



MARCOS VINÍCIUS DE SOUZA

**EVOLUÇÃO DE PROCESSO EROSIVO NA ÁREA
URBANA DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE
EPITÁCIO – SP**

**PRESIDENTE PRUDENTE – SP
2024**

MARCOS VINÍCIUS DE SOUZA

**EVOLUÇÃO DE PROCESSO EROSIVO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE
PRESIDENTE EPITÁCIO – SP**

Dissertação de mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente, Área de Concentração: Produção do Espaço Geográfico, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Edson Luís Piroli

Coorientador: João Osvaldo Rodrigues Nunes

Financiamento: Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da ANEEL de número PD-00061-0058/2021.

Presidente Prudente (SP)

2024

D467e

de Souza, Marcos Vinícius

EVOLUÇÃO DE PROCESSO EROSIVO NA ÁREA URBANA
DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE EPITÁCIO – SP / Marcos

Vinícius de Souza. -- Presidente Prudente, 2024

170 f. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientadora: Edson Luís Piroli

Coorientadora: João Osvaldo Rodrigues Nunes

1. Processos Erosivos. 2. Monitoramento de erosão. 3. Presidente
Epitácio. 4. Auren Energia. 5. Pesquisa & Desenvolvimento. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Evolução de processos erosivos na área urbana do município de Presidente Epitácio - SP"

AUTOR: MARCOS VINÍCIUS DE SOUZA

ORIENTADOR: EDSON LUÍS PIROLI

COORIENTADOR: JOÃO OSVALDO RODRIGUES NUNES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Geografia, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LUÍS PIROLI (Participação Virtual)
Departamento de Geografia e Planejamento / Faculdade de Ciências Tecnologia e Educação de Ourinhos - FCTE/Unesp

Profa. Dra. RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Departamento de Planejamento Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Prof. Dr. JULIO CESAR DEMARCHI (Participação Virtual)
Departamento de Geografia e Planejamento / Faculdade de Ciências Tecnologia e Educação de Ourinhos - FCTE/Unesp

Presidente Prudente, 28 de maio de 2024

Documento assinado digitalmente
 gov.br **EDSON LUIS PIROLI**
Data: 28/05/2024 18:48:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que estavam comigo nessa jornada, em especial, minha família, orientadores, amigos e aos colegas de trabalho.

APOIO

À Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que foi a responsável por gerir o projeto de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação) intitulado “Desenvolvimento de metodologia de monitoramento de encosta com a utilização de VANT’s”, com o código ANEEL: PD-00061-0058/2021 e mantido com recursos do Fundo de Desenvolvimento do Setor Elétrico.

Não poderia deixar de mencionar o apoio da Auren Energia e da Epona Consultoria e Meio Ambiente, que incentivaram o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

O conceito de espaço geográfico é fundamental para compreensão do objeto de estudo da Geografia, pois a produção do espaço geográfico pela sociedade é marcada por um cenário de transformação e degradação do meio natural, pautando-se, neste processo de socialização, apenas na exploração econômica sem os devidos cuidados conservacionistas no uso da terra. Nesse sentido, torna-se necessário discutir as relações entre sociedade e natureza a fim de entender os fatores que levaram a atual perda de solos por erosão hídrica linear no recorte espacial de uma área localizada nas margens do reservatório da usina hidroelétrica da Auren Energia, no município de Presidente Epitácio-SP. Para isso, realizou-se um estudo das características físicas (geologia, geomorfologia, tipo de solos, cobertura vegetal, condições climáticas etc.), e dos processos históricos e sociais predominantes na paisagem da erosão estudada. Para sua efetivação realizou-se revisão bibliográfica, somada a trabalhos de campo e análises laboratoriais para caracterização dos elementos físicos e químicos do solo. Além disso, implementou-se o monitoramento do objeto de estudo (erosão) no espaço temporal de um ano, trabalhando em duas perspectivas, sendo a aérea, com o auxílio de um drone, e terrestre, utilizando um par de receptores GNSS. Com estes dados foram realizadas quantificações de perda de solo através de técnicas cartográficas aplicadas em softwares de SIG, bem como, foram elaborados produtos cartográficos que auxiliaram na identificação dos níveis de susceptibilidade ao processo erosivo do solo. Os resultados encontrados demonstraram que o solo da área estudada é um Latossolo Vermelho distrófico, com características morfológicas homogêneas entre os horizontes e cerosidade nula em todo o perfil, apresentando textura arenosa, enquadrando-se como “franco arenosa”, com alta densidade, permeabilidade rápida e de baixa fertilidade. Com relação à comparação das técnicas do monitoramento da evolução do processo erosivo por drone versus GNSS, identificou-se mais eficiente a técnica em perspectiva aérea com o uso do drone. Por fim, baseado nas bibliografias estudadas, nos dados de campo e de laboratório levantados, propuseram-se medidas de mitigação com o melhor enquadramento dentro das condições sociais e naturais dentro do recorte espacial estudado.

Palavras-chave: Monitoramento com drone e GNSS; Erosão linear; Atributos do solo; Quantificação de processo erosivo; Auren Energia; Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação

ABSTRACT

The concept of geographic space is fundamental to understanding the object of study of Geography, as the production of geographic space by society is marked by a scenario of transformation and degradation of the natural environment, guided, in this process of socialization, only by economic exploitation without due conservationist care in land use. In this sense, it is necessary to discuss the relationships between society and nature to understand the factors that led to the current soil loss due to linear water erosion in the spatial outline of an area located on the banks of the reservoir of the Auren Energia hydroelectric power plant, in municipality of Presidente Epitácio-SP. To achieve this objective, a study of the physical characteristics (geology, geomorphology, type of soil, vegetation cover, climatic conditions, etc.) is carried out, and of the historical and social processes predominant in the studied erosion landscape. To achieve this, a bibliographical review was carried out, in addition to field work and laboratory analyzes to characterize the physical and chemical elements of the soil. Furthermore, monitoring of the study object (erosion) was implemented over a period of one year, working from two perspectives, aerial, with the aid of a drone, and terrestrial, using a pair of GNSS receivers. With these data, soil loss quantifications were carried out using cartographic techniques applied in a GIS software, as well as cartographic products were created that helped to identify the levels of susceptibility to the soil erosion process. The results found were that the soil in the studied area is a dystrophic Red Oxisol, with homogeneous morphological characteristics between the horizons and zero waxiness throughout the profile, presenting a sandy texture, classifying as “sandy loam”, with high density, rapid permeability and low fertility. Regarding the comparison of techniques for monitoring the evolution of the erosive process by drone versus GNSS, the technique from an aerial perspective using a drone was identified as more efficient. Finally, based on the bibliographies studied and the field and laboratory data collected, mitigation measures were proposed with the best suitability to the social and natural conditions within the spatial area studied.

Keywords: Erosive Processes; Erosion monitoring; President Epitácio; Auren Energia; Research & Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.	16
Figura 2: Espaço geográfico – articulação entre a natureza e a sociedade.....	21
Figura 3: Representação do espaço geográfico.	23
Figura 4: Efeito splash provocando o início do processo erosivo nas encostas.	26
Figura 5: Erosão hídrica linear em estágio de sulco identificado no residencial Lagoinha no município de Presidente Epitácio – SP. Data do registro: 04/10/2022.	30
Figura 6: Erosão hídrica linear em estágio de ravina no residencial Lagoinha no município de Presidente Epitácio-SP.....	31
Figura 7: Erosão hídrica linear no estágio de voçoroca.....	32
Figura 8: Feição erosiva do tipo piping, registrada em Candói-PR.....	35
Figura 9: Feição erosiva do tipo alcova de regressão identificada na borda da calha do rio Paraná, a jusante do residencial Lagoinha no município de Presidente Epitácio – SP	36
Figura 10: Esboço geológico da Bacia Sedimentar do Paraná – o quadrado vermelho indica a área de estudo	39
Figura 11: Mapa geológico de Presidente Epitácio - SP. A área de estudo está destacada pelo círculo laranja.	41
Figura 12: Feições geomorfológicas esquemáticas do estado de São Paulo no sentido de Leste-Sudeste para Oeste-Noroeste.	42
Figura 13: Domínios morfoclimáticos brasileiros	43
Figura 14: Análise de vertentes no plano e em perfil.	45
Figura 15: Mapa geomorfológico de Presidente Epitácio - SP. A área de estudo está destacada pelo círculo marrom.....	47
Figura 16: Mapa pedológico de Presidente Epitácio - SP. A área de estudo está destacada pelo círculo amarelo.	54
Figura 17: Cobertura vegetal do município de Presidente Epitácio.	56
Figura 18: Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste Paulista, inferidos na pluviosidade média de trinta anos (1967-1996).	60
Figura 19: Localização do município de Presidente Epitácio nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI-21 e UGRHI-22	64
Figura 20: Traçado da Ferrovia Sorocabana.....	68
Figura 21: Porto de Tibiriçá em Presidente Epitácio/SP.....	71

