonte subjacente A/B.

O horizonte A/B, de 15 a 30 cm de espessura, apresenta as mesmas características daquele do setor de montante, estrutura em blocos de forte resistência e com fortes indícios de compactação, comprovados no campo com o uso do penetrômetro de anel dinamométrico e com os dados densidade do solo, obtidos em laboratório.

O horizonte B nítico, de cor vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3), apresenta textura argilosa e estrutura em blocos de aproximadamente 4 a 5 cm de diâmetros de forte resistência, quando molhado o B nítico é plástico e pegajoso. O horizonte Bw apresenta características semelhantes aquelas observadas para o Bw no segmento a montante.

No segmento da baixa vertente, a manutenção dos horizontes A e A/B e Bw1 e Bw2. Nesses horizontes, os teores argila são relativamente mais baixos, menos do que aqueles observados a montante e mais profundo (Tabela 1 e Figura 19). No setor de baixa vertente, o horizonte Bw se estende lateralmente até o surgimento do lençol freático, quando passa a predominar condições de hidromorfia, dando a origem ao gleissolo, recoberto pela mata ciliar.

No segmento de alta vertente, compreendido pelo Latossolo Vermelho (TR 1) fica evidente o aumento da argila em profundidade, o horizonte superficial A apresenta 54,86% no seu teor de argila relativamente mais baixo do que aqueles dos horizontes subsuperficiais (A/B e Bw), indicando uma provável perda dessas partículas em superfície, mas sem configurar acréscimo texturais abaixo. A variação nos teores de argila em profundidade são relativamente pequenos (Figura 19 e tabela 1).

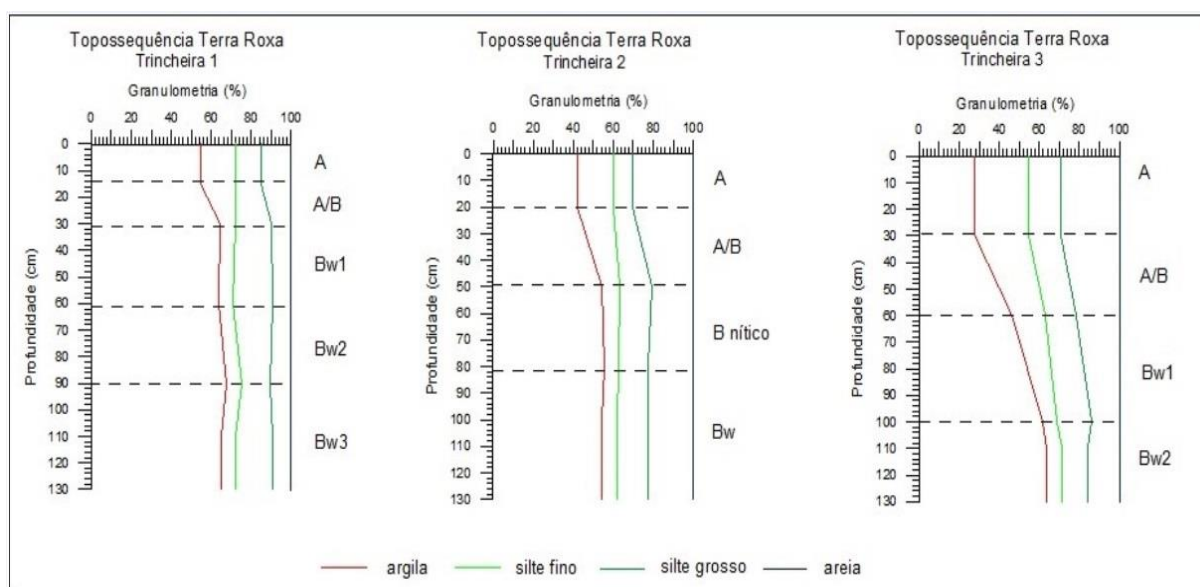


FIGURA 19. Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

No segmento da média vertente esses valores variam entre 42,01% no horizonte A e de 54,08% no Bw. O segmento da baixa vertente é onde encontra-se uma variação mais significativa, passa de 27,84% no horizonte A para 63,91% Bw.

Cabe ressaltar que, na TR 1, os valores de argila são superiores aos das TR 2 e da TR 3 (Tabela 1), enquanto que na média vertente, os teores de areia são relativamente mais altos. Isto pode estar associado a uma transição no material de origem do solo, como por exemplo, arenitos entremeados ao derramamento de lavas ou níveis amigdaloides.

Ao longo da vertente os horizontes A e A/B, respectivamente, apresentaram os índices de densidades dos solos mais elevados: 1,38 Kg dm³ e 1,29 Kg dm³

(Trincheira 1); 1,47 Kg dm³ e 1,35 Kg dm³ (Trincheira 2) e 1,35 Kg dm³ e 1,31 Kg dm³ na (Trincheira 3). Os índices de resistência a penetração, obtidos com o penetrômetro de anel dinamométrico, seguem os mesmos padrões: 2,74 MPa no A e no A/B (Trincheira 1); 3,72 MPa e 3,33 MPa (Trincheira 2) e 2,94 MPa e 2,74 MPa na (Trincheira 3). Sua porosidade total é de: 51,23 % e 54,41 % (Trincheira 1); 48,42 % e 50,90 % (Trincheira 2) e 57,78 % e 54,35 % (Trincheira 3), justificados pelos usos e manejos utilizados na propriedade (Tabela 1).

Em profundidade, esses valores de densidades dos solos são menores na trincheira 1. Foram verificados no horizonte Bw índices de 1,19 Kg cm³ (entre 30 e 60 cm), 1,24 Kg dm³ (entre 60 e 90 cm) e 1,23 Kg dm³ a partir dos 90 cm de profundidade o que confirma a condição de friabilidade do horizonte Bw no Latossolo Vermelho.

Valores de densidade dos solos, mais reduzidas em profundidade, também ocorre na trincheira 2, ou seja, tem valores de 1,31 Kg dm³ (entre 50 e 80 cm) e 1,33 Kg dm³ (nas profundidades superiores a 80 cm Bw), tal fato mostra que os horizontes superficiais (A e A/B) continuam compactados, embora estejam sobrepostos ao horizonte B nítico do Nitossolo Vermelho, que apresenta naturalmente densidades dos solos mais elevadas devido a sua estrutura. Fato que também merece destaque, nesse momento, é que esta classe do Nitossolo Vermelho não aparece como típica porque a topossequência está localizada em uma área de transição de solos mais argilosos para mais arenosos, influenciando assim em sua quantidade de areia, e pelo fato, do solo estar embutido entre o Bw, dando ao intender que essa classe de solo está sendo destruída.

Os dados obtidos na topossequência demonstram que os horizontes A, A/B e Bw, encontram-se presentes, desde a média vertente até o fundo de vale. Na média baixa vertente o B nítico desaparece por completo e o Bw apresenta-se dando a entender que o B nítico está sofrendo uma destruição remontante, de baixo para cima, dando origem a um Bw onde mais próximo do rio surge um Gleissolo. A transição lateral deste conjunto pedológico, da alta até a baixa vertente ocorre de forma gradual. A principal diferença está, portanto, na variação estrutural, o horizonte B nítico tem agregados mais resistentes sem deixar de destacar que a topossequência estudada encontra-se em uma área de transição de solos argilosos (Basalto) e solos arenosos (Arenito Caiuá).

