

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

MARIA CAROLINA BECKAUSER

**OS SOLOS E A DINÂMICA EROSIVA AO LONGO DE UMA VOÇOROCA NO
DISTRITO DE SUMARÉ EM PARANAÍ – PR**

Maringá - PR

2020

MARIA CAROLINA BECKAUSER

**OS SOLOS E A DINÂMICA EROSIVA AO LONGO DE UMA VOÇOROCA NO
DISTRITO DE SUMARÉ EM PARANAÍ – PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Silveira

Maringá – PR

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

B393s

Beckauser, Maria Carolina

Os solos e a dinâmica erosiva ao longo de uma voçoroca no distrito de Sumaré em
Paranavaí - PR / Maria Carolina Beckauser. -- Maringá, PR, 2020.
104 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Silveira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências
Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em
Geografia, 2020.

1. Arenito Caiuá. 2. Voçoroca - Noroeste Paranaense. 3. Análise Estrutural da
Cobertura Pedológica. I. Silveira, Hélio, orient. II. Universidade Estadual de Maringá.
Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de
Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 23.ed. 551.3

Jane Lessa Monção - CRB 9/1173

OS SOLOS E A DINÂMICA EROSIVA AO LONGO DE UMA VOÇOROSA NO
DISTRITO DE SUMARÉ EM PARANAVAÍ-PR

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa: Análise Ambiental

Aprovada em 19 de fevereiro de 2020.


BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Helio Silveira
Orientador - UEM



Prof. Dr. Maria Teresa de Nobrega
Membro convidado - UEM



Prof. Dr. José Edézio da Cunha
Membro convidado - UNIOESTE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pelo propósito a mim concedido, e por sempre me dar saúde e força para conseguir cumprir mais essa importante etapa de minha vida.

A minha mãe, Oralina Pereira de Moraes Beckauser, que nunca mediu esforços para ajudar no desenvolvimento de minha trajetória escolar/acadêmica.

Ao meu grande amigo e companheiro, Caio Cesar Barbieri, que sempre me tacha de louca, mas não se recusa em me auxiliar no que é necessário para conquistar meus objetivos.

Ao Professor Doutor Hélio Silveira, que é uma figura inspiradora para mim, e nunca mediu esforços para me orientar da melhor forma possível, muitas vezes sacrificou momentos com a família e de lazer, para me socorrer durante momentos de dúvidas e inseguranças.

Aos meus grandes amigos que o mestrado meu deu, Francieli Sant'ana Marcatto e Alan Charles Fontana, que compartilharam comigo, sem hesitar, todo o conhecimento e experiência que eles possuem.

Aos meus colegas de laboratório Andressa, Gustavo e Andreza, que me ajudaram a desenvolver os ensaios e atividades de campo, necessários para a realização desse trabalho.

As meninas da secretaria, Miriam e Josi, que sempre estiveram dispostas a esclarecer todas as dúvidas que iam surgindo no decorrer desse período.

Aos professores José Edésio Cunha e Maria Tereza de Nóbrega, que com suas contribuições, apontamentos e críticas construtivas, me ampararam no aperfeiçoando esse trabalho. A professora Maria Cleide Baldo, que me auxiliou na realização dos ensaios físicos, atividades de campo e me orientou na utilização dos dados climáticos.

Aos professores do PGE-UEM, pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas.

Ao Roberto, laboratoristas no departamento de Agronomia, e a Sandra, laboratorista do departamento de Química, pela ajuda e ensinamentos no desenvolvimento dos ensaios químicos.

Ao Grupo Fatecie, que sempre me apoiaram nessa busca pelo conhecimento e aperfeiçoamento profissional.

Em especial ao proprietário Sérgio Aleste, que possibilitou o desenvolvimento desse estudo no seu sítio, estando sempre disposto a nos receber.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

... O pequeno príncipe, ofegante, sentou-se à mesa.
Estava fadigado de tanto viajar
_ De onde vem você? – indagou o escritor.
_ Que livro grande é este? – Quis saber o pequeno príncipe. _ O que o senhor faz?
_ Sou geógrafo – informou o velho.
_ O que é um geógrafo?
_ É um estudioso que conhece onde se encontra os mares, os rios, as cidades, as montanhas e os desertos.
_ Muito interessante – admitiu o pequeno príncipe.
_ Eis, enfim, uma importante profissão! ...

**O pequeno príncipe – Antoine Saint-Exupéry
(Tradução Frei Beto, 2015)**

RESUMO

A região Noroeste do Paraná apresenta grandes problemas envolvendo a dinâmica erosiva dos solos, dinâmica essa que tem sido modificada pelas ações antrópicas. O presente trabalho buscou compreender o processo de evolução de uma voçoroca instalada em um sistema pedológico oriundo do arenito da Formação Caiuá, ao longo de um vale em berço, localizado no município de Paranavaí, no distrito do Sumaré. As metodologias empregadas para o desenvolvimento desse estudo foram: levantamento de imagens aéreas dos anos de 1980, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019; mapeamento do fluxo d'água; entrevista com o proprietário; análises dos dados pluviométricos dos anos de 1976 a 2018; análise estrutural da cobertura pedológica; ensaios físicos como: granulometria, argila dispersa e grau de floculação, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e estabilidade de agregados; condutividade hidráulica utilizando o permeâmetro de Guelp; análises químicas como, pH em água, KCl, SMP e CaCl, Δ pH e acidez potencial, macronutrientes (Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , P), Al^{3+} , carbono orgânico e o ataque sulfúrico para determinação dos óxidos de ferro, alumínio e titânio. Com base nas análises dos dados pluviométricos constatou-se que o ano de 2015 foi o mais atípico da série histórica, apresentando elevados índices de chuva e contribuindo para o avanço significativos da voçoroca. E ao longo da topossequência foram identificadas três classes de solos: na alta vertente o Latossolo Vermelho Ácrico típico, em direção a média vertente o Argissolo Vermelho Distrófico arênico, e no sopé o Neossolo Quartzarênico Ótico típico. Constatou-se que o sistema pedológico se apresentava em desequilíbrio e identificou-se duas frentes de transformação: a primeira ocorre do topo até a média vertente, quando o horizonte Bt avança de forma remontante sob o horizonte Bw, e o horizonte AB do topo é destruído pelo E da média vertente; e a segunda frente, acontece pelo avanço remontante do horizonte E do Neossolo Quartzarênico do sopé sob o horizonte Bt do Argissolo da média vertente. O manejo de pastagens contribuiu para alterações das características físicas do Latossolo. As características morfológicas do Argissolo da média vertente, interferem na circulação hídrica da topossequência e conseqüentemente na dinâmica erosiva da área. A pouca presença de matéria orgânica e argila no Neossolo do sopé, contribuíram para elevar a condutividade hidráulica do setor. Diante de todos os dados apresentados, pode-se concluir que a voçoroca apresenta duas dinâmicas erosivas, a primeira ocorre na média vertente, onde a evolução se dá em largura e a segunda ocorre no sopé, com uma evolução em profundidade.

Palavras-chave: Arenito Caiuá; Noroeste Paranaense; Análise Estrutural da Cobertura Pedológica; Voçoroca.

ABSTRACT

The Northwest region of Paraná presents major problems involving the erosive dynamics of soils, which has been modified by anthropic actions. The present work sought to understand the evolution process of a gully installed in a pedological system from the sandstone of the Caiuá Formation, along a cradle valley, located in the district of Sumaré, in the city of Paranavaí. The methodologies used for the development of this study were: survey of aerial images from the years 1980, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 and 2019; mapping of the water flow; interview with the owner; analysis of rainfall data for the years 1976 to 2018; structural analysis of pedological coverage; physical tests such as: particle size, dispersed clay and flocculation degree, total porosity, macroporosity, microporosity and aggregate stability; hydraulic conductivity using the Guelp permeate; chemical analyzes such as pH in water, KCl, SMP and CaCl, Δ pH and potential acidity, macronutrients (Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, P), Al³⁺, organic carbon and sulfuric attack to determine iron, aluminum and titanium oxides. Based on the analysis of rainfall data, it was found that 2015 was the most atypical year in the historical series, with high rainfall levels and contributing to the significant advance of the gully. And along the toposequence three classes of soils were identified: in the high slope the typical Acric Red Oxisol, towards the medium slope the Arenic Red Dystrophic Argisol, and in the foot of the typical Optical Quartzarenic Neossolo. It was found that the pedological system was imbalanced and two transformation fronts were identified: the first occurs from the top to the middle slope, when the Bt horizon advances reassemblingly under the Bw horizon, and the AB horizon from the top is destroyed by the E of the middle strand; and the second front, occurs due to the reassembling advance of the horizon E of the Quartossenic Neossol at the foot under the horizon Bt of the Argisol of the medium slope. Pasture management contributed to changes in the physical characteristics of the Oxisol. The morphological characteristics of the Argisol of the medium slope, interfere in the water circulation of the toposequence and consequently in the erosive dynamics of the area. The low presence of organic matter and clay in the Neossol at the foot contributed to increase the hydraulic conductivity of the sector. In view of all the data presented, it can be concluded that the gully has two erosive dynamics, the first occurs in the middle slope, where the evolution occurs in large scale and the second occurs in the foot, with an evolution in depth.

Keywords: Caiuá sandstone; Northwest of Parana; Structural Analysis of Pedological Coverage; Gully.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da topossequência na bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí.....	31
Figura 2. Produto Interno Bruto (PIB) e População Economicamente Ativa (PEA) de Paranavaí, PR em 2017.....	34
Figura 3. Fluxograma metodológico da pesquisa.....	35
Figura 4. Imagem ilustrativa da MaptorAgro/Horus Aeronaves, modelo de VANT utilizado..	37
Figura 5. Metodologia para realização das tradagens em uma vertente. Fonte Boulet (1988)..	40
Figura 6. Levantamento pedológico realizado à trado e os pontos da abertura de trincheiras....	41
Figura 7. Determinação do fator C. Fonte: Elrick et, al. (1987) apud. Ribeiro et, al. (2009)....	47
Figura 8. Localização da topossequência e da voçoroca na bacia de primeira ordem do Ribeirão Jacareí.....	51
Figura 9. Mapa de fluxo da bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí, distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	52
Figura 10. Imagem da voçoroca no ano de 1980. Fonte: ITCG, 2019.....	53
Figura 11. Precipitação média mensal de toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, para os anos de 1976 a 2018.....	55
Figura 12. Precipitação máxima absoluta mensal e a média mensal (linha preta) de toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, para os anos de 1976 a 2018.....	55
Figura 13. Precipitação total anual para toda a série histórica 1976 a 2018 do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, (linha horizontal representa a média climatológica – 1515 mm).....	56
Figura 14. Precipitação acumulada diária do ano de 2015 (o mais chuvoso de toda a série histórica) do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	57
Figura 15. Linha do tempo da evolução da voçoroca. Fonte: Google Earth, 2019.....	60
Figura 16. Erosividade média mensal para o distrito de Sumaré-Paranavaí-PR, dados de pluviosidade do período de 1976 a 2018.....	62
Figura 17. Fotografias ao longo da voçoroca.....	64
Figura 18. Imagem 3D da voçoroca.....	65
Figura 19. Distribuição dos horizontes pedológicos ao longo topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	67
Figura 20. Curva de isovalores de argila das sondagens na Topossequência Sumaré	74
Figura 21. Valores de densidade do solo dos horizontes na topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR Brasil	76
Figura 22. Distribuição diâmetro médio ponderado dos agregados ao longo da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil	81
Figura 23. Densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica dos Latossolos (setor I) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil	84
Figura 24. Densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica dos Argissolos (setor II) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	85
Figura 25. Densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica dos Neossolos Quartzarênicos (setor III) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de α sugeridos para os solos segundo ELRICK <i>et al.</i> (1989).....	47
Tabela 2. Painel temporal da quantidade de dias com chuva toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR Brasil.....	58
Tabela 3. Medidas de extensão da voçoroca ao longo de 2008 a 2019.....	59
Tabela 4. Medidas da voçoroca obtidas pelo VANT	64
Tabela 5. Descrição morfológica dos solos nas trincheiras levantadas na topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	68
Tabela 6. Dados de granulometria, argila floclada e argila dispersa das trincheiras da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	71
Tabela 7. Valores de densidade do solo (g.dm^{-3}), macroporosidade (%), microporosidade (%) e porosidade total (%).....	77
Tabela 8. Diâmetro médio ponderado dos agregados – DMPa (mm), carbono orgânico – CO (g.dm^{-3}), argila (%), óxido de ferro (g.Kg^{-1}) e óxido de alumínio (g.Kg^{-1}) para os horizontes de solo da topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	80
Tabela 9. Macroporosidade – Ma %, condutividade hidráulica – Kfs (cm/h e mm/h), dos horizontes pedológicos da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	84
Tabela 10. Dados de pH em água (H_2O), acidez trocável (KCl), em cloreto de cálcio (CaCl_2), solução SMP e delta pH (KCL – H_2O) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	87
Tabela 11. Dados de acidez potencial (H+Al), carbono orgânico (CO), fósforo (P), potássio (K^+), íons de cálcio (Ca^{2+}), íons de magnésio (Mg^{2+}), soma de base (valor S), alumínio extraível (Al^{3+}), capacidade de troca de cátions total (valor T) e saturação por base (valor V) da topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil	89
Tabela 12. Dados de óxidos de ferro (Fe_2O_3), alumínio (Al_2O_3) e titânio (Ti_2O) extraído por ataque sulfúrico da topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil.....	92

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
1.1 EROSÃO NO NOROESTE PARANAENSE E O HISTÓRICO DE PROGRAMAS DE COMBATE	14
1.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA	20
1.3 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS	23
1.4 COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DOS SOLOS	28
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
2.1 LOCALIZAÇÃO	31
2.2 ASPECTOS FÍSICOS	32
2.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	33
3. METODOLOGIA	35
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS	35
3.2 ESCOLHA DA ÁREA DE PESQUISA	36
3.3 LEVANTAMENTO HISTÓRICO DO USO DOS SOLOS NOS ANOS DE 1980-2008-2010-2012-2014-2016-2017-2018-2019	36
3.4 MONITORAMENTO COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO	36
3.5 ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	38
3.5.1 Tratamento dos dados	38
3.5.2 Painel temporal do total mensal de dias com chuva	38
3.5.3 Erosividade mensal da chuva	39
3.6 LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DA VOÇOROCA	39
3.7 ANÁLISE DA DINÂMICA DO PROCESSO EROSIVO	40
3.8 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA	40
3.9 ANÁLISES FÍSICAS	42
3.9.1 Granulometria	42
3.9.2 Argila dispersa em água	43
3.9.3 Grau de flocculação e grau de dispersão	43
3.9.4 Macroporosidade e microporosidade do solo	44
3.9.5 Porosidade total do solo	45
3.9.6 Densidade do solo	45

3.9.7 Estabilidade de agregados via seca	45
3.10 ANÁLISE HÍDRICA	46
3.10.1 Condutividade hidráulica	46
3.11 ANÁLISE QUÍMICA	47
3.11.1 pH em água, CaCl, KCl e SMP	48
3.11.2 Alumínio trocável (Al³⁺)	48
3.11.3 Macronutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺)	48
3.11.4 Determinação do P e K⁺	49
3.11.5 Carbono orgânico	49
3.11.6 Ataque sulfúrico para determinação de Fe₂O₃, Al₂O₃ e TiO₂	50
4. RESULTADOS	51
4.1 LOCALIZAÇÃO DA VOÇOROCA	51
4.2 DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA	54
4.3 EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA VOÇOROCA	59
4.4 ESTRUTURA DA COBERTURA PEDOLÓGICA AO LONGO DA VOÇOROCA	65
4.4.1 Granulometria, argila natural e grau de floculação	71
4.4.2 Densidade do solo e Porosidade total	76
4.4.3 Estabilidade de agregados	79
4.4.4 Condutividade hidráulica	84
4.4.5 Caracterização química	86
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

INTRODUÇÃO

O processo de erosivo faz parte da dinâmica natural do ambiente, sendo um dos principais agentes modeladores do relevo, que atuam através de inúmeros mecanismos em diferentes escalas espaciais e temporais. A intensidade do desgaste e transporte de sedimentos pode variar conforme as características climáticas, topográficas, geológicas e pedológicas da área.

Porém, atualmente, a dinâmica erosiva vem sendo intensificada devido às interferências antrópicas, causadoras da quebra do equilíbrio natural dos ecossistemas. Dentre essas interferências, podemos destacar o desmatamento, o avanço da urbanização desordenada, as atividades de mineração, a pecuária sem o manejo correto e as práticas agrícolas inadequadas. Todas essas atividades, quando ocorrem sem adoção de medidas conservacionistas dos solos, potencializam a ocorrência de processos erosivos.

A voçoroca é um processo erosivo de maior escala, onde o fluxo hídrico é o principal agente modificador, sendo essa ação mais intensa em períodos de chuvas volumosas ou quando ocorre uma concentração de fluxo hídrico no local. A dinâmica erosiva é mais acentuada em solos de textura média e arenosa. Dentre as consequências dessa problemática podemos elencar a inutilização de áreas agrícolas, assoreamentos de rios e reservatório, podendo comprometer o abastecimento de água, ameaças de obras viárias e estruturas urbanas (VIEIRA, 2008).

O estado do Paraná apresenta uma intensificação na ocorrência dos processos erosivos, durante o desenvolvimento da ocupação. Nos primeiros anos do século XX iniciou-se a ocupação das regiões norte e noroeste do estado, baseando-se em um modelo imediatista, que visava a substituição das matas nativas por atividades agrícolas, prioritariamente a cafeicultura, que foi substituída em meados de 1970 por culturas temporárias e pastagens. Tais mudanças ocasionaram graves problemas erosivos, principalmente na região Noroeste, gerando profundas alterações no meio físico e social (BIGARELLA, J. J. e MAZUCHOWSKI, J. Z., 1985).

Compreender a morfologia da cobertura pedológica é de extrema importância para buscar soluções ou estratégias de minimização da dinâmica erosiva. Características como textura e estrutura dos solos são de extrema importância para o funcionamento dos fluxos hídricos ao longo de uma vertente, pois estão diretamente ligadas a infiltração, permeabilidade e armazenamento da água no solo.

O noroeste paranaense é recoberto por solos oriundos dos arenitos da Formação Caiuá, que possuem textura média e arenosa. Esses solos, quando mal manejados, apresentam

processos erosivos que evoluem rapidamente, sendo bastante comuns erosões laminares e em sulcos nas paisagens urbanas e rurais da região.

O município de Paranaíba localizado na região Noroeste do Paraná, apresenta em sua paisagem a presença de inúmeros processos erosivos em diferentes escalas, tanto no perímetro urbano quanto no perímetro rural. A busca por soluções para essa problemática é um grande desafio para a população local.

Desta forma, se manifesta a necessidade de entender a origem e a evolução dos fenômenos erosivos. Os estudos envolvendo a evolução dos sistemas pedológicos e o seu funcionamento físico-hídrico são de fundamental importância para a compreensão da gênese e da dinâmica dos processos erosivos.

Portanto, o objetivo geral desse trabalho é compreender o processo de evolução de uma voçoroca instalada em um sistema pedológico oriundo do arenito da Formação Caiuá, ao longo de um vale em berço no noroeste do Paraná, localizada no município de Paranaíba, no distrito do Sumaré.

Nesse contexto, os objetivos específicos que este estudo busca cumprir, são:

- Analisar o processo de evolução da voçoroca utilizando imagens aéreas dos anos de 1980 – 2008 – 2010 – 2012 – 2014 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019, relacionando com a distribuição das chuvas ao longo dos últimos anos.
- Reconhecer o sistema pedológico ao longo de uma voçoroca ativa, por meio da metodologia proposta por Boulet et al. (1982 a.b);
- Examinar as características físicas e químicas dos solos, associando os resultados com o desenvolvimento do processo erosivo ao longo da vertente;
- Apresentar a variação da estabilidade de agregados ao longo da vertente;
- Avaliar o comportamento hídrico dos horizontes dos solos ao longo da topossequência, utilizando o permeâmetro de Guelph;

A fim de buscar alcançar os objetivos propostos, organizou-se esse trabalho em algumas etapas, inicialmente realizou-se um levantamento bibliográfico sobre a literatura científica envolvendo a temática, posteriormente ocorreu o trabalho de campo, seguindo de ensaios laboratoriais, por seguinte analisou-se e discutiu-se os resultados obtidos, e por fim concluiu-se de forma sintética os dados obtidos.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse tópico inicialmente estão expostas algumas das atividades realizadas por parte do Estado, para tentar minimizar ou recuperar processo erosivos no Paraná, posteriormente estão as pesquisas que envolvem a temática erosiva na região Noroeste do Paraná. Outro assunto abordado, são as pesquisas utilizando a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica proposta por Boulet *et al.* (1982 a.b.), por seguinte ocorre a apresentação de estudos envolvendo a estabilidade de agregados nos solos e por fim abordou-se a o funcionamento físico hídrico dos solos.

1.1. A EROSÃO NO NOROESTE PARANAENSE E O HISTÓRICO DE PROGRAMAS DE COMBATE

A problemática erosiva na região Noroeste do Paraná está relacionada com a ocupação, que ocorreu sem um planejamento adequado, levando-se em consideração os atributos físicos como as características da litologia local que deu origem aos solos com textura média e arenosa, sendo estes muito vulneráveis a degradação quando não são tomados os cuidados com o seu manejo e conservação (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

As considerações expostas inicialmente irão tratar dos fatores relacionados com a ocupação histórica, o uso e o manejo e as políticas públicas adotadas nas últimas décadas visando o controle da erosão na região Noroeste. No segundo momento serão abordadas algumas pesquisas científicas realizadas nessa região buscando compreender a gênese e a dinâmica dos processos erosivos.

Com a expansão da lavoura cafeeira, a vegetação natural do noroeste paranaense foi derrubada para a introdução dessa cultura até o final da década de 1940. O desmatamento acentuado aliado ao manejo inadequado, a intensa migração e exploração da área proporcionou a aceleração da degradação dos solos, levando ao rompimento do equilíbrio natural do ambiente (KUROWSKI, 1962; MAACK, 2012; BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985; MENDONÇA, 1990).

Conforme Carvalho (1994) a derrubada da floresta nativa e a implantação de um sistema agrícola imediatista acarretou não somente a perda de fertilidade natural dos solos, mas também a remoção parcial do horizonte A pela erosão hídrica em alguns sistemas pedológicos, acarretando o aparecimento de voçorocas.

Segundo Fasolo *et al.* (1988) o Noroeste do Paraná em quase sua totalidade é recoberto por solos oriundo do arenito da Formação Caiuá, que possuía uma fertilidade natural, inicialmente foi densamente utilizado pelos cultivos de café e posteriormente foi substituído por algodão e pastagens.

Diante deste cenário, os avanços dos processos erosivos não ficaram restritos apenas ao perímetro rural, mas também estiveram presentes na área urbana, destruindo vias de comunicação e comprometendo abastecimento de água de algumas cidades (KUROWSKI, 1962).

Com o avanço dos processos erosivos no Noroeste do Paraná o poder público precisou intervir. No final da década de 1960 o governo do estado do Paraná iniciou o primeiro programa que buscava combater as erosões com o auxílio do Departamento de Edificações e Obras Especiais (DEOE), através da construção de galerias de águas pluviais, poços de queda e dissipadores de energia. Em 1966 a Comissão de Estudo dos Recursos Naturais Renováveis (CERENA) elaborou um mapa de solos do Noroeste na escala 1:400.000 e no ano de 1967 foram realizados estudos em parceria com a Argentina, buscando solucionar a problemática de risco de erosão dos solos na Bacia da Prata (CASAGRANDE, 2012).

Em 1975, através do Decreto Federal nº76.470 de 16 de outubro, foi criado o Programa Nacional de Conservação dos Solos (PNCS) que tinha como objetivo combater a erosão hídrica e garantir o desenvolvimento das práticas preservacionistas em todo o Brasil com ajuda técnico-financeira federal à programas já existentes em alguns estados brasileiros (COLOZZI FILHO *et al.*, 2015). E em 1976 o governo federal em parceria com o governo do Paraná, juntamente com entidades públicas e privadas, criam o Programa Integrado de Conservação dos Solos (PROICS) que vigorou até 1980, onde buscava controlar as erosões hídricas rurais com práticas conservacionistas, utilizando a escala de bacias hidrográficas para aplicação de suas técnicas. Houve uma expressiva redução nas erosões, porém o Paraná deveria continuar lidando com a problemática de forma incisiva (FARIAS, 2009).

Ainda em 1976 foi formalizada a SUCEPAR – Superintendência de Controle de Erosão do Paraná, focando em obras de drenagem urbana para contenção de erosão nas cidades. Na década de 1980 surgiu o Programa de Manejo Integrado de Solos e Águas (PMISA) que realizava o planejamento das microbacias hidrográficas (bacias de primeira ordem de ramificação), visando produzir e ao mesmo tempo preservar ou recuperar os recursos naturais, atendendo 2,5 milhões de hectares (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

Já década de 1980 foram implantados muitos projetos de contribuições importantes para a conservação do solo no Paraná. Um deles foi a publicação de um manual, elaborado pelo então recém-criado IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), intitulado de “Plantio Direto no Estado do Paraná”, que apresentou esclarecimentos sobre o revolvimento do solo e sua exposição durante o plantio (VOTTRI, 2018). Outra referência importante foi a Lei Estadual nº 8014 de 14 de dezembro de 1984, que dispõe sobre a preservação do solo agrícola e adota outras providências no Paraná, como a política de uso racional dos solos agrícolas juntamente com planejamento de práticas preservacionistas (PARANÁ, 1985).

Durante o período de 1987 a 1990 foi fundado o Programa de Manejo Integrado do Solo e da Água (PMISA) que tinha como objetivo o manejo conservacionista do solo e da água no campo e nas microbacias hidrográficas, visando aumentar a renda do produtor e garantir a seguridade dos recursos naturais. Esse programa apresentou alguns diferenciais, como a capacitação técnica dos produtores rurais e a proposta de manejo integrado das microbacias interligando os terraceamentos em nível, além de reforçar práticas de reflorestamento, adubação verde e correção do solo (FARIAS, 2009; COLOZZI FILHO *et al.* 2015; VOTTRI, 2018).

Outra proposta do governo do estado, foi o Programa de Manejo das Águas, Conservação do Solo e Controle da Poluição em Microbacias Hidrográficas - Paraná Rural, implantado de 1989 até 1997, com a iniciativa do Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD). Esse programa via a erosão hídrica como um dos principais problemas dos recursos naturais do estado. O foco principal dessa proposta era dar assistência técnica aos produtores de várias regiões do estado, e aplicação de práticas de manejos conservacionistas e produtivas. Os resultados mostraram que a aplicação do conjunto de práticas resultou na diminuição da turbidez da água de mananciais em 49,3%, além de aumentar os índices de potássio, carbono e fósforo dos solos gerando um aumento da produtividade em algumas áreas. Outro aspecto importante observado foi que, os produtores de pequenas e médias propriedades apresentaram maiores índices de adoção das práticas do que os grandes produtores (FLEISCHFRESSER, 1999).

O Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES (2006) afirmou que o Programa Paraná 12 meses, nasceu com a iniciativa do Governo Estadual em parceria com o Banco Mundial em 1995. Com a finalidade de fortalecer a pequena propriedade rural, tornando-a eficiente, competitiva e lucrativa, com a atuação em duas vertentes: a primeira focada numa política compensatória da exclusão social da população rural, e a segunda a elevação da produtividade sem degradação ambiental.

Atualmente está em vigor o Programa Integrado de Conservação do Solo e da Água do Paraná (PROSOLO), fundado em 2012, com cinco eixos fundamentais: instituição do programa integrado de conservação do solo e água; capacitação de produtores rurais e técnicos; pesquisa e formação aplicada; operacionalização e revisão da legislação sobre solos e água. Em uma das pesquisas realizadas pelo programa recentemente constatou-se que alguns erros no plantio direto têm acarretado o retorno da erosão ao Paraná. Muitos produtores têm deixado de realizar as práticas de plantio direto associado a rotação de cultura e terraceamento, substituindo por semeadura direta e realizando o revolvimento do solo, deixando-o exposto. Estima-se que já tenha se perdido cerca de R\$ 1 bilhão em fertilizantes que foram levados pela erosão hídrica. As propostas do programa explicam que a rotação de culturas realizada corretamente e a associação das pastagens com lavouras melhoram a infiltração da água e a estrutura dos solos, garantindo um aumento de produtividade a médio e longo prazo (COLLOZI FILHO *et al.* 2015; VOTTRI, 2018).

A busca pela compreensão da gênese, dinâmica e consequências dos processos erosivos no Noroeste do Paraná, despertou interesse da comunidade científica, que se dedicou em analisar com diferentes metodologias o surgimento e a evolução dos processos e formas erosivas na região.

Fasolo *et al.* (1988) verificaram que os solos do Noroeste do Paraná quase que totalmente são originados do arenito da Formação Caiuá com textura média e arenosa, porém o manejo inadequado ao longo do tempo, acarretou a substituição de culturas temporárias por pastagens. Diante deste cenário, realizaram um mapeamento dos solos destacando a suscetibilidade à erosão e aptidão agrícola. Concluíram que a suscetibilidade à erosão é muito forte nos Argissolos vermelhos de textura média em declividade até 30%. Apresentam um horizonte A mais arenoso e com baixo teor de matéria orgânica e argila, tendo abaixo um horizonte Bt com maior concentração de argila. Em períodos de chuva o horizonte A e E tendem a saturar mais rápido que o horizonte Bt, provocando erosão na superfície. Outra classe de solo encontrada nessa região é dos Neossolos Quartzarênicos de textura arenosa, são observados geralmente em até 10% de declividade. Os baixos teores de argila e matéria orgânica e sua estrutura fraca, são responsáveis pela forte suscetibilidade, fazendo com que esses solos mesmo em relevos praticamente planos sejam altamente erodíveis.

Carvalho (1994) baseando-se nos estudos de Fasolo *et al.* (1988) propôs uma caracterização dos solos oriundo do Arenito da Formação Caiuá e sua suscetibilidade a erosão conforme seu posicionamento na vertente. Os resultados mostraram que os solos com maiores

expressões geográficas na região são os Latossolos Vermelhos textura média, com um horizonte superficial de textura média ou arenosa e o subsuperficial sempre de textura média, presentes nos amplos divisores de água, seguido pelos Argissolos Vermelhos textura média nas encostas ao longo do vale, que possui o horizonte A mais arenoso sucedido por um Bt mais argiloso. Quando as encostas possuem maior declive aparecem os Argissolos Vermelhos abruptos de textura média, essa classe de solo apresenta um aumento de argila em pequena distância, na transição do horizonte A ou E para o Bt. Concluíram que a suscetibilidade à erosão aumenta na classe dos Argissolos, devido a declividade e a diferença textural entre os horizontes.