Figura 22: Ponto final da Estrada de Ferro Sorocabana.	72
Figura 23: UHE de Porto Primavera	73
Figura 24: Erosão estudada.....	74
Figura 25: Representação histórica da evolução do processo erosivo hídrico linear representado pelo círculo vermelho.....	75
Figura 26: Erosão subterrânea identificada em um cruzamento do loteamento Village Lagoinha e no estacionamento da Marina Porto Príncipe, 04 de outubro de 2022	76
Figura 27: Imagem do Google Earth Pro 03/2003 (parte da figura está distorcida devido à falta de cobertura desta área referente a data analisada).....	76
Figura 28: Imagem do Google Earth Pro 09/2021 (última cobertura realizada pelo Google Earth).	77
Figura 29: Áreas experimentais do PD&I intitulado “Desenvolvimento de metodologia de monitoramento de encosta com a utilização de VANT’s”.	81
Figura 30: Área experimental SP01.	81
Figura 31: Área experimental SP02.	82
Figura 32: Área experimental SP08 (área vinculada a esta dissertação).	82
Figura 33: Área experimental MS05.	83
Figura 34: Área experimental MS08.	83
Figura 35: Área experimental MS09.	84
Figura 36: Metodologia proposta no PD&I.....	84
Figura 37: Representação dos equipamentos utilizados no PD&I: a) drone; b) ecobatímetro.	86
Figura 38: Representação do receptor GNSS	86
Figura 39: Perfis pedogenéticos e ensaio de permeabilidade.	87
Figura 40: Coleta das amostras em campo.	88
Figura 41: Coleta das amostras de solos em campo.	89
Figura 42: Esquematisação dos itens que compõem as cores na Carta de Cores Munsell para Solos	91
Figura 43: Tipos de estrutura: a) laminar, ba) prismática, bb) colunar, ca) blocos angulares, cb) blocos subangulares e d) granular.....	94
Figura 44: Separação e numeração das amostras em laboratório (06/2022).	99
Figura 45: Amostra do ponto 2 na profundidade de 0,70 m seca, peneirada e destorroada (06/2022).	100

Figura 46: Pesagem da amostra de solo do perfil 1 antes de encaminhar para a mesa agitadora (06/2022).	101
Figura 47: Agitação das amostras do perfil 1, as quais permaneceram por 6 h a 50 rpm (06/2022)	102
Figura 48: Materiais utilizados no processo de separação da areia (06/2022). As setas indicam: amarela - proveta com a amostra; vermelha – piseta com a água deionizada; verde - funil e; azul – peneira de 0,53 mm.....	102
Figura 49: Dessecador utilizado no procedimento de secagem das amostras (06/2022).	103
Figura 50: Coleta de solo utilizando anel volumétrico.....	106
Figura 51: Amostra indeformada de terra no laboratório	107
Figura 52: Perfuração do solo com o trado para a instalação do permeâmetro de Guelph. ...	108
Figura 53: Montagem do permeâmetro de Guelph.....	109
Figura 54: Coleta das amostras para análise química.....	110
Figura 55: Representação da altura do mato utilizando como escala uma pessoa destacada pelo quadrado vermelho	114
Figura 56: Seleção do tipo de processamento no Emilid Studio.	115
Figura 57: Carregando dados da base e do rover.....	115
Figura 58: Inserção de informações no software sobre o receptor “Base”.....	116
Figura 59: Drone - Spectral 2.	117
Figura 60: Itens que acompanham o Spectral 2.....	117
Figura 61: Instalação da base no tripé no ponto de coordenadas conhecidas.....	118
Figura 62: Drone pronto para iniciar o levantamento.....	119
Figura 63: Software NControl utilizado no aerolevanteamento. O quadrado amarelo indica a bússola e o retângulo vermelho, indica a voltagem da bateria.	120
Figura 64: Fluxograma representativo dos procedimentos do processamento das imagens de drone.	121
Figura 65: Vetorização da linha de crista em perspectiva aérea (monitoramento 1).	122
Figura 66: Vetorização da linha de crista em perspectiva terrestre (monitoramento 1).	123
Figura 67: Fluxograma representando os procedimentos executados no software QGIS para o monitoramento baseado nas comparações das épocas referentes às linhas de crista	124
Figura 68: Linhas de crista e a sua paralela para análise dos polígonos selecionados. Neste caso a linha amarela é de crista e a vermelha é a sua paralela, então, os polígonos selecionados são de erosão (comparação M2 e M3 – drone).....	125

Figura 69: Horizontes amostrados do perfil 1	127
Figura 70: Horizontes amostrados do perfil 2	130
Figura 71: Distribuição das classes de textura do solo do perfil 1 no diagrama textural	134
Figura 72: Face do talude à jusante da área estudada. A linha branca representa o encontro entre a camada de rocha sedimentar da Formação Rio Paraná (Grupo Caiuá) com o Latossolo Vermelho.....	135
Figura 73: Distribuição das classes de textura do solo do perfil 2 no diagrama textural	136
Figura 74: Carta apresentando os três levantamentos para o monitoramento em perspectiva aérea.....	146
Figura 75: Comparação das linhas de crista dos três levantamentos em perspectiva aérea ...	149
Figura 76: Carta apresentando os dois levantamentos do monitoramento em perspectiva terrestre	150
Figura 77: Comparação das linhas de crista dos dois levantamentos em perspectiva terrestre	152
Figura 78: Carta representando as áreas de acreção e erosão do levantamento em perspectiva terrestre, com ênfase à seta preta, que indica uma queda de bloco mapeada no intervalo de tempo entre o primeiro monitoramento e o último.....	153
Figura 79: Queda de bloco de solo na erosão hídrica linear estudada.....	153
Figura 80: Comparação da linha de crista gerada através do levantamento com o drone versus a linha de crista gerada com levantamento realizado através do GNSS – 04/06/2022.	155
Figura 81: Sistema de microdrenagem urbano.	157
Figura 82: Planta de plantio - proposta de recuperação da área.	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição média mensal dos valores absolutos e relativos da precipitação média mensal (P) e dos índices de erosividade (EI30) para Presidente Prudente-SP no período de 01/01/1973 a 31/12/1997.....	62
Tabela 2: Valores de precipitação média anual (P) e índices de erosividade (EI30) Presidente Epitácio-SP para o período de 1973 a 1996.....	62
Tabela 3: Profundidade dos horizontes amostrados.	88
Tabela 4: Tempo de sedimentação para a pipetagem.....	104
Tabela 5: Amplitudes de variação da densidade de solo relacionada aos tipos de solos.	107
Tabela 6: Informações dos levantamentos terrestres com o GNSS.	116
Tabela 7: Informações dos levantamentos aéreos.....	120
Tabela 8: Resultados laboratoriais da análise de textura do perfil 1.	132
Tabela 9: Resultados laboratoriais da análise de textura do perfil 2.	134
Tabela 10: Densidade do solo dos horizontes amostrados.	138
Tabela 11: Resultados obtidos no ponto 1 - cabeceira da ravina.	139
Tabela 12: Resultados obtidos no ponto 2 - trecho médio da ravina.	140
Tabela 13: Resultados da análise química para o perfil 1 e perfil 2.	142
Tabela 14: Resultados dos micronutrientes do perfil 1 e perfil 2.	144
Tabela 15: Quantificação da área em metros quadrados (m ²) de erosão e acreção para as duas comparações dos três levantamentos realizados em perspectiva aérea.	147
Tabela 16: Quantificação da área em metros quadrados (m ²) de erosão e acreção para as comparações dos dois levantamentos realizados em perspectiva terrestre.....	151
Tabela 17: Sistema de microdrenagem urbana.	156
Tabela 18: Área das parcelas.	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Propriedades que influenciam na erodibilidade do solo.....	25
Quadro 2: Resumo das principais definições atribuídas para voçoroca	33
Quadro 3: Diferenciações para erosões marginas nas tipologias de piping e alcovas de regressão	35
Quadro 4: Níveis categóricos dos solos (ordem, subordem e grande grupo) do município de Presidente Epitácio	49
Quadro 5: Unidade de Conservação de Proteção Integral Estação Ecológica Mico-Leão-Preto.	57
Quadro 6: Objetivo geral e específicos do projeto de PD&I intitulado como “Desenvolvimento de metodologia de monitoramento de encosta com a utilização de VANT’s”.	80
Quadro 7: Equipamentos utilizados no PD&I com seus respectivos componentes.	85
Quadro 8: Critérios utilizados para análise da porosidade.	95
Quadro 9: Critérios para análise da cerosidade.	96
Quadro 10: Descrição da consistência do solo quando seco	97
Quadro 11: Descrição da consistência do solo quando úmido	97
Quadro 12: Descrição da consistência do solo quando molhado – plasticidade.	98
Quadro 13: Descrição da consistência do solo quando molhado – pegajosidade.	98
Quadro 14: Coletas de dados referentes às perspectivas terrestre e aérea.	123
Quadro 15: Resultado de cada análise realizada nas comparações	125
Quadro 16: Resultado das análises morfológicas em campo do perfil 1	129
Quadro 17: Resultado das análises morfológicas em campo do perfil 2.....	131
Quadro 18: Valores típicos do coeficiente de permeabilidade.	140
Quadro 19: Classes de interpretação dos resultados referentes à análise química do solo	141
Quadro 20: Comparação das técnicas em perspectiva: aérea (Drone) versus terrestre (GNSS)	154