Com relação aos dados químicos dos solos, observa-se que o pH H_2O mostra-se sempre acima dos resultados obtidos pelo pH em cloreto de cálcio CaCl_2 (Figura 20 e Tabela 2), evidenciando uma predominância no complexo absorvente, reações do tipo catiônicas.

Tabela 1. Atributos físico dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

Trincheira/ Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria				Resistência a Penetração MPa	Densidade		Porosidade Total (%)	Relação Silte/ Argila
		(%)					kg.dm ⁻³			
		Argila	Silte Fino	Silte Grosso	Areia		Solo	Partículas		
LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO										
1 – A	0 – 15	54,86	17,45	13,53	14,15	2,74	1,38	2,83	51,23	0,5
1 – A/B	15 – 30	64,13	8,1	17,92	9,83	2,74	1,29	2,83	54,41	0,4
1 – Bw1	30 – 60	63,96	6,75	19,83	9,45	2,45	1,19	2,96	59,79	0,4
1 – Bw2	60 – 90	67,48	7,67	14,03	10,79	2,45	1,24	2,90	57,24	0,3
1 – Bw3	90+	64,71	7,52	18,40	9,35	2,54	1,23	3,16	61,07	0,4
NITOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO										
2 – A	0 – 20	42,01	18,22	9,23	30,53	3,72	1,47	2,85	48,42	0,6
2 – A/B	20 – 50	54,06	9,25	16,04	20,54	3,33	1,35	2,75	50,90	0,4
2 – B nítico	50 – 80	55,53	7,12	15,07	22,26	2,94	1,40	3,01	50,53	0,3
2 – Bw	80 +	54,08	8,5	14,98	22,77	2,35	1,33	2,78	52,15	0,4
LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO										
3 – A	0 – 30	27,84	23,69	16,31	29,15	2,94	1,35	2,80	51,78	1
3 – A/B	30 – 60	46,32	16,80	15,51	21,32	2,74	1,31	2,87	54,35	0,6
3 – Bw1	60 – 100	61,78	6,87	17,63	13,70	2,74	1,33	2,86	53,49	0,3
3 – Bw2	100 +	63,91	7,57	12,53	15,97	2,64	1,32	2,96	55,40	0,3

No segmento de alta vertente onde ocorre o Latossolo, os dados de pH em água variam ao longo do perfil (Figura 20 e Tabela 2). Os horizontes A e A/B com uma reação caracterizada de acidez média de 5,65 e 5,70 com aumento gradativo nos horizontes Bw1, Bw2, Bw3, definidos como de acidez fraca que variam de 6,00 a 6,39 de acordo com a Embrapa (2006).

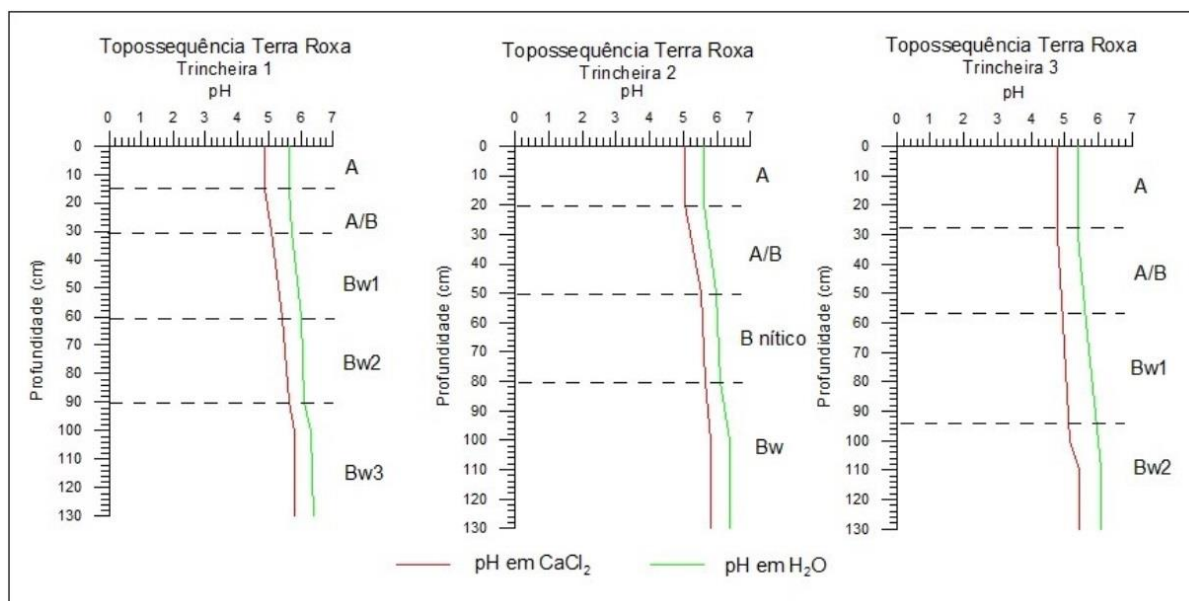


FIGURA 20. Variação vertical e lateral do pH dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

No segmento de média vertente, faz presente o Nitossolo, verifica-se que o pH em H₂O tem valores parecidos com os do segmento anterior. Os horizontes A e A/B são caracterizados como de acidez média de 5,60 a 5,99, enquanto que os horizontes B nítico e Bw atingem valores de (6,11 a 6,24), respectivamente, o que os caracteriza como de acidez fraca. No segmento da baixa vertente, ainda retoma o Latossolo, os valores de pH em H₂O são mais baixos no Bw. Os horizontes A e A/B tem valores de 5,39 a 5,64, considerados de acidez média, e o horizontes Bw tem valores de 5,97 e 6,06, acidez moderada.

Verifica-se que a capacidade de troca catiônica (CTC) é relativamente baixa em todos os setores da topossequência. Observa-se uma variação entre 5,32 e 9,04 cmol_c dm⁻³. Esses valores encontram-se dentro dos parâmetros químicos comumente encontrados nos Latossolos e Nitossolos. Ao longo da vertente esses

valores são mais altos em superfície com diminuição em profundidade, embora se mantenham constantes lateralmente.

Os valores de matéria orgânica (MO), da alta até a baixa vertente, apresentam concentração em superfície e diminuição em profundidade. Na baixa vertente nota-se que, em superfície, que o teor de matéria orgânica (MO) é menor no horizonte A ($6,84 \text{ g dm}^{-3}$) e maior no A/B com ($10,94 \text{ g dm}^{-3}$), tendendo a diminuir nos horizontes restantes. Nota-se uma queda drástica na quantidade de (MO) no horizonte A/B do perfil 1 ($4,10 \text{ g dm}^{-3}$), bem abaixo dos ($10,94 \text{ g dm}^{-3}$) no horizonte superficial A (Figura 21).