Mendonça (1990) em seus estudos enfatizou a fragilidade do equilíbrio do meio no noroeste paranaense, destacou o quanto o desmatamento aliado as características dos solos da região juntamente com as alterações antrópicas, influenciaram na ocorrência da erosão hídrica e degradação ambiental.

Nesse sentido Castro Filho (1994) expõe uma experiência em microbacias nas áreas de ocorrência do arenito da Formação Caiuá, no município de Altônia, com o objetivo de melhorar a produtividade e inserir práticas conservacionistas para inibir ou conter os processos erosivos. Inicialmente o pesquisador aplicou um questionário diagnóstico aos produtores a fim de realizar uma classificação dos sistemas de produção predominantes e classificação socioeconômica. Posteriormente sugeriu um plano de ação de acordo com a necessidade de cada produtor, com práticas edáficas e mecânicas, para minimizar a degradação do solo e aumentar a produtividade. Como resultado apareceram algumas dificuldades para a aplicação do plano de ação. Uma delas foi a recuperação dos cafeeiros, onde os arruamentos foram postos de uma cerca a outra na propriedade, dificultando a manobra do animal que puxava o rolo-faca para incorporar o adubo verde. Outro entrave foi na recuperação da produtividade do milho, por ser híbrido e utilizado safra após safra, o grão era mais duro dificultando a alimentação dos animais. Modificações foram sugeridas nas safras seguintes por uma variedade mais mole. O terceiro entrave se deu na recuperação das matas ciliares, o gado consumia água do ribeirão, contribuindo para o desenvolvimento do processo erosivo. Nesse caso a recuperação se deu com a perfuração de poços e bombeamento para um reservatório comunitário, isolando os animais da mata ciliar. Todas essas ações foram custeadas pelo programa Paraná Rural.

Muratori (1996) constatou que no arcabouço tectônico-estrutural na região Noroeste do Paraná nos limites inferiores das porções convexo-retilíneas, em transição para as porções côncavo-planas, junto aos segmentos de primeira ordem da rede de drenagem situam-se a forte

presença de Neossolos Quartzarênicos, e que atualmente as relações antrópicas transformam as cabeceiras de drenagens em verdadeiros anfiteatros de erosão.

Matiazo (2018) analisou o avanço de uma voçoroca na bacia do córrego Jatuquara em Terra Rica – PR nos períodos de 1980, 2008 e 2016 por meio de fotografias aéreas e imagens de satélites. Os resultados mostraram uma evolução do processo erosivo; em 1980 havia quatro voçorocas, em 2008 vinte e nove e em 2016 trinta. Tal situação foi atribuída ao uso e manejo inadequado dos solos da região, que ignoraram as características naturais dos Latossolos Vermelhos de textura média e os Argissolos Vermelhos de textura média e arenosa oriundos do arenito da Formação Caiuá.

Alguns estudos contribuíram para planejamento urbano, tais como o de Souza (2001) que propôs uma classificação das feições erosivas. A metodologia envolveu um levantamento diagnóstico e algumas sugestões de medidas corretivas, das quais foram aplicadas nas áreas rurais e urbanas do município de Umuarama – PR em dozes sub-bacias hidrográficas. Os resultados apresentaram uma avaliação geral dos processos erosivos possibilitando a tomada de medidas corretivas, mitigadoras ou preventivas. Nas sub-bacias rurais não foi possível executar os procedimentos de decisão devido à ausência de detalhamentos das feições. Já nas sub-bacias urbanas ocorreram a aplicação completa do sistema, os tipos de feições erosivas identificadas foram permanentes (5° a 7° estágios) e as erosões de margens, seguida de lineares (2° a 4° estágios) dos *piping* e das laminares (1° estágio), essas feições foram encontradas em áreas de concentração de água pluvial, nascentes, margens de corpo d'água desprovido de vegetação. Foram sugeridas medidas conforme os processos erosivos de cada área, nas feições das áreas 2U (urbana) e 4U (urbana) que apresentaram ramificações laterais a medida mais adequada seria a implantação de drenos. Já nas feições erosivas 6U (urbana) e 7U (urbana) necessitaria de mais de uma medida, estabelecendo a proteção de taludes, drenos, aterramentos e bacia de acumulação, porém a feição 7U (urbana) por apresentar evolução do processo erosivo nas ramificações laterais ainda contemplaria a medida de implantação de canais.

Nóbrega *et al.* (2003) apresentam a Cartas de Zona de Risco a Erosão em Cidade Gaúcha – PR, inspirada na metodologia francesa ZERMOS (Zonas Expostas aos Riscos de Movimento do Solo). Nela são observadas seis diferentes zonas e/ou classes de risco hierarquizadas: zona de instabilidade declarada, zona de instabilidade potencial, zona de instabilidade potencial (cabeceira de drenagem), zona de estabilidade precária e zona estável. Os resultados mostraram uma predominância de ocupação da área urbana localizada na alta vertente com declividades fracas, sobre Latossolos Vermelhos classificada em zona estável, se expandindo, entretanto, em

direção as áreas recobertas por Argissolos Vermelhos em setores com declividades médias, que se caracterizam como zona de instabilidade precária. Nessas áreas, a ocupação é recomendável desde que sejam tomados certos cuidados sobre o controle do escoamento superficial. Porém, mesmo que em menor escala, áreas classificadas como de instabilidade potencial (cabeceira de drenagens), compostas por Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos Háplicos, onde não se recomenda a ocupação sem estudos específicos, foram englobadas pela urbanização. Como Zonas de Instabilidade Declarada, não recomendadas para ocupação foram enquadradas em áreas afetadas por processos ativos como ravinas e voçorocas, ou desbarrancamento de margens de ribeirões e córregos. Os autores concluíram que no perímetro urbano de Cidade Gaúcha – PR existem áreas que exigem estudos específicos para orientar uma melhor utilização e ocupação, e que caso essa orientação seja ignorada podem ocorrer risco para o ambiente e para a população.

1.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA

A metodologia apresentada por Boulet *et al.* (1982 a.b.c.) propõe uma representação da distribuição espacial das organizações pedológicas ao longo da vertente, denominando-a de “Análise Estrutural da Cobertura Pedológica” que envolve uma representação bidimensional das organizações dos solos e seus horizontes em topossequência. Nessa nova proposta dispunha-se de sondagens e abertura de trincheiras em pontos estratégicos para facilitar a observação e a compreensão da organização dos perfis dos solos. Posteriormente outras topossequências podem ser realizadas de forma paralela reconstituindo uma visão tridimensional, com os limites entre os horizontes dos solos cartografados através das curvas de isodiferenciação.

Tais pesquisas em solos de áreas tropicais, trilhou caminhos mais precisos para a ciência do solo, principalmente devido a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, que trouxe como contribuição a compreensão do solo como um meio organizado e estruturado em uma cobertura continua.

Cabe destacar algumas pesquisas que aplicaram a metodologia proposta por Boulet *et al.* (1982 a.b.c.) no Brasil, a fim de compreender a relação do relevo, do tempo e o material de origem na variação e diversificação de solos (CASTRO, 1989; NAKASHIMA, 1999; GASPARETTO, 1999; SANTOS, 2000; CALEGARI, 2000; KARLING, 2000; CUNHA *et al.*, 1999; FURQUIM, 2002; ZAPAROLI, 2009).

Alguns trabalhos foram pioneiros nos estudos de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica no Brasil, Castro (1989) em seus estudos na região de Marília-SP, constatou um sistema pedológico em desequilíbrio com uma transformação do horizonte B latossólico em B textural, que constituía em perdas de materiais da parte superior e acumulação na média e baixa vertente, gerando transformação da estrutura migroagregada para poliédrica. Verificou que essas transformações ocorriam de forma remontante ao longo da vertente ligada aos processos de evolução dos solos.

Em seus estudos Santos (2000) analisou a Bacia do Córrego da Ponte Preta, localizada no topo do platô Bauru, composta pelo sistema pedológico constituído por Latossolo – Argissolo – Gleissolo. Verificou que a formação do B textural possuía uma origem e evolução poligenética, que se dava somente pelo processo de transformação lateral do horizonte Bw, e também pelo processo de intemperização da base geológica. Essa situação possibilitou a formação de solos de idades diferentes, sendo os Latossolos mais antigos e os Argissolos mais recentes.

Furquim (2002) realizou seus estudos no município de São Pedro – SP, e verificou no segmento superior com baixa declividade a presença de Neossolo Quartzarênico, no médio segmento com média declividade os Argissolo Amarelo e Acinzentado, e no segmento inferior com alta declividade os Cambissolo Háptico e Neossolo Litólico. Concluiu que a ocorrência de processos químicos e mecânicos no interior da cobertura pedológica é resultado da circulação de água. Onde foi encontrado os Neossolos Quartzarênicos apresentavam a maior infiltração com um fluxo interno vertical de maior eluviação de plasma e dissolução de sílica, já os Argissolo Amarelo e Acinzentado e Cambissolo Háptico possuíam menor infiltração e maior fluxo lateral interno com muitos mosqueamentos.

O estado do Paraná também foi palco de vários estudos envolvendo a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, principalmente a região Noroeste na área de ocorrência do Arenito da Formação Caiuá. Gasparetto (1999) estudou três topossequências com solos originados do Arenito da Formação Caiuá, comprovando a relação da morfologia e a dinâmica da cobertura pedológica com análises micromorfológicas. Os resultados mostraram que ocorria a transferência de matéria causando mudanças do Bw para um Bt na média e alta vertente e em Neossolo Quartzarênico no sopé, sendo essas modificações decorrentes do recuo das cabeceiras de drenagem sobre os interflúvios e o aprofundamento dos vales por origem tectônica ou climática, comprovando que as formações superficiais do Noroeste do Paraná são alteradas *in situ*.

Nakashima (1999) realizou um mapeamento dos principais sistemas pedológicos característicos do Noroeste do Paraná, para compreender através das transformações pedológicas as dinâmicas hídricas e o grau de suscetibilidade à erosão da área. Foram elaboradas seis cartas representativas da região, e os resultados mostraram dois sistemas em equilíbrio: o I (Marilena) composto por Latossolo Vermelho textura argilosa, Argissolo Vermelho textura média e Gleissolo Háptico, apresentando sinais de erosão apenas nas baixas vertentes. E o sistema VI (Cianorte) composto por solos aluvias das planícies de inundação dos Rios Paraná e Ivaí, com menor taxa de erosão devido sua baixa declividade, exceto em ilhas do Rio Paraná.

Ainda segundo Nakashima (1999) os resultados apresentaram quatro sistemas em desequilíbrio, são eles: II (Paranavaí) compostos Latossolo Vermelho textura média - Argissolo Vermelho Amarelo textura média e Gleissolo Háptico, com transformações lentas e graduais nos sentidos verticais e laterais das vertentes, devido à baixa declividade os processos erosivos são mais atuantes na baixa vertente. Os sistemas III (Nova Esperança) e IV (Cidade Gaúcha) apresentam características semelhantes, ambos com um sistema pedológico com Latossolo Vermelho textura média, Argissolo Vermelho Amarelo Abrupto textura média e Gleissolo Háptico, com processos erosivos ao longo de toda vertente. O sistema pedológico V (Araruna) difere dos outros por estar situado em uma área de contato do Arenito da Formação Caiuá com o Basalto da Formação Serra Geral, o relevo com declividade mais acentuada. Na média vertente, possui um sistema pedológico composto por Latossolo Vermelho textura argilosa, Argissolo Vermelho Amarelo abrupto textura média, Nitossolo Vermelho textura argilosa e Gleissolo Háptico, os processos erosivos ocorrem de forma mais intensa na alta e média vertente, ou seja, na zona de contato litológico. Conclui-se que o desequilíbrio pedobioclimático desses sistemas se deve a degradação da floresta nativa e o manejo inadequado.

Cunha *et al.* (1999), realizaram estudos em uma vertente próxima a área urbana de Umuarama-PR, com um sistema pedológico composto por Latossolo Vermelho Escuro no topo, Argissolo Vermelho-Amarelo na média vertente e Neossolo Quartzarênico no sopé, a fim de compreender a dinâmica vertical e lateral da vertente, além do tipo de suscetibilidade à erosão de cada segmento. Os autores constataram uma transformação tipo eluvial-iluvial no sistema, na média vertente, onde os horizontes superficiais apresentam perda de material fino, enquanto que o horizonte Bt apresenta acumulação de argila, porém vai se degradando no terço médio da vertente, sendo substituído por um horizonte superficial mais arenoso, essa dinâmica observada caracteriza uma alta suscetibilidade erosiva.

Calegari (2000) analisou dez topossequências em Nova Esperança no alto vale do Ribeirão Águas do São Francisco onde foram identificados cinco sistemas: I-Latossolo-Neossolo Quartzarênico; II-Latosolo-Argissolo-Latossolo; III-Latossolo-Argissolo-Neossolo Litólico; IV- Argissolo-Neossolo Litólico; V- Latossolo-Argissolo-Neossolo Quartzarênico-Gleissolo. Todos esses sistemas apresentaram desequilíbrio e isso se deve a transformação pedológica e-iluvial. A cobertura argissólica surgiu através da destruição da cobertura latossólica, iniciando no terço inferior da vertente em direção a montante, no sopé da vertente ocorre o desenvolvimento de Neossolo Quartzarênico no sentido a montante.

No município de Cidade Gaúcha, Karling (2000) estudou três topossequências em uma cabeceira de drenagem. As topossequências 1 e 2 apresentavam a sequência Latossolo Vermelho textura média para um Neossolo Quartzarênico, devido a dinâmica hídrica que causava perda de argila nos horizontes superficiais na alta e média vertente. A topossequência 3 era toda formada por Neossolo Quartzarênico e na parte mais a jusante o freático encontra-se mais perto da superfície. Os resultados mostraram que toda a área estava em desequilíbrio, pois havia transformações laterais e verticais.

Os estudos realizados no município de Florai, por Zaparoli (2009), identificou as transformações pedológicas em um sistema composto por Latossolo Vermelho na alta vertente, de Argissolo Vermelho na média vertente e Neossolo Quartzarênico na baixa vertente, seguido de Gleissolo. Constatou-se três frentes de transformação: uma na alta vertente onde o Argissolo avança lateralmente sobre o Latossolo, a segunda frente, na média vertente onde prevalece os mecanismos verticais de e-iluviação sobre as laterais, e a outra na baixa vertente onde o Neossolo Quartzarênico avança sobre os horizontes do Argissolo lateralmente. Conclui-se que essas frentes atuam de formas e velocidades diferentes dependendo da forma e declividade da vertente, textura e estrutura do solo, oscilações do freático e estrutura da rocha.

1.3 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

A busca pela melhoria da estabilidade dos agregados e conseqüentemente da estrutura do solo acarretou em inúmeras pesquisas que permitiram realizar testes em várias classes de solos com diferentes manejos. Uma das formas para se analisar o tamanho e o estado do agregado é através, do Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados (DMPa) sugerida por Youker e Macguinness (1956).

Nesse sentido, o entendimento referente a estabilidade dos agregados dos solos permitem compreender a dinâmica erosiva, e quando aplicado na metodologia da análise estrutural é possível possuir um entendimento da evolução do processo erosivo ao longo da vertente e seu comportamento em diferentes classes de solos. Tais conhecimentos são indispensável para realização da inserção de práticas de conservação e manejo dos solos.

Nesse contexto é necessário levar em consideração a variação vertical e lateral da estabilidade dos agregados ao longo dos horizontes dos solos de uma topossequência. Medeiros *et al.* (2018) realizaram seus estudos no município de Araruna – PR, em uma área de contato entre o arenito da Formação Caiuá e basalto da Formação Serra Geral, e identificaram no setor I na alta vertente e no setor II na média a presença de Argissolo Vermelho abrupto de textura média, no setor III na baixa vertente constatou a presença de Nitossolo Vermelho textura argilosa. Os resultados mostraram que no Argissolo do setor I o DMPa do horizonte Ap possui um tamanho significativo, com 1,27 mm, isso se deve a concentração de matéria orgânica nesse setor oriunda do cultivo de café com feijão nas entrelinhas, diferentemente do Ap do setor II, que possui o DMPa de 0,27 mm, tal valor reduzido se deve ao baixo percentual de matéria orgânica das pastagens, enquanto que os maiores valores de DMPa dessa classe de solo se encontra no horizonte Bt, com 2,14 mm no setor I e 3,45 mm no setor II. O tamanho do agregado é justificado pela maior concentração de argila nesses horizontes, porém o setor II possui maior valor, decorrente do processo de e-iluviação de direção vertical e lateral. No setor III na classe do Nitossolo, os horizontes AB e B nítico possuem o mesmo valor de DMPa, 3,03 mm, porém no Bw o DMPa é de 1,83 mm. Essa mudança se deve as modificações morfológicas dos agregados que passam de subangulares, angulares e prismáticos no B nítico, para agregados granulares no horizonte Bw. Nesse segmento o manejo da cultura soja/milho/trigo de plantio direto não alterou o tamanho dos agregados.

Terrassi *et al.* (2014) estudaram a variação vertical e lateral da estabilidade dos agregados ao longo dos horizontes dos solos de uma topossequência no município de Tamboara – PR. Verificaram um sistema composto por Latossolo Vermelho textura média no topo, Argissolo Vermelho textura média na média vertente e Neossolo Quartzarênico na baixa vertente. No Latossolo, o horizonte A apresentou 16,5% de agregados com diâmetros maiores do que 2 mm, provavelmente por apresentar maiores teores de matéria orgânica nesse horizonte, e 77% de agregados menores do que 0,59mm. O horizonte Bw apresentou 6,1% de agregados maiores do que 2 mm, e, 84%, menor do que 0,59 mm. O Argissolo demonstrou um comportamento de e-iluviação entre os horizontes A/E/Bt. O horizonte A apresentava a

predominância de agregados de 0,46 mm, o E 0,35 mm e o Bt devido à ação cimentante da argila apresentou uma agregação de 0,73 mm. O Neossolo Quartzarênico possui o DMPa no horizonte A de 0,36 mm e no C de 0,44 mm, o menor diâmetro dos agregados para as classes de solos analisadas nessa pesquisa, devido à ausência de materiais agregadores, e a textura arenosa de estrutura macia que se desfaz em grãos simples.

A variação vertical da estabilidade dos agregados ocorre conforme seu uso e manejo agrícola, Silva (1993) destaca que as condições físicas de um solo podem se deteriorar de acordo com sua utilização, contribuindo para degradação das características químicas, físicas e biológicas diminuindo as estabilidades dos agregados.

Partindo desse princípio, Campos (1995) buscou verificar as influências da estabilidade de agregados em Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes sistemas de manejo e constatou que no sistema de plantio direto o DMPa é cerca de duas vezes maior do que no sistema de plantio convencional e relacionou essa diferença ao incremento de carbono e atividade microbiana encontrado na área com o sistema de plantio direto. De acordo com esses resultados Tisdall e Oades (1982) em suas pesquisas deixaram claro a importância da matéria orgânica como agente estabilizador dos agregados.

Castro Filho (1998) também realizou experimentos em Latossolo, a fim de comparar a estabilidade de agregados e o teor de carbono em sistemas de plantio direto e plantio convencional aliando a rotação de cultura. Verificou que houve um aumento expressivo de Carbono Orgânico e maior concentração dos agregados maiores de 0,25 mm no sistema de plantio direto na profundidade 0-10 cm em relação a mesma profundidade do sistema de plantio convencional. Concluiu que o plantio direto proporcionou maior agregação em relação ao plantio convencional independente da sucessão de culturas, porém a rotação de culturas foi importante para o volume e distribuição das raízes ao longo do perfil cultural do solo em cada rotação.

Neste sentido Salton *et al.* (2008) compararam a agregação do solo e a estabilidade de agregados em diferentes Latossolos no Mato Grosso do Sul, nos sistemas lavoura convencional, plantio direto, lavoura e pastagens, pastagens permanentes e vegetação nativa. Os resultados do Latossolo de textura média mostraram a presença de 40,9% dos agregados maiores de 4,76 mm na profundidade até 5 cm no sistema lavoura/pastagens e apenas 4,0% para o plantio convencional.

Porém, utilizando o sistema de semeadura direta Torres *et al.* (2015) compararam os valores de estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média

em Uberaba – MG sem cobertura no ano de 2000 e depois de 12 anos no mesmo local com implantação do sistema de semeadura direta. Para o ensaio de estabilidade utilizou-se amostra das profundidades 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. No ano de 2000 os resultados mostraram que os agregados maiores estavam nas profundidades 0,00-0,10 m e foram diminuindo de tamanho gradativamente nas camadas mais profundas, e após 12 anos de utilização do sistema de semeadura direta com diferentes culturas os valores apresentados seguiram o mesmo padrão, porém houve uma reestruturação do solo após a implantação do sistema, isso se deve a ação das raízes e do material orgânico ao longo do período observado.

Os estudos de Campos (1995), Castro Filho (1998), Salton *et al.* (2008) e Torres *et al.* (2015) mostraram a eficiência da utilização de práticas de preparo reduzido para com a estabilidade dos agregados, assim sendo, Albuquerque *et al.* (2005) avaliaram a estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico de textura muito argilosa em Chapecó – SC, em cultivos com preparo reduzido e preparo convencional. Foram avaliados cinco sistemas associado com o milho e comparando com a vegetação nativa. Os resultados mostraram após cinco anos da utilização do preparo reduzido a estabilidade de agregados foi semelhante à do preparo convencional, diferente do que se esperava, nem mesmo as intercalações utilizadas com o milho apresentou diferenças significativas. As maiores diferenças na estabilidade dos agregados se deu sob a mata nativa com 4,24 mm de DMP de 0-0,1 m de profundidade, enquanto que no preparo reduzido o DMP foi de 3,09 mm e no preparo convencional 3,34 mm. Os autores concluíram que a não recuperação da estabilidade dos agregados no preparo reduzido pode estar relacionado com o curto período de utilização do sistema.

Já Perusi (2008) comparou a estabilidade de agregados em Argissolo de textura média de áreas de florestas, pastagens e culturas anuais e constatou maiores valores de DMPa no horizonte A das florestas, devido à maior concentração de matéria orgânica, porém quando comparado a situação dos agregados do solo em culturas permanente e em pastagens, verificou-se maior valor DMPa em áreas de pastagens no horizonte A em comparação com as áreas de cultura permanente.

Correa (2002) também analisou a estabilidade de agregados em áreas de floresta nativa e comparou-as com áreas de cultivos anuais em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura médias em Querência – MT, as coletas das amostras ocorreram nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm. A área 6 composta por mata nativa, demonstrou 88% dos agregados maiores do que 2 mm, enquanto que nas áreas 2 e 9 ambas com plantio convencional da monocultura da

soja associada a utilização de grade aradoras e niveladoras, apresentaram 22,5% dos agregados maiores do que 2 mm na área 2 e 23,9% na área 9. Nesse sentido os dados demonstraram que o desmatamento associado ao preparo do solo como foi realizado para a inserção da monocultura da soja proporcionou maior fracionamento dos agregados.

Os estudos de Haynes e Beare (1996) já destacavam a importância da ação mecânica das raízes de pastagens para agrupamentos de microagregados e formação de macroagregados. Baseado nessa colocação, Salton *et al.* (2008) enfatizaram que o sistema de rotação de cultura aliado as pastagens proporciona maior estabilidade dos agregados de forma mais rápida e acentuada.

Sobre a maior presença dos DMPa em áreas de pastagens do que em solos de culturas anuais, Silveira (2001) atribui ao sistema radicular das gramíneas maior agregação e estabilidade ao solo, além da proteção gerada pela cobertura foliar mais densa que reduz as taxas de erosão.

Nesse sentido Calonego e Rosolem (2008) realizaram seus estudos avaliando a rotação de cultura, envolvendo a inserção de gramíneas no inverno em um Nitossolo Vermelho no município de Botucatu – SP. As amostras para o ensaio de estabilidade de agregados foram coletas nas profundidades 0-0,5 cm, 0,5-1,0 cm, 1,0-2,0 cm, 2,0-4,0 cm, 4,0-6,0 cm, a fim de verificar os efeitos de diferentes manejos na compactação do solo. Os resultados mostraram que a utilização da *triticales* (gramínea) como espécie de outono-inverno aumentou os agregados maiores do que 2 mm nas profundidades 0-0,5 cm e 0,5-1,0 cm, porém na primavera quando se inseriu a cultura da crotalaria, diminuiu a porcentagem de agregadores maiores do que 2 mm nas mesmas profundidades. Conclui-se que a estabilidade de agregados é influenciada diretamente pela rotação de cultura principalmente nos horizontes superficiais dos solos.

Guerra (1999) destaca que solos com baixo teor de argila necessitam de uma atenção maior na reposição de matéria orgânica durante o manejo, a fim de garantir agregados maiores evitando a ação intensa dos processos erosivos. Analogamente Bertoni e Lombardi Neto (2014) já garantiam que um dos efeitos do plantio direto é a redução da perda de solo pela erosão, tal fato se deve à garantia de uma cobertura de resíduos vegetais que aumentava a estabilidade dos agregados em horizontes superficiais.

1.4 COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DOS SOLOS

As características naturais dos solos influenciam na sua relação com a água e com os processos erosivos. Os solos de textura arenosa, que na maioria das vezes possuem maior concentração de macroporos apresentam menor retenção de água, em virtude de um arranjo mais aberto dos espaços porosos que gera uma dificuldade de reter a água. Já os solos de textura argilosa apresentam maior concentração de microporos e maior retenção de água por ação de seu arranjo mais fechado do espaço poroso, gerando um aumento no armazenamento de água (REICHERT *et al.*, 2004).

Conforme Nóbrega e Cunha (2008) a água quando infiltra no solo ela migra tanto lateralmente quanto verticalmente, esses deslocamentos podem ocorrer no meio saturado ou não saturado, produzindo transformações pedológica ao longo do perfil e da vertente.

Atualmente diversos estudos envolvendo o uso e manejos dos solos, relacionando a movimentação da água como indicador da qualidade dos solos tem auxiliado um desenvolvimento mais sustentável da agricultura.

Desse modo Sarvasi (1994) avaliou a dinâmica da água em um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos (plantio direto, escarificação, aração com implemento de disco e gradagem pesada). Os resultados foram melhores para o preparo reduzido, enquanto que o plantio direto e a escarificação apresentaram menores perdas por erosão, porém os resultados de condutividade hidráulica e infiltração foram melhores na escarificação. O autor concluiu que quanto maior for as alterações causadas pelo manejo, maior serão as modificações dos parâmetros físicos do solo e a dinâmica da água.

Utilizando o simulador de chuvas para ensaios, Panachuki *et al.* (2011) em seus estudos compararam a infiltração e perda de solo e água, em um Latossolo Vermelho no município de Dourados – MS, sob diversos sistemas de manejos com quantidades de cobertura vegetal (CV) diferentes: a semeadura direta com 0%, 65% e 77% (CV); preparo convencional com grade aradora com 0%, 11% e 16% (CV) e o preparo mínimo com escarificador com 0%, 14% e 23% (CV). Os resultados mostraram que as maiores perdas de água e solo foi no sistema de semeadura direta com 0% de cobertura vegetal, enquanto que no sistema de plantio convencional como um todo a taxa de infiltração foi a menor apresentada, por efeito de pouca quantidade da cobertura vegetal as gotas de chuva proporcionaram um selamento do solo, aumentando o escoamento superficial. Já no sistema de preparo mínimo com escarificador de forma geral apresentou a taxa de infiltração muito parecida com a da semeadura direta com

65% e 77% de (CV), isso ocorre, pois, a haste do escarificador revolve o solo garantindo que cobertura vegetal e a rugosidade permaneça na superfície. Conclui-se então que os melhores resultados de infiltração aconteceram no sistema de plantio direto com CV e no sistema de preparo mínimo com escarificador, pois a rugosidade e a cobertura vegetal atuam diminuindo o escoamento superficial e aumentando a infiltração.

Almeida *et al.* (2018) também fizeram uso do simulador de chuva para analisar a infiltração da água em áreas de: solo nu, plantio convencional de soja e plantio direto de soja, no município de Aquidauana – MS, durante uma estação chuvosa (novembro de 2013 a março de 2014) em um Argissolo Vermelho distrófico típico. Os resultados mostraram que ocorreu uma taxa de infiltração mais estável no sistema de plantio direto e os valores de infiltração pouco se diferenciava no solo nu para o plantio convencional da soja, exceto aos 80 dias após a semeadura. Os autores concluíram que a infiltração da água no solo é mais influenciada pela cobertura vegetal, dependendo do uso do solo, do que pelo manejo, ou seja, a degradação dos solos e o processo erosivo ocorre na mesma intensidade nas áreas de preparo convencional ou de solo nu.

Em relação aos diferentes usos dos solos, Marcatto *et al.* (2015) avaliaram o comportamento físico-hídrico no município de Iguaraçu – PR, no horizonte superficial (Ap) em duas classes de solos de textura média: o Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho. Os resultados mostraram que nas áreas de pastagens do Argissolo apresentou baixos valores de permeabilidade e altos valores de resistência à penetração, em virtude da pouca cobertura vegetal e intenso pisoteio de gado, enquanto que no Latossolo a baixa permeabilidade estava presente nas áreas de cana-de-açúcar assim como elevados valores de resistência à penetração, porém em ambas as classes de solos os resultados das áreas de floresta foi de maior na infiltração e condutividade hidráulica e menor resistência à penetração, isso se deve as boas condições físicas dos solos sob mata nativa. Os autores concluíram que os dados apresentados no Argissolo sob pastagens e no Latossolo sob cultivo da cana, são condizentes com o aumento da suscetibilidade à erosão, por apresentarem uma camada superficial compactada e reduzida infiltração da água, gerando aumento do escoamento superficial.

Já Martins (2016) realizou seus estudos em duas classes de solos: o Latossolo e o Argissolo, ambos de textura média, no município de Cidade Gaúcha-PR. A autora analisou a condutividade hidráulica e a infiltração, nos horizontes superficiais, subsuperficiais, ou seja, no Ap, AB, BA e Bw na alta vertente (Latossolo), e nos horizontes Ap, E e Bt na média para baixa vertente (Argissolo). Os horizontes superficiais e subperfcias (Ap, AB e BA) do Latossolo

Vermelho na alta vertente, apresentaram dificuldade de infiltração e aumento fluxos hídricos laterais em superfície devido a compactação, porém em profundidade no Bw ocorre um aumento da condutividade hidráulica e infiltração, tal fato está relacionado a morfologia da estrutura granular do horizonte. Observou também que no Argissolo Vermelho ocorre o inverso, a permeabilidade é maior nos horizontes superficiais e subsuperficiais (A e E), já no horizonte Bt ocorre uma redução intensa da infiltração e da condutividade hidráulica, devido a acumulação de argila nesse horizonte, essa situação proporciona um escoamento superficial lateral favorecendo a erosão dos solos. Pode-se concluir que essas abordagens podem contribuir para um entendimento do funcionamento e da dinâmica hídrica dos horizontes ao longo da vertente, permitindo compreender as causas do surgimento e evolução das erosões no noroeste do Paraná.