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
OBJETIVO	17
Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO 1	18
1. REFERÊNCIAL TEÓRICO	19
1.1 Susceptibilidade.....	19
1.2 Geografia no âmbito da relação “sociedade-natureza”.....	20
1.3 Espaço geográfico em uma perspectiva conceitual de paisagem	22
1.4 Solos	24
1.5 Processos erosivos	24
1.5.1 Erosão laminar, em lençol ou superficial	27
1.5.2 Erosão linear.....	28
1.5.3 Sulcos	29
1.5.4 Ravina.....	30
1.5.5 Voçoroca	31
1.5.6 Pipings e alcovas de regressão / cavernas	34
CAPÍTULO 2	37
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	38
2.1 Caracterização dos aspectos físicos naturais	38
2.1.1 Geologia	38
2.1.2 Geomorfologia.....	42
2.1.3 Pedologia	48
2.1.4 Cobertura vegetal.....	55
2.1.5 Climatologia	59
2.1.6 Hidrografia	63
2.2 Caracterização histórica.....	65
2.2.1 História da ocupação do Oeste Paulista.....	65
2.2.2 A ocupação do município de Presidente Epitácio.....	71
2.2.3 Erosão estudada	74
CAPÍTULO 3	78
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	79
3.1 Projeto de PD&I	79
3.2 Análise da morfologia das amostras de solos	86
3.2.1 Cor	89
3.2.2 Textura	91
3.2.3 Estrutura	92
3.2.4 Porosidade	95
3.2.5 Cerosidade	95

3.2.6 Consistência.....	96
3.2.7 Coesão	98
3.3 Análise granulométrica para determinação da textura do solo em laboratório.....	99
3.4 Densidade do solo.....	105
3.5 Permeabilidade do solo.....	107
3.6 Análise química do solo.....	110
3.7 Monitoramento	111
3.7.1 Receptores GNSS	111
3.7.2 Perspectiva terrestre - levantamento e processamento dos dados	114
3.7.3 Perspectiva aérea: Drone - levantamento e processamento dos dados	116
3.7.4 Comparações de épocas através da linha de crista	122
CAPÍTULO 4	126
4. RESULTADOS	127
4. 1 Características físicas do recorte espacial estudado	127
4.1.1 Análise Morfológica	127
4.1.2 Textural granulométrica.....	132
4.1.3 Densidade do solo.....	138
4.1.4 Permeabilidade	139
4.2 Análise química do solo.....	141
4.3 Monitoramento da erosão	145
4.3.1 Análise temporal	145
4.4 Sugestões de medidas mitigadoras	156
CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
REFERÊNCIAS	162

INTRODUÇÃO

As transformações do espaço geográfico estão diretamente ligadas às intervenções que a sociedade atribui à natureza, mediante o processo de socialização e da exploração econômica exacerbada. Através disso, essa dissertação de mestrado visa discutir as relações entre os aspectos sociais na produção do espaço geográfico e na consequente alteração da paisagem, pela exploração dos recursos naturais.

Desta forma, entende-se que a sociedade é um agente ativo na alteração das condições naturais e está inserida no ambiente e com isso, identifica-se a necessidade de compreender os aspectos históricos e econômicos que provocaram os atuais cenários de suscetibilidade aos processos erosivos.

A intervenção na dinâmica da natureza a partir da valorização dos recursos naturais como mercadorias tem gerado significativas transformações/degradações no relevo, sendo estas transformações sempre evidenciadas em locais em que se busca maior obtenção de lucratividades (Suertegaray; Nunes, 2001). E a erosão hídrica do solo é uma das evidências geomorfológicas de que em um ambiente que apresente susceptibilidade natural à erosão, quando submetido a ações humanas sem medidas conservacionistas, o processo de perda do solo é acelerado. Este processo causa não só impactos ambientais como a perda de solo e assoreamento de recursos hídricos, mas também, trazem consequência negativas a sociedade que dependem do recurso natural “solo” para a manutenção da vida humana e, causando também impactos econômicos quando trata-se de perda de áreas agricultáveis.

Além disso, destaca-se a importância da não ocupação humana em margens de reservatório, isso se dá do ponto de vista ambiental em que as margens já são locais de grande alteração ambiental decorrente da implementação do reservatório, quando instala-se a ocupação humana nestas áreas altera ainda mais a dinâmica natural, como por exemplo, a impermeabilização do solo que diminui a infiltração de água no solo e aumenta o escoamento superficial que, conseqüentemente, se não realizado o disciplinamento adequado deste escoamento de água, favorece na perda de solo. E do ponto de vista social, destaca-se a exposição da sociedade ao risco, pois são consideradas áreas sujeitas a grandes desastres.