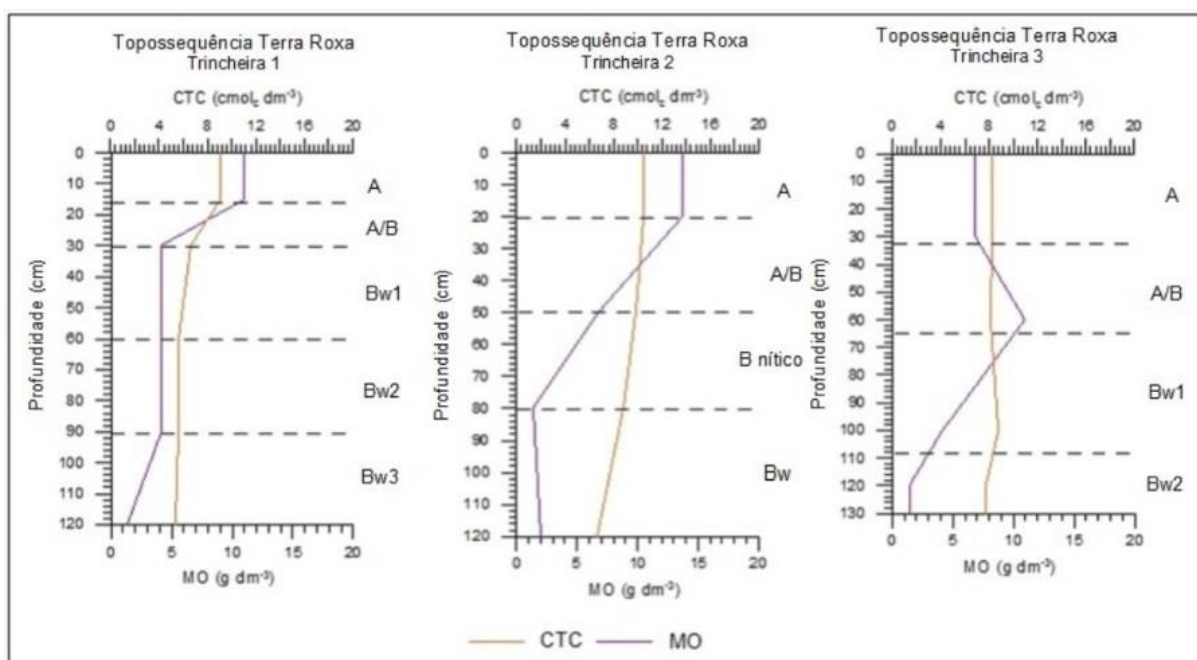


FIGURA 21. Relação CTC com a MO dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

Nota-se uma relação estreita entre os valores de CTC e de MO, particularmente nos segmentos de alta e média vertente. Apresentam valores de CTC e MO ($9,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $10,94 \text{ g dm}^{-3}$) na alta vertente e ($7,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de $13,67 \text{ g dm}^{-3}$) na média Vertente. Na baixa vertente os valores de CTC apresentam-se constantes ($8,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), apesar da pequena elevação do teor de matéria orgânica no A/B (Tabela 2).

É importante destacar o papel tanto da matéria orgânica quanto da CTC, suas funções é de fundamental importância para a formação dos agregados e na

estruturação do solo. De acordo com Magalhães (2013) o fenômeno de dispersão-floculação é influenciado pelos teores de matéria orgânica presentes no solo.

Tabela 2. Atributos Químicos dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

Trincheira Horizonte	Profundidade horizonte (cm)	pH		P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	CTC	V	MO
		H ₂ O	CaCl ₂	mg.dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----		-- % -	g.dm ³	
LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO													
1 – A	0 – 15	5,65	4,89	36,57	3,94	1,03	0,34	5,31	0	3,73	9,04	58,74	10,94
1 – A/B	15 – 30	5,70	5,07	1,39	2,40	0,66	0,34	3,39	0	3,29	6,68	50,77	4,10
1 – Bw1	30 – 60	6,00	5,40	0,29	2,00	0,53	0,34	2,87	0	2,81	5,68	50,53	4,10
1 – Bw2	60 – 90	6,11	5,64	1,26	2,27	0,53	0,13	2,93	0	2,65	5,58	52,54	4,10
1 – Bw3	90+	6,39	5,80	1,19	2,05	0,49	0,04	2,58	0	2,74	5,32	48,48	1,37
NITOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO													
2 – A	0 – 20	5,60	5,05	58,72	2,30	0,86	0,58	3,73	0	3,68	7,41	50,37	13,67
2 – A/B	20 – 50	5,99	5,51	0,96	2,54	0,74	0,49	3,78	0	2,87	6,65	56,83	6,84
2 – B nítico	50 – 80	6,11	5,66	1,09	2,50	0,58	0,23	3,30	0	2,81	6,11	54,02	1,37
2 – Bw	80 +	6,24	5,80	1,00	2,87	0,49	0,16	3,52	0	2,65	6,17	57,07	2,05
LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO													
3 – A	0 – 30	5,39	4,78	0,64	2,15	1,19	0,24	3,58	0	4,16	8,19	43,73	6,84
3 – A/B	30 – 60	5,64	4,94	0,97	3,39	0,62	0,15	4,16	0	3,99	8,15	51,07	10,94
3 – Bw1	60 – 100	5,97	5,16	1,03	4,79	0,58	0,11	5,48	0	3,29	8,77	62,47	4,10
3 – Bw2	100 +	6,06	5,43	0,88	4,07	0,62	0,14	4,82	0	2,87	7,69	62,70	1,37

Diante do exposto, cabe destacar, que o manejo convencional do solo de forma intensa, além de reduzir a concentração dos restos de cultivos anteriores, degradando as suas estruturas, devido a dispersão das partículas de argila com a ação das gotas de chuvas chocando direto no solo, e assim conseqüentemente vem a diminuir o teor de matéria orgânica presente no solo deixando-as mais fragilizadas a ação da erosão hídrica.

Os valores de saturação por base (V%) apresentam uma média de aproximadamente 52% nos volumes dos solos, indicando assim um caráter químico Eutrófico, predominando ao longo da topossequência (Tabela 2). O horizonte Bw1, têm valores de (50,53) na alta vertente e (54,02) na média vertente o valor do Bw1. Já a baixa vertente apresenta valor do B nítico (62,47), respectivamente.

De acordo com a Embrapa (2006), a saturação por base, serve como um parâmetro, separando solos férteis com valores de (V%>50), considerados eutróficos, para solos menos férteis com valores de (V%<50), determinados como distróficos. Verificou que os horizontes A e A/B da alta e média vertente são mais férteis se comparados com ao segmento da baixa vertente. Foram verificados valores de zero de (Al) em toda a extensão do perfil, ficando evidente que não há possibilidade de ocorrer problemas de toxidez para as plantas (Tabela 2).

Vale destacar também, o teor de fósforo encontrado em alta e média vertente no horizonte A, como mostra a (Tabela 2), em superfície encontra-se um teor muito alta, já na baixa vertente esses teores são mais baixo, motivado pelo fato, de se encontrar com pastagem (Figura 18), não necessitando de correção de fósforo, mostra-se que foi adicionado pelo produtor para aumentar o processo de metabolismo das plantas, melhorando a respiração e o processo de fotossíntese.