Ainda em Cidade Gaúcha, Cunha (2002) buscou caracterizar o funcionamento hídrico de um sistema pedológico composto Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, com o auxílio do infiltrômetro multidisco. A cobertura latossólica apresentava alta densidade do solo e porosidade total reduzida o que proporcionava maior dificuldade de infiltração da água nos horizontes superficiais caracterizando fluxos hídricos laterais mais intensos, porém em profundidade, no Bw os fluxos hídricos verticais eram mais ativos. Os ensaios de chuva simulada mostraram que escoamento superficial e a condutividade hidráulica se estabelecia mais cedo e de forma mais volumosa no Latossolo. Na transição do Latossolo para o Argissolo ocorria um fluxo lateral suspenso com retirada de argila da alta vertente e deposição na média, respectivamente do horizonte Bw para o Bt. A cobertura argissólica apresentava maior fragilidade decorrente da maior velocidade de infiltração no sentido vertical nos horizontes superficiais que facilitava a remoção da argila em direção ao Bt, gerando fluxos laterais mais intensos. Em suma pode-se concluir que o maior potencial erosivo está nas classes dos Argissolos, em razão da diferença textural que gera dois fluxos hídricos diferentes, um na superfície e outro na subsuperfície, outro aspecto relevante nessa situação é a declividade, que contribui para ao aumento da velocidade dos fluxos hídricos, ou seja quanto maior a velocidade maior a erodibilidade.

2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

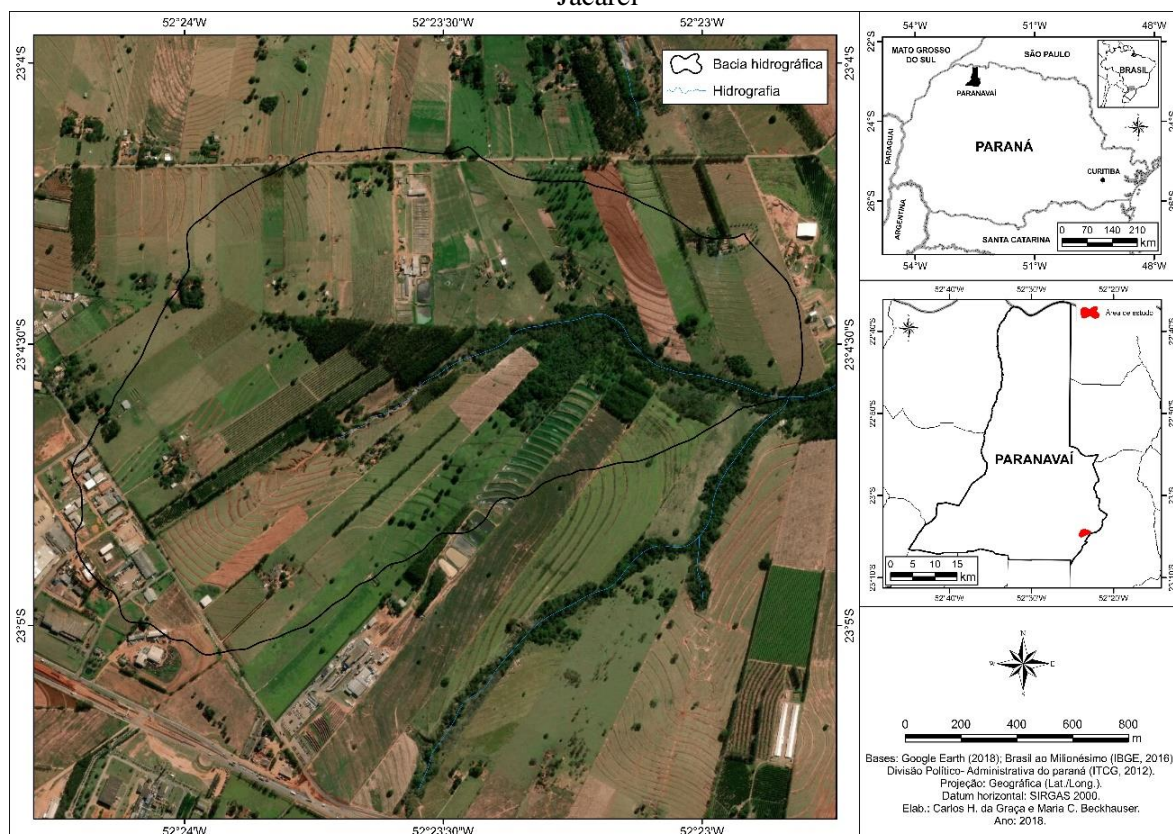
No que se refere a caracterização geográfica da área de estudo, inicialmente está apresentado a localização e posteriormente fica evidenciado os aspectos físicos e os socioeconômicos. Nesse sentido, se faz necessário o conhecimento desses aspectos para compreender a relação da dinâmica erosiva da área com o ambiente e as ações antrópicas.

2.1 LOCALIZAÇÃO

Localizado na Região Noroeste do Paraná, o município de Paranaíba encontra-se nas latitudes $22^{\circ}35'25''$ e $23^{\circ}09'23''$ Sul e nas longitudes $52^{\circ}17'47''$ e $52^{\circ}46'58''$ Oeste, e possui uma área de 1.202,151 Km² com altitude média de 470 metros (IPARDES, 2018).

A topossequência estudada está localizada no distrito de Sumaré em Paranaíba – PR, em uma bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí, segundo a hierarquia proposta por Strahler (1957). A área de estudo está entre as coordenadas geográficas de $23^{\circ}04'6.33''$ e $23^{\circ}04'57.93''$ de latitude S e $52^{\circ}22'51,27''$ e $52^{\circ}24'12.86''$ de longitude W (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da topossequência na bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí



2.2 ASPECTOS FÍSICOS

Conforme Maack (2012) a região Noroeste do Paraná está inserida no Terceiro Planalto Paranaense. Nessa região, no período Jurássico-Triássico da Era Mesozoica ocorreu derramamentos de magmas básicos decorrentes de um processo de vulcanismo fissural. Sobre esse derramamento houve a deposição sedimentar arenosa denominada atualmente como o arenito da Formação Caiuá.

De acordo com a Mineropar (2001) a Formação Caiuá é composta por arenitos finos a médios, arroxeados, com estratificação cruzada de grande porte. Segundo Gasparetto (1999) o Arenito Caiuá constitui-se essencialmente de quartzo (75% a 90%), feldspatos (5% a 10%), e com ocorrência rara de calcedônia e muscovita.

Ainda conforme Gasparetto (1999) o relevo na região Noroeste é uniforme e pouco dissecado, exceto nas cabeceiras dos principais rios, no mais apresenta características de extensos espigões levemente ondulados com vertentes convexas de baixa declividade. Bigarella e Mazuchowski (1985) atribuía a formação do relevo da região a uma alternância de processos morfogênicos em diferentes morfoclimas do Cenozóico.

As principais classes de solos encontradas no município de Paranavaí são formadas a partir da alteração do arenito da Formação Caiuá. Os Latossolos Vermelhos de textura média, Argissolos Vermelho típicos ou abruptos, os Neossolos Quartzarênicos, e Gleissolos Háplicos (FASOLO *et al.* 1988; NAKASHIMA, 1999; EMBRAPA, 2007).

Os Latossolos Vermelhos de textura média ocupam as partes mais elevadas da vertente, geralmente os divisores de águas. São profundos com uma sequência de horizontes A, B e C, muito porosos e friáveis e apresentam baixa fertilidade natural (FASOLO *et al.* 1988; EMBRAPA, 2007).

Os Neossolos Quartzarênicos encontram-se na baixa vertente, geralmente em relevo suavemente ondulado a plano. São muito profundos com uma sequência de horizontes A e C, são muito porosos e excessivamente drenados, quimicamente pobres. Apresenta baixo percentual de argila e a sua textura varia de areia ou areia franca, sem estrutura, sendo, portanto, altamente suscetíveis a erosão (MURATORI, 1969; EMBRAPA, 2018).

Os Gleissolos Háplicos estão próximos às redes de drenagens e sofrem a influência do lençol freático, apresentam a sequência A, Cg ou A, Bg, a partir dos 50 cm de profundidade. O horizonte glei possui cores acinzentadas, esverdeadas, amareladas devido ao ambiente redutor (EMBRAPA, 2007; EMBRAPA 2018).

No que se refere as características climáticas do Noroeste do Paraná, de acordo com a Classificação de Köppen (1936) o clima é Cfa, subtropical úmido mesotérmico com verões quentes e úmidos (CAVIGLIONE *et al.*, 2000). As médias térmicas nos meses mais quentes são de 28,4°C e nos meses mais frios são de 17,8°C. A precipitação média para o período de 1975 a 2018 é de 1527mm/ano (IAPAR, 2018).

Dessa forma as formações fitogeográficas nativas presentes no município, segundo Roderjan *et al.*, (2002) é a Floresta Estacional Semidecidual que possui como particularidade as perdas de 20% a 50% das folhas durante o outono e inverno, caracterizando um fator ecológico de dupla estacionalidade climática

2.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Segundo Alcântara (1987) a colonização da região Noroeste do Paraná iniciou-se em 1920 pela Companhia Brasileira de Viação e Comercio – BRAVIACO, que recebeu a tarefa de ocupação dessas terras em 1889 como forma de pagamento da construção da estrada de ferro que ligava Itararé na então Província de São Paulo até Santa Maria da Boca do Monte a Província de São Pedro do Rio Grande do Sul.

A BRAVIACO inicia a distribuição dessas terras devolutas e promove a colonização, nomeando-a de “Gleba do Pirapó”, que mais tarde viria se tornar “Colônia de Paranaíba” (ALCÂNTARA, 1987).

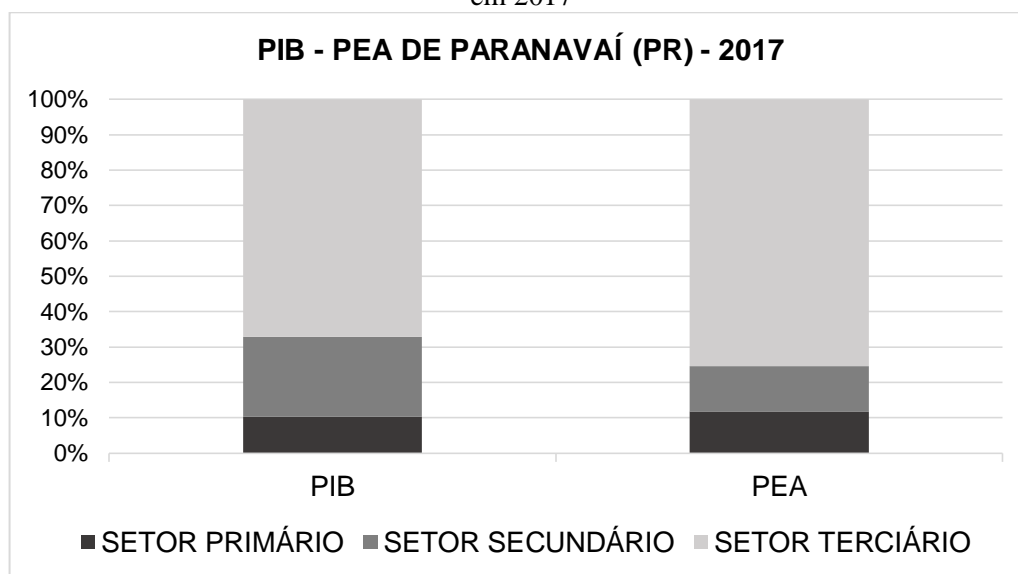
Conforme Silva (2014) em 1926 inicia-se a construção da Fazenda do Ivaí, e junto a sede da fazenda foi fundado o Distrito de Montoya. Em 1929 o Distrito Montoya foi oficializado com uma população total de 300 famílias. Porém em 1932 a BRAVIACO e o governo cancelam a parceria e em pouco tempo o povoado fica esvaziado.

Diante desse novo cenário, em 1933 Manoel Ribas planeja a recolonização da Fazenda do Ivaí e no ano de 1944 recebe a denominação de Colônia de Paranaíba, que se transforma em distrito de Mandaguari. Somente em 1951 Paranaíba se desmembra de Mandaguari e se torna município, coincidindo com o período áureo da expansão da cultura cafeeira na região (ALCÂNTARA, 1987; SILVA, 2014).

Segundo o IBGE (2010) a economia do município desde cinco décadas atrás baseava-se em atividades como café, pecuária e diversos gêneros alimentícios. Atualmente a agropecuária fica em um setor de menor importância na economia, destacando-se o terceiro setor que envolve atividades de comercio e serviços e o segundo setor que envolve as indústrias,

conforme apresenta a figura 2, tal fato auxilia na explicação do maior contingente populacional estar situado no perímetro urbano.

Figura 2. Produto Interno Bruto (PIB) e População Economicamente Ativa (PEA) de Paranavaí, PR em 2017



Fonte: IPARDE (2019). **Org.:** BECKAUSER, M. C. (2019)

De acordo com os dados apresentados na figura 2, é notável o destaque do setor terciário na economia de Paranavaí com mais de 60% do PIB, totalizando R\$ 1.126.147,00, enquanto que no setor primário o PIB representa apenas 10% com R\$ 172.461,00. Já o PEA no setor primário possui 4.839 pessoas trabalhando em atividades agropecuárias, porém no setor terciário a ocupação corresponde à 31.117 pessoas em atividades de comércio e serviços. Asalim (2015) afirma que atualmente a agropecuária perdeu o destaque no setor econômico e o setor secundário e terciário se destacaram pela geração de empregos e arrecadação municipal.

Segundo o IPARDES (2019) a população total de Paranavaí em 2018 é de 87.813 habitantes distribuídos em 1.202.151 Km², com uma densidade demográfica de 73 habitantes por Km². Conforme o IBGE (2010), o município possui um alto grau de urbanização, com 77.728 habitantes na área urbana e apenas 3.862 habitantes na área rural.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada abrange o levantamento de imagens aéreas, levantamento e descrição morfológica da voçoroca, análises dos dados pluviométricos, análise estrutural da cobertura pedológica e análises físicas, hídricas e químicas dos solos. Todos esses procedimentos serviram de base para a compreender a dinâmica do processo erosivo.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS

Para o desenvolvimento desse estudo utilizou-se alguns procedimentos e técnicas, com o intuito de entender o processo de evolução de uma voçoroca ativa em solos oriundos do arenito da Formação Caiuá, conforme mostra a figura 3.



3.2 ESCOLHA DA ÁREA DE PESQUISA

A região Noroeste do Paraná apresenta diversas problemáticas oriundas do desenvolvimento de processos erosivos, tendo em vista este cenário, foi selecionado uma forma erosiva (voçoroca), localizado no distrito de Sumaré em Paranaíba. A voçoroca em estudo se desenvolve ao longo de um vale em berço, com uma cabeceira de drenagem ampla.

No interflúvio da bacia hidrográfica, devido ao processo de urbanização, ocorre a concentração do fluxo de drenagem que interfere na dinâmica da voçoroca. Por meio de imagens de satélites identificou-se uma rápida evolução da mesma, que está avançando para área industrial, com potencial de ampliar os impactos sociais, econômicos e ambientais.

3.3 LEVANTAMENTO HISTÓRICO DO USO DOS SOLOS NOS ANOS DE 1980-2008-2010-2012-2014-2016-2017-2018-2019

Para compreender a evolução temporal do processo erosivo e quantificar o avanço, levantou-se as fotografias áreas no site do Instituto de Terras Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG), das seguintes folhas SF-22-Y-A-VI MI-2226, SF-22-Y-B-V MI-2727 do ano de 1980. Para compor o mosaico (formato tif.) utilizou-se o software *Image Composite Editor*. O mosaico obtido originalmente com a projeção Datum WSG 84, UTM zona 22 sul, foi importado do programa Q.GIS 2.14, na escala 1:25.000 e projetado para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 EPSG 4674, para que as imperfeições fossem minimizadas.

Posteriormente, utilizou-se imagens de satélites fornecidas pelo programa *Google Earth Pro* na escala 1:50.000, nos intervalos de 2008-2010-2012-2014-2016-2017-2019. As imagens foram tratadas, identificadas e organizadas em formato de linha do tempo através do programa *Core Draw X8*.

3.4 MONITORAMENTO COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT

Para realizar o monitoramento do avanço do processo erosivo e a elaboração de produtos cartográficos com maior precisão de dados, utilizou-se a técnica de aerofotogrametria em imagens de alta resolução com o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), voos realizados em parceria com a empresa Falcon Farms de Maringá.

Os voos aconteceram em dezembro de 2018 e janeiro de 2020. A aeronave utilizada foi o MaptorAgro/Horus Aeronaves (Figura 4) que apresenta como características, alta autonomia

de voo (cerca de 80 minutos), grande cobertura de área (cerca de 2.500 ha/dia) e voo automatizados guiado via telemetria e GPS embarcado com sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Figura 4. Imagem ilustrativa da MaptorAgro/Horus Aeronaves, modelo de VANT utilizado



Utilizou-se o *software* Mission Planner para planejar os voos, definir os parâmetros ao longo do trajeto e a sobreposição das imagens. As imagens foram capturadas a partir da câmera RGB (Red, Green e Blue) Canon com resolução de 20 mega/pixel adaptada a modelo de VANT utilizado, através da captura automática com uma foto tirada a cada 2 segundos.

As imagens foram georreferenciadas, adicionando informações de latitude, longitude e cota altimétrica no conjunto de imagens. O processo foi realizado diretamente no *software* Mission Planner utilizando as informações do *Geotags* registrados por voos. Após o georreferenciamento das imagens, deu-se início ao processo de junção utilizando o *software* Agisoft Photoscan Professional, onde foram realizadas as rotinas de Alinhamento de Fotos (Tie Points); a fim de construir um modelo 3D, com DEM (Digital Elevation Model) e um Ortomosaico da área.

Realizou-se o traçado topográfico com resolução espacial de 8 cm/pixel no formato *raster *.tif*, gerados a partir do *software* ArcGis/ArcMap 10.4.1. O modelo hipsométrico, foi elaborado com equidistância de um (1) metro entre as curvas de nível e as classes de declividade/relevo seguiram os procedimentos estabelecidos pela EMBRAPA (2017).

Para elaboração do modelo de relevo 3D utilizou-se o *software* ArcGis/ArcScene 10.4.1, onde o arquivo MDT/MDE foi submetido a um exagero de 10% no modelamento do relevo e, também, sobreposto pelo ortomosaico no formato *raster *.tiff* para gerar uma imagem tanto com as formas do relevo quanto com os tipos de usos do local.

O bloco diagrama da cabeceira de drenagem foi elaborado no *software* Corel Draw X7, onde foi utilizado a modelo em 3D com a imagem do ortomosaico e adicionado camadas dos horizontes dos solos em relação as respectivas profundidades.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados diários de pluviosidade do período de 1976 a 2018 foram obtidos no Instituto das Águas do Paraná - Sistema de Informações Hidrológicas – SIH. O posto pluviométrico utilizado foi o da Estação Criação Estado, este apresenta o código 2352017 localizado no distrito de Sumaré em Paranavaí-PR na latitude 23°04'59" e longitude 52°25'59" e altitude de 480 metros. Este foi escolhido, pela proximidade da área de estudo e ser uma série histórica com mais de 30 anos de dados.

3.5.1 Tratamento dos dados

A primeira etapa do trabalho consistiu na organização e conferência dos dados através de planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2007 para detectar possíveis problemas existentes na série histórica. Nesta série não houve necessidade de preenchimento de dados faltantes.

Finalizada a etapa acima mencionada, iniciou o tratamento preliminar dos dados para uma análise exploratória através da estatística descritiva, para todas as escalas de análises (mensal, anual e diária). Iniciou pela escala mensal e posteriormente anual, para visualizar a estrutura da distribuição da precipitação ao longo do tempo, desde a média climatológica até os valores acumulados diários, com intuito de “tentar” correlacionar o avanço dos processos erosivos, da área de estudo, com os anos “atípicos” (valores acima da média).

3.5.2 Painel temporal do total mensal de dias com chuva

Para a elaboração do painel dos totais mensais, anuais e média de dias com chuva, foram utilizados os dados correspondentes ao período de 1976 a 2018. A planilha foi elaborada seguindo uma sequência continua e ordenada dos meses e de cada ano da série histórica, mostrando desta forma a variabilidade pluvial e os padrões predominantes numa escala mensal ao longo do ano.

O painel temporal proporciona a visualização da variação dos dias com chuva, dentro de todo período analisado, desta forma propicia uma análise meticulosa para cada ano da série.

Para Sant’Anna Neto (1990) a grande vantagem do painel espaço-temporal é de representar, concomitantemente da variação temporal dos fenômenos climáticos num eixo

espacial, tornando possível à visualização de diferentes feições, contribuindo para a análise sistêmica do espaço geográfico.

Para determinar o número de classes de dias com chuva foi aplicado à fórmula Sturges (1926, apud GERARDI e SILVA, 1981).

$$K = 1 + 33,3 \log_{10} N.$$

3.5.3 Erosividade mensal da chuva

Os dados foram acumulados mensalmente e anualmente, possibilitando assim a obtenção das médias de precipitação para cada mês do ano (p) e também a média anual na série histórica (P). A partir destas médias determinou-se o coeficiente de chuva (Rc), por meio da Equação de Rufino *et al.* (1993);

$$Rc = p^2/P$$

Onde:

Rc: Coeficiente de chuva;

p: média da precipitação mensal no período;

P: média da precipitação anual no período.

A equação de regressão utilizada foi ($Y=164,12+39,44X$) obtida por; NETTO, VIRGENS FILHO, NEVES (2018).

3.6 LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DA VOÇOROCA

Para melhor compreensão da dinâmica do processo erosivo encontrado na bacia de 1º ordem, inicialmente foi realizado um sobrevoo com um veículo aéreo na tripulável (VANT). Através das imagens produzidas nesse aparelho foi possível mapear o uso do solo, a voçoroca, realizar o levantamento planialtimétrico e em seguida produzir o mapa de fluxo hídrico e hipsométrico.

Realizou-se uma entrevista com o proprietário do sítio, onde encontra-se instalada a voçoroca, a fim de compreender o processo histórico de uso e manejo da área, buscando relações com as imagens aéreas dos períodos selecionados. Todos esses dados conjuntos forneceram subsídios para entender a dinâmica da evolução da voçoroca, relacionando as classes de solos, o escoamento hídrico e o manejo empregado na área.

3.7 ANÁLISE DA DINÂMICA DO PROCESSO EROSIVO

Com base em todos os dados levantados durante a pesquisa, como: o levantamento de imagens aéreas, o monitoramento com o VANT, mapeamento de fluxo hídrico da bacia de primeira ordem, a entrevista com o proprietário e a análise dos dados pluviométricos, serviram de bases para a discussão da dinâmica erosiva da voçoroca.

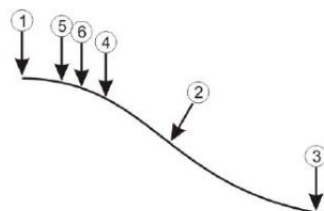
Através desse banco de dados, buscar-se compreender a dinâmica do avanço lateral e vertical da voçoroca ao longo do tempo, para então posteriormente associar essa evolução com as características pedológicas, o uso e manejo dos solos e a dinâmica hídrica.

3.8 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA

Para o levantamento da cobertura pedológica utilizou-se as orientações metodológicas propostas por Boulet *et al.* (1982 a.b.). Esse método foi realizado através dos levantamentos das classes de solos paralelo a um eixo do vale em berço (Figura 5), com auxílio de um trado holandês, para identificação dos horizontes e suas transições verticais e laterais. As sondagens à trado são realizadas do topo para o sopé da vertente em sequência, até que se encontre a transição dos horizontes. As sondagens intermediárias são realizadas para identificar o local onde ocorre a transição, conforme ilustrado na (QUEIROZ NETO, 2002).

Figura 5. Metodologia para realização das tradagens em uma vertente

① = ② Implantação de ④
④ = ① Implantação de ⑤
⑤ = ① ⑤ = ④ Implantação de ⑥
Procede-se do mesmo modo entre
④ e ② e entre ② e ③



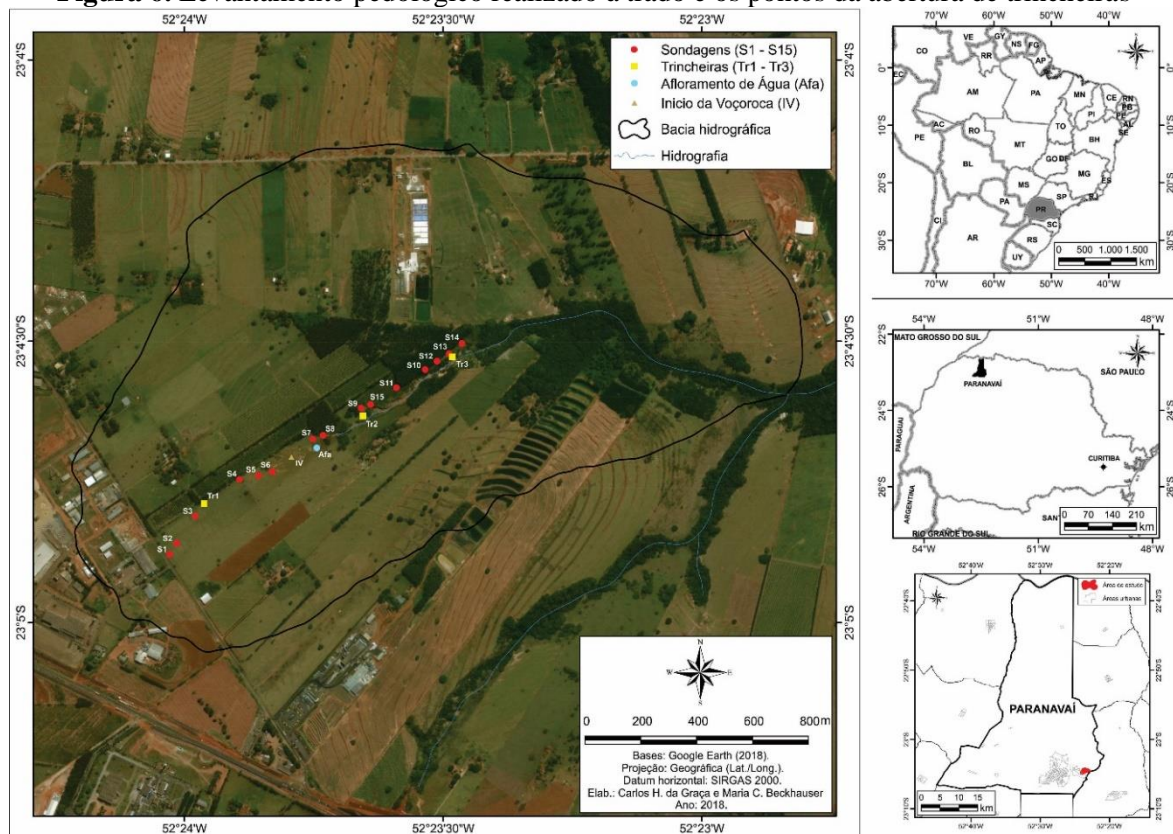
Fonte: Boulet *et al.* (1982a).

Para execução do levantamento topográfico, realizou-se medições do ângulo de inclinação e elevação do terreno de no máximo de 10 em 10 metros de distância iniciando na baixa vertente em direção à montante, com o auxílio do clinômetro de bolso, uma régua de 2 metros de altura e uma trena, conforme exposto por Marques *et al.* (2000). As coordenadas geográficas foram coletas com a utilização de GPS. Para elaboração do perfil topográfico, os

dados coletados em campo foram tabelados e tratados nos programas *Excel 2016* e *CorelDraw X8*.

O levantamento pedológico foi realizado com o auxílio do trado holandês, iniciando as sondagens na alta vertente próximo ao topo do interflúvio até as proximidades do fundo de vale. As amostras foram coletadas de 10 em 10 cm até atingir 2 metros de profundidade, posteriormente foram organizadas de forma intercalada, ou seja, uma amostra para o *pedoncomparador* e outra para análise de granulometria, armazenada no saco plástico, durante a coleta realizou-se a descrição da cor e textura conforme proposto por Santos e Lemos (2005). Ao longo da topossequência realizou-se 15 sondagens à trado, conforme exposto na figura 6.

Figura 6. Levantamento pedológico realizado à trado e os pontos da abertura de trincheiras



Com base no levantamento das sondagens à trado, foram selecionadas as áreas para a abertura de trincheiras, em cada classe de solo identificada ao longo da topossequência. Nas trincheiras realizou-se a descrição morfológica dos horizontes, seguindo os critérios estabelecidos por Santos e Lemos (2005). Coletou-se no centro dos horizontes 11 amostras, para os ensaios químicos e físicos.

3.9 ANÁLISES FÍSICAS

Para a realização dos ensaios laboratoriais seguiram-se o Manual de Métodos de Análise de Solos EMBRAPA (2017).

3.9.1 Granulometria

Essa análise tem o propósito de quantificar as partículas de areia, silte e argila do solo, aplicando a Lei de Stokes, que determina a sedimentação conforme a temperatura da suspensão.

As amostras para os ensaios foram coletadas nas sondagens durante o levantamento pedológico em um intervalo de 10 em 10 cm, utilizou-se também as amostras dos horizontes de cada perfil de solo descrito nas trincheiras, totalizando 11 horizontes amostrados. Em seguida pesou-se 20 g de terra fina seca no ar (TFSA) de cada amostra em um becker de 250 ml, numerado e de peso conhecido.

Para o processo de dispersão química, utilizou-se como reagente o Hidróxido de Sódio (NaOH), que foi preparado em um 1 litro de água destilada com 40 gramas de NaOH, utilizando 20ml dessa solução em cada amostra de solo.

Com a finalidade de descontar o valor do peso do reagente na amostra, restando somente o peso da areia, silte e argila, realizou-se a prova em branco, que consistia em colocar 20 ml de reagente em uma proveta com 980 ml de água destilada, ao qual foi submetida ao processo de agitação e pipetagem seguindo a Lei de Stokes, assim como as demais.

Cada amostra de solo com 20 ml da solução dispersante permaneceu em repouso por 24 horas. Após o repouso, o material foi transferido do becker de 250 ml para o copo metálico do agitador com o auxílio do bastão de vidro e de água destilada, a fim de não perder nenhuma partícula durante a transferência.

O material foi agitado por 10 minutos no agitador elétrico, depois passado por uma peneira de 0,053 mm de diâmetros sendo lavado com água destilada, ficando retido na peneira apenas a areia, o restante do material fino foi depositado na proveta graduada de 1000 ml com a ajuda de um funil. A areia retida na peneira foi colocada no becker de 250 ml e levada para secar na estufa à 105°C, durante 24 horas. Depois de seca, as areias foram retiradas da estufa, esfriadas no dessecador por pelo menos 4 horas e em seguida foram pesadas, obtendo assim o valor de areia total.