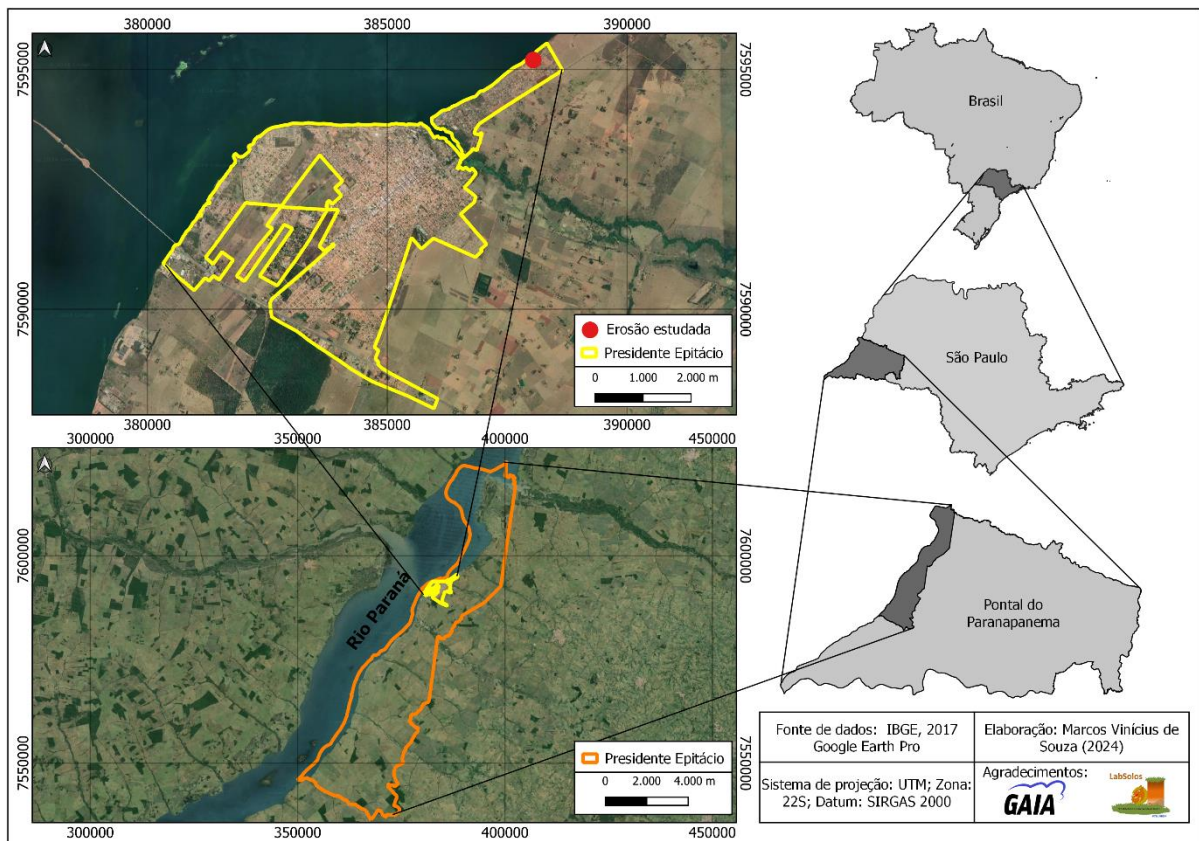
Neste contexto, a presente pesquisa visa compreender a dinâmica de formação e evolução de processo erosivo hídrico, através de uma revisão de outros estudos para entender os fatores históricos, econômicos e sociais que influenciaram na formação e aceleração do processo erosivo, o qual é o objeto de estudo deste trabalho. Realiza-se o mesmo para os

elementos físico-naturais, focando nos elementos pedológicos e caracterizando *in loco* o solo compreendido no recorte espacial estudado.

Além disso, a pesquisa realiza o acompanhamento da evolução temporal do processo erosivo, para identificar o possível avanço ou estabilização, trabalhando em duas perspectivas: terrestre por meio da coleta de pontos com receptores GNSS, e aérea, com o auxílio de um drone. Os dados são espacializados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Através desta ferramenta, é possível gerar as cartas de comparação dos diferentes períodos de levantamento, bem como, realizar os cálculos da diferença entre as linhas de crista dos levantamentos.

A erosão estudada localiza-se na área urbana do município de Presidente Epitácio (SP). O município está situado no Extremo Oeste do estado de São Paulo, na região do Pontal do Paranapanema, margeado pelo rio Paraná (Figura 1). Sua área territorial é de 1.260,281 km² e conta com uma população de 39.505 habitantes (IBGE, 2023).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Elaborado pelo autor (2024).

OBJETIVOS

Objetivo geral

Compreender a dinâmica de evolução de um processo erosivo hídrico linear localizado na área urbana do município de Presidente Epitácio (SP) por meio de geotecnologias (GNSS e drone).

Objetivos específicos

- Compreender os fatores históricos, econômicos, sociais e naturais responsáveis pela degradação dos solos da área estudada no município de Presidente Epitácio;
- Caracterizar fisicamente (morfológica, textural, densidade e permeabilidade) e química (fertilidade) o solo da área;
- Comparar os dois métodos de dimensionamento de processos erosivos por GNSS (via terrestre) e drone (via aérea);
- Propor medidas para mitigação e recuperação da área.

Capítulo 1 - Referencial Teórico



1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Susceptibilidade

A susceptibilidade dos solos aos processos erosivos está associada a fatores como chuva (erosividade), tipo do solo/rocha (erodibilidade) e a topografia do terreno (declive e comprimento de encosta) (Santos, 2019). De acordo com Julião et al. (2009) a “susceptibilidade representa a incidência espacial dos processos perigosos, ou seja, a propensão para uma área ser afetada por um determinado processo perigoso, em tempo indeterminado, sendo avaliada através de fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o período de retorno ou a probabilidade de ocorrência”. Ou seja, a susceptibilidade aos processos erosivos lineares é entendida como a tendência (ser passível) de receber modificações, impressões ou adquirir qualidades diferentes das que possuía (Grigio, 2003). Estas modificações podem estar relacionadas às características naturais de uma área, mas que na maioria das vezes a intervenção humana não conservacionista atua como agente acelerador. Neste caso, do espaço geográfico, resulta na perda de solo através do processo erosivo hídrico linear.

A maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto provocado por uma ação humana qualquer está ligada à vulnerabilidade ambiental (Tagliani, 2002), que nada mais é do que a exposição do ambiente ao risco e o risco, nada mais é do que a probabilidade ao perigo.

Há uma diferenciação quanto ao conceito de “susceptibilidade” e “vulnerabilidade”, isto vai de encontro com a análise do risco que se faz. Quando pretendemos dar a resposta à questão “em que locais há mais probabilidade de acontecerem eventos perigosos”, neste caso, o risco toma o sentido de susceptibilidade. Por outro lado, quando a questão for “em que locais há mais probabilidade de os eventos perigosos provocarem danos”, o risco toma o sentido de vulnerabilidade (Cunha, 2013).

Vulnerabilidade é um conceito que pode possuir diversas interpretações, as quais associa-se a cada ponto de vista ao respectivo objetivo do tema trabalhado (Fushimi, 2012). O conceito de vulnerabilidade a partir da abordagem ambiental, consiste em constituintes da natureza incorporada com as ações da sociedade, as quais são responsáveis por alterar a paisagem de acordo com seus interesses econômicos, sendo estes conduzidos pelo modo de produção capitalista (Fushimi, 2016).

A vulnerabilidade social, está ligada diretamente a vulnerabilidade ambiental, uma vez que a primeira pode fazer com que a população de baixa renda ocupe locais de risco, pois no sistema econômico capitalista, o principal agente explorador dos recursos naturais, através de suas ambições, são os agentes sociais que detém o domínio dos meios de produção, no qual impõe condições de vulnerabilidade diante da exploração econômica, que interage diretamente com a degradação do meio ambiente e, atribui condições em que as classes sociais de baixa renda estejam sempre em maior exposição ao risco do que as classes média e alta. De acordo com Karl Marx (1867), o modo de produção capitalista é responsável pela desigualdade social e, desta forma, a exploração excessiva pela busca do capital gera um aumento na vulnerabilidade ambiental.

Desta forma, identificam-se os elementos históricos, sociais e físicos de um determinado recorte espacial para entender a susceptibilidade natural da área e como o histórico de uso da terra pela sociedade influenciou na aceleração da susceptibilidade daquele ambiente.

1.2 Geografia no âmbito da relação “sociedade-natureza”

A Geografia como ciência surgiu no século XVIII, a qual é formada no debate entre a união das ciências naturais (que é dividida em ciências da terra e ciências biológicas) e ciências humanas, pautando-se desde sua gênese científica em uma forte complexidade conceitual e metodológica. Além disso, instala-se a problemática desta, enquanto possuidora de um objeto de estudo, visto que a Geografia pode dialogar com uma série de objetos de estudos de outras ciências (Mendonça, 2020).

Suertegaray (2018) explica como o filósofo-matemático René Descartes contribui para a separação conceitual da natureza e da sociedade, colocando a primeira como objeto e o ser humano como sujeito. Com isto, a natureza perde seu caráter sagrado. O filósofo natural e experimental Newton, influenciado por René Descartes, e por esse motivo seus pensamentos eram similares, passa a trabalhar com a ideia substitutiva da visão de mundo orgânico (ou ecológico), pela visão de mundo enquanto máquina (Suertegaray, 2018). A base da construção da ciência propõe a divisão da natureza com a sociedade.

O exemplo destes dois cientistas citados anteriormente e a postura que estes tomam ao tratarem a questão conceitual sociedade e natureza como ciências individualizadas, é explicada pelo fato destes cientistas serem os precursores da ciência moderna. O caminho que se tomava nesta época era da disjunção, separação e a compartimentação do conhecimento, pregando a

divisão das ciências naturais e das ciências sociais (Suertegaray, 2001). Vale lembrar que antecipando a Idade Moderna, na Idade Média houve uma redução quanto aos debates relacionados à dialética, pois naquele período os filósofos preocupavam-se em discutir a “verdade absoluta” como sendo Deus, fato este que gerou impactos negativos quanto à evolução no debate da relação dialética da sociedade-natureza.