4.4. AS RELAÇÕES ENTRE AS ANÁLISES FÍSICAS, E A VULNERABILIDADE AO PROCESSOS EROSIVOS

No que se refere às condições físicas do sistema pedológico Latossolo e Nitossolo, de textura argilosa, oriundos do basalto da Formação Serra Geral, ficou claro que os processos de adensamentos estão, em média, entre 0 e 60 cm de profundidade, em toda a extensão da vertente, corroborando com Richart *et al.* (2005) quando estes discorrem que a compactação das camadas superficiais e

subsuperficiais são comuns em solos com cultivo intenso. Acrescenta-se a isso o que os autores também destacam que a compactação do solo promove mudanças na organização do espaço poroso.

4.4.1. Relação entre a resistência a penetração e a densidade do solo

A variação vertical e lateral dos dados de D_s encontrados na Topossequência de Terra Roxa (Figura 20, Tabela 1), evidenciam maior adensamento dos horizontes superficiais (A e A/B), aproximadamente até 60 cm.

Visando uma melhor interpretação dos dados associados ao adensamento e/ou compactação dos solos, foram comparados os resultados de RP com a D_s , sendo possível verificar que valores apresentaram importantes correlações (Tabela 1 e Figura 22). Nos horizontes A e A/B encontram-se os valores mais elevados de RP e D_s . Na (trincheira 1), localizada no segmento de alta vertente, onde se faz presente o Latossolo Vermelho, os valores de D_s , horizonte A, são de $1,38 \text{ kg.dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 15 cm e de $1,29 \text{ kg.dm}^{-3}$ no A/B na profundidade de 15 a 30 cm. Para fins de comparação, verificou-se que o horizonte A apresenta valores críticos e o A/B se encontra no limite do aceitável, quando se refere a compactação dos solos. De acordo com Arshad *et al.* (1996) os valores denominados como críticos para solos argilosos situam-se entre ($1,30$ a $1,40 \text{ kg.dm}^{-3}$).

Também foi verificado que os horizontes A e A/B apresentam valores de 2,74 MPa na profundidade de 0 a 50 cm e que esses valores são considerados altos para solos argilosos. Segundo Arshad *et al.* (1996), valores ($2,0 \leq RP < 4,0 \text{ MPa}$), são sempre considerados altos.

Na (trincheira 2), segmento de média vertente, onde foi identificado o Nitossolo Vermelho, verificou-se os valores de D_s mais elevados da topossequência. No horizonte A ($1,47 \text{ kg.dm}^{-3}$) na profundidade de 0 a 20 cm e $1,35 \text{ kg.dm}^{-3}$ no horizonte A/B na profundidade entre 20 e 50 cm. A resistência a penetração do horizonte A é de 3,72 MPa e de 3,33 MPa no horizonte A/B. Os valores mais elevados da trincheira 2, em profundidade, então podem estar associados à presença do horizonte B nítico.

Na trincheira 3, segmento de baixa vertente onde volta a parecer o Latossolo Vermelho, a densidade do solo no horizonte A é de $1,35 \text{ kg.dm}^{-3}$ na profundidade de horizonte A é de 2,94 MPa e no horizonte

0 a 30 cm e de $1,31 \text{ kg.dm}^{-3}$ no horizonte A/B na profundidade de 30 a 60 cm. Os valores de resistência a penetração do horizonte A é de 2,94 MPa e no horizonte A/B de 2,74 MPa. Apesar da diminuição nos valores de D_s , em seleção a TR2 estes ainda são classificados como críticos já que e os valores de RP continuam altos. Nota-se que esses valores continuam altos mesmo em profundidade (horizonte B), onde atinge o valor mais alto desse perfil.

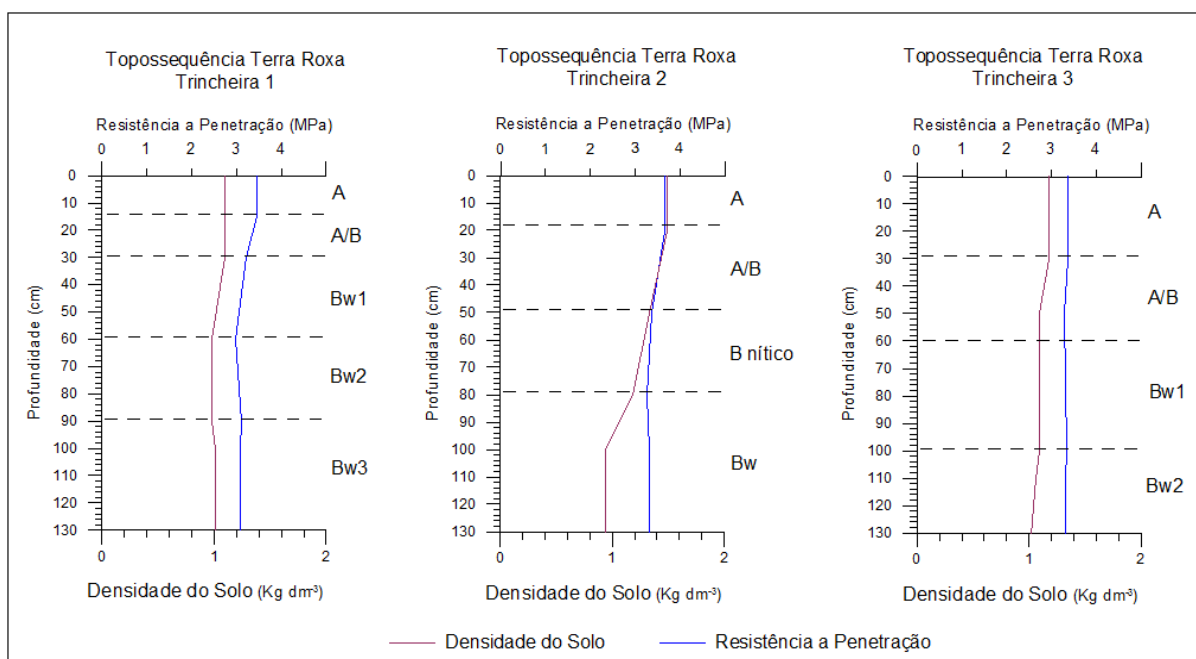


FIGURA 22. Relação Resistência a Penetração (RP) com a Densidade do Solo (D_s) dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

Com relação à densidade do solo fica evidente que os valores encontrados na topossequência são altos, entre $1,29$ e $1,47 \text{ kg.dm}^{-3}$ nas profundidades de 0 a 60 cm. Esses valores, de acordo com Camargo e Alleoni (2006), dificultam o crescimento radicular das plantas, pois o limite considerado crítico para solos argilosos é acima de $1,30$ a $1,40 \text{ kg.dm}^{-3}$.

Vale salientar que a interpretação da resistência a penetração depende de uma série de fatores, em geral, para Latossolos Vermelho onde é aplicado o cultivo de soja ou milho em um sistema de plantio direto, observam-se valores críticos entre 2,0 MPa a 2,6 MPa ou mesmo acima de 3,5 MPa (RICHART *et al.*, 2005). Para esse autor esses valores mais altos podem ser considerados limitantes para o crescimento das plantas ou da produção.