A concentração de areia total foi separada em cinco classes, sendo elas: areia muito grossa (2 – 1 mm), areia grossa (1 – 0,50 mm), areia média (0,50 – 0,25 mm), areia fina (0,25 – 0,10 mm) e por fim areia muito fina (0,10 – 0,05 mm). As classes de areia foram separadas do agitador magnético utilizando as peneiras, na frequência 9 por 5 minutos.

O material fino (silte e argila) que ficou retido na proveta foi agitado por um minuto com um bastão manual e o tempo de pipetagem foi baseado na Lei de Stokes. A primeira pipetagem foi realizada à 10 cm, onde coletou o silte+argila e o conteúdo foi colocado em um becker de 50 ml numerado e com peso já conhecido. Após o tempo de decantação conforme a temperatura, a segunda pipetagem foi realizada à 5 cm, com coleta de 20 ml de argila, que também foi posta em um becker de 50 ml numerado e de peso já conhecido. Os beckers foram para estufa por 24 horas, foram retirados colocados no dessecador e pesados.

Em alguns casos, em amostras de horizontes superficiais, foi necessário realizar a queima de matéria orgânica. O procedimento consistia em pesar 50 gramas de solos e acrescentar 50 ml de Peróxido de Hidrogênio e com o auxílio do bastão de vidro misturar o solo e o reagente, aguardando a solução efervescer, posteriormente colocou-se os beckers na chapa aquecedora, mantendo a temperatura de no máximo 70°C, mexendo de hora em hora e acrescentando água destilada, até a mistura parar de efervescer. Aguardou-se a amostra ficar seca para realizar o procedimento da análise granulométrica.

3.9.2 Argila dispersa em água

Para determinação da argila dispersa em água, realizou-se o mesmo procedimento da granulometria, porém sem a utilização do dispersante químico e a não determinação das frações de areia e silte. As amostras para a realização do ensaio, foram as coletadas nos horizontes das trincheiras.

3.9.3 Grau de flocculação e grau de dispersão

O grau de flocculação foi obtido através da relação da argila dispersa em água e a argila total após a dispersão, indicando a proporção da argila que se encontra flocculada. O grau de flocculação está associado à estabilidade dos agregados.

$$GF = 100 (a-b)/a$$

Onde:

GF: grau de floculação

a: argila total

b: argila dispersa

3.9.4 Macroporosidade e microporosidade do solo

Os macroporos são poros maiores que 0,05mm e os microporos possuem um diâmetro menor ou igual a 0,05mm. Para quantificá-los utilizou-se a metodologia da mesa de tensão. Coletou-se 36 amostras em cilindros de volume de 143 cm³ que foram saturadas numa bandeja com água, posteriormente pesadas para obtenção do peso do solo saturado (P1) e levadas para a mesa de tensão, onde aplicou-se a tensão de 0,006 MPa (60 cm de coluna d'água), com o intuito de retirar a água que estava nos poros do solo pelo vácuo da mesa de tensão.

Após 24 horas, a coluna d'água foi sendo abaixada de 10 em 10 cm de hora em hora, até completar 6 horas. Finda esta etapa, os cilindros foram pesados, obtendo-se o peso da amostra após a mesa de tensão (P2). Os cilindros foram levados para secagem em estufa a 105°C e retirados após 24 horas, para obtenção do peso da amostra seca (P3). Subtraiu-se o valor do peso do cilindro, do elástico e do tecido de cada amostra.

Para obtenção do valor da microporosidade fez uso da seguinte fórmula:

$$Mi (\%) = (P1-P3)/C \times 100$$

Onde:

Mi (%): Microporosidade;

P1: Peso da amostra saturada;

P3: Peso da amostra seca a 105°C;

C: Volume do cilindro;

Para macroporosidade realizou-se o cálculo:

$$Ma (\%) = (P2 - P3)/C \times 100$$

Onde:

Ma (%): Porcentagem de Macroporosidade;

P2: Peso da amostra após ser submetida a tensão;

P3: Peso da amostra seca a 105°C;

C: Volume do cilindro;

3.9.8 Porosidade total do solo

A porosidade total é o volume de poros totais do solo ocupados por água ou ar e não por partículas sólidas. Para calcular a porosidade total adotou-se a seguinte fórmula:

$$Pt = Ma + Mi$$

Onde:

Pt: Porosidade total;

Ma: Macroporosidade;

Mi: Microporosidade;

3.9.6 Densidade do solo

A densidade do solo ou densidade aparente é a relação da massa pelo volume do solo, sendo realizada pelo procedimento do anel volumétrico. As mesmas amostras de solos coletadas nos cilindros após passarem pela mesa de tensão, foram postas na estufa à 105°C para secar por 24 horas, em seguida foram ao dessecador para esfriar e posteriormente foram pesadas.

A densidade do solo foi obtida pela seguinte operação:

$$Ds = a/v$$

Onde:

Ds: Densidade do Solo (g.cm³);

a: Peso da amostra seca;

v: Volume do cilindro (cm³);

3.9.7 Estabilidade de agregados via seca

O procedimento da estabilidade de agregados via seca tem como finalidade determinar a quantidade e a distribuição dos agregados estáveis à agitação mecânica por via seca. Coletou-se 11 amostras de agregados de solo indeformado, no centro dos horizontes das três trincheiras que foram abertas e descritas morfológicamente.

Utilizou-se 100g de amostra de solo secadas à sombra, destorroadas à mão e passadas na peneira de 8 mm. Essas amostras foram depositadas sobre um conjunto de peneiras 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 mm de malha com 20 cm de diâmetro, posteriormente ligou-se o agitador com as peneiras por 10 minutos na frequência 9. Após a agitação ter sido concluída retirou-se os

conteúdos de cada peneira e depositou-se o material em latas de alumínio numerada e de peso conhecido. As latas foram postas na estufa à 105°C por 12 horas, em seguida foram para o dissecador e finalmente pesadas. Repetiu-se o procedimento 5 vezes por horizontes do solo, a fim de se obter uma média satisfatória de cada horizonte.

O cálculo para o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA) foi feito pela seguinte fórmula:

$$DMPA = \Sigma (C_{mm} \times P)$$

Onde:

C_{mm}: centro das classes de tamanho dos agregados;

P: proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao peso da amostra;

3.10 ANÁLISE HÍDRICA

3.10.1 Condutividade hidráulica

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada utilizou-se o Permeâmetro Guelph, que é um permeâmetro de carga constante que mede a condutividade hidráulica saturada do solo através da aplicação de uma carga hidráulica com o uso de um reservatório combinado, desenvolvido por Reynolds e Elrick (1989) e aperfeiçoado na Universidade de Guelph no Canadá conforme destacado por Ribeiro *et al.* (2009).

Os ensaios foram realizados nos centros dos horizontes descritos nas trincheiras. Com o auxílio do trado de 3,1 cm de diâmetro, perfurou-se na alta vertente nas profundidades de 10 cm, 40 cm e 100 cm de, na média vertente em 15 cm, 40 cm e 80 cm e no sopé da vertente em 12 cm e 90 cm, para determinar a condutividade hidráulica.

Para o cálculo de condutividade hidráulica utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Q = R \times A$$

Onde:

Q: Vazão do regime permanente;

R: Razão da vazão constante obtida durante os ensaios;

A: Área do reservatório utilizado do permeâmetro;

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada (K_{fs}) utilizou-se a seguinte equação:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2.\pi.H^2 + C.\pi.a^2 + 2.\pi.H/a)}$$

Onde:

K_{fs} : Condutividade Hidráulica Saturada (cm/s);

C: Fator de forma (depende da relação H/a das características do solo), figura 7;

Q: Vazão da água no solo (cm³/s);

H: Altura da carga hidráulica aplicada (cm);

a: Diâmetro do furo feito pela sondagem (cm);

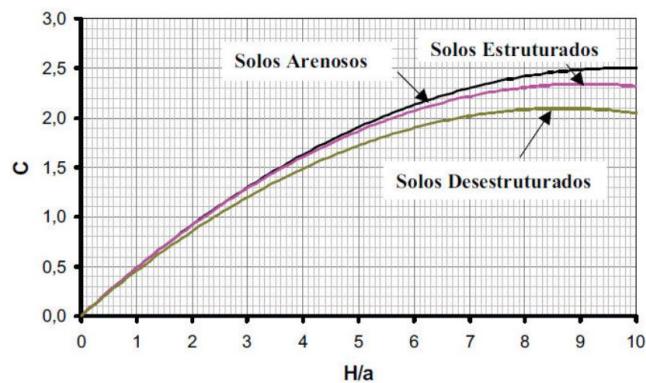
α : Parâmetro da macroporosidade e textura do solo, conforme tabela 1.

Tabela 1. Valores de α sugeridos para os solos segundo Elrick *et al.* (1989)

α (cm-1)	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos).
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areias finas com alta e moderada quantidade de macroporos e fissuras.
0,36	Areia Grossa e inclui solos com macroporos e fissuras.

O coeficiente de forma C é uma representação gráfica, conforme mostra a figura 7, que é dependente da relação altura da carga pelo raio do furo (H/a) para três classes de solos de acordo com sua macroporosidade e textura do solo.

Figura 7. Determinação do fator C



Fonte: Elrick *et al.* (1987) apud. Ribeiro *et al.* (2009).

3.11 ANÁLISE QUÍMICA

As análises químicas foram realizadas nos horizontes descritos nas trincheiras, com o objetivo de compreender a dinâmica dos solos presentes ao longo da topossequência. Realizou-se os ensaios de pH em água, CaCl₂, KCl e SMP, os macronutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺, P, K⁺), o alumínio trocável (Al³⁺), o carbono orgânico e os óxidos de ferro, alumínio e titânio. A partir

das análises químicas, determinou-se o delta pH, a acidez potencial, a soma de bases (Valor S), capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (Valor V%).

3.11.1 pH em água, CaCl, KCl e SMP

Acrescentou-se 10 g de solo em um copo plástico de 100 ml numerado, adicionando, em seguida, 25 ml do líquido (água, CaCl₂ 0,01M ou KCl 1N). A amostra foi agitada com um bastão de vidro por um minuto, depois ficando em repouso por uma hora. Após o repouso, as amostras foram novamente agitadas e em seguida mergulhou-se o eletrodo no copo para a leitura do pH. Os procedimentos foram realizados conforme proposto pela Embrapa (2017).

Para determinar o pH em SMP, adicionou-se 5 ml da solução SMP em um copo plástico numerado com 10 ml de solo, em seguida agitou-se as amostras por 20 minutos, após a agitação ficaram de repouso durante a noite, na manhã seguinte foram agitadas por mais 10 minutos e ficaram mais 30 minutos em repouso, por fim realizou-se a leitura do pH (IAPAR, 1992).

3.11.2 Alumínio trocável (Al³⁺)

Pesou-se 7,5 g de solo e adicionou-se em um Erlenmeyer de 250 ml com 150 ml de solução KCL N. Agitou-se as amostras em movimentos circulares durante o dia várias vezes, ficando em repouso a noite, na manhã seguinte foi pipitado duas alíquotas de 50 ml da parte sobrenadante da solução. Em uma das alíquotas de 50 ml adicionou-se 3 gotas de bromotimol e a titulação ocorreu com a solução NaOH 0,025, até persistir a coloração verde-azulada (EMBRAPA, 2017).

3.11.3 Macronutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺)

Os procedimentos aqui descritos seguiram as orientações propostas por Embrapa (2017).

Na determinação do cálcio e magnésio trocável, utilizou-se o Erlenmeyer onde foi realizado o Al³⁺, e adicionou-se 1 gota de água de bromo para destruir o azul do bromotimol. Depois foi adicionado 6,5 ml da solução tampão e 4 gotas de eriochrome black juntamente com a solução EDTA 0,0125 N, até a cor vermelho-arroxeadada se tornar azul puro ou esverdeada. O volume de EDTA gasto será contabilizado.

Para a determinação do Ca^{2+} , utilizou-se um segundo Erlenmeyer, com 2 ml de trietanolamina a 50%, 2 ml de KOH a 10% e uma pitada de murecida ($\pm 50\text{mg}$). Posteriormente adicionou-se EDTA 0,0125 M até a cor rósea se tornar roxa. O volume de EDTA gasto será contabilizado, para a determinação do cálcio existente na amostra.

Para verificar o magnésio presente, realizou-se a diferença dos valores no cálcio e o magnésio trocável e o valor do Ca^{2+} .

3.11.4 Determinação do P e K+

Para realização do extrato-Mihlich-1, transferiu-se 5cm^3 de solo para um copo plástico de 60 ml e adicionou-se 50 ml de solução Mehlich-1, posteriormente agitou-se a amostra durante 5 minutos e esperou-se a decantação durante a noite.

Na manhã seguinte, foi pipetado 5 ml do extrato-Mihlich-1 e transferido para tubos de ensaio de 30 ml, posteriormente adicionou-se 10 ml da solução B (300 ml de solução molibdatac mais 700 ml de água destilada), uma pitada de ácido ascórbico e agitou-se até ocorrer total dissolução, após 30 minutos foi realizado a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica, para a determinação do P.

Já para a determinação do K^+ , adicionou-se 20 ml de extrato-Mihlich-1 em um tubo de ensaio de 30 ml e realizou-se a leitura no espectrofotômetro de chama. Todos os procedimentos descritos para determinação do P e K^+ foram seguidos de acordo com Embrapa (2017).

3.11.5 Carbono orgânico

Para a determinação do carbono orgânico utilizou-se a metodologia proposta por Walkley e Black (1934), ao qual a matéria orgânica é oxidada pelo dicromato de potássio. A titulação de sulfato ferroso é obtida pela quantidade de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzido, através do cálculo do teor de carbono orgânico.

Acrescenta-se 1g de TFSA em um erlenmeyer de 250 ml com 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e de H_2SO_4 , após 30 minutos coloca-se 50 ml de água destilada e 3 ml de H_3PO_4 e 0,5 ml de difinilamina 1%. Realizou-se a titulação com a solução FeSO_4 , até se obter a coloração verde.

Para obtenção do carbono orgânico, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$C = (V_{PB} - V_A) \times \text{Fator } \text{FeSO}_4 \times 3,896 / \text{ml de solo}$$

Onde:

C: Carbono Orgânico;

V_{PB} : Valor de sulfato ferroso gasto na prova em branco.

V_A : Volume de sulfato ferroso gasto na amostra.

ml de solo: Volume de TFSA utilizada.

3.11.6 Ataque sulfúrico para determinação de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e TiO_2

Esse ensaio teve por objetivo determinar a concentração dos óxidos presentes nos horizontes dos solos, a fim de se buscar alguma relação com a estabilidade dos agregados nos mesmos horizontes.

Conforme a Embrapa (2017) orienta, inicialmente foi pesado 1g de solo e colocado em um Erlenmeyer de 500 ml, posteriormente adicionou-se 20 ml de ácido sulfúrico diluído 1:1. O Erlenmeyer contendo a amostra foi colocado sobre a placa aquecedora a 300°C, após o início da fervura contou-se 30 minutos para o desligamento da chapa, durante o processo foi utilizado o condensador de refluxo para evitar que o material evaporasse.

Em seguida, aguardou-se o resfriamento da amostra, com a posterior adição de 50 ml de água destilada. A amostra Erlenmeyer foi transferida para um balão volumétrico de 250 ml, com auxílio de um funil de vidro e um filtro de papel.

Após a filtragem do material e a lavagem dos resíduos contidos no filtro, o balão volumétrico foi completado até 250 ml. Posteriormente retirou-se uma alíquota da solução para a leitura dos elementos ferro, alumínio e titânio, no espectrofotômetro de absorção atômica de chama. Os elementos ferro, alumínio e titânio foram transformados em óxidos a partir da sua massa molar.

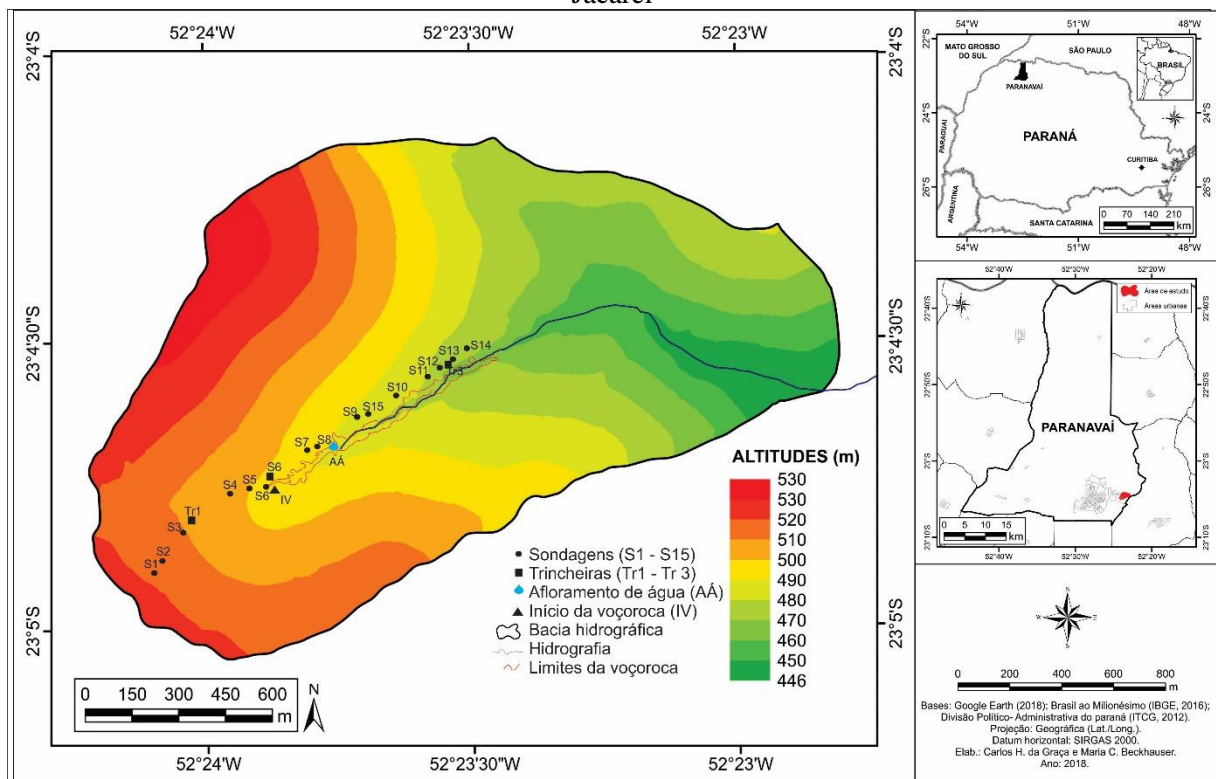
4. RESULTADOS

Nessa etapa foi apresentado a localização da voçoroca estudada, e posteriormente foram apresentados os dados referentes a dinâmica climática, e erosiva da voçoroca, finalizando com os aspectos físico, hídricos e químicos das classes de solos encontradas ao longo da vertente

4.1 LOCALIZAÇÃO DA VOÇOROCA

A voçoroca em estudo encontra-se em uma bacia de primeira ordem de ramificação, afluente do Ribeirão Jacareí, situado no distrito de Sumaré no município de Paranaíba – PR. A figura 8 apresenta a declividade da bacia, as sondagens realizadas à trado, a localização das trincheiras e do afloramento de água e forma da voçoroca.

Figura 8. Localização da topossequência e da voçoroca na bacia de primeira ordem do Ribeirão Jacareí



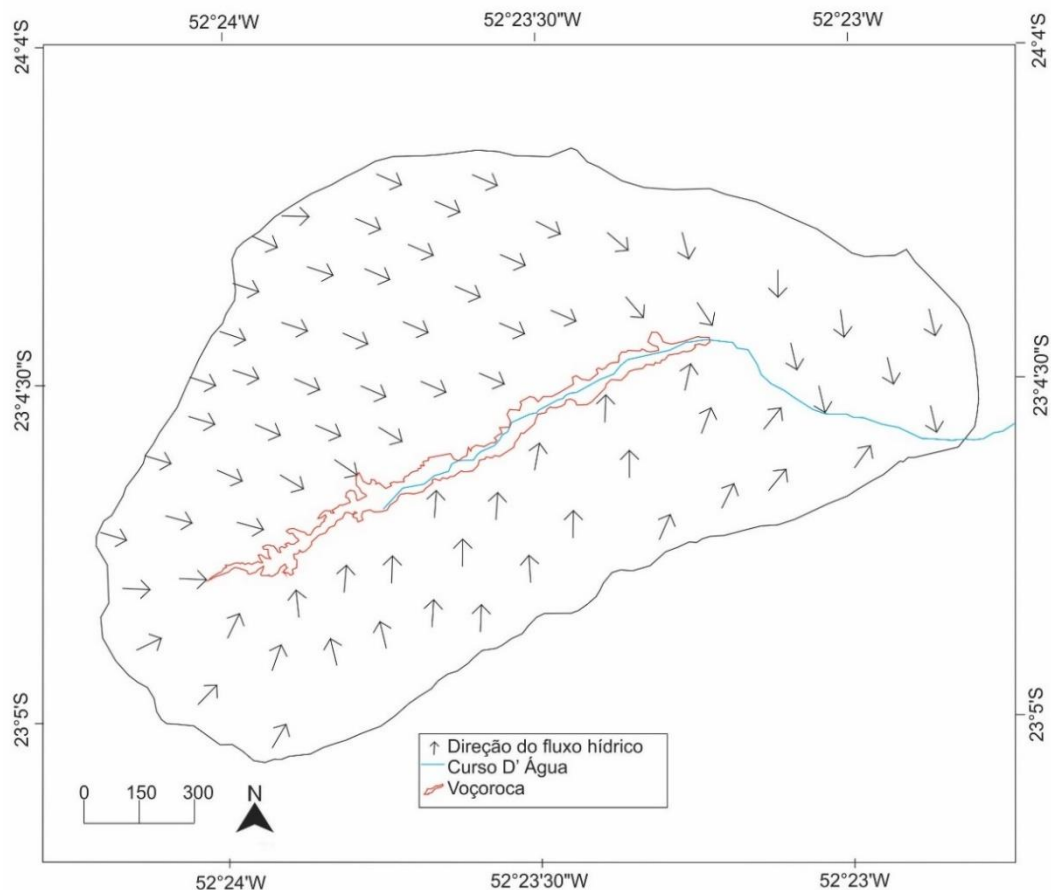
A topossequência apresenta 1.322 metros de comprimento, com um desnível de 34 metros, em um relevo que varia de plano para ondulado, com altitudes de 530 metros a 446 metros (Figura 8). O levantamento pedológico e topográfico foi realizado paralelo ao eixo de

um extenso vale em berço com cabeceiras de drenagens abertas e amplas, o que garante que a área naturalmente concentre fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais.

A voçoroca em estudo atualmente apresenta 950 metros de extensão e possui características morfológicas distintas, ou seja, no setor à montante apresenta ramificações e profundidade moderada, enquanto que em direção ao sopé a profundidade aumenta e o sua forma apresenta um formato mais retilíneo (Figura 8). A dinâmica erosiva da voçoroca será discutida com maior detalhamento no decorrer da apresentação dos resultados.

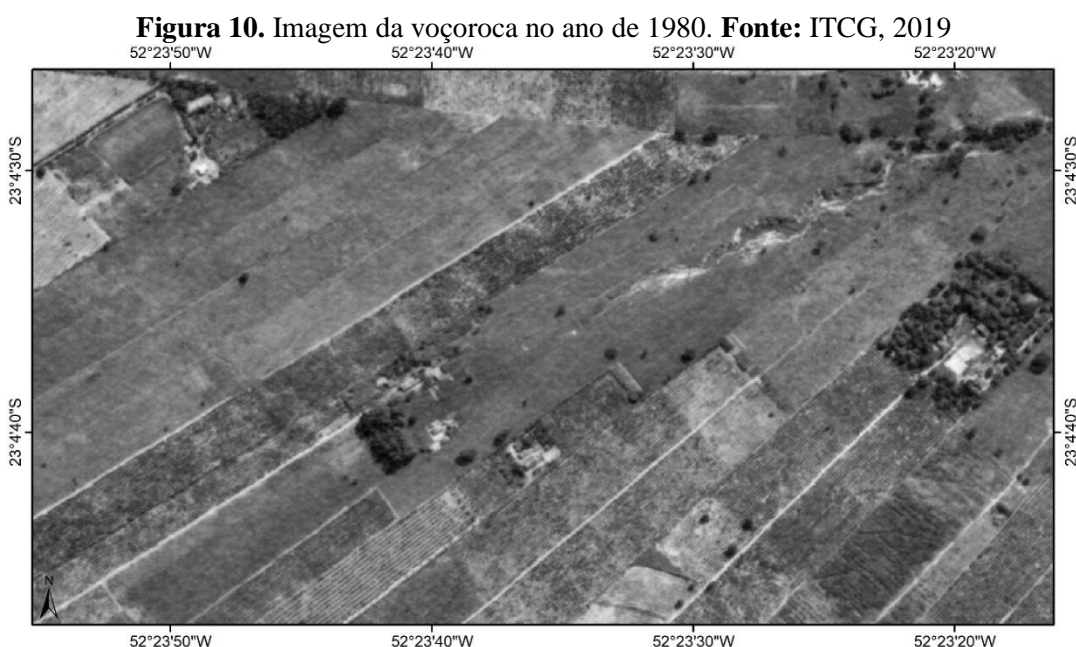
Conforme mostra a figura 9, é possível verificar que os pontos localizados a noroeste e a sudoeste no divisor de águas da bacia recebem um fluxo hídrico mais disperso. A partir da média vertente, onde estão localizadas as bordas da voçoroca, esses fluxos de água começam a se convergir. E em direção ao sopé, a água já se concentra, e aumenta a sua energia e capacidade de remoção do solo (Figura 9).

Figura 9. Mapa de fluxo hídrico da bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí, distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



Segundo os dados obtidos na entrevista com o agricultor Sergio Aleste, a sua propriedade possui 20 alqueires. Segundo o proprietário o processo erosivo sempre esteve

presente na sua área, porém situava-se na parte baixa do lote, muito próximo do curso d'água e apresentava dimensões reduzidas. Conforme apresentado na figura 10, é possível verificar que o processo erosivo se encontrava inicialmente no sopé da vertente no ano de 1980. De acordo com o relato do proprietário, a área já foi ocupada por café, plantio de amora e mais recentemente está destinada a pastagens, mas no sopé da vertente, entorno do curso d'água, sempre existiu alguns resquícios de vegetação nativa.



Segundo Silva (2014) o distrito de Sumaré pertencia ao município de Alto Paraná, mas a partir de 21 de maio de 1963 por intermédio da lei estadual nº 4717 o distrito passa a pertencer à Paranavaí. Inicialmente, nessa localidade, havia apenas atividade agropecuária, porém, a partir de meados de 1980 surge a atividade industrial que contribuiu de forma significativa para alterar o uso e ocupação do solo no local, que de certa forma interferiu de forma negativa para acelerar evolução da erosão que, naquele momento era quase incipiente.

Essa mudança de uso do solo provocou uma diminuição da infiltração de água no solo e aumento do escoamento superficial em direção a propriedade agrícola do agricultor. O que de maneira geral contribuiu para alterar a dinâmica erosiva da área ao longo do tempo.

Vale destacar que muitos outros fatores como comprimento de vertente, declividade, classe de solo, falta de cobertura, entre outros, irão interferir na formação da erosão. Também é necessário elencar a interferência da ação antrópica, que através do uso e manejo do solo sem práticas conservacionista acelera o processo erosivo.

Devido essas alterações pela ação humana, o escoamento hídrico superficial da área foi modificado. Segundo o proprietário, há aproximadamente 30 anos atrás ocorreu a pavimentação asfáltica da estrada à montante da propriedade e parte do escoamento hídrico superficial foi canalizado para dentro do sítio. Essa concentração de água em períodos de chuvas mais intensa começou a contribuir para a evolução remontante da erosão.

Diante desse cenário, surgiu a necessidade de implantação de práticas conservacionistas, inicialmente com a construção de curvas de terraços em nível a montante até as proximidades da borda da erosão, a fim de minimizar a força da água e o carregamento dos solos.

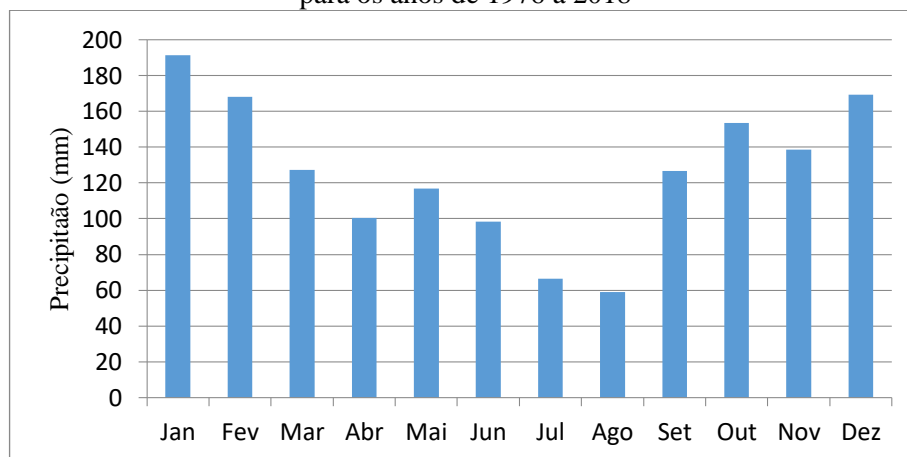
Porém, essa situação piora quando em meados de 2009 a 2010 ocorre a implantação da segunda tubulação de cimento (manilha), aumentando canalização da água pluvial para dentro da propriedade, contribuindo para o aumento expressivo da erosão, enquadrando-a como voçoroca.

4.2 DINÂMICA PLUVIOMÉTRICA

De acordo com os dados médios mensais climatológicos (Figura 11), os maiores valores de chuva são registrados em janeiro, fevereiro e dezembro, estes representam, considerando o ano civil, tanto o verão quanto a primavera, ou seja, as duas estações mais chuvosas na área de estudo. Portanto, na estação do verão e da primavera são as estações mais críticas no que se refere ao risco de instalação dos processos erosivos nessa região onde os solos apresentam textura média e arenosa.