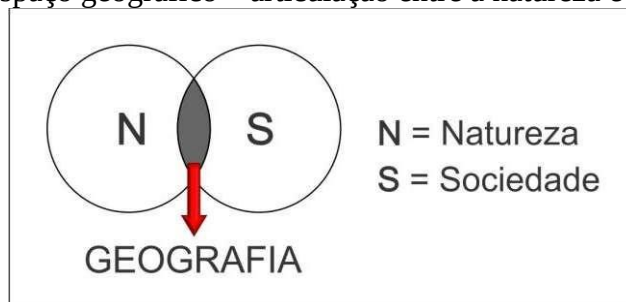
Para Caseti (1991, p. 11), os autores que adotam uma visão positivista da natureza são dados por um dos três caminhos presentes abaixo:

- a) A "natureza" é estudada exclusivamente pela ciência natural, enquanto a ciência social preocupa-se exclusivamente com a sociedade, a qual não tem nada a ver com a natureza;
- b) A "natureza" da ciência natural é supostamente independente das atividades humanas, enquanto a "natureza" da ciência social é vista como criada socialmente. Portanto, permanece uma contradição da natureza real, que incorpora a separação entre o humano e o não-humano;
- c) A terceira contradição dispersa a natureza humana dentro da natureza externa. O comportamento humano é regido pelo conjunto de leis que regulam os mais primitivos artrópodes. Essa visão determinista é defendida pelo darwinismo social e grande parte do behaviorismo. Na prática, observa-se que a natureza humana demonstra o seu domínio sobre as "leis da natureza" no processo de apropriação (Caseti, 1991, p. 11).

A Geografia pautada na ótica positivista e neopositivista rompe a ligação da sociedade com a natureza, estudando de maneira isolada as dinâmicas naturais e as dinâmicas sociais. No entanto, o que se espera é que a Geografia e principalmente a Geografia Física “construa uma visão plena dos processos de produção da natureza, onde natureza e sociedade sejam integradas, independente da verticalização do tema, ou do recorte espacial, a serem adotados nos estudos geográficos” (Nunes *et al.*, 2006, p. 125).

Não pode tomar-se a postura de rompimento entre as ciências naturais das ciências sociais ao trabalhar com a Geografia, visto que esta “é uma ciência que estuda o espaço organizado pela sociedade” (Mendonça, 2020, p. 22) e por esse modo, deve ser discutida de forma a integrar os aspectos naturais somados aos sociais (Figura 2).

Figura 2: Espaço geográfico – articulação entre a natureza e a sociedade.



Fonte: Suertegaray (2001), modificado por Fushimi (2016).

É possível compreender uma história da natureza e uma da sociedade, mas deve-se lembrar de que a formação da sociedade acontece pela socialização da natureza e, neste sentido, é dever da Geografia interpretar a contradição natureza versus sociedade (Suertegaray, 2018).

A dialética da relação sociedade-natureza deve partir da concepção holística¹, sendo de interesse da Geografia compreender “(...) como cada sociedade humana estrutura e organiza o espaço físico-territorial em face das imposições do meio natural, de um lado, e da capacidade técnica, do poder econômico e dos valores socioculturais, de outro” (Ross, 1996, p. 16).

O Oeste Paulista, não se ausentando das dinâmicas de transformação do espaço geográfico ao longo da história, demonstra aspectos marcantes da relação sociedade e natureza prescritos pela Geografia e materializados na paisagem.

1.3 Espaço geográfico em uma perspectiva conceitual de paisagem

Para a formulação e interpretação de espaço geográfico, deve-se entender que este conceito é de uma grande amplitude, cabendo ao autor direcionar a discussão na relação com os conceitos operacionais como, por exemplo, os de: paisagem, território, lugar e ambiente¹ (Suertegaray, 2001). No caso deste estudo, o enfoque partirá para o conceito de paisagem, uma vez que “[...] cada conceito expressa uma possibilidade de leitura de espaço geográfico delineando, portanto, um caminho metodológico” (Suertegaray, 2001, p. 5).

Mendonça (2020, p. 22), interpreta espaço geográfico como “objeto de estudo da geografia, que deve ser concebido como um produto histórico e social das relações que se estabelecem entre a sociedade e o meio ambiente”, na qual, na ideia marxista, o ser humano é o principal responsável pela sua produção deste espaço geográfico. Nesse sentido, espaço geográfico nada mais é do que a segunda natureza, visto que, para produção da primeira natureza a sociedade não participa (Mendonça, 2020).

“Na concepção de espaço geográfico está contido a expressão de diferentes categorias [...]: natureza, sociedade, tempo e espaço” (Suertegaray, 2001, p. 2). Então entende-se que o homem é um agente produtor do espaço geográfico, o qual ocorre em um determinado tempo da história.

Os geógrafos percebem a paisagem como uma expressão materializada e o homem como agente modificador da natureza em um espaço circunscrito (Suertegaray, 2001, p. 6).

¹ Visão holística significa observar ou analisar algo de forma global, ou seja, como um todo e não de maneira fragmentada.

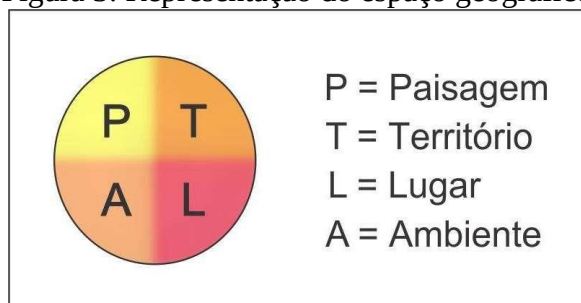
De nosso ponto de vista, percebemos paisagem como um conceito operacional, ou seja, um conceito que nos permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão, qual seja o da conjunção de elementos naturais e tecnificados, sócio-econômicos e culturais. Ao optarmos pela análise geográfica a partir do conceito de paisagem, poderemos concebê-la enquanto forma (formação) e funcionalidade (organização). Não necessariamente entendendo forma – funcionalidade como uma relação de causa e efeito, mas percebendo-a como um processo de constituição e reconstituição de formas na sua conjugação com a dinâmica social (Suertegaray, 2001, p. 6).

A representação como interface e transfiguração faz pensar em um espaço geográfico como uno e múltiplo aberto a múltiplas conexões, que ao mesmo tempo em que separa as visões com relação à interpretação, também as unem (Suertegaray, 2001), sendo múltiplo no sentido de possibilidades de leituras através de diferentes conceitos, como: paisagem, ambiente, região, lugar, território, etc. (Fushimi, 2016).

O espaço geográfico pode ser representado de forma dinâmica por um círculo em movimento, sendo este dividido em quatro partes, como mostra a Figura 3. Ao propor este círculo como esquema representativo do espaço geográfico, entende-se que cada setor (uma das quatro partes) simboliza uma visão analítica em que cada geógrafo pesquisador privilegia-se desta interpretação (Suertegaray, 2001).

Suertegaray (2001, p. 10), elabora este esquema partindo da ideia de que “[...] o espaço geográfico pode ser lido através do conceito de paisagem ou território, e ou lugar, e ou ambiente; sem desconhecemos que cada uma dessas dimensões está contida em todas as demais”. Um discurso dialoga com o outro, mesmo os recortes dos espaços geográficos sendo diferentes, no sentido de que: o econômico/cultural relaciona-se com a “paisagem”; o político está ligado ao “território”; a existência objetiva e subjetiva vincula-se a “lugar” e; transfiguração da natureza refere-se ao “ambiente” (Suertegaray, 2001).

Figura 3: Representação do espaço geográfico.



Fonte: Suertegaray (2001), modificado por Fushimi (2016).

Nesse sentido, objeto de estudo se constrói em um contexto relacional e, as conexões que permeiam os conceitos ditos “operacionais” neste estudo, têm como objetivo aproximar as diferentes e práticas geográficas, ao contrário de dividi-las (Suertegaray, 2001, p. 11).