Seguindo os mesmos parâmetros, Beutler *et al.* (2006), constataram que valores de densidade do solo, a partir de 2,24 a 2,97 Mpa, já são suficientes para que ocorram prejuízos em um plantio de soja. Seguindo esses parâmetros, verifica-se que os dados dos horizontes superficiais dos solos da topossequência apresentam índices críticos de compactação em quase toda a sua extensão. Beutler *et al.* (2006) afirmam que solos compactados causam alterações no processo de distribuição das raízes por apresentarem um impedimento físico, ou seja, uma diminuição na quantidade e diâmetro dos poros que acabam por reduzir o processo de infiltração da água no solo, podendo dar início ao escoamento superficial, laminar e linear.

4.4.2. Relação entre a densidade do solo e a porosidade total

A porosidade total (PT) tem papel importante na conservação do solo. Quando se retira a cobertura original do solo para a ocupação antrópica, muitas vezes, ocorrem mudanças no espaço poroso devido à compactação.

Ao analisar os dados de porosidade total verificou-se uma variação ao longo da vertente (Figura 23 e a Tabela 1), com importantes correlações com a densidade do solo. Os solos apresentaram um aumento em sua Ds e uma diminuição em sua PT em superfície. Na trincheira 1, o horizonte A tem valores de 1,38 kg.dm⁻³ e 51,23% e no A/B valores de 1,29 kg.dm⁻³ e 54,41%, respectivamente. No Nitossolo Vermelho, encontrado no segmento de média vertente, o horizonte A apresentou 1,47 kg.dm⁻³ de DS e 48,42% de PT, tendo o A/B valores de 1,35 kg.dm⁻³ e 50,90%. Já o Latossolo Vermelho, encontrado no segmento da baixa vertente, trincheira 3, apresentou (Ds de 1,35 kg.dm⁻³ e PT de 51,78%) no horizonte A e (Ds 1,31 kg.dm⁻³ e PT 54,35%) no horizonte A/B (Figura 21).

Os resultados de PT em geral apresentam valores aceitáveis para os padrões agrícolas. Segundo Camargo e Alleoni (2006), um solo ideal apresenta porcentagens superiores a 50% de PT. No que se refere a capacidade de campo esse valor se subdivide em 33,5% ocupado por água e 16,5 ocupado por ar. Nota-se, no entanto, que a única realidade abaixo do 50% é encontrada na trincheira 2, no segmento de média vertente, onde se verifica uma PT de 48,42% no horizonte. A esse valor está atrelado ao uso agrícola empregado na área.

Os percentuais de PT têm importância muito grande na conservação dos solos e dos recursos hídricos e é fundamental para a manutenção da produtividade agrícola. Segundo Marcatto (2016) a diminuição dos espaços porosos impacta a produtividade, pois interfere diretamente no crescimento das plantas, tendo em vista que a movimentação vertical e lateral de ar, água e nutrientes nos solos, depende da sua porosidade.

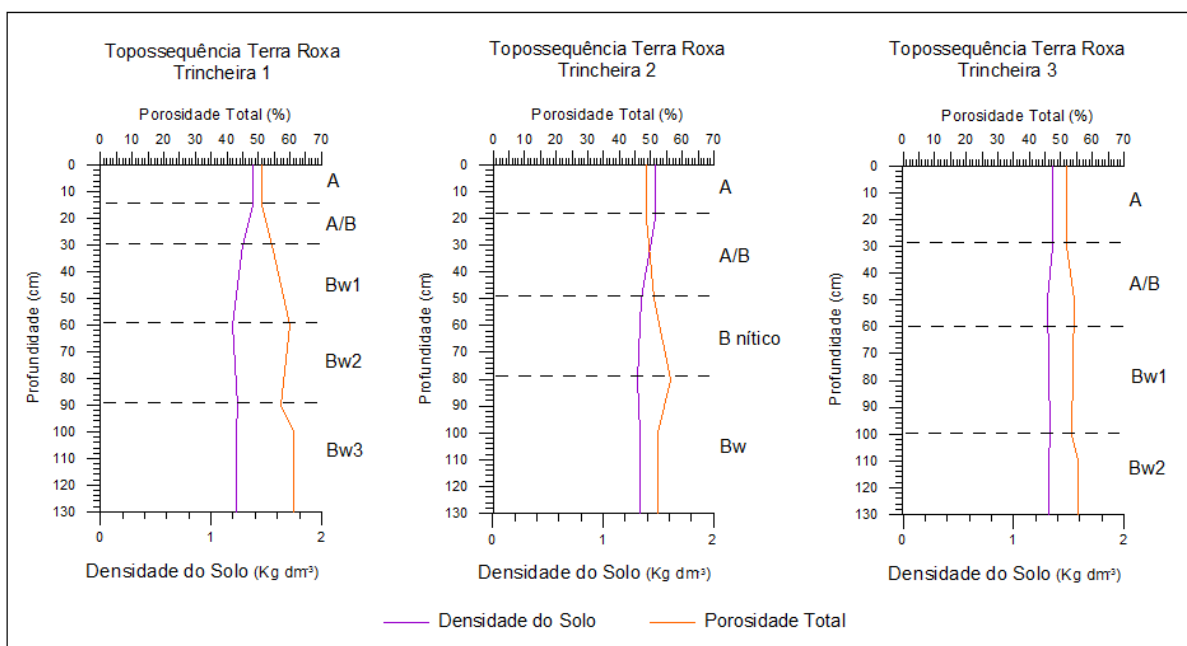


FIGURA 23. Relação Porosidade Total (PT) com a Densidade do Solo (Ds) dos perfis de solos da Topossequência Terra Roxa

Desse modo, a menor porosidade evidenciada nos horizontes A e A/B, bem como a reduzida densidade do solo, permite observar que tais condições estão particularmente associadas às alterações produzidas pelo uso e manejo do solo, nos horizontes mais superficiais ao longo do tempo. Segundo Marcatto (2016) as ações antrópicas apresentam grande influência, pois promovem modificações no solo com as suas práticas (aração, gradeamento, passagem de maquinários, etc.) que resultam em um maior adensamento (compactação) nas camadas superiores.

É importante destacar que, embora a porosidade total esteja próxima ao 50% nos horizontes superficiais, se por meio dos dados de densidade do solo e resistência penetração mostram uma evidente compactação do solo, oriunda das práticas de uso e manejo. Essa maior compactação em superfície, pode contribuir com o escoamento superficial e aumentar a vulnerabilidade ao desenvolvimento de

processos erosivos. Neste contexto, cabe considerar que a mecanização do solo para o uso agrícola deve ser acompanhada de técnicas de manejo que previnam a compactação dos solos.

Entre as práticas mais indicadas para a redução do escoamento superficial e controle de erosão estão: a diminuição do tráfego de máquinas e equipamentos pesados quando o solo se apresentar úmido; ao se preparar o solo para o cultivo deve-se evitar o uso de arado e grades; ao realizar a descompactação do solo usar o subsolador e escarificador ideal para cada tipo de solo. Entre essas técnicas podem ainda ser realizadas a correção da metragem das curvas de nível e a rotação de culturas e incorporação de matéria orgânica no solo.

Com a utilização de práticas conservacionistas por parte dos agricultores, os efeitos da compactação do solo podem ser minimizadas e a vulnerabilidade a erosivo pode ser reduzido, gerando assim uma melhoria na qualidade dos atributos físicos e químicos da cobertura pedológica.