Nos meses de julho e agosto são os dois meses que apresentaram os menores valores, resultado esperado considerando que o posto pluviométrico está localizado no noroeste do estado do Paraná, que segundo classificação atualizada pelo método de Köppen por Caviglione et al. (2000), nesta porção do estado ocorre o predomínio do clima Cfa - Clima subtropical, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

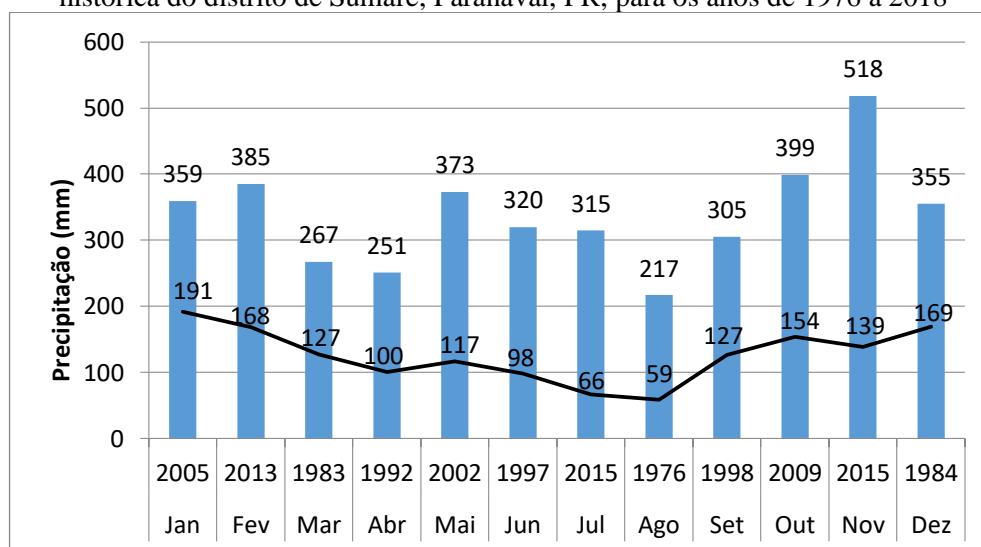
Figura 11. Precipitação média mensal de toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, para os anos de 1976 a 2018



É de suma importância analisar os valores máximos mensais de precipitação, considerando que além da precipitação ser o elemento climático que mais varia no tempo e no espaço é o que mais interfere na formação dos processos erosivos, através da erosividade da chuva.

Quando comparado os valores máximos com a média mensal climatológica é perceptível que em todos os meses os valores foram acima da média, com destaque para o mês de novembro (2015), como mostra a figura 12.

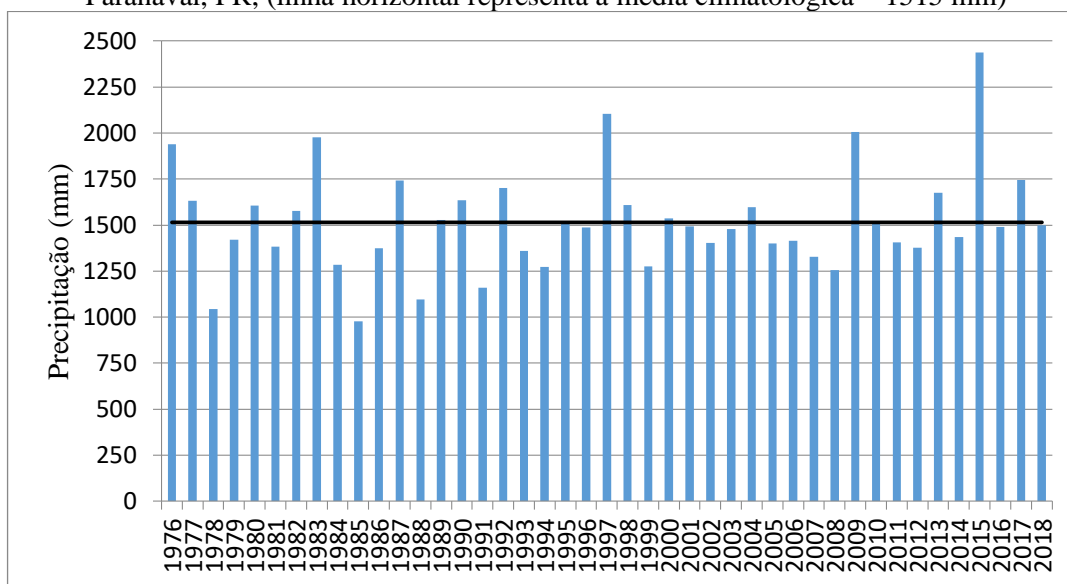
Figura 12. Precipitação máxima absoluta mensal e a média mensal (linha preta) de toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, para os anos de 1976 a 2018



Diante desse cenário se faz necessário levar em consideração a média anual climatológica observada no distrito de Sumaré em 1515 mm e analisar os totais anuais individualmente, para toda série. Pode-se verificar que nos anos de 1976, 1983, 1997, 2009 e

2015, apresentaram os maiores valores de todo o período, ficando acima da média climatológica, sendo 2015 o mais representativo entre eles com mais de 2400 mm (Figura 13).

Figura 13. Precipitação total anual para toda a série histórica 1976 a 2018 do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, (linha horizontal representa a média climatológica – 1515 mm)



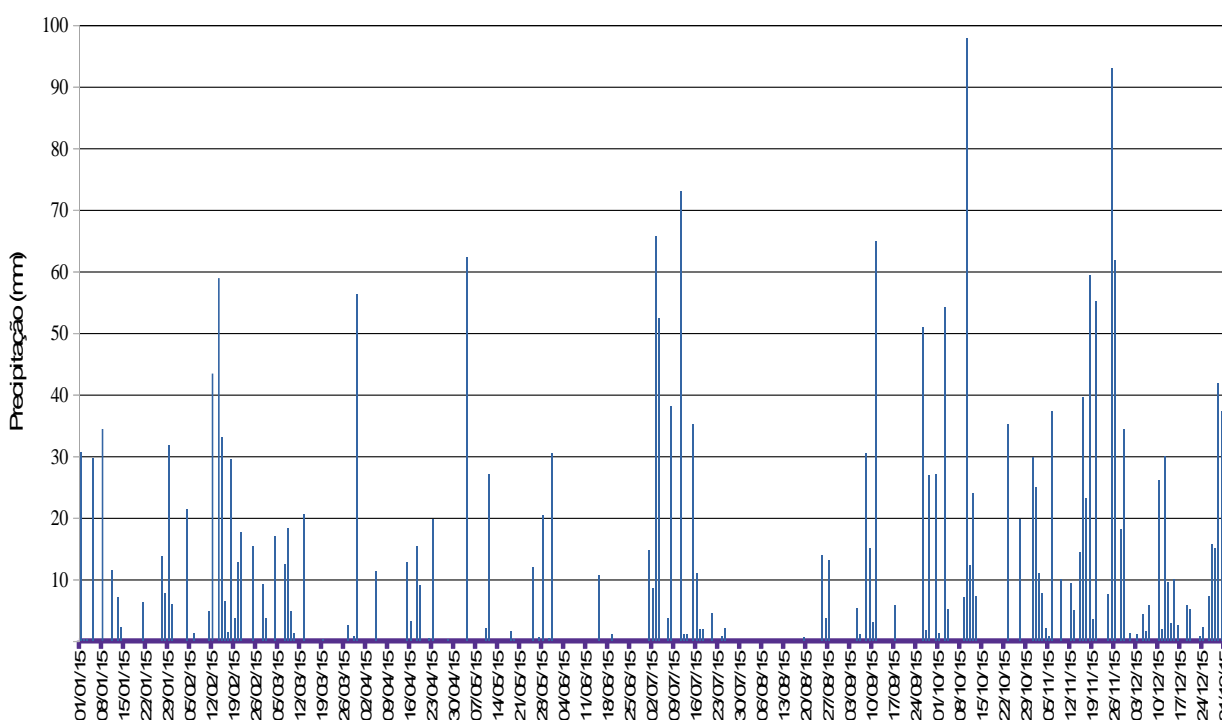
No período de 1976 a 1994, em quatro anos específicos, apresentaram valores abaixo de 1250 mm (1978, 1985, 1988, 1991), a partir do ano de 1995, não foi registrado valores abaixo de 1250 mm, é uma informação relevante para ser explorada (Figura 13). Embora mostrando um aumento nos totais anuais precipitados, não é possível verificar tendência positiva, ou seja, aumento na quantidade nos últimos 24 anos, porque nenhum teste estatístico de tendência foi aplicado, por não ser o objetivo do presente trabalho ficando para posteriormente, uma análise mais meticulosa. Como mostra a figura 13, nos anos de 2009 até 2018 as médias anuais ficaram todas acima de 1250 mm.

Através da análise dos totais anuais, foi confirmado que o ano de 2015, foi o que apresentou os maiores valores registrado de toda a série estudada, por isso este ano foi escolhido para uma análise diária. Não somente pelo total anual, se deve a escolha, mas por ter sido este muito atípico no que se refere à distribuição da precipitação ao longo do ano, muito diferente do padrão climatológico.

Quando se tem em mente, verificar e dimensionar a perda de solo de um determinado local, o ideal seria utilizar dados horários e de preferência o mais próximo possível da área de estudo. Porém devido à indisponibilidade de dados horários, fica válida a análise dos dados diários. É importante destacar que estes são acumulados, no período de 24 horas não sendo possível quantificar a intensidade da chuva.

Foram observados aproximadamente 25 episódios, de chuva acumulada na escala diária com valores superiores a 30 mm no ano de 2015. O mês de julho é o segundo mês mais seco, de toda a série, e neste ano, vários episódios acima de 30 mm a mais de 70 mm foram registrados. A maior quantidade de episódios, com maiores valores acumulados diários, ocorreu em setembro, outubro e novembro com valores acima de 50 mm e outubro com quase 100 mm (Figura 14).

Figura 14. Precipitação acumulada diária do ano de 2015 (o mais chuvoso de toda a série histórica) do distrito de Sumaré, Paranaíba, PR, Brasil



Na Tabela 2, é possível visualizar a quantidade de dias com chuva mensal, a média climatológica e o total anual. O painel propicia, através das cores das classes de intervalos, uma visualização geral de toda a série histórica.

A maior quantidade de dias com chuva, de 20 a 25 dias, foram observados nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, coincidindo com o período mais chuvoso da área de estudo, isto não é uma regra.

Os meses de julho e agosto apresentaram a menor média anual na quantidade de dias com chuva sendo respectivamente 6 e 5 dias, e a classe de 0 a 4,99 se repetiu ao longo da série 15 vezes no mês de julho e 20 em agosto (Tabela 2).

Tabela 2. Painel temporal da quantidade de dias com chuva toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranaíba, PR, Brasil

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1976	12	14	15	10	12	7	7	10	12	9	10	14	132
1977	22	14	11	5	5	12	5	6	11	6	15	15	127
1978	10	8	11	1	7	1	8	5	9	5	12	9	86
1979	9	11	6	8	11	0	8	3	14	12	10	15	107
1980	13	14	11	8	9	6	5	12	15	8	8	13	122
1981	18	13	8	10	2	9	3	6	4	13	12	19	117
1982	8	14	10	5	8	15	10	8	7	17	20	17	139
1983	14	14	11	14	13	17	6	0	15	11	13	16	144
1984	12	11	12	7	6	3	3	7	9	3	11	13	97
1985	8	19	18	12	7	2	4	2	5	7	9	6	99
1986	14	18	11	5	17	1	5	12	9	6	7	15	120
1987	15	17	4	6	16	10	8	3	11	11	8	9	118
1988	11	17	10	10	15	9	0	0	4	10	6	10	102
1989	23	14	9	8	7	11	8	10	9	6	11	13	129
1990	11	17	10	10	15	9	0	0	4	10	6	10	102
1991	10	7	14	3	5	10	3	3	6	9	7	17	94
1992	7	11	19	9	14	6	8	9	14	13	8	10	128
1993	17	17	8	8	7	5	7	4	12	9	6	14	114
1994	14	17	10	7	8	5	6	1	4	14	10	10	106
1995	21	16	9	8	3	7	6	3	8	12	6	12	111
1996	16	15	14	9	8	5	3	6	10	10	11	20	127
1997	23	13	7	7	6	15	2	5	9	14	18	13	132
1998	10	16	15	15	7	4	2	10	15	14	5	12	125
1999	14	14	11	5	6	11	4	0	5	5	7	13	95
2000	9	14	11	2	6	10	9	12	9	8	11	16	117
2001	11	17	15	7	12	7	6	4	8	8	11	13	119
2002	16	12	8	2	12	2	5	8	11	11	13	10	110
2003	17	16	8	7	5	3	5	5	8	7	10	14	105
2004	10	7	8	9	17	11	10	1	6	11	12	12	114
2005	24	5	4	9	5	5	6	5	12	15	8	9	107
2006	14	13	12	6	4	8	4	1	8	8	11	13	102
2007	20	14	8	11	6	2	6	3	4	11	9	12	106
2008	12	15	8	12	4	8	2	12	7	10	8	7	105
2009	13	15	7	1	8	10	14	8	12	13	15	17	133
2010	23	12	8	8	6	3	5	4	11	12	8	16	116
2011	16	20	13	11	3	8	7	7	4	11	8	10	118
2012	10	10	10	8	5	10	5	0	5	7	10	17	97
2013	12	19	15	9	12	13	5	2	8	7	9	9	120
2014	12	12	10	9	6	7	8	3	13	6	11	16	113
2015	13	14	11	8	10	2	16	4	11	11	20	22	142
2016	12	19	8	2	13	7	4	8	4	7	5	13	102
2017	14	10	11	10	10	9	0	8	2	12	11	15	112
2018	21	8	14	3	3	6	1	8	11	14	6	10	105
Média	14	14	11	8	8	7	6	5	9	10	10	13	114

	0 – 4,99
	5 – 9,99
	10 – 14,99
	15 – 19,99
	20 – 24,99

O ano de 1983 foi o que apresentou a maior quantidade anual de dias com chuva, 144, porém este não foi o ano mais chuvoso da série analisada. O ano mais chuvoso foi 2015, totalizando 142 dias com chuva, apenas dois dias a menos, porém com quase 500 mm de chuva a mais, quando comparado ao ano de 1983 (Figura 13). Neste ano de 2015, julho teve 16 dias com chuva, mas ocorreram 6 dias com chuva muito acima da média climatológica. Os valores também foram acima da média para o mês de novembro 20 dias e dezembro 22 dias.

4.3 EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA VOÇOROCA

Devido ao aumento das médias pluviométricas anuais a partir de 2009 e consequentemente o aumento do fluxo hídrico natural para a bacia de primeira ordem, se fez necessário verificar o processo histórico de evolução da voçoroca. Para melhor acompanhar o avanço da erosão foi utilizado as imagens satélite dos anos de 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019. Esse intervalo de tempo foi selecionado pela expressiva evolução da voçoroca que aumentou de 340 para 950 metros de extensão (Tabela 3).

Vale enfatizar que, a expansão da malha urbana, aumentou a concentração de moradias, ruas pavimentadas, construções de barracões de empresas e indústrias nas proximidades, consequência da implantação do distrito industrial de Paranavaí em meados de 1980 e essas mudanças contribuíram para a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial na área (Figura 15).

Baseando-se na tabela 3 e na figura 15, foi possível observar que nos anos de 2008 a 2010 ocorreu a menor evolução em extensão da voçoroca, que teve um aumento de 10 metros em direção a média vertente. Porém no setor do sopé, a evolução ocorre em profundidade quase não interferindo na largura.

Tabela 3. Medidas de extensão da voçoroca ao longo de 2008 a 2019

Ano	Medida da extensão (m)
2008	340
2010	350
2012	410
2014	530
2016	640
2017	710
2018	830
2019	950

Figura 15. Linha do tempo da evolução da voçoroca. **Fonte:** Google Earth, 2019



O aumento mais expressivo ocorreu entre o ano 2014 a 2016, resultando em um avanço de 130 metros (Tabela 3). Nesse momento a voçoroca se instalou sob a média vertente e seu comportamento se modificou, devido as características físicas dessa classe de solo, fazendo com que a voçoroca aumentasse em largura mais facilmente do que em profundidade (Figura 15).

Para compreender as razões dessa rápida evolução, recorreu-se a uma análise dos totais anuais, e foi confirmado que o ano de 2015 apresentou os maiores valores registrado de toda a série estudada (Figura 13), por isso este ano foi escolhido para uma análise diária (Figura 15). Não somente pelo total anual, se deve a escolha, mas por 2015 ter sido um ano muito atípico no que se refere à distribuição da precipitação ao longo do ano, muito diferente do padrão climatológico, o que de certa forma contribuiu para a rápida evolução da voçoroca no período de 2014 a 2016.

A fim de tentar encontrar mais esclarecimentos sobre a dinâmica erosiva da área, optou-se por utilizar a informação da variação temporal da erosividade, que serve para identificar os períodos críticos ao longo dos meses do ano. Conhecer os períodos críticos de erosividade é importante, principalmente para o planejamento de determinadas atividades realizadas na área rural.

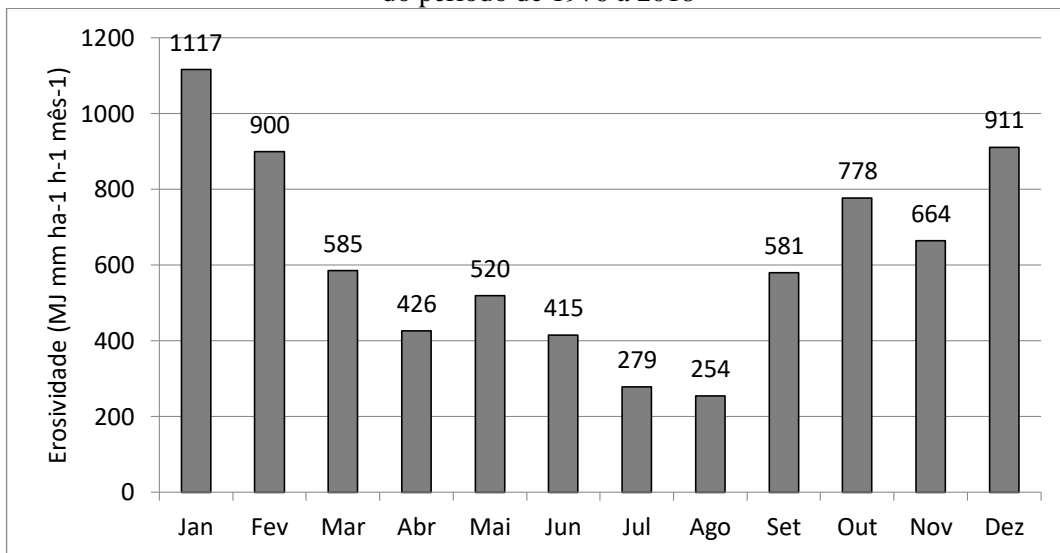
Sabendo os períodos críticos ao longo do ano, é possível amenizar a perda de solo, principalmente em áreas onde a suscetibilidade à erosão é alta devido às características texturais do solo, como é o caso da voçoroca da área de estudo.

A erosividade média anual (R) da chuva, para o distrito de Sumaré, Paranaíba, estimada com dados pluviométricos do período 1976-2018 foi de $7548,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor este superior ao apresentado por Waltrick, et al. (2015) que foi de $7340 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com dados pluviométricos de Paranaíba-PR do período 1986-2008.

A alteração no aumento da erosividade está relacionada com o tamanho da série histórica analisada e até mesmo das técnicas utilizadas, afirma Waltrick, et al. (2015), não sendo possível, assegurar que houve um aumento da pluviosidade ou da intensidade.

Os meses de maior erosividade média mensal foram; janeiro, fevereiro, outubro e dezembro (Figura 16), valores esperados porque são os meses com os maiores valores médios de toda a série. As menores erosividades foram registradas de abril a agosto, com um pico de $520 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no mês de maio (Figura 16).

Figura 16. Erosividade média mensal para o distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, dados de pluviosidade do período de 1976 a 2018



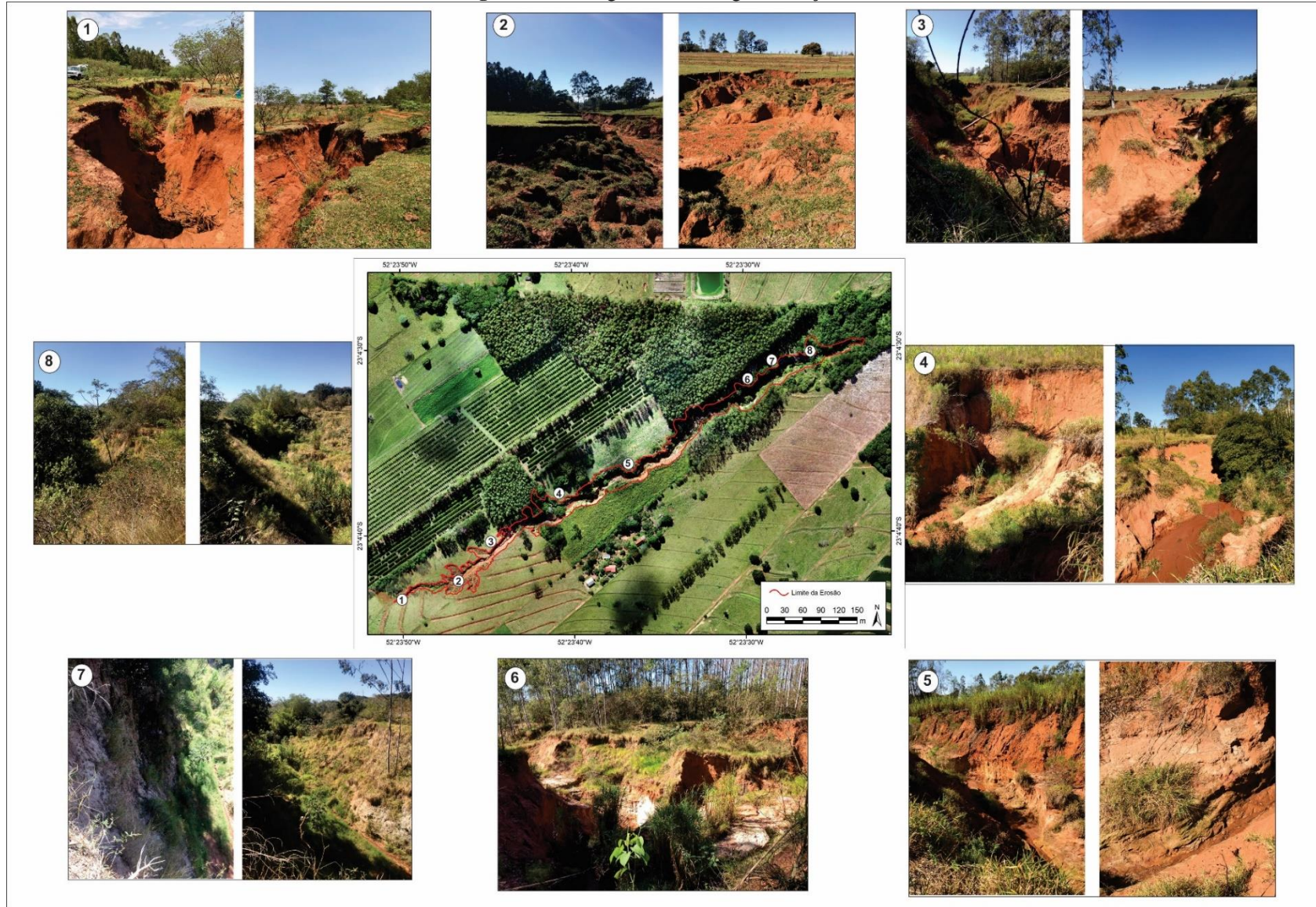
Essa erosividade concentrada nos meses de verão e menos intensa nos meses de inverno, contribuiu para que a voçoroca apresente diferentes estágios de evolução. A dinâmica erosiva da área de estudo apresenta relações diretas e indiretas com as características do solo, do relevo, do clima e do manejo (Figura 17).

De acordo com o exposto na figura 17, no setor da média vertente onde estão apresentados os pontos 1 a 4, a evolução da voçoroca ocorre de forma regressiva, sendo mais intensa em períodos de chuvas, pois a instalação dos tubos à montante canalizaram parte do fluxo hídrico para aquela área, aumentando, a energia da água contribuindo para o abatimento da borda voçoroca.

Nesse setor à montante da voçoroca, ocorrem a presença de *pipings*, localizados próximos ao ponto 1 da figura 17, que segundo Guerra et al. (1995) também são conhecidos por dutos, que são pequenas cavidades nos horizontes subsuperficiais do solo que avança de forma remontante mais rápida do que em superfície, conforme esse avanço acontece ocorre o colapso do horizonte superficial, aumentando a voçoroca.

Ainda nesse setor é possível identificar ramificações semelhantes a uma rede dendrítica, conforme mostra o ponto 2 da figura 17, que está conectada ao eixo principal da voçoroca. Esses canais são mais rasos, porém mais abertos, com aproximadamente 50 metros de largura entre os pontos mais distantes. Em direção ao eixo central ocorre um aprofundamento que expõem sutilmente a rocha, devido as incisões que chegam a mais de 15 metros de profundidade. Em períodos de chuvas a água corre nessa área estabelecendo um curso com um canal de tamanho estreito e forma meândrica.

Figura 17. Fotografias ao longo da voçoroca



Outro comportamento identificado entre a média e a baixa vertente, de acordo com os pontos 2, 3 e 4 da figura 17, é o solopamento da margem na voçoroca que segundo Guerra *et al.* (1995) ocorre com o desprendimento em bloco das bordas, esculpindo as laterais como se fossem degraus, estabelecendo assim a forma de taludes solopados.

No ponto 4 da figura 17, ocorre o afloramento do freático, que apresenta um regime constante durante o ano todo, nesse segmento a profundidade ultrapassa 20 metros e a largura chega a 18 metros.

Nos pontos 5 e 6 (Figura 17) ocorre a transição das classes de solos entre a média e baixa vertente, com base na análise das imagens é possível verificar a mudança da coloração. As formas da voçoroca nesse setor já começam a se modificar, apresentando paredes mais íngremes, larguras mais estreitas e maiores profundidades, ocorrendo a presença nítida da rocha exposta na base, além do constante volume de água que corre durante o ano todo, porém com alteração de vazão, de acordo com condições pluviométricas.

Já direção aos pontos 7 e 8 da figura 17, no sopé da vertente, a dinâmica erosiva ocorre 24 horas por dia, seja pela ação do vento que carrega o material solto mais fino, ou pela energia da água da chuva. Nesse setor a largura ultrapassa 20 metros e a profundidade chega a 35 metros.

Com base nos voos realizados com o VANT em dezembro de 2018 e janeiro de 2020 obteve-se as medidas da voçoroca, as quais estão apresentadas na tabela 11.

O perímetro da voçoroca em 2018 era de 2.764,10 e em 2020 chegou a 2.796,20 m, ocorrendo um aumento de 1,16%. Já a área total ocupada pela voçoroca em 2018 era de 23.488,80 m² em 2020 e aumentou para 24.411,86m², resultando em 3,93% de acréscimo na extensão. O volume era 91.355 m³ em 2018, chegando à 93.752,50 m³ em 2020, totalizando 2,62% de expansão (Tabela 4).

Tabela 4. Medidas da voçoroca obtidas pelo VANT

INFORMAÇÕES	DEZEMBRO – 2018	JANEIRO - 2020
Perímetro (m)	2.764,10	2.796,20
Área (m ²)	23.488,80	24.411,86
Volume (m ³)	91.355	93.752,50
Profundidade máxima (m)	22,5	23,39
Largura máxima (m)	81,2	105

Com base nos dados apresentado na tabela 4 e a análise da figura 18, pode-se observar que na área de estudo ocorrem duas frentes de transformações distintas. Verifica-se que no setor a leste, no sopé da vertente, a evolução ocorre através do aprofundamento da erosão, e no setor

a oeste, à montante, essa evolução ocorre com o alargamento muito significativo nos períodos de chuva. Porém, de maneira geral, o aumento em profundidade foi de 3,95%, sendo que em 2018 era de 22,5 m e em 2020 chegou à 23,39 m. As medidas realizadas nesse período mostraram que o aumento em largura, foi maior do que em profundidade pois o avanço máximo lateral passou de 81,2 m para 105 m, totalizando 29,31% de acréscimo (Tabela 4).

Figura 18. Imagem 3D da voçoroca



Portanto, diante do potencial da erosividade das chuvas aliada a erodibilidade dos solos da área de estudo, percebe-se a necessidade de cada vez maior de adotar práticas conservacionistas, como a construção e manutenção das caixas de contenção de água da chuva, terraços de base estreita ou larga, plantio em nível, manutenção das estradas rurais, cobertura do solo em tempo integral, manutenção de áreas com pastagem, dentre outras práticas que são imprescindíveis para evitar a perda de solos.

4.4 ESTRUTURA DA COBERTURA PEDOLÓGICA AO LONGO DA VOÇOROCA

A cobertura pedológica da topossequência oriunda do arenito da Formação Caiuá apresentou diferentes volumes com variações verticais e laterais, tais variações morfológicas foram identificadas e delimitadas, como apresenta a figura 8. Determinou-se três setores na topossequência: o setor I, no topo (sondagens 1 a 5 e trincheira 1) composto de Latossolo Vermelho de textura média, com sequência de horizontes Ap, AB, Bw1 e Bw2; por seguinte na

média vertente, o setor II (sondagens 5 a 12 e trincheira 2) ocorrem o Argissolo Vermelho de textura média, com os horizontes Ap, E, Bt e Bw; e na baixa vertente, o setor III (sondagens 13 a 14 e trincheira 3) verificam-se o Neossolo Quartzarênico, com a sequência de horizonte Ap, E1 e E2.

Embora a denominação correta dos horizontes subsuperficiais do Neossolo Quartzarênico utilize a letra C, de acordo com a classificação dos solos proposta pela Embrapa (2017), esses horizontes foram denominados como E (E1 e E2), visando dessa forma representar a continuidade do horizonte E do Argissolo e dos processos de perda de argila, provocado pela arenização, que evolui de forma remontante.