Outros conceitos como o de região poderiam ser trabalhados, porém, Suertegaray (2001) propõe que para temáticas relacionadas as questões ambientais, o conceito de paisagem enquadra-se melhor.

1.4 Solos

A formação pedogenética “se dá ao longo de centenas de anos e é contrabalançado pelo processo de erosão, que remove seus constituintes, sobretudo pela ação da água de chuvas” (São Paulo, 1989, p. 21). Os agentes que atuam na formação do solo são: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo.

Dito isto, cabe ressaltar a importância de atribuir um uso com medidas que tendem a conservar o recurso natural “solo”, visto a grande importância deste para a manutenção e sobrevivência da sociedade.

O conceito de solo para Embrapa (2018, p. 27) é:

[...] coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (Embrapa, 2018, p. 27).

Desta forma, o conjunto de solos de toda a Terra é denominado de pedosfera, na qual ocorrem as interações dinâmicas de minerais, uma vez que a pedosfera desenvolve-se quando ocorre a interação de quatro outras esferas: hidrosfera, atmosfera, biosfera e litosfera. Ressalta-se que o solo não é somente um conjunto de minerais, matéria orgânica, água e ar, mas sim produto dessas interações, sendo possível estudar estas interações em diferentes escalas de resoluções, como: microscópica, horizontes, paisagens, regiões e global (Lepsch, 2011).

Diante do exposto, entende-se que o solo é um recurso essencial para a vida na Terra, e preservar este recurso é dever de todos.

1.5 Processos erosivos

O solo é considerado uma camada viva e fundamental para as atividades humanas, pois recobre quase toda superfície terrestre. Entretanto, a “perda total do solo constitui um altíssimo índice de degradação da superfície da terra, impedindo a realização de importantes atividades humanas, como o uso agrícola” (São Paulo, 1989, p. 21).

Esta perda de solo pode acontecer de maneira natural através de processos erosivos relacionados às condições geológicas e climáticas, que ocorrerá ao longo de milhares de anos ou, do contrário, quando é provocada pelo homem que interfere nas condições naturais do ambiente fazendo com que ocorra em poucos anos, sendo denominada de erosão antrópica (São Paulo, 1989).

Os atributos físicos do solo podem ser agentes facilitadores do processo erosivo. Neste sentido, no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são apresentados fatores físicos que influenciam no processo de erodibilidade do solo.

Quadro 1: Propriedades que influenciam na erodibilidade do solo

Propriedades do solo	Características
Textura	Textura, ou seja, o tamanho das partículas influi na capacidade de infiltração e de absorção da água de chuva, interferindo no potencial de escoamento superficial e quantidade de solo arrastado pela erosão, pois solos de textura arenosa são mais porosos e de rápida infiltração, não havendo nenhum dano; por outro lado, como possui baixa proporção de partículas argilosas que atuam como uma ligação entre as partículas grandes, uma pequena quantidade de enxurrada que escorre em sua superfície, pode arrastar uma grande quantidade de solo. Já os solos com textura argilosa, apresentam espaço porosos menores, a penetração de água é reduzida, favorecendo o escoamento superficial; contudo, a força de coesão das partículas é maior, aumentando a resistência à erosão (Bertoni; Lombardi Neto, 2005).
Estrutura	Modo como se arranjam as partículas do solo. Igualmente à textura, influi na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva, e na capacidade de arraste de partícula do solo.
Permeabilidade	Esta determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo.
Densidade	É a relação entre a sua massa total e volume, é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade. A compactação do solo favorece um aumento da densidade, com a diminuição dos macroporos, tornando o solo mais erodível.
Matéria orgânica	A matéria orgânica incorporada no solo permite maior agregação e coesão entre as partículas, tomando o solo mais estável em presença de água, mais poroso e com maior poder de retenção de água. A matéria orgânica aumenta a capacidade de infiltração do solo.

Fonte: Guimarães (2008), adaptado pelo autor (2024).

Para Suguio (1998), erosão é uma atividade geomorfogenética que é produzida por um conjunto de processos que agem na modificação da superfície da Terra. Esse conjunto de processos leva à remoção de materiais minerais e rochas decompostas. A água constitui um dos agentes essenciais no processo de dissolução. Os principais agentes de remoção física e transporte durante os processos de erosão são os seguintes: eólico, fluvial, pluvial, marinho e glacial.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 68) erosão é:

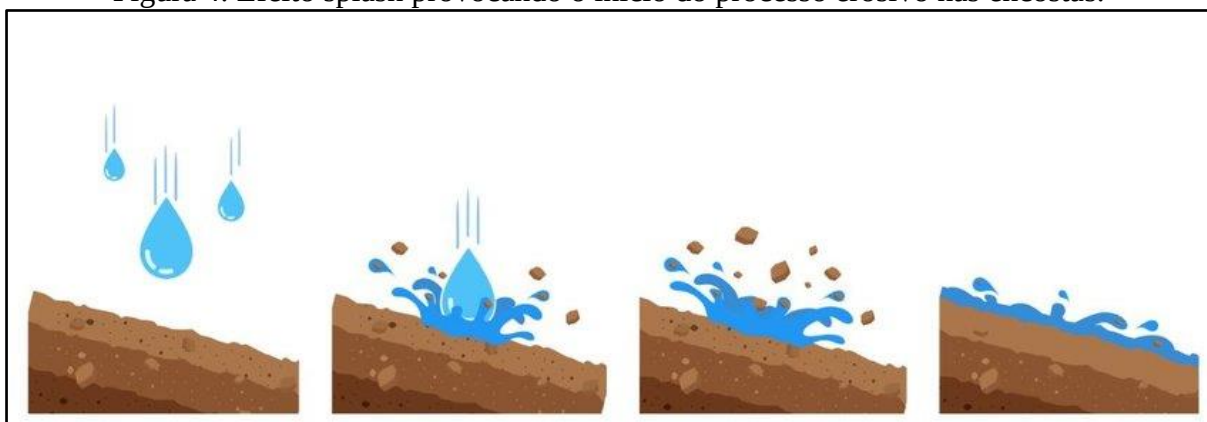
[...] o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui, sem dúvidas, a principal causa do

depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução. Outras vezes, esse transporte de partículas de solo se verifica, também, por ação do vento (Bertoni; Lombardi Neto, 2005, p. 68).

A erosão mais comum no Brasil é a causada pela força da água, a erosão hídrica. Entende-se que o processo de erosão causado pela ação da água ocorre em duas fases distintas: desagregação e transporte. A primeira é causada pelo impacto direto das gotas de água da chuva no solo e a segunda pelas águas que escorrem, sendo que em ambos os casos ocorre uma intensa forma de energia do movimento ou energia cinética, desagregando e arrastando partículas de solo (Lepsch, 2011).

O primeiro passo para início ao processo erosivo é o impacto direto das gotas de água da chuva sobre um solo desprovido de cobertura vegetal, que provoca desagregação das partículas de sua superfície (Lepsch, 2011). Os impactos das gotas de água da chuva que caem em um solo exposto causam o efeito “splash” (Figura 4), no qual é dado início ao processo de erosão.

Figura 4: Efeito splash provocando o início do processo erosivo nas encostas.



Fonte: Brizzi *et al.* (2018).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 71),

Quando a superfície do solo está sendo golpeada pelas gotas de chuva, a velocidade de infiltração de água no solo diminui rapidamente com a proporção do tamanho das gotas; o decréscimo de infiltração é maior nos terrenos planos, e vai diminuindo progressivamente à medida que aumenta o grau de declive do terreno (Bertoni; Lombardi Neto, 2005, p. 71).

O solo exposto ao receber maior parte da energia cinética da precipitação, faz com que os agregados sejam quebrados, dando início ao processo de erosão. Decorrente da destruição dos agregados, as partículas menores em suspensão penetram e bloqueiam os poros, diminuindo a permeabilidade e formando um selamento superficial do solo. Este fenômeno faz com que

ocorra a formação de uma camada superficial de maior densidade, pela destruição dos agregados do solo devido ao impacto das gotas de água da chuva, ocasionando a dispersão e entupimento dos poros (Schaefer *et al.*, 2002).

Altos volumes de precipitações em um curto período de tempo intensificam ainda mais a porcentagem de solo erodido, visto que “o processo de salpicamento das partículas de solo é afetada pelo tamanho das gotas, pela velocidade de queda e pela intensidade da chuva” (Bertoni; Lombardi Neto, 2005, p. 71).