CONSIDERAÇÃO FINAIS

Considerando os aspectos teórico e metodológico na conclusão deste estudo, no que refere-se ao processo de identificação da estrutura morfopedológica dos setores da topossequência de Terra Roxa, com destaque especial para a aplicação da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, foi possível estabelecer relações entre as formas do relevo presente na vertente e a distribuição dos solos na topossequência, assim como nota-se o selamento da estrutura dos solos analisando com as suas características físicas, e os processos de compactação relacionado ao uso e ocupação da área.

O estudo em detalhe da cobertura pedológica da topossequência de Terra Roxa evidenciou três perfis distintos, sendo classificado como: o perfil 1, o Latossolo, por ser mais espesso e evoluído, com a presença do horizonte Bw (B latossólico). No perfil 2 identificou-se o Nitossolo com a formação do B nítico, presente a partir da média encosta, quando as declividades, embora fraca, são um pouco mais elevadas. Na baixa vertente tem-se o retorno do Latossolo dando a entender que o Nitossolo está sendo destruído de baixo para cima, e no sopé mais próximo do rio encontra-se o Gleissolo.

As variações ocorridas ao longo da topossequência permitam identificar que no perfil 1 ocorrem os maiores teores de argila, sendo está bem distribuído em profundidade, já em outro extremo o perfil 3 mostra um empobrecimento de argila em superfície, provavelmente desencadeado pela força maior da água da chuva da chuva que transporta com facilidade as partículas mais finas do solo, ou pela ocorrência de material mais arenoso vindo de setores a montante da área e que ali se acumula. Outro fato interessante é a quantidade elevada de silte e areia, não sendo habitual em solos oriundos do basalto, isso ocorre devido ao fato que a área de pesquisa se localiza próximo de uma área de transição para o arenito.

Os resultados das análises de Ds, RP e PT, evidenciaram que os solos da topossequência apresentam condições de compactação maior em superfície. O perfil 2, onde está o Nitossolo, apresenta os maiores índices de compactação, o que justifica dizer que pode ter maior risco de ocorrência dos processos erosivos.

As relações observadas a Ds e RP na topossequência deixaram claras as ocorrências de compactação e mais intensas em sua superfície, o que pode ser explicada pelo uso de máquinas pesadas. A porosidade total embora não distingue a

micro e macroporosidade, mostra-se mais reduzida em superfície do que em profundidade. Pode-se, contudo, que a compactação observada em superfície afetou, a macroporosidade, tendo deste modo, influenciando também as características originais da infiltração da água e sua dinâmica no perfil da vertente.

Juntamente com os problemas de compactação verifica-se também a baixa concentração de matéria orgânica dos solos, constatado com as análises laboratoriais e comprovado com uma baixa concentração de restos de cultivos anteriores. Vale destacar que esta tem a capacidade de agregador das partículas de solo, desenvolvendo uma melhor proteção aos impactos das gotas de chuva.

Em termos de vulnerabilidade ao desenvolvimento de processos erosivos fica evidente que a vertente apresenta uma disponibilidade para a sua ocorrência, tanto de processos lineares como laminares, em partes atrelado pela maior quantidade de areia em profundidade, na baixa vertente, seguindo já ações de remanejamento de materiais.

Diante do exposto, conclui-se este trabalho sugerindo alguns cuidados:

- Que seja revisto o sistema de cultivo empregado na área e que se aplique o plantio direto de maneira mais adequada. Essa readequação no sistema de plantio é necessário para manter os restos de cultivos anteriores, fornecendo maior proteção sobre a camada superior do solo e propiciando uma maior agregação de suas partículas pelas hifas e fungos, já que, os dados da granulometria mostram que a média e baixa vertente ocorre uma considerável redução nos teores de argila, atrelado a uma baixa concentração de matéria orgânica, o que tende a piorar os problemas de erosão.
- Reduzindo o tráfego de máquinas pesadas sobre o solo para diminuir os efeitos da compactação, e em paralelo introduzir manejos capazes de aumentar a infiltração de água no solo, diminuindo seu escoamento superficial e consequentemente ajudando a conservação dos solos presente na vertente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. V. **Propriedades Físicas do Solo e Oligochaetas em Diferentes Sistemas de Uso da Terra no Alto Solimões – AM**. Lavra Minas Gerais 2011, p. 19 – 25. (Tese de Doutorado).

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. P. 123-141.

BADE, M. R.; **Definição e Caracterização das Unidades de Paisagem das Bacias Hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai)**. Marechal Cândido Rondon – PR, 2014. (Dissertação de Mestrado em Geografia) – UNIOESTE.

BADE, M. R.; ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. Geotecnologias aplicadas à cartografia geomorfológica: o estudo de caso da bacia do Paraná III BR/PY. In: II SEMINÁRIO INTERNACIONAL DOS ESPAÇOS DE FRONTEIRA, 2013, Posadas-Argentina, **Anais do II Geofronteiras**, 2013.

BAIZE, D. **Couvertures pedologiques, cartographie et taxonomie**. Science du Sol, v. 4, n. 3, p. 227-243, 1986.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; VÍCTOR HUGO ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação E Estabilização De Agregados Do Solo Influenciados Por Ciclos De Umedecimento E Secagem Após Adição De Compostos Orgânicos Com Diferentes Características Hidrofóbicas **Revista Brasileira Ciências do Solo**, **29**, 2005, p. 21 - 31.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Erosão. In: BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4ª. ed. São Paulo: Ícone, 1993. Cap. 7, p. 68-93. Erosão. In: BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3ª. ed. São Paulo: Ícone, 1993. Cap. 7, p. 68-93.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**, 3º Ed. São Paulo, 1998. P, 68 - 215.

BERVEGLIERI, A.; MENEGUETTE, M.; PITERI, M. A.; ANJOS, D. S. Classificação Fuzzy de vertentes por Thin-Plate Spline e Krigagem com comparação de resultados. **Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. **64**, p. 69-82, 2012.

BEUTLER, A. N.; CENTURIAN, F. J.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da Compactação na Produtividade Decultivares de Soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 2006, p. 787 – 794.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. I – Prise en compte l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les étude de toposéquenses et leurs principaux apport à la

connaissance des sols. **Cah. ORSTOM**. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n. 4. p. 309-322. 1982 a,b,c.

BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, v.21, Campinas. **Anais Campinas, SBCS**, 1988b, p. 79 - 90.

BOULET, R. **Toposéquences de sols tropicaux en Halte Volta. Équilibre et déséquilibre pedobioclimatique**. Tese – Université de Strasburg. Paris, 1974, p. 272.

BOCQUIER, G. Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation biogéodynamique. **Cah.ORSTOM**, sér. Pédol., v. IX, N° 4, 1973, p. 510.

BRADY, N. C. **A Natureza e Propriedade dos Solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989, p. 622 - 625.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Reconhecimento e Medida da Compactação do solo**. InfoBibos 2006.

CARDOSO, R. S. B.; PIRES, L. V. **Voçorocas: Processos de Formação, Prevenção e Medidas Corretivas**. Universidade Federal de Viçosa 2007.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAUJO, A.G.; LLANILLO, R.F. **Plantio direto no sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012, p. 77.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1994, p. 24 - 86.