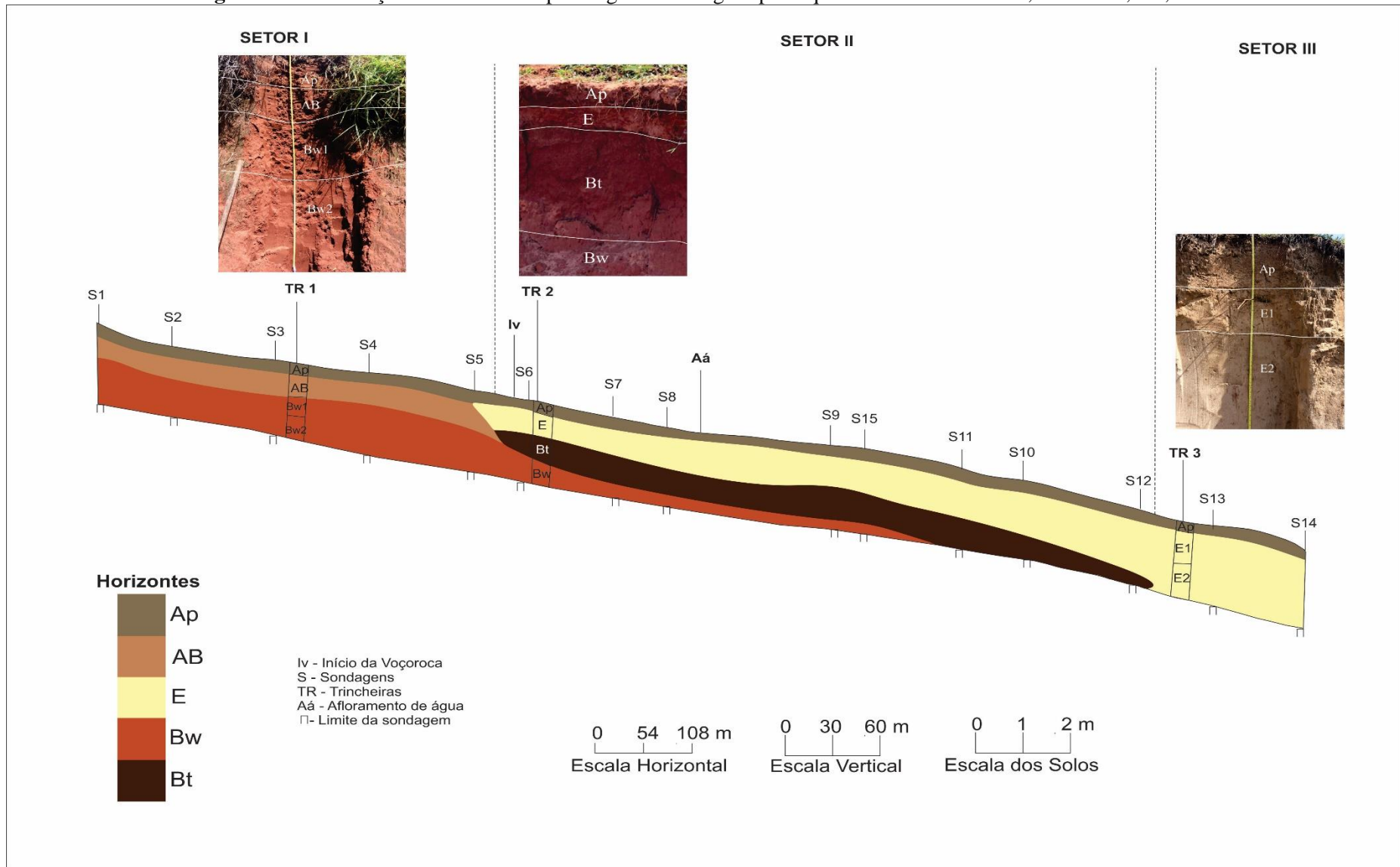
De acordo com a figura 19, o horizonte Ap está disposto em toda a topossequência, porém com variações morfológicas registradas na tabela 5. Conforme a tabela 5 apresenta, no topo o Ap apresenta 32 cm de espessura, coloração vermelho acinzentado (2,5 YR 4/2), textura arenosa, estrutura de grau fraco, tamanho pequeno, do tipo granular passando a grão simples, a consistência seca apresenta-se como solta, quando úmida é friável, sendo ligeiramente plástica e pegajoso a não plástica e não pegajoso, molhado. Nesse segmento é comum a presença de muitas raízes finas e fasciculadas, devido ao manejo de pastagens.

Em direção a média vertente, no setor II, o Ap aumenta sua espessura para 34 cm, a coloração é alterada para bruno avermelhado (2,5 YR 5/4), a textura continua arenosa, estrutura maciça que se desfaz em grão simples, a consistência é solta, quando seca e úmida, e não plástica e não pegajosa, quando molhada (Tabela 5).

Na baixa vertente, no setor III, a espessura do Ap aumentou para 36 cm com cor rosada (7,5 YR 7/4), a textura permanece arenosa e a estrutura é constituída de grãos simples, o horizonte quando seco e úmido também apresenta consistência solta, e molhado é não plástico e não pegajoso, com algumas raízes finas e fasciculadas (Tabela 5).

Lateralmente é possível verificar que o horizonte Ap aumenta sua espessura e modifica sua estrutura de montante para jusante, a estrutura passa de fraca, pequena, granular passando à grão simples no sopé da vertente (Tabela 5). As mudanças nas características morfológicas são consequências do processo de mobilização de material fino de montante para jusante, influenciado pela atuação dos fluxos hídricos verticais e laterais.

Figura 19. Distribuição dos horizontes pedológicos ao longo topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



Cunha *et al.* (1999) em seus estudos no município de Umuarama, no Noroeste do Paraná, evidenciaram a mobilização de argila em horizontes superficiais ao longo de uma topossequência, ocasionando perda de material fino e consequentemente o aumento da espessura do horizonte Ap em direção ao sopé da vertente, atribuindo esse processo como consequência do comportamento dos fluxos hídricos.

Tabela 5. Descrição morfológica dos solos nas trincheiras levantadas na topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

Hori. Prof. (cm)	Cor Munsell	Textura	Estrutura	Consistência	Raízes	Transição
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho (setor I)						
Ap 0-32	2,5 YR 4/2	A.	Fr. P. Gra. Gs.	Sol. Fri. Lig. Pla. Peg. Ñ. Pla. Ñ. Peg.	Mt. Fi. Fas.	Pla. Cla.
AB 32-66	2,5 YR 4/6	Af.	Mo. M. Blo. Ang. Sub.	Ma. Mt. Fri. Lig. Pla. Lig. Peg.	Po. Fi. Fas.	Pla. Gra.
Bw1 66-122	2,5 YR 5/6	F.	Fr. M. Blo. Ang. Sub.	Sol. Mt. Fri. Lig. Pla. Lig. Peg.	Po. Fi. Fas.	Pla. Dif.
Bw2 122-200	2,5 YR 4/8	F.	Fr. P. M. Blo. Ang. Sub.	Sol. Mt. Fri. Lig. Pla. Lig. Peg.	Po. Fi. Fas.	
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho (setor II)						
Ap 0-34	2,5 YR 5/4	A.	Mac. Gs.	Sol. Sol. Ñ. Pla. Ñ. Peg.	Fi. Fas.	Pla. Gra.
E 34-71	2,5 YR 4/6	Af.	Fr. Gra. Mo. Blo. Ang.	Sol. Mt. Fri. Ñ. Pla. Ñ. Peg. Lig. Pla. Lig. Peg.	Fi. Fas.	Pla. Gra.
Bt 71-183	2,5 YR 4/4	Faa.	Fo. M. G. Blo. Ang. Sub.	Mac. Lig. Dur. Mt. Fri. Lig. Pla. Peg.	M. Po. Fi. Fas.	Pla. Gra.
Bw 183-200	2,5 YR 4/8	Fa.	Fr. Mo. P. M. Blo. Ang. Sub.	Sol. Mac. Mt. Fri. Lig. Pla. Lig. Peg.	Po. Fi. Fas.	
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico (setor III)						
Ap 0-36	7,5 YR 7/4	A.	Gs.	Sol. Sol. Ñ. Pla. Ñ. Peg.	Fi. Fas.	Pla. Gra.
E1 36-67	7,5 YR 8/2	A.	Gs.	Sol. Sol. Ñ. Pla. Ñ. Peg.	Po. Fi. Fas.	Pla. Dif.
E2 67-200	10 YR 8/2	A.	Gs.	Sol. Sol. Ñ. Pla. Ñ. Peg.		

F. – franco; Fa. – franco arenosa; Faa. – franco-argilo-arenosa; Af. – areia franca; A – areia; Fr. – fraca; Mo. – moderada; - Fo. – forte; P. – pequena; M. – média; G. – grande; Ma. – maciça; Gra. – granular; Blo. – blocos; Ang. – angulares; Sub. – subangulares; Gs. – grão simples; Sol. – solta; Fri. – friável; Lig. – ligeiramente; Pla. – plástico; Peg. – pegajosos; Ñ. – não; Mac. – macio; Mt. – muito; Du. – duro; Po. – pouca; Fi. – finas; Faz. – fasciculadas; Pla. – plana; Grad. – gradual; Cla. – clara; Dif. – difusa.

Como mostra a tabela 5, no topo a transição do Ap para o horizonte AB ocorre com topografia plana e de nitidez clara, já na média vertente a transição do horizonte superficial para o horizonte E e no sopé do Ap para o horizonte E1 é plana e gradual.

O horizonte AB do topo da vertente, possui 34 cm de espessura, cor vermelha (2,5 YR 4/6), textura de areia franca, estrutura de grau moderado, tamanho médio e tipo de blocos angulares e subangulares, a consistência seca é macia, úmida é muito friável e molhada é ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso (Tabela 5).

O horizonte AB desaparece sentido a média vertente, a partir da sondagem 5, surgindo em seu lugar um horizonte arenoso, denominado de E (Figura 19). O horizonte E possui 37 cm de espessura, cor vermelha (2,5 YR 4/6), textura também de areia franca, estrutura de grau fraco a moderado, do tipo granular passando para blocos angulares, com presença de muitas raízes finas e fasciculadas. A consistência seca é solta, quando úmida é muito friável e molhada é não plástico a não pegajoso passando a ligeiramente plásticos a ligeiramente pegajoso (Tabela 5).

Em direção à baixa vertente, o horizonte E se espessa, se dividindo nos horizontes E1 e E2. De acordo com os dados apresentados na tabela 12, o horizonte E1 possui 31 cm de espessura, cor branco rosada (7,5 YR 8/2), textura arenosa e estrutura em grãos simples, consistência solta quando seca ou úmida, e não plásticos e não pegajoso, quando molhado, com poucas raízes finas e fasciculadas, transacionando verticalmente de forma plana e gradual para o horizonte E2, que possui 133 cm de espessura, cor bruno-muito-claro-acinzentado (10 YR 8/2), com a mesma textura, estrutura e consistência do horizonte acima.

Nos horizontes E1 e E2 do sopé da topossequência, foi possível identificar a presença de poucas bandas onduladas, e nessas, pouca cerosidade de grau fraco. Conforme Queiroz Neto (2002) é comum a presença de bandas onduladas em direção ao sopé da vertente, quando ocorre mudanças de umidade ao longo do ano, gerando mobilização de argila ao longo da topossequência, contribuindo para o avanço remontante do pacote arenoso.

A montante no setor I, logo abaixo do horizonte AB se forma o horizonte Bw, conforme os dados apresentados na figura 19, que se diferencia nos horizontes Bw1 e Bw2. De acordo com a tabela 5, o horizonte Bw1 possui 56 cm de espessura, coloração vermelha (2,5 YR 5/6), textura franca, estrutura fraca de tamanho médio com blocos angulares e subangulares, consistência solta, quando seca, muito friável, úmida, e molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. Já o horizonte Bw2, apresenta 78 cm de espessura, cor vermelho (2,5 YR 4/8), com a mesma textura e consistência do Bw1, mas a estrutura é diferente, sendo ela fraca, pequena a média de blocos angulares e subangulares.

Em direção a média vertente é possível verificar o surgimento do horizonte Bt, sotoposto ao Bw, conforme apresentado na figura 19. O horizonte Bt tem 112 cm de espessura, cor brunovermelhada (2,5 YR 4/4), textura franco-argilo-arenosa, estrutura forte de tamanho médio à

grande com blocos angulares à subangulares, e a consistência seca é macia a ligeiramente dura, úmida é muito friável e molhada é ligeiramente plástica a ligeiramente pegajoso (Tabela 5).

A transição do Bt para o Bw na média vertente ocorre entre as sondagens 6 e 11, em topografia plana e nitidez gradual. O horizonte Bw possui 17 cm de espessura, cor vermelha (2,5 YR 4/8), textura franco arenosa, estrutura fraca a moderada de tamanho pequeno à médio com blocos angulares e subangulares, de consistência quando seca é solta e macia quando úmida, muito friável e molhada ligeiramente plástica a ligeiramente pegajoso (Tabela 5).

Diante dos dados observados foram encontradas três classes de solos distintas e duas frentes de transformações ao longo da vertente.

Sendo assim, no topo da vertente foi encontrado um solo com um horizonte B bem desenvolvido, descrito como Latossolo Vermelho, essa coloração faz referência a matiz de 2,5 YR, que se estende até a média vertente, onde ocorre a primeira frente de transformação da topossequência, quando a cobertura latossólica transforma-se pelo avanço remontante da cobertura argissólica da média vertente.

Zaparoli (2009) no município de Florai – PR, verificou que, conforme a topografia mudava do topo sentido à média vertente, aparecia embutido no Bw o horizonte Bt, com maior teor de argila da topossequência, que avançava de forma de remontante sobre o Bw, caracterizando uma frente de transformação na média vertente no sentido ao topo. Esse tipo de transformação já foi verificado por também por CASTRO, (1989); SALOMÃO, (1994); SANTOS, (2000); NAKASHIMA, (1999); GASPARETTO, (2000); CALEGARI, (2000).

Na média vertente foi encontrada, o Argissolo, por apresentar um horizonte B textural abaixo do horizonte Ap e E, Vermelho, devido a matiz 2,5 YR. Calegari (2000) no município de Nova Esperança – PR, também verificou comportamentos semelhante, nos argissolos, onde os horizontes superficiais e subsuperficiais eram mais arenosos e a água apresentava uma passagem livre, porém essa situação mudava em profundidade, devido ao impedimento encontrado no horizonte Bt. Segundo a autora nesse segmento da vertente existia a presença de processos erosivos devido as mudanças das características pedológicas.

Em direção a baixa vertente, foi identificado a terceira classe de solo, identificada como o Neossolo Quartzarênico. Foi classificada dessa forma por não possuir contato lítico dentro de 50 cm, apresentar a sequência de horizontes A-C, de textura areia ou areia franca até 150 cm de profundidade. Dessa forma a segunda frente de transformação acontece no sopé da topossequência, quando o pacote arenoso constituído pelo Neossolo Quartzarênico avança de forma remontante destruindo o horizonte Bt na média vertente.

Karling (2000) no município de Cidade Gaúcha – PR, verificou a presença de Neossolo Quartzarênico em todo o setor côncavo da cabeceira de drenagem, ou seja, o sopé das vertentes. Devido as características desse solo que possui textura arenosa e do formato da cabeceira de drenagem de forma côncava, autora alertou que esse setor apresentava grande suscetibilidade à erosão independente do manejo, e que os processos erosivos instalados na área se projetavam de forma remontante e evoluíam de forma rápida para áreas menos suscetíveis a erosão.

4.4.1 Granulometria, argila natural e grau de flocculação

A tabela 6 apresenta os dados quantitativos das amostras retiradas nas trincheiras referentes à composição granulométrica juntamente com o grau de dispersão e flocculação dos horizontes dos solos presentes na topossequência, enquanto que, a figura 9 representa através de gráficos a distribuição granulométrica ao longo dos perfis de solo.

Tabela 6. Dados de granulometria, argila flocculada e argila dispersa das trincheiras da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

Horiz Prof.	Areia M. Fina	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Areia M. Grossa	Areia Total	Silte	Argila	Grau Floc.	Grau Disp.
cm	g.Kg ⁻¹								%	
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho (setor I)										
Ap 0-32	29,99	647,08	200,26	14,06	0,25	891,65	23,85	84,50	42,60	57,40
AB 32-66	20,54	623,49	190,14	18,83	1,07	854,08	30,05	115,87	36,57	63,43
Bw1 66-122	25,08	607,91	153,52	14,17	0,50	801,18	29,20	169,62	41,19	58,81
Bw2 122-200	21,42	562,41	177,60	16,32	0,20	777,96	29,67	192,38	97,79	2,21
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho (setor II)										
Ap 0-34	32,07	663,82	167,26	21,55	0,28	884,98	35,02	80,00	28,75	71,25
E 37-71	34,54	548,45	240,61	15,59	0,87	840,06	27,94	132,00	68,18	31,82
Bt 71-183	25,06	561,26	153,20	10,92	0,28	750,71	22,29	227,00	58,59	41,41
Bw 183-200	28,68	518,10	226,21	13,99	0,39	787,37	28,63	184,00	70,11	29,89
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico (setor III)										
Ap 0-36	27,22	632,24	280,52	22,17	0,00	962,15	20,35	17,50	41,43	58,57
E1 36-67	16,28	529,57	371,97	43,40	0,00	961,22	24,66	14,12	50,44	49,56
E2 67-200	16,32	561,38	345,85	52,87	0,28	976,70	14,93	8,37	43,28	56,72

Conforme as informações expostas na tabela 6, a classe de areia muito fina variou 16,28 g.Kg⁻¹ e 34,54 g.Kg⁻¹ ao longo da topossequência, sem nenhum comportamento padrão entre a alta e média vertente, porém em direção a baixa vertente, nota-se uma diminuição em profundidade.

No que se refere a classe de areia fina, ocorre um predomínio ao longo da topossequência, com variação entre 518,10 g.Kg⁻¹ e 663,82 g.Kg⁻¹ (Tabela 6), sendo que na alta vertente diminui em profundidade, e em direção a média e baixa vertente ocorre uma variação aleatória. Além disso, as maiores concentrações de areia fina ocorreram no horizonte superficial (Ap) em todos os solos analisados, principalmente no Argissolo e Neossolo Quartzarênico, onde a diferenciação foi mais evidente e expressiva, com valores superiores a 100 g Kg⁻¹ entre o horizonte Ap e o subjacente (E).

Já na classe de areia média, a variação foi de 153,20 g.Kg⁻¹ a 371,97 g.Kg⁻¹ ao longo da topossequência, sem apresentar um padrão de comportamento. Porém nota-se na baixa vertente, ocorre um acúmulo de areia média, e um aumento dessa fração, sobretudo nos horizontes E1 e E2, indicando valores 2 vezes maiores quando comparados a maioria dos horizontes descritos nos Latossolos e Argissolos (Tabela 6).

A classe de areia grossa variou entre 10,92 g.Kg⁻¹ a 52,87 g.Kg⁻¹, também sem um comportamento padrão na alta e média vertente, enquanto que na baixa vertente aumento o teor em profundidade, cujo o valor no horizonte E2 foi mais que o dobro do horizonte Ap (Tabela 6).

Resultados semelhantes foram constatados por Gasparetto (1999) que verificou um aumento das frações mais grosseiras em direção ao sopé da topossequência estudada no mesmo distrito de Sumaré em Paranaíba-PR.

De acordo com a tabela 6, a classe de areia muito grossa apontou uma variação entre 0,20 g.Kg⁻¹ e 1,07 g.Kg⁻¹, sendo essa uma variação pouco expressiva. Porém ocorreu um comportamento semelhante à classe de areia grossa, ou seja, em direção ao sopé da vertente aumentou a concentração em profundidade.

No que se refere a areia total, de montante à média vertente ocorre uma diminuição em profundidade, na trincheira 1 a variação ocorreu com 891,65 g.Kg⁻¹ no horizonte Ap para 776,96 g.Kg⁻¹ no Bw2, já na trincheira 2 o horizonte Ap apresentou 884,98 g.Kg⁻¹ e o Bw 787,37 g.Kg⁻¹. Em direção ao sopé da vertente, ocorre uma mudança, pois o horizonte Ap apresentou 962,15 g.Kg⁻¹ e o horizonte E2 976,70 g.Kg⁻¹, ou seja, aumentou em profundidade. Esse comportamento, de acúmulo de material fino em direção ao sopé da vertente é resultado da

perda de material fino, que possibilita a concentração de areia, indicando um sistema de transformação (Tabela 6).

Marcatto (2020) estudou uma topossequência localizada na bacia hidrográfica do Pirapó-PR, composta por Latossolo, Argissolo, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico originados da alteração dos arenitos da Formação Adamantina. A autora verificou que, de maneira geral, ocorria o predomínio da fração areia na composição granulométrica desses solos, porém essa concentração era maior em superfície e diminuía em profundidade na alta e média vertente. Em direção ao sopé, na área de ocorrência do Neossolo Quartzarênico, ocorria o inverso, a areia total aumentava em profundidade, demonstrando a perda de argila e a arenização dessa cobertura, semelhantemente ao observado nessa pesquisa.

Os valores de silte foram baixos ao longo da topossequência (Tabela 6), com uma variação de 14,93 a 35,05 g.Kg⁻¹. Na alta vertente (TR1) ocorreu uma variação de 23,85 g.Kg⁻¹ a 30,05 g.Kg⁻¹, sendo o maior valor no horizonte Ap e o menor no AB. Já na média vertente (TR2) a variação foi de 22,29 g.Kg⁻¹ a 35,02 g.Kg⁻¹, sendo o valor mais elevado localizado no horizonte Ap. E em direção ao sopé da vertente (TR3), o silte variou 14,93 g.Kg⁻¹ a 24,66 g.Kg⁻¹. De maneira geral o silte não apresentou um comportamento padrão ao longo da topossequência.

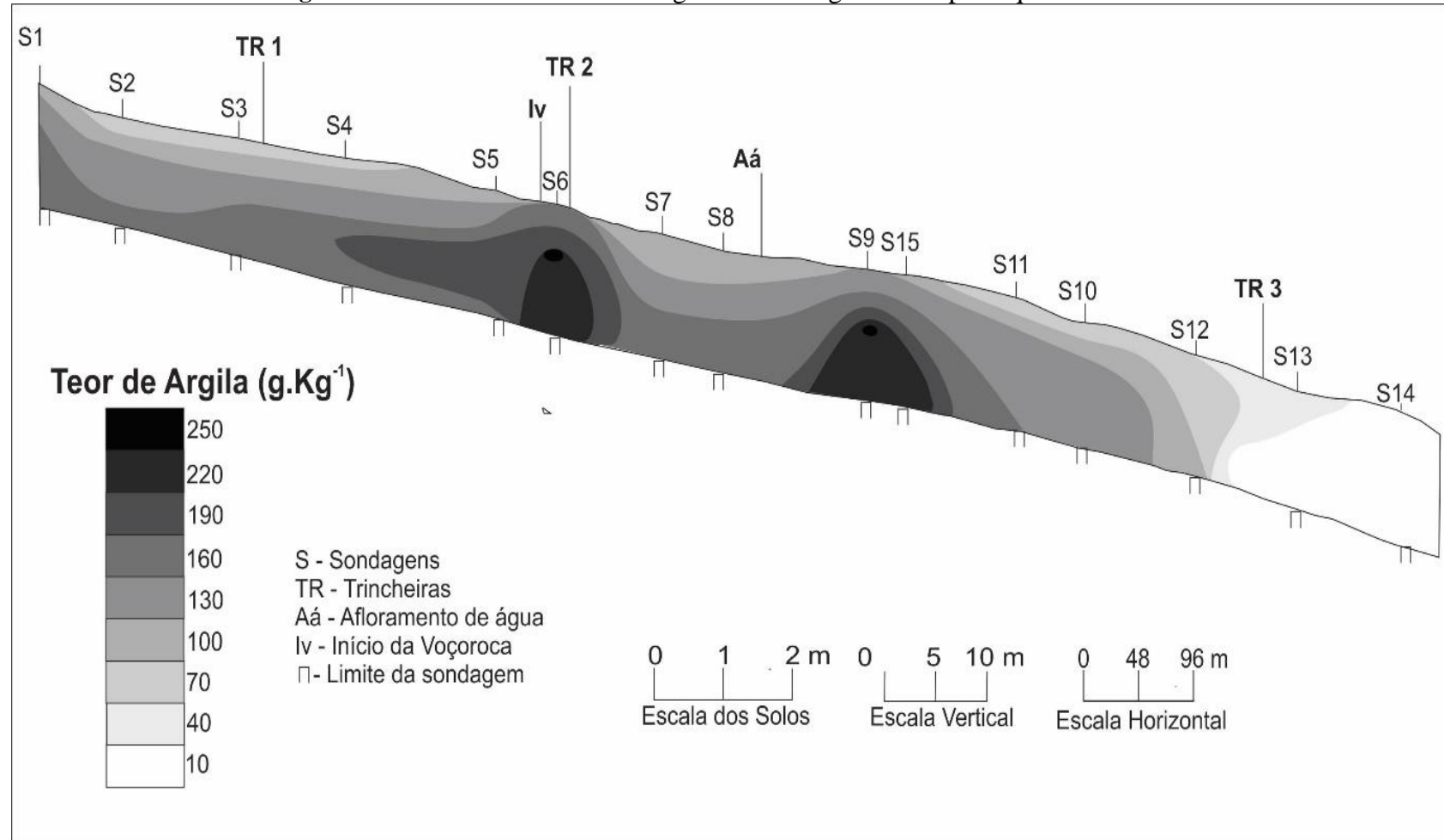
No que se refere a concentração de argila ao longo da topossequência, na alta vertente (TR1) onde está localizado o latossolo, o horizonte Ap apresentou 84,05 g.Kg⁻¹, sendo a menor concentração do perfil, seguindo um aumento em profundidade, até chegar no Bw2 com 192,38 g.Kg⁻¹ (Tabela 6).

Em direção a média vertente (TR2), no argissolo, o horizonte Ap, apresentou a menor concentração (80,00 g.Kg⁻¹), entretanto, ocorreu um aumento em profundidade até cegar no horizonte Bt (227,00 g.Kg⁻¹), os valores obtidos nesse horizonte foi o maior de toda topossequência (Tabela 6).

E no sopé da vertente (TR3), está o neossolo quartzarênico, juntamente as menores concentrações de argila de toda topossequência, com uma variação de 8,37 g.Kg⁻¹ (E2) a 17,50 g.Kg⁻¹ (Ap), nesse setor é possível observar uma diminuição de argila em profundidade, demonstrando a perda de material fino em direção ao sopé da vertente.

Os ensaios granulométricos realizados nas amostras das sondagens e das trincheiras permitiram apresentar especialmente a variação nos valores de argilas ao longo da topossequência, que pode ser observado na figura 20.

Figura 20. Curva de isovalores de argila das sondagens na Topossequência Sumaré



As curvas de isovalores de argila (Figura 20), permitem visualizar lateralmente que no horizonte superficial ocorre uma variação de 10 g.Kg⁻¹ a 100 g.Kg⁻¹ de argila ao longo da topossequência. As maiores concentrações encontram-se na alta e média vertente, porém em direção ao sopé ocorre uma redução expressiva, sobretudo nas sondagens 13 e 14, em que a argila variou entre as classes de 0 g.Kg⁻¹ a 40 g.Kg⁻¹.

Conforme mostra a figura 20, a partir da sondagem 5, ocorre uma concentração de argila em profundidade, o que contribuiu para originar o horizonte Bt, que marca o início da cobertura argissólica, que se estende até a sondagem 12.

Em direção ao sopé da vertente, entre as sondagens 13 e 14, fica evidente o volume arenoso, que constitui o Neossolo Quartzarênico. Esse pacote arenoso avança de forma remontante em direção ao Argissolo da média vertente, evidenciando uma tendência de perda de argila e arenização, que evolui do sopé, em direção a montante (Figura 20).

Essas mudanças de concentração de argila ao longo da topossequência, podem ser decorrentes do escoamento de água superficial e subsuperficial, responsável pela saída das partículas mais finas. Nóbrega e Cunha (2008) afirmaram que a água desempenha um papel importante na mobilização de elementos químicos e partículas, produzindo zonas de saída ou acumulação.

No que se diz respeito ao grau de dispersão e de floculação da fração de argila, constatou-se que na alta vertente (TR1) ocorreu uma variação de 2,21% a 63,43% no grau de dispersão e, 36,57% e 97,79% no grau de floculação. Sendo que o horizonte AB apresentou o grau mais elevado de dispersão do perfil e o horizonte BW2 o grau mais elevado de floculação, demonstrando à estabilidade em relação a mobilidade e argila (Tabela 6).

De acordo com a tabela 13, comportamento semelhante foi encontrado na média vertente (TR2), onde a variação do grau de dispersão foi de 29,89% a 71,25%, enquanto que o grau de floculação variou entre 28,75% e 70,11%, nesse caso o Ap apresentou maior grau de dispersão e o Bw maior grau de floculação.

Santos *et al.* (2010) destacaram que o elevado grau de dispersão em superfície pode ser atribuído ao manejo, que causa alterações nos atributos dos solos, seja por meio do processo de calagem ou adubações realizadas para melhorar a produção. A adição de agroquímicos pode contribuir para modificar as propriedades químicas dos solos e alterar a mobilidade da fração argila, que pode tornar-se mais facilmente dispersa com as mudanças no complexo sortivo dos solos.

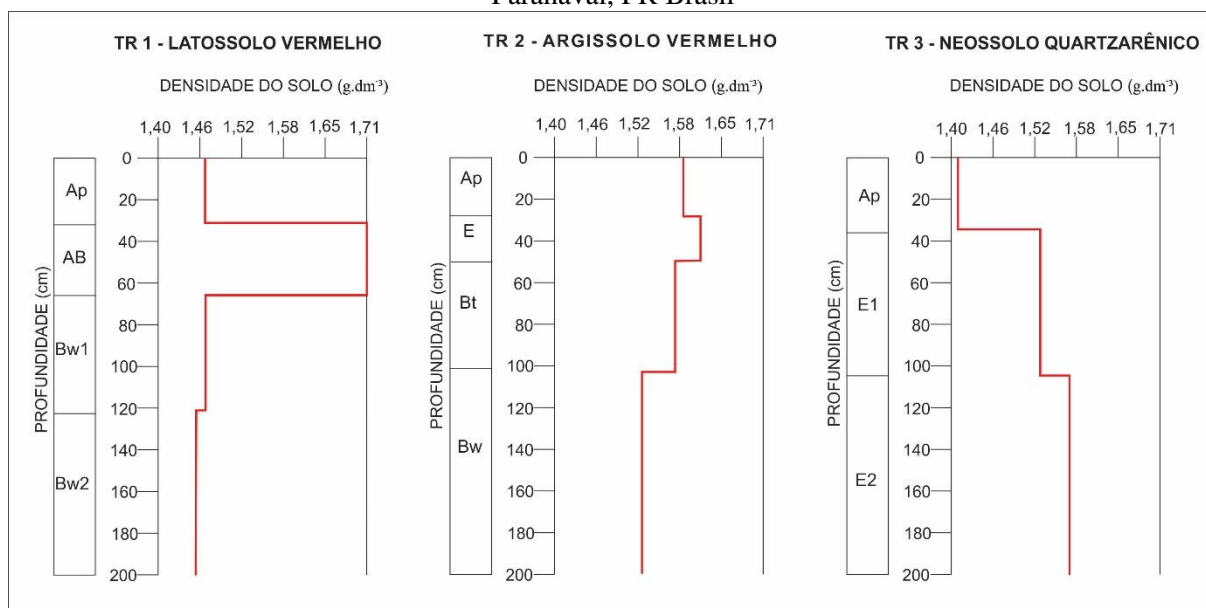
Em direção ao sopé da vertente (TR3), o maior grau de dispersão está no horizonte Ap (58,57%) e o menor no horizonte E1 (49,56%), enquanto que o maior grau de floculação ocorre no E1 (50,44%) e o menor no Ap (41,43%). Esse cenário demonstra o processo de mobilização de argila e conseqüentemente a concentração de frações arenosas (Tabela 6). Resultado semelhantes foram encontrados por Calegari (2000) no município de Nova Esperança – PR.