Alguns tipos de uso que são atribuídos ao solo agem como fatores intensificadores que aceleram processo de erosão, os quais podem ser destacados como:

[...] a aração, o plantio e o cultivo (no sentido “morro abaixo”), as queimadas intensas e o pisoteio excessivo pelo gado. Além dos agricultores e pecuaristas, os madeireiros e mineradores também contribuem para a destruição da vegetação natural e o revolvimento do solo, facilitando a ação erosiva da água das chuvas e o assoreamento de grandes represas, o que prejudica também a produção de energia hidrelétrica (Lepsch, 2011, p. 419).

Como já mencionado anteriormente, a erosão é um processo natural e faz parte da dinâmica da natureza, porém, quando atribuídos ao solo usos antrópicos sem os devidos cuidados conservacionistas, o processo de erosão é intensificado. Como apresenta Lepsch (2011, p. 419), com o ano exemplo de 2001, neste período foi calculada a perda de solo agrícola podendo chegar a um bilhão de toneladas de materiais de solo no Brasil, apresentando este fato um grande prejuízo ecológico e econômico.

Diante disso, pode-se dizer que os fatores causadores de processos erosivos podem ser divididos em dois grandes grupos, sendo os fatores naturais e os fatores antrópicos. Os fatores naturais causadores do processo de erosão podem ser listados como chuva, cobertura vegetal, topografia e os tipos de solo (São Paulo, 1989). Já os fatores antrópicos, desmatamento, superpastoreio, manejo agrícola inadequado, entre outros, são os mais prejudiciais, visto a intensificação com relação ao grande volume de solo erodido em um curto período de tempo.

1.5.1 Erosão laminar, em lençol ou superficial

Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 76) afirmam que a erosão laminar é:

A remoção de camadas delgadas de solo sobre toda uma área é a forma menos notada, e por isso a mais perigosa. Em dias de chuva as enxurradas tornam-se barrentas. Os solos, por sua ação, tomam coloração mais clara, e a produtividade vai diminuindo progressivamente. A erosão laminar arrasta primeiro as partículas mais leves do solo, e considerando que a parte mais ativa do solo de maior valor, é a integrada pelas

menores partículas, pode-se julgar seus efeitos sobre a fertilidade do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2005, p. 76).

Para São Paulo (1989), a erosão laminar se dá através do escoamento da água que segue no sentido encosta abaixo, lavando a superfície do terreno como um todo sem formar canais definidos. A definição atribuída por Lepsch (2011) vai ao encontro das anteriores aqui destacadas, sendo que “a erosão laminar é a remoção uniforme de uma delgada camada superior do terreno como um todo” (Lepsch, 2011, p. 420).

Desta forma, entende-se que a erosão laminar é caracterizada pela lavagem das camadas superficiais do solo decorrente do escoamento difuso da água, ou seja, escoamento não concentrado. Esse tipo de fenômeno é mais difícil de ser identificado quando comparado com as erosões decorrentes do escoamento superficial concentrado (ou erosões lineares) por não apresentarem características marcantes. Porém, três fatores que podem auxiliar na identificação das erosões laminares são: descoloração do solo, queda de fertilidade e dificuldade de desenvolvimento e da manutenção da cobertura vegetal.

1.5.2 Erosão linear

A erosão linear ocorre devido à concentração do escoamento superficial de água, sendo típico de vertentes côncavas². Esta pode acontecer em três estágios, sendo: os **sulcos**, que são o início do processo erosivo linear; o **ravinamento**, que é o estágio posterior aos sulcos e; as **voçorocas**, que é quando a cavidade do processo atinge o lençol freático e a partir daí, ocorre o afloramento de água.

Para São Paulo (1989), erosão por escoamento concentrado acontece através da enxurrada, formando os sulcos, ravinas e podendo atingir a configuração de voçoroca, na medida em que a erosão se aprofunda no terreno. Esses tipos de erosão são as que o agricultor presta mais atenção, pois são de fácil identificação, sendo ocasionadas por chuvas de grande intensidade em terrenos de elevada declividade (Bertoni; Lombardi Neto, 2005).

Cabe ressaltar que existe uma discussão quanto aos termos designados aos estágios da erosão linear, principalmente quando se trata da discussão da definição de ravina e de voçoroca. A seguir discutir-se-ão diferentes definições através das respectivas bibliografias.

² Explicação sobre vertentes côncavas no tópico de caracterização geomorfológica (tópico: 5.1.2. Geomorfológica).

1.5.2.1 Sulcos

A erosão em sulcos é o estágio inicial da erosão hídrica linear, a qual diferencia-se da erosão laminar, podendo ser de fácil percepção (Figura 5). Comumente, este tipo de erosão inicia-se devido às fortes enxurradas que ocorrem no sentido morro abaixo, ou seja, de montante para jusante, somando-se a vertente côncava mais a energia cinética, começa a formar os canais de escoamento superficial concentrado decorrente do arraste de partículas do solo. Além disso, em muitos casos, o processo também pode estar relacionado ao caminho que o gado faz na superfície do solo, inicialmente retirando a gramínea e deixando os trilhos de passagem com solo exposto, o que irá facilitar com que a água escoe através desse trajeto, favorecendo o arraste de partículas após um intenso evento de precipitação.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 77), a erosão linear em estágio de sulcos:

Resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno que fazem que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos. Na sua fase inicial, os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo [...] (Bertoni; Lombardi Neto, 2005, p. 77).

A definição que Lepsch (2011) atribui aos sulcos vai de encontro com a de Bertoni e Lombardi Neto (2005), determinando sulcos como resultado de “irregularidades na superfície do solo pela concentração da enxurrada em determinados locais” (Lepsch, 2011, p. 421). Em alguns casos a água escorre e converge para outros sulcos, estes vão ampliando-se até formarem grandes cavidades (Lepsch, 2011).

Figura 5: Erosão hídrica linear em estágio de sulco identificado no residencial Lagoinha no município de Presidente Epitácio – SP. Data do registro: 04/10/2022.



Foto do autor (2023).

1.5.2.2 Ravina

A ravina (Figura 6) é considerada o estágio posterior aos sulcos, não se tratando apenas de cavidades rasas, podendo ser encontrada em maiores profundidades quando comparada aos sulcos. De acordo com a definição estabelecida pelo Instituto Paulista de Tecnologia (IPT), ravinas “[...] seriam canais criados pela ação do escoamento superficial” (Oliveira, 1999, p. 59).

A partir da concentração do fluxo de água, começa a se formar o processo de ravinamento, considerando que neste estágio o escoamento superficial provoca a concentração de sedimentos, fazendo com que haja um forte atrito entre as partículas e fundo dos canais, gerando mais erosão nestes canais que estão se formando (Guerra, 1999, p. 31). Para Vieira (1998), as ravinas são aprofundamento dos sulcos, apresentando sua profundidade que fica entre 0,50 m a 1,5 m. O mesmo autor ainda complementa que na ravina, a calha apresenta-se em forma de V e, para as voçorocas, apresenta-se com a calha na forma de U.

Neste estudo, será considerado o processo de ravinamento como o estágio intermediário da feição erosiva onde não ocorre o afloramento d’água, podendo este passar por medidas de intervenção, como a implementação de técnicas de bioengenharia (ex: paliçadas) ou até mesmo, dependendo do nível de gravidade, receber maquinários pesados com o propósito de recuperação da área degradada.

Figura 6: Erosão hídrica linear em estágio de ravina no residencial Lagoinha no município de Presidente Epitácio-SP.



Foto do autor (2023).

1.5.2.3 Voçoroca

Se nos processos de sulco, ravinamento e no subterrâneo (que também podem vir a arrastar os horizontes subsuperficiais) o processo erosivo não for controlado, poderá evoluir para o estágio de voçoroca, as formas mais espetaculares de erosão, as quais apresentam-se como “rasgos” disseminados na encosta (Lepsch, 2011).

São Paulo (1989) trata o termo voçoroca (Figura 7) como boçoroca, as quais são sinônimos, sendo que a boçoroca “pode ser formada seja através de uma passagem gradual da erosão laminar para erosão em sulcos e ravinas cada vez mais profundas, ou então, diretamente, a partir de um ponto de elevada concentração de águas sem a devida dissipação de energia” (São Paulo, 1989, p. 23).