CASTRO, A. R. **Resistência à penetração do solo em sistema grossilvipastoril, na região de cerrado do noroeste de minas gerais**. Lavras, UFLA, 2001, 47p.

CASTRO, S. S; SALOMÃO, F. X. T; **Compartimentação morfológica e sua aplicação: Considerações metodológicas**. GEOUSP, Espaço e tempo, n. 7, 2000, p. 27-37.

CASTRO, S. S; SALOMÃO, F. X. T. **Micromorfologia de Bases para descrição de lâminas delgadas**. Campinas: UNICAMP. 2002. 144 p.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980, p. 26 – 61.

COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. **Manejo para qualidade do solo** / Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Florianópolis, 2014, p. 13 – 17.

COSTA, T. C. C.; UZEDA, M. C.; FIDALGO, E. C. C.; LURNBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P. Vulnerabilidade ambiental em

sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra, **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, 2007, INPE, p. 2493 – 2500.

DEXTER, A.R. Advances in Characterization of Soil Structure. **Soil & Tillage Research**, 1988 v. 11, p. 199 – 238.

DIAS JUNIOR, M.S.; ESTANISLAU. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1999, v.23, p. 45 - 51.

DIKAU, R.; RASEMANN, S.; SCHMIDT, J.; Hillslope, Form. In: GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. International Association of Geomorphologists. v. 1, p. 516 – 521, 2004

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de Perda de Solo Por Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica**, Vitória 2006, p.19. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo.

DORAN, J. W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, 1996, p. 123-141.

DUFRANC. G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2004, v.28, p. 505 - 517.

DUMMER, J. **Análise dos Condicionantes do Meio e dos Usos Agrícolas na Ocorrência de Erosão Laminar no Município de Chuvisco, RS**. Porto Alegre. 2014, p. 13. (Dissertação Mestrado).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 1997, p. 228.

EMBRAPA – (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª edição Rio de Janeiro. 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Campina Grande, Setembro, 2012, p. 2.

FIDALSKI, J. Diagnóstico de Manejo e Conservação do Solo e da Água na Região Noroeste do Paraná. **Revista UNIMAR** 1997, p.845 - 851.

FILHO, F. X. O. **Análise Espacial da Compactação do Solo em Área Cultivada com Cana-de-Açúcar**. MOSSORÓ-RN, 2014, p. 24 – 26. (Tese doutorado).

FLAUZINI, B. K. **Degradação de Solos Pela Erosão Hídrica e Capacidade de Uso em Sub-Bacia Hidrográfica Piloto no Sul de Minas Gerais Itajubá – MG**, 2012, p. 4 – 17. (Dissertação Mestrado)

FLEISCHFRESSER, V. **Nas redes da conservação: Políticas Públicas e construção social das microbacias hidrográficas**. Universidade Federal do Paraná 1999, p. 252. (Tese de Doutorado)

GREGORY, V. **Os eurobrasileiros e o espaço colonial: migrações no Oeste do Paraná (1940-1970)**. Cascavel: Edunioeste, 2002.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R. G. M. **Características e Propriedade dos Solos Relevantes para os Estudos Pedológicos e Análise dos Processos Ambientais**. Anuário do Instituto de Geociências – V. 19, 1995, p. 30.

GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**, 2º Ed. Rio de Janeiro, 2005, p. 18 – 117 - 256.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2014, p. 17 - 50.

GUERRA, A. J. **Erosão dos Solos e Movimentação de Massa: abordagens geográficas**. Curitiba – Brasil 2016, p. 47 – 78.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Nota técnica: Espaçamento entre terraços em sistema de plantio direto**. Londrina: IAPAR, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades, 2010. **Contagem da População**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Histórico de Guaíra**. Acessado em 26 de dezembro de 2013. Fonte: biblioteca.ibge:<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lan=&codum=410880&search=gaira>. Acessado em 20 outubro de 2017.

ITCF (Instituto de Terras, Cartografia e Florestas). **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba: ITCF/IOC, 1987.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência À Erosão em Ravinas, em Latossolo Argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011, nº 35, p. 2167-2174.

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 5º. ed. SBCE. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2003, p. 83.

LUZ, A. B; PASSOS, B. C. O; SAMPAIO, B. C. S; GREGÓRIO, E. T.; PINTO, J. R; DIMEIRA, J. C; GONÇALVES, J. P. G; MOREIRA, N. I. S; ASSIS, C. M. **Prevenção e Contenção de Processos Erosivos Causados Pela Expansão Urbana no Município de Belo Horizonte – MG.** Belo Horizonte 2014, v. 7, n. 2, p. 151 – 160.

KÖEPPEN, W. **Climatologia. Com um estúdio de los climas de la tierra.** México. FCE.1936, p. 482 - 487.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** 3. Ed. Curitiba: Imprensa Oficial UFPR 2002.

MACEDO, J. R. CAPECHE, C. L. MELO, A. S. **Recomendação de Manejo e Conservação de Solo e Água.** Niterói-RJ 2009. Manual Técnico, p. 6 – 43.

MACEDO, F. R. **Ocupação das Áreas de Risco À Erosão na Área Urbana e Periurbana de Cidade Gaúcha – Paraná** Maringá – PR 2015, p. 18 (Dissertação de Mestrado).

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO)**, 2001, p. 1 – 11.

MAGALHÃES, R. A. **Gênese e Evolução de Sistemas Pedológicos em Unidade de Paisagem do Município de Marechal Candido Rondon.** Maringá, 2013. (Tese Doutorado)

MARCATTO, F. S. **O Efeito do Uso e Manejo nas Propriedades Físicas e Hídricas dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó – PR.** Maringá 2016, p. 12 – 24.

MARQUES, J. S.; **Ciência Geomorfológica.** In: GUERRA, A. J. T, CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma Atualização de Base Conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994, p. 27.

MARQUES, R. D. **Análise Pedológica em Topossequência Através da Relação Entre Precipitação e a Perda de Sedimentos na Encosta Itagiba, Zona Norte de Santa Maria -Rs.** Santa Maria, RS, 2010, p. 48. (Dissertação de Mestrado)

MOTTA, P. E. F. et al. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37**, n. 6, p. 869-878, 2002.

MAZURANA, M. **Atributos Físicos, Mineralógicos e Matéria Orgânica de Solos Relacionados à Capacidade de Suporte de Carga.** Porto Alegre 2011, p. 14 - 17. (Dissertação Mestrado)

MICHELLON, E. **O êxodo amientale econômico do Manejo de Solo e da Água na Microbacia Rio do Campo.** Acta Scientiarum Agronomy, 2003 v. 25, n. 2, p. 329 – 337.

MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. Escala 1:250:000 – 1:500:000, modelo reduzidos dos minerais do Paraná**; Universidade Federal do Paraná Curitiba 2006, p. 5.

MONTEZANO, Z.F. CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa 2006, v. 30, n. 5, p. 839 - 847.

MONTOVANI, E.C. **Compactação do solo**. Informe Agropecuário, v.13, n.147, 1987.

NADALIN, S. O. **Paraná: ocupação do território, população e migrações**. Curitiba: SEED, 2001.