4.4.2 Densidade do solo e Porosidade total

Observa-se lateralmente e verticalmente uma pequena variação referente a densidade do solo ao longo da topossequência, com valores entre 1,41 g.dm⁻³ a 1,71 g.dm⁻³, conforme apresenta a figura 21 e a tabela 7.

De acordo com a figura 21, na alta vertente, no setor I, a densidade aumentou do horizonte Ap de 1,47 g.dm⁻³ para o AB com 1,71 g.dm⁻³, porém foi reduzindo em profundidade nos horizontes Bw1 (1,47 g.dm⁻³) e Bw2 (1,45 g.dm⁻³). Na média vertente, onde o horizonte Ap apresentou 1,59 g.dm⁻³ elevando-se para 1,62 g.dm⁻³ no horizonte E, reduzindo em profundidade, com 1,57 g.dm⁻³ no Bt e 1,53 g.dm⁻³ no Bw. Por fim, em direção ao sopé, no setor III, ocorreu um aumento de densidade em profundidade, o Ap apresentou 1,41 g.dm⁻³ até chegar no E2 com 1,57 g.dm⁻³.

Figura 21. Valores de densidade do solo dos horizontes na topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR Brasil



Reynolds *et al.* (2002) estabeleceram o valor de 1,6 a 1,8 g.dm⁻³ de densidade para solos francos e arenosos como sendo críticos para o desenvolvimento vegetativo. Seguindo essa definição, a variação lateral de densidade do solo, do horizonte AB do topo e o horizonte E da média vertente se enquadram nesse cenário, onde a alta densidade contribui de forma negativa ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, além de apresentar dificuldades de infiltração e aumento de escoamento subsuperficial acelerando da erosão hídrica.

As altas densidades nos horizontes superficiais e subsuperficiais (AB e E) de montante até a média vertente, pode estar relacionada a pecuária desenvolvida nesses segmentos. Lanzasova *et al.* (2007) alerta que a compactação pelo pisoteio do gado nos horizontes superficiais podem ser temporárias ou irreversíveis, e a infiltração é um dos fatores que é facilmente influenciado por essa condição, pois o pisoteio contribui para alteração do tamanho e continuidade dos poros dos solos.

Gomide *et al.* (2011) estudaram três voçorocas em Minas Gerais, e constataram que o aumento da densidade do solo nos horizontes superficiais, afetou a infiltração, contribuindo para o aumento do escoamento superficial e intensificando a evolução das voçorocas através da erosão hídrica.

Tabela 7. Valores de densidade do solo (g.dm⁻³), macroporosidade (%), microporosidade (%) e porosidade total (%)

Horizonte Prof. (cm)	Densidade do solo (g.dm ⁻³)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Porosidade total (%)
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho (setor I)				
Ap 0-32	1,47	5,36	37,96	43,32
AB 32-66	1,71	5,01	25,14	30,15
Bw1 66-122	1,47	17,86	25,78	43,63
Bw2 122-200	1,45	16,81	20,59	36,78
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho (setor II)				
Ap 0-34	1,59	16,55	23,07	39,62
E 34-71	1,62	14,53	22,00	36,52
Bt 71-183	1,57	5,82	24,87	30,39
Bw 183-200	1,53	13,17	24,84	38,01
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico (setor III)				
Ap 0-36	1,41	11,42	27,88	39,30
E1 36-67	1,53	7,34	30,53	37,87
E2 67-200	1,57	24,98	10,08	35,06

Em direção ao sopé da vertente, a densidade do solo aumenta em profundidade, sendo o horizonte Ap com $1,41 \text{ g.dm}^{-3}$, seguindo para $1,53 \text{ g.dm}^{-3}$ no E1 e $1,57 \text{ g.dm}^{-3}$ no horizonte E2 (Tabela 7). Panachuki *et al.* (2006) destaca que o aumento de densidade em profundidade pode estar relacionado à diminuição da matéria orgânica.

Reichert *et al.* (2007) destaca que no processo de compactação dos solos, a porosidade total e a macroporosidade são modificadas, como a macroporosidade a responsável pela aeração e drenagem, caso ocorra qualquer alteração, a infiltração e aeração dos solos serão afetadas.

No que se refere a porosidade total, na alta vertente o horizonte AB apresentou a menor com 30,15%, enquanto o horizonte Bw1 apresentou a maior com 43,63%. A menor macroporosidade nesse setor da vertente está presente no horizonte AB com 5,01% e a maior no horizonte Bw1 com 17,86%. A microporosidade apresentou um comportamento decrescente em profundidade, sendo de 37,96% no horizonte Ap até chegar a 20,59% no Bw2 (Tabela 7).

Diante desse cenário percebe-se que os horizontes Ap e AB apresentaram valores reduzidos de macroporosidade, sendo respectivamente, 5,36% e 5,01%, para o setor da alta vertente, conforme exposto na tabela 4, essa situação se deve a compactação oriunda do pisoteio do gado, que acaba por destruir os macroporos. Lazanova *et al.* (2007) constataram que a microporosidade não é alterada pelo pisoteio do gado, diferentemente da macroporosidade que é reduzida, assim como a porosidade total, elevando a densidade do solo.

Já em direção a média vertente, de acordo com os dados apresentados pela tabela 7, o horizonte Ap apresentou a porosidade total de 39,62% e macroporosidade de 16,55%, sendo a mais elevados do perfil, enquanto que o horizonte Bt destacou a menor porosidade total (30,39%) e macroporosidade (5,82%), porém a maior microporosidade (24,87%).

Sobre esse baixo valor de macroporosidade no horizonte Bt (5,82%) da média vertente (Tabela 7), Silva *et al.* (2005), atribui ao acúmulo de argila no horizonte, que o deixa mais denso contribuindo para a alteração de suas propriedades físicas.

De acordo com o apresentado na tabela 7, em direção ao sopé da vertente a porosidade total diminui em profundidade, o horizonte Ap apresenta 39,30% até chegar no E2 com 35,06%, esse horizonte apresentou a menor porosidade total e microporosidade (10,08%), mas a maior macroporosidade (24,98%).

Conforme exposto na tabela 7, os maiores valores de microporosidade do sopé (setor III), estão nos horizontes Ap (27,88%) e E1 (30,53%). Ribeiro *et al.* (2007) verificou o aumento da microporosidade em Neossolos Quartzarênicos como sendo oriundo do arranjo das

partículas sólidas, por apresentar um baixo teor de agente cimentante. As areias finas e o silte, se arranjam nos espaços vazios entre as partículas de areia grossa, preenchendo-os, predominando poros menores. De acordo com Carvalho *et al.* (2015), esse aumento da microporosidade pode até ser benéfico, pois melhora a distribuição dos poros para circulação e retenção da água para plantas.

De maneira geral, observou-se que ocorreu maior densidade do solo na cobertura latossólica da alta vertente e argissólica da média vertente, sendo essa situação consequência do manejo da atividade pecuária encontrada na área. No setor I, observou-se até 66 cm de profundidade uma reduzida macroporosidade, o que contribui para a diminuição da infiltração nesse segmento. Em direção ao setor II nos horizontes Ap e E de textura arenosa, verificou um ligeiro aumento macroporosidade favorecendo uma drenagem vertical, porém no horizonte Bt ocorreu a redução da macro, o que refletiu na diminuiu a infiltração vertical e contribuiu para gerar fluxos hídricos laterais. Já no sopé da vertente, na cobertura quartzarênica, ocorre o aumento da densidade em profundidade e uma elevada macroporosidade no horizonte E2, essas características evidenciam a elevada drenagem nessa classe de solo.

4.4.3 Estabilidade de agregados

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014) a estabilidade dos agregados é um importante indicador da suscetibilidade do solo à erosão hídrica e essa estabilidade está muito relacionada com os teores de a argila, matéria orgânica e óxidos presentes no solo. A tabela 8 apresenta os dados do diâmetro médio ponderado de agregados juntamente com os dados dos elementos que influenciam na agregação, como matéria orgânica, argila, óxidos de ferro e alumínio para os horizontes da topossequência de solos Sumaré. Já na figura 22 é possível visualizar a distribuição e variação do diâmetro médio ponderado dos agregados ao longo da topossequência.

Verificou-se que no Latossolo localizado no topo da vertente, o diâmetro médio ponderado da estabilidade de agregados (DMPa) apresentou um comportamento decrescente, assim com os dados de carbono orgânico e óxidos de ferro, que apresentaram uma relação positiva com os valores de agregação, enquanto que os teores de argila apresentaram relação negativa, pois conforme ocorreu o aumento dessa fração do solo teve uma redução do diâmetro médio ponderado dos agregados, mas tal fato pode estar mais relacionado a estrutura do solo (microagregação) que propriamente ao teor de argila.

Tabela 8. Diâmetro médio ponderado dos agregados – DMPa (mm), carbono orgânico – CO (g.dm⁻³), argila (g.Kg⁻¹), óxido de ferro (g.Kg⁻¹) e óxido de alumínio (g.Kg⁻¹) para os horizontes de solo da topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

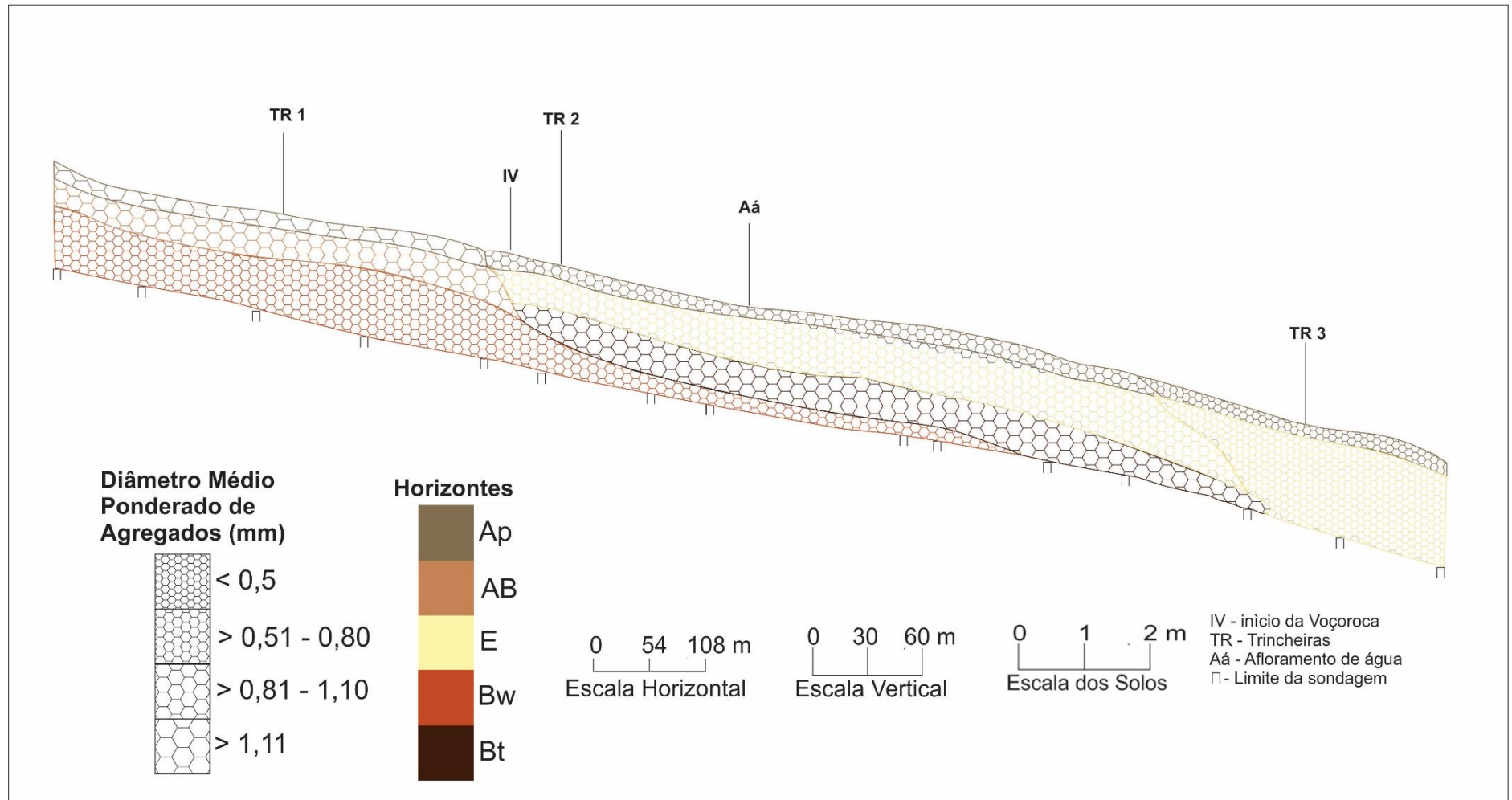
Horizonte Prof. (cm)	DMPa (mm)	CO (g.dm⁻³)	Argila (g.Kg⁻¹)	Fe₂O₃ (g.Kg⁻¹)	Al₂O₃ (g.Kg⁻¹)
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho (setor I)					
Ap 0-32	1,320	5,79	84,50	59,29	99,27
AB 32-66	1,079	3,19	115,87	33,45	48,87
Bw1 66-122	0,782	2,61	169,62	30,04	38,22
Bw2 122-200	0,749	1,45	192,38	46,01	84,33
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho (setor II)					
Ap 0-34	0,661	6,66	80,00	12,82	26,60
E 34-71	0,787	3,33	132,00	14,63	35,32
Bt 71-183	0,915	3,08	227,00	20,90	55,33
Bw 183-200	0,553	2,82	184,00	17,31	46,91
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico (setor III)					
Ap 0-36	0,379	2,61	17,50	2,35	6,38
E1 36-67	0,317	1,74	14,12	1,73	4,74
E2 67-200	0,284	0,58	8,37	1,13	3,83

Conforme a tabela 8, o maior DMPa na alta vertente está no horizonte Ap (1,320 mm), assim como estão nesse horizonte as maiores concentrações de carbono orgânico (5,79 g.dm⁻³), óxidos de ferro (59,29 g.Kg⁻¹) e óxidos de alumínio (99,27 g.Kg⁻¹), que contribuíram para a formação de agregados maiores. Enquanto os menores DMPa do perfil, estão no horizonte Bw2, com 0,749 mm, acompanhado dos menores valores de carbono orgânico (1,45 g.dm⁻³).

Tisdall e Oades (1982) destacaram a importância da matéria orgânica como elemento da estabilização dos agregados do solo, enquanto, Ferreira *et al.* (2007) em seus estudos comprovou que os elevados valores de óxido de ferro e carbono orgânico em superfície contribuíram para aumentar o tamanho do agregado, assim como, sua resistência as ações erosivas.

Em direção a média vertente, onde localiza-se o Argissolo, o horizonte Ap apresentou 0,661 mm de DMPa, aumentando no horizonte E para 0,787 mm, e 0,915 mm no Bt, voltando a diminuir em profundidade no Bw para 0,553 mm (Tabela 8).

Figura 22. Distribuição diâmetro médio ponderado dos agregados ao longo da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



O baixo valor de DMPa no horizonte Ap (0,661 mm) da média vertente está relacionado a menor concentração de argila nesse horizonte (80,00 g.Kg⁻¹). Perussi (2005) verificou resultados semelhantes em Argissolo de textura média em áreas de pastagens, que apresentaram (0,667 mm de DMPa) e atribuiu esse comportamento a menor fração de argila nesse horizonte que inferiu na agregação do solo.

No horizonte Bt na média vertente, é possível verificar um grau elevado de agregação, apresentando o valor mais alto de DMPa do perfil (0,915 mm), essa situação está relacionada ao aumento de argila (227,00 g.Kg⁻¹) nesse horizonte assim como o elevado índice de óxido de ferro (20,90 g.Kg⁻¹) e óxido de alumínio (55,33 g.Kg⁻¹), e também a estrutura forte dos agregados em blocos angulares e subangulares (Tabelas 5 e 8).

Medeiros *et al.* (2018), em seus estudos no município de Araruna-PR, verificaram um elevado DMPa no horizonte Bt, e atribuíram esse comportamento a concentração de argila e de óxidos nesses horizontes oriundos do processo de circulação hídrica ao longo da topossequência.

Já no sopé, no Neossolo Quartzarênico, o DMPa apresentou um comportamento decrescente em profundidade, o maior DMPa do perfil no horizonte Ap (0,379 mm) está relacionado a maior concentração de carbono orgânico (2,61 g.dm⁻³), juntamente com óxido de ferro e alumínio (2,35 g.Kg⁻¹ e 6,38 g.Kg⁻¹), a redução do tamanho do agregado no horizonte E1 (0,317 mm) ocorre simultaneamente com a redução do carbono orgânico (1,74 g.dm⁻³) e dos óxidos de ferro e alumínio (1,73 g.Kg⁻¹ e 4,74 g.Kg⁻¹). Assim como no horizonte E2, o DMPa reduz para 0,284 mm, o carbono orgânico 0,58 g.dm⁻³, e os óxidos de ferro e de alumínio caem para 1,13 g.Kg⁻¹ e 3,83 g.Kg⁻¹ (Tabela 8).

No Neossolo Quartzarênico, estão os menores valores de DMPa, conforme ilustrado na figura 22, juntamente com a menor concentração de argila, carbono orgânico e óxidos da topossequência (Tabela 8). Terrasi *et al.* (2014) relacionaram o baixo valor de DMPa em Neossolo Quartzarênico no município de Tamboara, Paraná, a ausência de material cimentante nessa classe de solo.

Conforme apresenta a figura 22, percebe-se que lateralmente o horizonte superficial e subsuperficial ao longo da topossequência apresenta um comportamento decrescente do DMPa de montante em direção ao sopé, esses dados corroboram os com dados de carbono orgânico, argila e óxidos de ferro e alumínio, de acordo com o exposto na tabela 8. Porém, ocorre uma exceção no horizonte Bw do topo para o Bt da média vertente, onde aumenta e não reduz, como

nos outros horizontes pedológicos, devido ao incremento de argila (227,00 g.Kg⁻¹), óxido de ferro (20,90 g.Kg⁻¹) e de alumínio (55,33 g.Kg⁻¹) nesse setor da vertente.

Em resumo percebeu-se que na cobertura latossólica ocorreram os maiores valores da estabilidade dos agregados, com uma redução em profundidade ao longo do perfil, o que inferiu no menor potencial erosivo dessa classe de solo ao longo da vertente. Na cobertura argissólica os horizontes Ap e E apresentaram menor estabilidade, porém aumentou em profundidade no horizonte Bt, esse cenário contribui para atuação da dinâmica erosiva mais intensa em superfície nessa classe de solo. Já em direção ao sopé, na cobertura quartzarênica ocorreu a menor estabilidade dos agregados, assim como também apresentou a menor concentração de agentes cimentantes (matéria orgânica – argila – óxidos), o que favorece a instalação e desenvolvimento de processos erosivos com maior facilidade.

4.4.4 Condutividade hidráulica

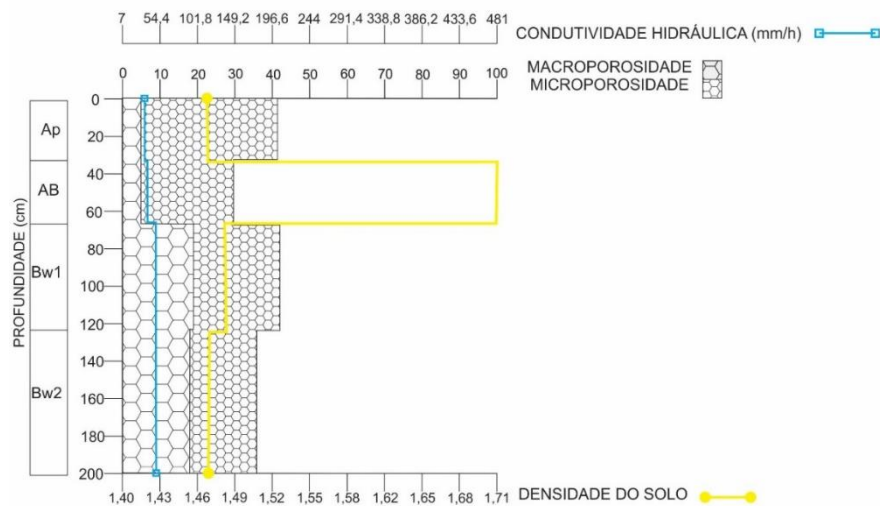
Os dados de condutividade hidráulica dos horizontes pedológicos da topossequência de solos Sumaré estão apresentados na tabela 9, juntamente com os valores de macroporosidade.

Tabela 9. Macroporosidade – (%), condutividade hidráulica – Kfs (cm/h e mm/h), dos horizontes pedológicos da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

Horizonte Prof. (cm)	Macroporosidade (%)	Kfs (cm/h)	Kfs (mm/h)
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho			
Ap 0-32	5,36	3,25	32,50
AB 32-66	5,01	3,50	35,00
Bw1 66-122	17,86	5,22	52,24
Bw2 122-200	16,81	5,22	52,24
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho			
Ap 0-34	16,55	9,00	89,98
E 34-71	14,53	2,97	29,74
Bt 71-183	5,82	0,75	7,50
Bw 183-200	13,11	6,20	62,02
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico			
Ap 0-36	11,42	23,74	237,40
E1 36-67	7,34	48,02	480,20
E2 67-200	24,98	48,02	480,20

De acordo com o exposto na figura 23, é possível verificar que nos horizontes Bw1 e Bw2 ocorre um aumento da condutividade hidráulica acompanhado pela elevação da macroporosidade. Borges *et al.* (2009), concluíram em seus estudos que nas camadas mais profundas do Latossolo sob pastagens as propriedades físicas dos solos se mantêm, ou seja, o manejo de pastejo não altera a estrutura do solo e os padrões de armazenamento e movimentação da água.

Figura 23. Densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica dos Latossolos (setor I) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



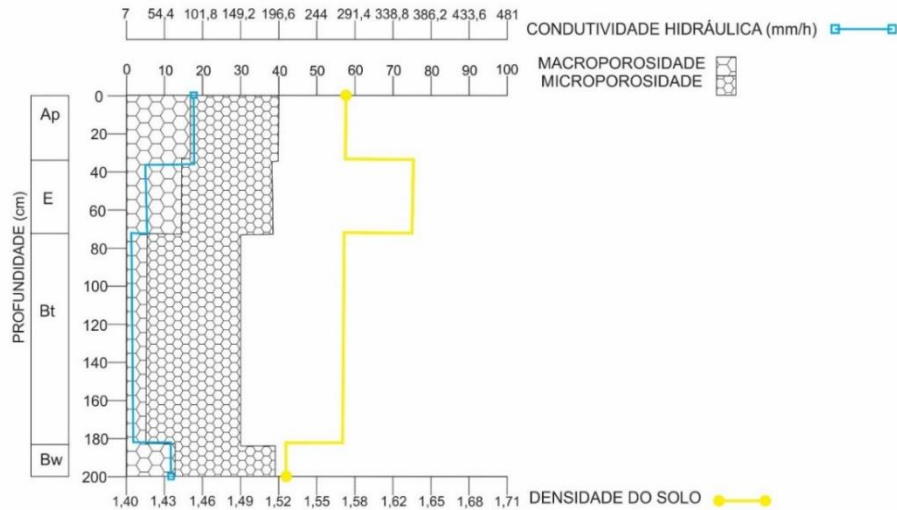
Na média vertente, no Argissolo, o horizonte Ap possui uma condutividade hidráulica de 89,98 mm/h e macroporosidade de 16,55%, porém em direção ao horizonte E ocorre uma redução para 29,74 mm/h de condutividade e 14,53% de macroporosidade (Figura 24), essa redução no horizonte E está relacionado a elevada densidade ($1,62 \text{ g.dm}^{-3}$). Reinert *et al.* (2008) verificaram que a densidade do horizonte Ap era menor do que a do E, devido a maior concentração de matéria orgânica e raízes na superfície.

Ainda no Argissolo da média vertente, o horizonte Bt apresentou a menor condutividade (7,50 mm/h) e macroporosidade (5,82%), de acordo com o apresentado na figura 24. Piava *et al.* (2000) encontraram resultados semelhantes em Argissolo de textura média e relacionaram esses dados ao aspecto coeso do horizonte, aliado à maior quantidade de argila no Bt.

Falosso *et al.* (1988) constataram que, nos Argissolos da região Noroeste do Paraná, a condutividade hidráulica era maior nos horizontes Ap e E, e ocorria uma redução no Bt, esse comportamento combinado com as características morfológicas, tornam essa classe de solo mais suscetível à erosão, pois a água penetra rapidamente em horizontes superficiais e escorre

lateralmente, em subsuperfície, devido ao impedimento encontrado no Bt, carregando os horizontes acima mais arenosos.

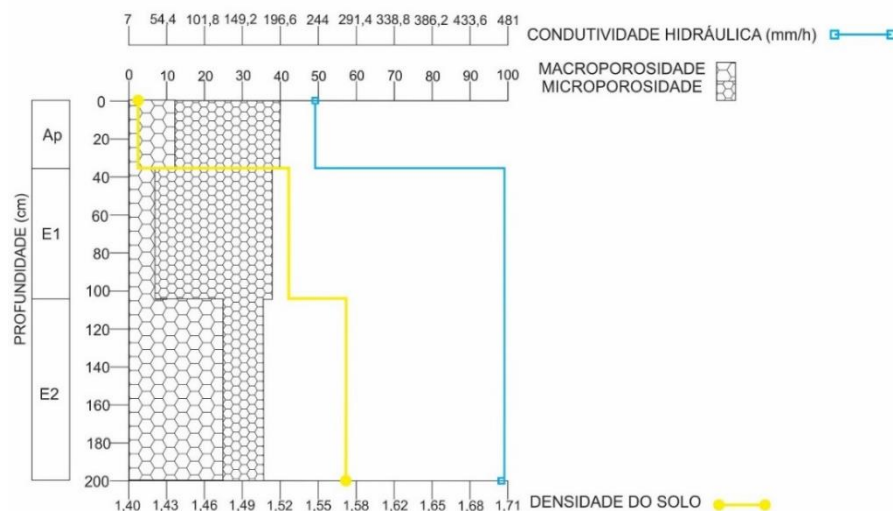
Figura 24. Densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica dos Argissolos (setor II) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



Em direção ao sopé, no Neossolo Quartzarênico, estão os maiores valores de condutividade hidráulica da topossequência, que aumentam em profundidade, apresentando uma variação de 237,40 mm/h a 480,20 mm/h (Figura 25). No horizonte E2, estão os valores mais elevados de condutividade e macroporosidade (24,98%) do perfil.

Fiori *et al.* (2010) verificaram situação parecida em Neossolo Quartzarênico, que devido à estrutura em forma de grão simples, textura arenosa, relevo suave ondulado e uma cobertura vegetal degradada, todos esses fatores em conjunto potencializava da dinâmica erosiva em áreas de cabeceira de drenagem.

Figura 25. Densidade do solo, porosidade do solo e condutividade hidráulica dos Neossolos Quartzarênicos (setor III) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



De modo geral, no que se refere ao comportamento dos solos, os dados de condutividade hidráulica corroboram com os de macroporosidade, revelando que com o aumento da macroporosidade tem-se também o aumento da condutividade hidráulica (Tabela 9).

Resultados semelhantes aos apresentados nessa pesquisa, foram encontrados por Martins e Cunha (2004) também no Noroeste do Paraná, onde verificaram uma reduzida condutividade hidráulica nos horizontes superficiais do Latossolo à montante, esse comportamento se deu oriundo do manejo, que gerou compactação do solo e aumentou o escoamento superficial. Porém, em profundidade no Latossolo havia condições para a ocorrência de um fluxo hídrico vertical. Já em direção a média vertente, no Argissolo, a maior condutividade hidráulica era nos horizontes Ap e E, mas devido ao elevado gradiente textural entre os horizontes E/Bt, ocorria fluxos laterais, tal situação potencializava a ação erosiva da água sobre essa classe de solo.

Sobre os valores mais elevados de infiltração da topossequência e o aumento da condutividade hidráulica em profundidade do Neossolo Quartzarênico do sopé da vertente, Souza *et al.* (2015) verificaram que a elevada percolação vertical da água dessa classe de solo estava diretamente relacionada aos macroporos e ao baixo teor de argila e matéria orgânica, que contribuíam para uma intensa lixiviação.

Em síntese, observou-se que na cobertura latossólica ocorre um aumento da condutividade hidráulica em profundidade, mas nos horizontes Ap e AB estão os menores índices, sendo uma consequência da compactação nesses horizontes. Já na média vertente, na cobertura argissólica, a maior condutividade foi registrada no horizonte Ap, e reduziu drasticamente no horizonte Bt, esse cenário contribuiu para uma rápida infiltração no Ap e uma diminuição no Bt, contribuindo para a retirada de partículas dos solos. Já em direção ao sopé, na cobertura quartzarênica, ocorre a maior condutividade hidráulica da topossequência, que aumentou em profundidade.

4.4.5 Caracterização química

Os resultados das análises químicas nos horizontes das classes de solos identificados na topossequência Sumaré, estão apresentadas nas tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10. Dados de pH em água (H₂O), acidez trocável (KCl), em cloreto de cálcio (CaCl₂), solução SMP e delta pH (KCL – H₂O) da topossequência de solos Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

Horiz Prof. (cm)	pH H₂O	pH KCl	pH CaCl₂	pH SMP	ΔpH
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho					
Ap 0-32	5,33	4,79	5,39	6,98	-0,54
AB 32-66	5,75	4,86	5,40	7,23	-0,89
Bw1 66-122	6,12	5,19	5,72	7,35	-0,93
Bw2 122-200	6,20	5,46	5,82	7,43	-0,74
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho					
Ap 0-34	5,85	5,53	5,59	7,35	-0,32
E 34-71	6,25	5,58	5,75	7,41	-0,67
Bt 71-183	6,63	5,64	5,79	7,19	-0,99
Bw 183-200	6,16	4,50	5,03	7,26	-1,66
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico					
Ap 0-36	5,52	4,55	4,45	7,31	-0,97
E1 36-67	5,55	4,45	4,27	7,50	-1,10
E2 67-200	5,90	4,60	4,58	7,76	-1,30

Na trincheira 1 localizada no topo da vertente, o pH em água apresentou um aumento em profundidade, sendo o menor valor identificado no horizonte Ap (5,33) e o maior no Bw2 (6,20). Em direção a média vertente, na trincheira 2, o menor valor também foi no Ap (5,85), porém o maior foi no horizonte Bt (6,63). Já no sopé da vertente, na trincheira 3, estão os menores valores de pH da topossequência, porém com um comportamento semelhante ao do topo, ou seja, ocorre um aumento em profundidade, sendo 5,52 no Ap e 5,90 no E2 (Tabela 10).