NÓBREGA, M. T.; GASPARETTO, N. V. L.; NAKASHIMA, P. **Metodologia para cartografia geotécnica de Umuarama-PR**. Boletim de Geografia. Maringá, 1992. n.1, p.05 - 10.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. da. O Solo: Caminho, Abrigo e pão. In: VILLALOBOS, J. U.G. (Org.). **Ambiente, Geografia e Natureza**. Maringá: EDUEM, v. 01, 2001, p. 35-62.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR, 1992, p. 40.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)** Maringá 2005, v. 27, n. 1, p. 33 - 42.

PEARSON, R.W. **Soil environment and root development**. In: PIERRE, W.H.; KIRKHAM, D.; PESEK, S.; SHAW, R., (Eds.). **Plant environment and efficient water use**. Madison, American Society of Agronomy, 1966, p. 95 - 126.

PRIORI, A. POMARI, L. R. AMÂNCIO, S. M. IPÓLITO, V. K. **História do Paraná: séculos XIX e XX**. Maringá: Eduem, 2012. A história do Oeste Paranaense, p. 75 - 89.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M. **Propriedades Físicas e Químicas do Solo em Áreas com Sistemas Produtivos e Mata na Região da Zona da Mata Mineira**. R. Bras. Ci. Solo 2010, N° 34, p. 575 - 585.

QUEIROZ NETO, J. P. O estado atual dos estudos dos solos brasileiros. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, nº. 41, 1964, p. 3-22.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da Cobertura Pedológica no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21, 1988, Campinas. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Campinas: SBCS, 1988. p.415 - 429.

QUEIROZ NETO, J. P. A Geomorfologia na interface das ciências ambientais. In: **Encontro de Geomorfologia do Sudeste**. 1, Rio de Janeiro, 1995, p. 24.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo 2002 - USP. V.15 p.77 - 90.

RAKSSA, M. L. **Análise Estrutural da Cobertura Pedológica no Primeiro Planalto Paranaense: Estudo de Caso da Topossequência Fazenda Canguiri**. Curitiba 2007, p. 23 – 35. (Dissertação de Mestrado)

REINERT, D. J, REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Santa Maria, Maio de 2006.

REINERT, D. J.; COLLARES, G. L.; JOSÉ M. REICHERT, J. M. **Penetrômetro de Cone com Taxa Constante de Penetração no Solo: Desenvolvimento e Teste de Funcionalidade**. Eng. Agríc. Jaboticabal 2007, v.27, n.1, p.304 - 316.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades Físicas do solo Influenciadas Pela distribuição dos solos de seis classes da Região de Lavras-MG. **Ciênc. agrotec**, Lavras 2007, v. 31, n. 4, p. 1167 - 1175.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. de T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto rio da casca, MT. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.

RICHART, A.; FILHO. J, T.; BRITO. O, R.; LLANILLO. R, F.; FERREIRA. R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina, 2005 v. 26, n. 3**, p. 321-344.

REICHERT, J. M; SUZUKI, L. E. A. S. S.; REINERT, D. J. Compactação do Solo em Sistemas Agropecuários e Florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, p. 70 – 119.

ROCHA, A. S. **Morfopedologia e Fragilidade Ambiental nos Fundos de Vale do Trecho Superior do Córrego Guavirá**. Francisco Beltrão – PR, 2011, p. 22 - 54. (Dissertação de Mestrado em Geografia) – UNIOESTE.

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**. MARINGÁ – PR, 2016. (Tese Doutorado) – UEM.

RUELLAN, A. **Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 21, 1988. Campinas. A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1988a, p. 405 - 414.

RUELLAN, A. **Pedologia e desenvolvimento: a ciência do solo ao serviço do desenvolvimento.** In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Campinas, SBCS, 1988, p. 69 – 74.

RUELLAN, A. **Contribution à la Connaissance des Sols des Régions Méditerranéennes: les sols a profil calcaire différencié des Plaines de la Basse Moulouya** (Maroc Oriental), n'enregistrement au CNRS -A. 04086. 1970, p. 428.

RUELLAN, A. **“Les sols dans le paysage” Célébration du Cinquantenaire de l'AFES, Cah. ORSTOM, sér.Pédol.** 1984, vol. XXI, p.133 - 217.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol.** Paris: Les Éditions Foucher, 1993.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; FRANZ, C.A.B. **Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado.** Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2009, p. 53.

SALTON, J.C.; MIELNICZKUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008, v.32, p.11 - 21.

SANTOS, R. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 53 ed. revista e ampliada Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2015.

SALOMÃO, T.; XIMENES, F. **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos.** In GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**, 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005, p. 229.

SILVA, F. F. **O Processo em Topossequência de uma Encosta Situada no Alto Curso da Bacia do Rio Sana**, Macaé/RJ. *Anais da ABGE*, (2009).

SILVA, I.F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados d solo afetados pelo uso agrícola.** - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993, p. 4 - 9. (Tese de Doutorado)

SILVA, A. S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**, 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005, p. 101 - 116.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. **Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1998, v.22, p. 311 - 317.

STECA, L. C.; FLORES, M. D. **História do Paraná: do século XVI à década de 1950**. Londrina: UEL, 2008.

TEIXEIRA, N. C.; GUIMAÃES, C. D. C. **Métodos de contenção e estabilização de processos erosivos avançados e voçorocas no Brasil**. UFSJ, 2012, p. 1 – 14.

TRICART, J. **Ecodinâmica, Rio de Janeiro, IBGESUPREN**, Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977, p. 91.

TORRADO, P. V.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e Aplicações das Relações Pedologia - Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos Em Ciência do Solo**, Viçosa 2005, v. 4, p. 145 - 192.

TORRADO, P. V. **Relações solo x relevo em Mococa (SP). Influência das características topográficas e posição na vertente, nos atributos do solo**. 2005.

TORRADA, P. V.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceito e Aplicações das Relações Pedológicas – Geomorfologia em regiões tropicais úmida. **Tópicos Em Ciências do solo**, Viçosa 2005, v. 4, p. 145.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VARGAS, S. V. **Suscetibilidade a Movimentos de Massa: Um Estudo Geomorfológico na Sub Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim a Montante da Barragem do Dnos, em Santa Maria/RS**. Universidade Federal De Santa Maria, 2015, p. 34 – 38. (Dissertação De Mestrado)

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Revisão de literatura: Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2009, v.33, p. 743 - 755.

VIDAL-TORRADO, P; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 145-192, 2005.

VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. **Reflexão Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 229 – 231 - 235.

VITTE, A. C.; VILELA FILHO, L. R. **Estimativa de Perdas de Solos em Uma Bacia Hidrográfica Sob O Cultivo de Frutíferas, no Município de Valinhos (SP) GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, 2006, Nº 20, p. 45 – 64.

WACHOWICZ, R. C. **História do Paraná**. Curitiba: Vicentina, 1988.

WILLES, E. M; ALVES, L. R; SOUZA, E. B. C. **Dinâmicas territoriais no município de Terra Roxa-PR (1970-2007)**. Campo Grande, 2010, v. 11, n. 1, p. 71 - 80.

YOUNG, A. **Slopes**, London: Longman. 1972.