De maneira geral o pH em água apresentou uma variação de 5,33 a 6,63, e lateralmente ao longo da topossequência apresentou um comportamento menor em superfície e aumentando gradativamente em profundidade. Desta forma com base nos dados apresentados os horizontes dos solos, o pH variou entre as classes de fortemente a moderadamente ácido, conforme a classificação proposta pela Embrapa (2018).

O pH em KCl (Cloreto de Potássio) na alta vertente apresentou um comportamento semelhante ao do pH em água, ou seja, com o menor valor no Ap (4,79) aumentando em profundidade para 5,76 no Bw2. Em direção a média vertente o menor valor foi observado

também no horizonte Ap (5,53) e o maior no Bt (5,64), e no sopé da vertente, na trincheira 3, a variação foi de 4,45 a 4,60, sem apresentar um comportamento padrão (Tabela 10).

Em geral os valores referentes ao pH em água foram maiores do que os valores do pH em KCl ao longo da topossequência, porém ambos apresentaram os valores baixos em superfície (Tabela 10). De acordo com Corá *et al.* (2004) o baixo pH em horizontes superficiais deve-se às adubações nitrogenadas que alteraram a acidificação natural dos solos ao longo do tempo.

Conforme com os dados disposto na tabela 11, o carbono orgânico (CO) apresentou-se elevado nos horizontes superficiais, com valores oscilando entre 5,79 g.dm⁻³ no topo, 6,66 g.dm⁻³ na média vertente e 2,61 g.dm⁻³ no sopé da vertente, verificando uma diminuição desse elemento em profundidade em todos os setores da topossequência. De acordo com Gazolla *et al.* (2015) é comum valores elevados de carbono orgânico em horizontes superficiais em áreas de pastagens, devido ao alto desenvolvimento das raízes que contribuem para aumentar a biomassa vegetal da cobertura do solo e automaticamente o teor de carbono orgânico.

Ao longo da topossequência, conforme apresentado na tabela 11, os valores referentes ao fósforo (P) diminuem em profundidade. O valor mais elevado está no horizonte Ap na baixa vertente (5,82 mg.dm⁻³) e o mais baixo está no E2 (0,73 mg.dm⁻³) também do sopé, esse fato pode estar relacionado a dinâmica erosiva da área que contribui para o carregamento desse nutriente. De acordo com Bertol *et al.* (2004) é comum em solos tropicais a perda de fósforo principalmente em períodos de chuvas intensas, durante seus experimentos os autores constataram que a perda de fósforo foi 230 vezes maior nos carregamentos com solos, e sugeriu-se para melhorar a fixação e diminuir a perda, a implantação do preparo conservacionistas nos solos.

No que se refere a distribuição do potássio (K⁺) ao longo da topossequência, conforme mostra a tabela 11, ocorre uma diminuição de montante em direção ao sopé. Leite (2007) verificou que os valores de potássio (K) em solos de textura média a arenosa, é menor e que esse nutriente é o mais móvel no solo, tanto que em seus experimentos constatou que o potássio foi o nutriente mais perdido em água.

Tabela 11. Dados de acidez potencial (H+Al), carbono orgânico (CO), fósforo (P), potássio (K+), íons de cálcio (Ca2+), íons de magnésio (Mg2+), soma de base (valor S), alumínio extraível (Al3+), capacidade de troca de cátions total (valor T) e saturação por base (valor V) da topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

Horiz. Prof. (cm)	H+Al	CO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Valor S	Al ³⁺	Valor T	Valor V
	(cmol.dm ⁻³)	(g.dm ⁻³)	(mg.dm ⁻³)		(cmol.dm ⁻³)		(cmol.Kg ⁻¹)	(cmol.dm ⁻³)	(cmol.Kg ⁻¹)	(%)
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho										
Ap 0-32	2,54	5,79	4,39	0,26	1,67	0,42	2,35	0,00	4,89	48,04
AB 32-66	2,03	3,19	1,44	0,26	0,83	0,36	1,46	0,00	3,49	41,88
Bw1 66-122	1,89	2,61	1,28	0,15	0,85	0,39	1,39	0,00	3,28	42,33
Bw2 122-200	1,75	1,45	1,03	0,12	1,16	0,61	1,90	0,00	3,65	52,00
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho										
Ap 0-34	1,89	6,66	2,71	0,13	1,58	0,28	1,99	0,00	3,88	51,33
E 34-71	1,75	3,33	1,59	0,08	0,85	0,55	1,47	0,00	3,22	45,68
Bt 71-183	2,19	3,08	1,05	0,09	1,55	0,30	1,94	0,00	4,13	47,02
Bw 183-200	2,03	2,82	0,97	0,11	0,88	0,49	1,48	0,17	3,51	42,16
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico										
Ap 0-36	1,89	2,61	5,82	0,06	0,14	0,11	0,31	0,14	2,20	14,04
E1 36-67	1,62	1,74	2,13	0,05	0,12	0,07	0,24	0,17	1,86	12,71
E2 67-200	1,51	0,58	0,73	0,08	0,14	0,11	0,33	0,20	1,84	17,78

Na alta vertente, estão os valores mais elevados de potássio da topossequência, sendo $0,26 \text{ cmol.dm}^{-3}$ no Ap diminuindo em profundidade até chegar a $0,12 \text{ cmol.dm}^{-3}$ no horizonte Bw2 (Tabela 11). Em direção a média vertente, na trincheira 2, o horizonte Ap apresentou o maior valor ($0,13 \text{ cmol.dm}^{-3}$), diminuindo no horizonte E para $0,08 \text{ cmol.dm}^{-3}$, mas volta a aumentar em profundidade no Bt para $0,09 \text{ cmol.dm}^{-3}$ e $0,11 \text{ cmol.dm}^{-3}$ no Bw. Já em direção ao sopé, na trincheira 3, não apresentou nenhum comportamento padrão, sendo o horizonte Ap apresentou $0,06 \text{ cmol.dm}^{-3}$, diminuindo em profundidade no E1 para $0,05 \text{ cmol.dm}^{-3}$, aumento no E2 para $0,08 \text{ cmol.dm}^{-3}$.

Demattê *et al.* (1996) estudaram uma topossequência composta por Latossolo na alta vertente e Argissolo na média e baixa vertente, ambos de textura média, localizada no estado de Alagoas, e verificaram comportamentos semelhantes, ou seja, no horizonte superficial ao longo da topossequência estavam os valores mais elevados de potássio que iam reduzindo em profundidade, esse comportamento está relacionado as adubações oriundas do manejo agrícola.

O cálcio (Ca^{2+}) lateralmente apresentou uma variação de $0,12$ a $1,67 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ao longo da topossequência, os maiores valores estão em superfície e os menores em subsuperfície. Enquanto que o Magnésio (Mg^{2+}) não apresentou nenhum padrão de comportamento ao longo da topossequência, na alta vertente a maior quantidade está no horizonte Bw2 ($0,61 \text{ cmol.dm}^{-3}$) e a menor no AB ($0,36 \text{ cmol.dm}^{-3}$), já em direção a média vertente o maior valor está no horizonte E ($0,55 \text{ cmol.dm}^{-3}$) e o menor no Ap ($0,28 \text{ cmol.dm}^{-3}$), por fim no sopé, os horizontes Ap e o E2 apresentaram $0,11 \text{ cmol.dm}^{-3}$ (Tabela 11).

De maneira geral os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} são baixos ao longo de toda topossequência, porém, mesmo que em pequena quantidade o cálcio ainda é o elemento mais atuante nas trocas. Albuquerque *et al.* (2000) utilizou o processo de calagem para aumentar o teor de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, com isso reduziu o Al^{3+} e elevou o pH em água e o CTC.

A soma de bases (Valor S) na alta vertente apresentou uma diminuição em profundidade, porém na média e baixa vertente não apresentou nenhum comportamento padrão (tabela 18). Na trincheira 1, na alta vertente o horizonte Ap apresentou $2,35 \text{ cmol.Kg}^{-1}$ diminuindo até chegar a $1,90 \text{ cmol.Kg}^{-1}$ no horizonte Bw2. Em direção à média vertente, na trincheira 2, ocorreu uma variação de $1,47$ a $1,98 \text{ cmol.Kg}^{-1}$. Já no sopé, os valores variaram de $0,24$ a $0,33 \text{ cmol.Kg}^{-1}$. Lateralmente, na topossequência, é possível verificar que ocorre uma diminuição do valor S de montante para jusante, com exceção do horizonte Bt na média vertente que apresentou um incremento.

Comportamento semelhante foi identificado por Alves *et al.* (2015) em seus estudos em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura média no Piauí, os autores também identificaram maiores concentrações na superfície e uma redução em profundidade do valor S. Quando comparados os resultados de plantio direto por oito anos, plantio convencional e floresta nativa, os autores acima citados, perceberam que os maiores valores estavam no sistema de plantio direto e os menores na floresta nativa, relacionando esse comportamento ao processo de calagem, juntamente com o baixo revolvimento durante o manejo no sistema de plantio direto, o que em períodos de chuva causa menos perda por lixiviação, garantindo a concentração de nutrientes para as plantas nos horizontes superficiais.

O valor T que corresponde a capacidade de troca de cátions total também conhecido por CTC, foi baixo em toda topossequência. No topo da vertente a variação estava entre 4,89 a 3,28 cmol.Kg^{-1} , em direção a média vertente a variação foi de 3,22 a 4,13 cmol.Kg^{-1} , e no sopé os valores oscilaram entre 1,84 a 2,20 cmol.Kg^{-1} (Tabela 11). O comportamento lateral apresentou valores mais elevados em todo o horizonte superficial, e em profundidade ocorre um incremento no horizonte Bw2 do topo e nos horizontes Bt e Bw da média vertente, os menores valores estavam no sopé.

Os dados do valor T corroboram com os dados de carbono orgânico, ou seja, são mais elevados em superfície. Cunha (2002) verificou que os valores elevados de CTC nos horizontes superficiais estão relacionados a matéria orgânica e que a elevação em profundidade, principalmente no horizonte Bt está relacionado ao elevado teor de argila.

Os valores da saturação por base (valor V) (Tabela 11) variaram ao longo da topossequência de 52,00% a 12,71%. Tanto na alta vertente, quanto na média, foram observados os valores mais elevados de saturação por bases e no sopé estão os menores valores. Na alta vertente apresentou uma redução do Ap de 48,04% para 41,88% no AB, chegando no Bw2 52,00%. Em direção a média vertente o horizonte Ap apresentou a saturação por base mais elevada do segmento com 51,33% reduzindo em direção ao horizonte E para 45,68%, voltando a aumentar para 47,02% no Bt que reduziu para 42,16% no horizonte Bw. No sopé, os valores variaram de 14,04%, 12,71%, 17,78%, respectivamente nos horizontes Ap, E1 e E2.

Conforme Embrapa (2018) os horizontes que apresentaram mais de 50% de saturação por base são classificados como eutrófico, e menos, distrófico. Nesse sentido todas as classes de solos presentes ao longo dessa topossequência estudada apresentam caráter distrófico.

Os valores referentes aos teores de óxido de ferro (Tabela 12) na alta vertente apresentaram redução em profundidade, onde o horizonte Ap apresentou 59,23 g.Kg^{-1} ,

diminuindo até chegar no horizonte Bw1 com 30,04 g.Kg⁻¹, porém no horizonte Bw2 ocorre uma elevação para 46,01 g.Kg⁻¹. Já na média vertente, o horizonte Ap apresentou 12,82 g.Kg⁻¹ aumentando em profundidade até chegar no Bt com 20,90 g.Kg⁻¹, porém em direção ao Bw ocorre uma redução para 17,31 g.Kg⁻¹. No sopé, concentra-se os menores valores da topossequência, com uma variação de 1,13 g.Kg⁻¹ no E2 para 2,35 g.Kg⁻¹ no Ap.

Tabela 12. Dados de óxidos de ferro (Fe₂O₃), alumínio (Al₂O₃) e titânio (Ti₂O) extraído por ataque sulfúrico da topossequência Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

Horizonte Profundidade (cm)	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂
	(g.Kg ⁻¹)		
Trincheira 1 – Latossolo Vermelho			
Ap 0-32	59,29	99,27	2,35
AB 32-66	33,45	48,87	9,00
Bw1 66-122	30,04	38,22	7,91
Bw2 122-200	46,01	84,33	9,41
Trincheira 2 – Argissolo Vermelho			
Ap 0-34	12,82	26,60	11,64
E 34-71	14,63	35,32	1,01
Bt 71-183	20,90	55,33	0,96
Bw 183-200	17,31	46,91	1,01
Trincheira 3 – Neossolo Quartzarênico			
Ap 0-36	2,35	6,38	2,48
E1 36-67	1,73	4,74	3,31
E2 67-200	1,13	3,83	2,56

No que se refere aos óxidos de alumínio (Tabela 12), na alta vertente o horizonte Ap apresentou o valor mais elevado da topossequência, sendo 99,27 g.Kg⁻¹, reduzindo em profundidade até chegar a 38,22 g.Kg⁻¹ no horizonte Bw1, e elevando-se novamente no horizonte Bw2 para 84,33 g.Kg⁻¹. Na média vertente, houve um aumento em profundidade do Ap (26,60 g.Kg⁻¹) até chegar ao Bt (55,33 g.Kg⁻¹), voltando a reduzir no Bw (46,91 g.Kg⁻¹). Em direção ao sopé, ocorreu uma redução em profundidade, sendo o Ap com 6,38 g.Kg⁻¹ até chegar no E2 com 3,83 g.Kg⁻¹.

De acordo com Nunes (2018) os óxidos de ferro e de alumínio contribuem para manter a estabilidade de agregados e os teores de carbono orgânico e argila corroboram com os teores de óxidos. Desta forma fica evidente ao longo da toposequência que os valores de óxidos são mais elevados em horizontes superficiais devido a interação com a matéria orgânica e no horizonte Bw2 da alta vertente e no horizonte Bt da média vertente, graças a maior concentração de argila nesse segmento.

O óxido de titânio tanto no topo quanto na média vertente, não apresentou um comportamento padrão (Tabela 12). No topo o maior valor está no horizonte Bw2 ($9,41 \text{ g.Kg}^{-1}$) e o menor no horizonte Ap ($2,35 \text{ g.Kg}^{-1}$), já em direção a média vertente o maior valor está no horizonte Ap ($11,46 \text{ g.Kg}^{-1}$) e o menor no Bt ($0,96 \text{ g.Kg}^{-1}$), no sopé da vertente o maior valor está no E1 ($3,31 \text{ g.Kg}^{-1}$) e o menor no E2 ($2,56 \text{ g.Kg}^{-1}$).

Dias (1998) verificou que nos Latossolos a presença de óxido de titânio é maior no horizonte B e menor no A, enquanto, nos Argissolos ocorre o inverso, a maior presença está no A e a menor no B. Ele atribuiu esse valor elevado nos horizontes superficiais dos Argissolos a saída de outros constituintes, pois o óxido de titânio possui baixa mobilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A topossequência Sumaré apresenta um sistema pedológico formado por Latossolo Vermelho Ácrico típico, Argissolo Vermelho Distrófico arênico e Neossolo Quartazarênico Órtico típico. Os resultados das análises físicas, hídricas e químicas dos solos demonstram que esse sistema se encontra em desequilíbrio pedobioclimático, expondo duas frentes de transformação ao longo da vertente, que atuam do topo até o sopé, com alterações verticais e laterais nos horizontes pedológicos.

A primeira frente de transformação ocorre na alta vertente, onde está localizado no Latossolo Vermelho Ácrico típico. No horizonte Bw1 é possível identificar uma intensa migração de argila, devido ao elevado grau de dispersão. Percebeu-se que o horizonte Bw1 está sofrendo modificações devido ao avanço remontante do horizonte Bt da média vertente, enquanto o AB se transforma em E pela perda de argila.

A segunda frente de transformação encontra-se no sopé da vertente, produzida pelo avanço do Neossolo Quartazarênico Órtico típico, em direção a montante no horizonte E, assim denominado por apresentar formação *in loco*, se espessa de forma remontante sobre a média vertente, destruindo o Bt

O manejo de pastagens realizado na alta e média vertente contribuíram para alterações das características dos solos, principalmente as físicas e hídricas. Na alta vertente onde estava a maior concentração de gado, os horizontes Ap, AB e Bw1, apresentaram maior densidade do solo e menor porosidade total e a macroporosidade. De certa forma essas alterações inferiram na redução da condutividade hidráulica nesses horizontes.

Já na média vertente o processo de arenização dos horizontes Ap e E, contribuíram para a diminuição do diâmetro médio ponderado dos agregados, em função da redução de argila nesses horizontes. Já a concentração de argila no horizonte Bt, contribuiu para reduzir a condutividade hidráulica nesse setor. Nesse sentido, na média vertente ocorreu maior infiltração nos horizontes Ap e E, e um maior escoamento horizontal subsuperficial sobre o horizonte Bt, contribuindo para o carregamento dos solos dos horizontes superficiais.

Em direção ao sopé, devido a menor concentração de argila e matéria orgânica, o solo apresentou menor diâmetro médio ponderado e maior condutividade hidráulica da topossequência, tais características interferem na dinâmica erosiva.

As imagens aéreas apresentaram que a voçoroca localizada na área de estudo, teve origem há pelo menos 30 anos atrás, porém atualmente vem apresentando uma expressiva

evolução. As análises das imagens de satélites permitiram concluir que a voçoroca apresenta duas frentes de evolução. A primeira está no setor na média vertente, nos Argissolos, onde a evolução ocorre maior em largura, do que em profundidade, fazendo com que nesse setor a voçoroca apresente ramificações. E a segunda frente, acontece no sopé, onde estão os Neossolos, a evolução ocorre em profundidade, expondo a rocha na base da voçoroca e com fluxo hídrico contínuo.

Os dados pluviométricos históricos apontaram que a média anual da área é de 1515 mm, porém de 2009 a 2018 nenhum ano apresentou menos do que 1250 mm de média anual. Dentre esses anos, o de 2015 foi quem apresentou os valores mais elevados na média estudada. Essas características, inferiram no aumento de água destinado para área, contribuindo para um aumento de escoamento superficial e perda de solos.

Dentre os fatores que interferem na evolução do processo erosivo, pode-se destacar o avanço da urbanização na área da bacia de primeira ordem; a canalização de parte do escoamento superficial para dentro da propriedade; a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas.

Diante de todo o exposto apresentado, se torna evidente que a erodibilidades dos solos da região noroeste do Paraná, aliada ao potencial da erosividade da chuva, manejo empregado na área e o uso e ocupação dos solos da área na bacia de primeira ordem, interferiram de maneira significativa na dinâmica evolutiva da voçoroca, sendo necessário levar em consideração todos esses aspectos quando se sugerir propostas de contenção ou recuperação para a voçoroca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 295-300, 2000.

ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V. BAYER, C.; PASSOS, J. F. M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem de um Latossolo Bruno Alumínico. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 29:963-975, 2005.

ALCÂNTARA, J. C. **Política Local (Um estudo de caso: Paranavaí 1952-1982)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, f. 311. 1987.

ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; MENEZES, R.S.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F. Effect of tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, n.175, p.130-138, 2018.

ASALIN, G. A. **Gênese e Dinâmica de três cidades na rede urbana de Maringá: Paranavaí, Nova Esperança e Nova Aliança do Ivaí**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, f. 305, 2015.

ALVES, M. F.; NETO, M. R. H.; KNOLL, M. G.; CUNHA, J. G.; MENEZES, T. C. A.; SOUZA, W. S.; Determinação da Soma de Bases (SB) em diferentes tipos de manejo e floresta nativa no Cerrado Piauiense. In: **XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2015.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D. AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28:155-163, 2004.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba: Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985.

BORGES, T. A.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, E. M.; GOEDERT, W. J. Avaliação de parâmetros físico-hídricos de Latossolo Vermelho sob pastejo e sob cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.13, n.1, p.18–25, 2009.

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, 1982a,

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. II – Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des ouvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM**. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n. 4, p. 323-340, 1982b.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. III – Passage de la phase analytique A une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM**. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n. 4, p. 341-351, 1982b.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **R. Bras. Ci. Solo**, 1399-1407, 2008.

CALEGARI, M. R. **Distribuição da cobertura pedológica e o relevo no alto vale do ribeirão Água de São Francisco – Nova Esperança – PR**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, p. 139. 2000.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 19, p.121-125, 1995.

CARVALHO, A. P. Solos do Arenito Caiuá. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: UNESP/SBCS, p.3-16, 1994.

CARVALHO, R. P.; DANIEL, O.; DAVID, A. C.; SOUZA, F. R. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 148 – 159, jan. – mar., 2015.

CASAGRANDE, A. **Erosão Urbana no Noroeste do Paraná. Riscos Socioambientais ao Desenvolvimento Urbano – Um estudo de caso do município de Nova Esperança**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, f.152, 2012.

CASTRO FILHO, C. Experiências em Microbaicias no Arenito Caiuá. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: UNESP/SBCS, p.3-16, 1994.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO, S. S. **Sistema de transformação pedológica em Marília, SP: B latossólicos e B texturais**. 1 v. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 1989.

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

COLOZZI FILHO, A.; TELLES, T.S.; MELLO, N.A. Governança e preservação do solo: a experiência do Paraná. In: **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, n.1, 2015.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERVALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 28, núm. 6, p. 1013-1021. 2004.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 203-209, fev. 2002.

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

CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por latossolo e argissolo no município de Cidade Gaúcha-PR**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2002.

DEMATTÊ, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo amarelo-Podzol originado de material da formação Barreiras - estado de Alagoas. **Sci. agric.** vol. 53 n. 1, Piracicaba, Jan./Abr. 1996.

DIAS, R. A. P. **A influência do titânio na agregação de um Latossolo roxo do Triângulo Mineiro**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, p. 70.1998.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W.D; TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. In: **Groudwater Monitoring Review**. Vol. 9, p.184-193, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Folha: MI-484. Escala: 1:250.000, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ed. Distrito Federal. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos solos**. 5.ed. Distrito Federal, 2018.

FARIAS, G.S. História da ciência do solo no Paraná: Uma cronologia de fatos relevantes. B. Inf. **SBCS**, 35. 28-31. 2009.

FASOLO, P.J. **Erosão: inventário de áreas críticas no noroeste do Paraná**. (Boletim Técnico). Londrina: IAPAR, 20 p.1988.

FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v.37, n.2, mar-abr, p. 381-388, 2007.

FIORI, J. P. O.; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes dos solos do estado de Goiás. UNESP, São Paulo. **Geociências**. v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

FLEISCHFRESSER, V. **Nas redes da conservação: políticas públicas e a construção social das microbacias hidrográficas.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, f.244, 1999.

FURQUIM, S. A. P. **Interações entre modelado e solo no Transecto Espreado, São Pedro, SP.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, f.183, 2002.

GASPARETTO, N. **As formações superficiais do Noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, p.182.1999.

GAZOLLA, P. R.; FERNANDES, R. G.; PERIN, A.; GERVASI, M. P.; QUEIROZ, C. R.; Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 36, núm. 2, março-abril, p. 693-704. 2015.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. H. N. **Quantificação em geografia.** São Paulo: Difel, 1981. 161p.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 35, núm. 2, pp. 567-577, 2011.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. cap. 1, p. 17-55, 1999.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 458p.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Aggregation and organic matter storage in Mesothermal Humid soils. In: CARTER, M. R. STUART, B. A. eds. Structure and organic matter storage in agricultural soils. **Boca Raton, Lewis Publishers**, p. 213-262, 1996.

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. **Medidas históricas de Paranavaí – PR.** Curitiba, 2018.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade.** Curitiba – PR, f.40, 1992,

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=41&search=parana>>. Acesso em 21 de fevereiro 2019.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Perfil dos Municípios.** Curitiba: IPARDES, 2019. Disponível em:<http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=29>. Acesso em: 21 de fevereiro 2019.

IPARDE - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Avaliação institucional do projeto Paraná 12 meses**. Curitiba, f.159, 2006.

KARLING, G. **Estudo da morfologia e estrutura da cobertura pedológica em cabeceira de drenagem na área rural de Cidade Gaúcha**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, p.87. 2000.

KUROWSKI, G. **Aspectos Gerais da Erosão no Norte do Paraná, 1962**. Ed. Boletim Paranaense de Geografia. Conselho de Pesquisas da Universidade do Paraná, f.85, 1962.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1131-1140, 2007.

LEITE, M. H. S. **Avaliação das perdas de solo, água e nutrientes em diferentes sistemas de preparo num LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico Típico sob chuva natural**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 91. 2007.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Ponta Grossa. Editora UEPG, 2012.

MARCATTO, F. S. **Dinâmica físico-hídrica dos principais sistemas pedológicos derivados das formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina na bacia hidrográfica do Pirapó-PR**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2020. p.199.

MARCATTO, F. S.; HERCOLI, A.; SILVEIRA, H.; GRAÇA, C. H. Avaliação dos atributos físicos-hídricos dos solos em Iguaraçu-PR: subsídios para o manejo e conservação do solo e da água. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 13, p. 84-100, 2015.

MARQUES, A. J.; SANTIL, F. L. P.; CUNHA, J. E. O uso do clinômetro no levantamento topográfico. Estudo de caso: levantamento pedológico. **Boletim de Geografia**, Maringá, p. 135-141, 2000.

MARTINS, V. M.; CUNHA, J. E. **Contribuição da micromorfologia e da infiltrometria para os estudos de erosão em solos de textura média a arenosa**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Rio Grande do Sul, 2004.

MARTINS, V. M. Evolução da cobertura pedológica em áreas de solos desenvolvidos a partir do Arenito Caiuá: região noroeste do estado do Paraná. In: **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. P. 12, 2016.

MATIAZO, S. **Evolução espaço-temporal de voçorocas na bacia hidrográfica do córrego Jatuquara (1980-2016), Terra Rica –PR**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá, f. 117, 2018.

MEDEIROS, F. B; MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. NÓBREGA, M. T. Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil. **Caderno de Geografia**, Maringá – PR. v.28, n.55, p. 845-862, 2018.

MENDONÇA, F. A. **A evolução sócio-econômica do norte novíssimo de Paranavaí-PR e os impactos ambientais- Desertificação?** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, f. 323, 1990.

MINEROPAR. **Atlas geológico do estado do Paraná.** Minerais do Paraná, Curitiba, f. 125. 2001. CD.

MURATORI, A. M. **Processos interativos entre o relevo e as areias quartzosas no sistema ambiental da região noroeste do Paraná – Brasil.** Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, f. 214, 1996.

NAKASHIMA, P. **Sistemas Pedológicos da Região Noroeste do Estado do Paraná: Distribuição e Subsídios para o Controle da Erosão.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, p.162.1999.

NETTO, C. F.; VIRGENS FILHO, J.S.; NEVES, G. L. Análise da erosividade da chuva no estado do Paraná e cenários futuros impactados por mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Climatologia** (online). Ano 14 – Vol. 22 – JAN/JUN, p. 404-422, 2018.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Revista Espaço Plural**, ano XII, n. 25, p. 63-72, 2008.

NÓBREGA, M. T.; GASPARETTO, N. V. L.; NAKASHIMA, P. **Mapeamento de zonas de riscos à erosão de Cidade Gaúcha-PR.** I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense. Anais do ENGEOPAR. Maringá: UEM, 2003.

NUNES, H. B. **Estabilidade de agregados em solos do cerrado.** Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília, p. 105. 2018.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F & URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Sci. Agron.**, 28:129-137, 2006.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1777-1785, 2011.

PARANÁ, **DECRETO Nº 6.120/1985, de 13/08/1985.** Curitiba, em 13 de agosto de 1985.

PERUSI, M.C. **Discriminação de Argissolos e avaliação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP, p. 113. 2005.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Em experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, 15, p.77-90. 2002.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & SILVA, V.R. Compactação do solo em sistema de plantio direto: Limites críticos e mitigação. In: COUTO, E.G. & BUENO, J.F., eds. Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira. Cuiabá, UFMT, **SBCS**, 2004. p.167-198.

REICHERT, J. M.; SUZUKU, L. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ci. Solo**, 5:49-134, 2007.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. v. 110, p. 131– 146, 2002.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. “Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated Zone using improved well analyses”. **Summer**, p.184-193, 1989.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y.; IWASHITA, F. **Estudo comparativo entre métodos de cálculo da condutividade hidráulica através de ensaios com permeâmetro Guelph**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos na região de Lavras-MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago., 2007.

RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.1, n.24, p. 75-92, 2002.

RUFINO, R.L; BISCAIA, R.C.M; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: Terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 1993;17:439-44.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização e cartografia aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. 1 v. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1994.

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**, v.32, p.11-21, 2008.

SANT’ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 1990. 156f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, A. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BERNINI, T. A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência

no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul – RJ. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34: p. 1297-1314, 2010.

SANTOS, L. J. C. **Pedogênese no topo do platô de Bauru (SP): o caso da bacia do córrego Ponte Preta**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, p.186. 2000.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de Descrição e Coleta de solo no campo**. 5^o ed. Embrapa: Viçosa, 2005.

SARVASI, F. O. C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Agronomia. ESALQ, Piracicaba, 1994.

SILVA, I.F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, f. 126, 1993.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionado ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 35, n.3, p. 544-552, mi-jun, 2005.

SILVA, P. M. S. **História de Paranavaí**. 2 ed. Paranavaí: Fundo Municipal de Cultura. F. 527, 2014.

SILVEIRA, H. **Modificações na estrutura e no comportamento hidrofísico de Latossolos provocadas pelo uso e manejo no município de Cidade Gaúcha – Paraná**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, f. 97, 2001.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Haven: Transactions: American Geophysical Union. v.38. p. 913-920. 1957.

SOUZA, M. A. P.; ALMEIDA, R. T. S.; NEVEX, C. M. N.; CASTRO, J. P. V.; CASTRO, S. S. Comportamento químico de Neossolos Quartzarênicos em Mineiros, sudoeste goiano. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 34, n. 3, p.335-347, 2015.

SOUZA, M. L. **Proposta de um sistema de classificação de feições erosivas voltados à estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas aplicação no município de Umuarama (PR)**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, f. 284, 2001.

TERASSI, P.M.B.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C.M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região Noroeste do Paraná. **Boletim de Geografia**, v.32, n.1, p.166-176, 2014.

TISDALL, J.M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141–163, 1982.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.39, p. 428-437, 2015.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): Principais fatores controladores e impactos urbano- ambientais**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 12 dez 2008, p. 310.

VOTTRI, M. **Geoprocessamento integrado à modelagem hidrológica para o diagnóstico ambiental e a qualificação de cenários de uso e perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Vitorino-PR**. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, f. 146, 2018.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativas da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: Atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.1, p.256-267, 2015.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934.

YOUKER, R. E.; MCGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregates analysis of soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 83, n. 4, p. 291-294, 1956.

ZAPAROLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do Córrego Aratu, Floraí – PR**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, p.155. 2009.