Figura 7: Erosão hídrica linear no estágio de voçoroca.



Fonte: <https://conhecimentocientifico.r7.com/vocoroca/>

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 77),

Quando os diferentes horizontes do solo são de material de consistência uniforme a voçoroca se desenvolve em paredes mais ou menos verticais, e se o material é muito friável, está sujeito a frequentes desmoronamentos. Quando o material do subsolo ou de horizontes mais profundos é mais resistente que o horizonte superficial, as voçorocas apresentam as paredes em forma de V (Bertoni; Lombardi Neto, 2005, p. 77).

A partir disso, entende-se que o processo erosivo linear no estágio de voçoroca é o mais grave dos cenários, sendo rara a aplicabilidade das medidas de intervenção, decorrente do alto custo para implementação e nem sempre são eficientes.

Na literatura encontram-se diferentes definições para voçoroca. Uma delas é apontada pelo Glossário de Ciência dos Solos dos Estados Unidos do ano de 1987, que estabelece um limite entre ravinas e voçorocas, partindo do parâmetro que as voçorocas devem possuir mais de 0,5 m de largura e de profundidade (Guerra, 1995).

Já Oliveira (1999, p. 59), diz que “[...] voçorocas, canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático”, assemelhando-se à definição atribuída por São Paulo (1989, p. 24), sendo:

[...] a boçoroca corresponde a um estágio mais avançado e complexo de erosão, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas e, portanto, de mais difícil contenção. Na boçoroca atuam, além da erosão superficial como nas demais formas erosivas, outros processos, condicionados pelo fato de esta forma erosiva atingir em profundidade o lençol freático ou nível da água de subsuperfície. A presença do lençol freático, interceptado pela boçoroca, induz o aparecimento de surgências d’água (mineração d’água no fundo da boçoroca). Esse fluxo d’água do fundo e das paredes

da boçoroca pode ter uma continuidade para o interior do terreno, carreando material em profundidade, formando vazios no interior do solo (São Paulo, 1989, p. 24).

Para Bigarella e Mazuchowski (1985), voçoroca é um canal de drenagem com paredes abruptas que apresentam fluxos efêmeros ou eventualmente pequenos.

Desta forma, o Quadro 2 organiza as diferentes definições atribuídas para voçoroca.

Quadro 2: Resumo das principais definições atribuídas para voçoroca

	Autor	Definição
1	Soil Science Society of América (1975)	Incisão com profundidade superior a 0,30 m.
2	Bigarella e Mazuchowski (1985)	Canal de drenagem de paredes abruptas com fluxos efêmeros ou eventualmente pequenos.
3	Instituto Paulista de Tecnologia – IPT (São Paulo, 1990)	Incisão erosiva que apresenta como características principais a queda em bloco e afloramento do lençol freático.
4	Guerra (1994)	As voçorocas são definidas como incisões que apresentam profundidades superiores a 0,5 m.
5	Canil et al. (1995)	Possui paredes laterais íngremes, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante eventos chuvosos.
6	Oliveira (1999)	Apresentam canais incisivos que estão ligados à dissecação do relevo, decorrentes da ação integrada entre processos geomorfológicos, tais como: escoamento de fluxos d'água superficiais, subsuperficiais e movimentos de massa nos domínios da encosta.
7	Lozet e Mathieu (2002)	Depressão originada pela ação do escoamento concentrado da água e que não pode ser combatida por meio de instrumentos de arado. Pode apresentar profundidade entre 1 e 12 m e a largura pode ultrapassar mais de 30 m.
8	Vieira (1998) adaptado por Vieira (S/A) (s.d.)	Incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano e com dimensões superiores a 1,5 m de profundidade, largura e comprimento superiores a 3 m.

Fonte: Vieira (S/A), organizado por Souza (2023).

Diante das diferentes interpretações apresentadas para voçoroca, adota-se neste estudo a definição de que voçoroca se inicia a partir do afloramento do lençol freático, existindo medidas de contenção para voçoroca, mas são caras e, por vezes, ineficientes. Além disso, devido ao afloramento de água, a voçoroca pode ser considerada como um curso d'água, devendo assim respeitar as Áreas de Preservação Permanente (APP) definidas pela Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012).

1.5.3 Pipings e alcovas de regressão / cavernas

As cavernas ou alcovas de regressão muitas vezes podem vir a ser confundidas com os pipings. Desta forma, cabe aqui uma distinção dos conceitos, visto que na área estudada encontram-se feições erosivas que vão em direção a estas terminologias.

Os pipings ou processos de entubamento são uma espécie de erosão interna decorrente ao escoamento de água subsuperficial, uma vez que esse processo ocorre do interno para o externo (de dentro para fora). Neste sentido, Rubira *et al.* (2016) definem pipings com sendo “erosões originadas por ações hídricas subsuperficiais [...]”. Esta feição erosiva “ocorre internamente ao maciço de solo³. Isto é, esta forma de erosão só é percebida na superfície quando existem subsidências (recalques) de grande magnitude devidas ao afundamento dos “canais” formados no solo” (Conciani, 2008, p. 21).

Ladeira (2007, p. 6) faz um estudo relacionado à ocorrência de pipings em barragens e traz a seguinte definição de que;

A falha por piping é um fenômeno que ocorre por erosão regressiva, onde há formação de um tubo, originado do carreamento de grumos de silte e argila, de jusante para montante no maciço de terra compactada em uma barragem. Esse tubo tende a aumentar seu diâmetro à medida que a água percola pelo solo compactado (Ladeira, 2007, p. 6).

Por outro lado, as alcovas de regressão, assemelham-se ao processo de piping, como Oliveira e Nascimento (1996), que propõem que alcovas de regressão podem vir a ser a associação de diferentes mecanismos, como da erosão em dutos (pipings), erosão por percolação (*seepage erosion*) e erosão em túneis (*tunneling erosion*).

Neste trabalho, adota-se a proposta das terminologias diferenciando pipings (Figura 8) e alcovas de regressão (Figura 9), proposta por Rubio (2014), as quais são apresentadas no Quadro 3.

³ Maciço de solo/macício terroso: são formações constituídas por solos que é atribuída a designação genérica de maciços terrosos (Nunes, 2012). (como assim?)

Quadro 3: Diferenciações para erosões marginais nas tipologias de piping e alcovas de regressão

Classe (tipologia das feições)	Caracterização do processo	Referências
Piping	São feições formadas em subsuperfícies causadas pelo transporte (dissolução e carreamento) de minerais, apresentando largura e extensão variável.	Oliveira (1999)
Alcovas de regressão	São feições formadas a partir da ação das ondas na remoção das partículas dos solos. Diferenciamos das escavações da base pelo volume de material final envolvido e pelas dimensões. Em geral estas formas se desenvolveram mais na altura do que na profundidade.	Oliveira (1999)

Fonte: Rubio (2014), adaptado pelo autor (2023).

Figura 8: Feição erosiva do tipo piping, registrada em Candói-PR.



Fonte: Guerra *et al.* (2014).

Figura 9: Feição erosiva do tipo alcova de regressão identificada na borda da calha do rio Paraná, a jusante do residencial Lagoinha no município de Presidente Epitácio – SP



Foto do autor (2023).

Através disso, fica evidente a diferença entre piping e alcova de regressão, visto que o piping é um processo quem ocorre de dentro para fora, já a alcova de regressão, ocorre de fora para dentro.

Capítulo 2 - Caracterização da Área



2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Caracterização dos aspectos físicos naturais

2.1.1 Geologia

O município de Presidente Epitácio está localizado na região do Oeste Paulista apresentando-se com características litoestratigráficas e litológicas relacionadas às dinâmicas ocorridas na região, correntes a fatores endógenos ativos em um tempo geológico distante, associados aos fatores exógenos que se fazem predominantes na área em sua atualidade (Santos, 2020).

A morfoestrutura do município é compreendida pela Bacia Sedimentar do Paraná, a qual é constituída por rochas sedimentares e ígneas (idade Mesozóica) e por depósitos sedimentares recentes (idade Cenozóica) (IPT, 1981 p. 46). Os autores Carneiro *et al.* (2012, p. 29) apontam que as bacias sedimentares são:

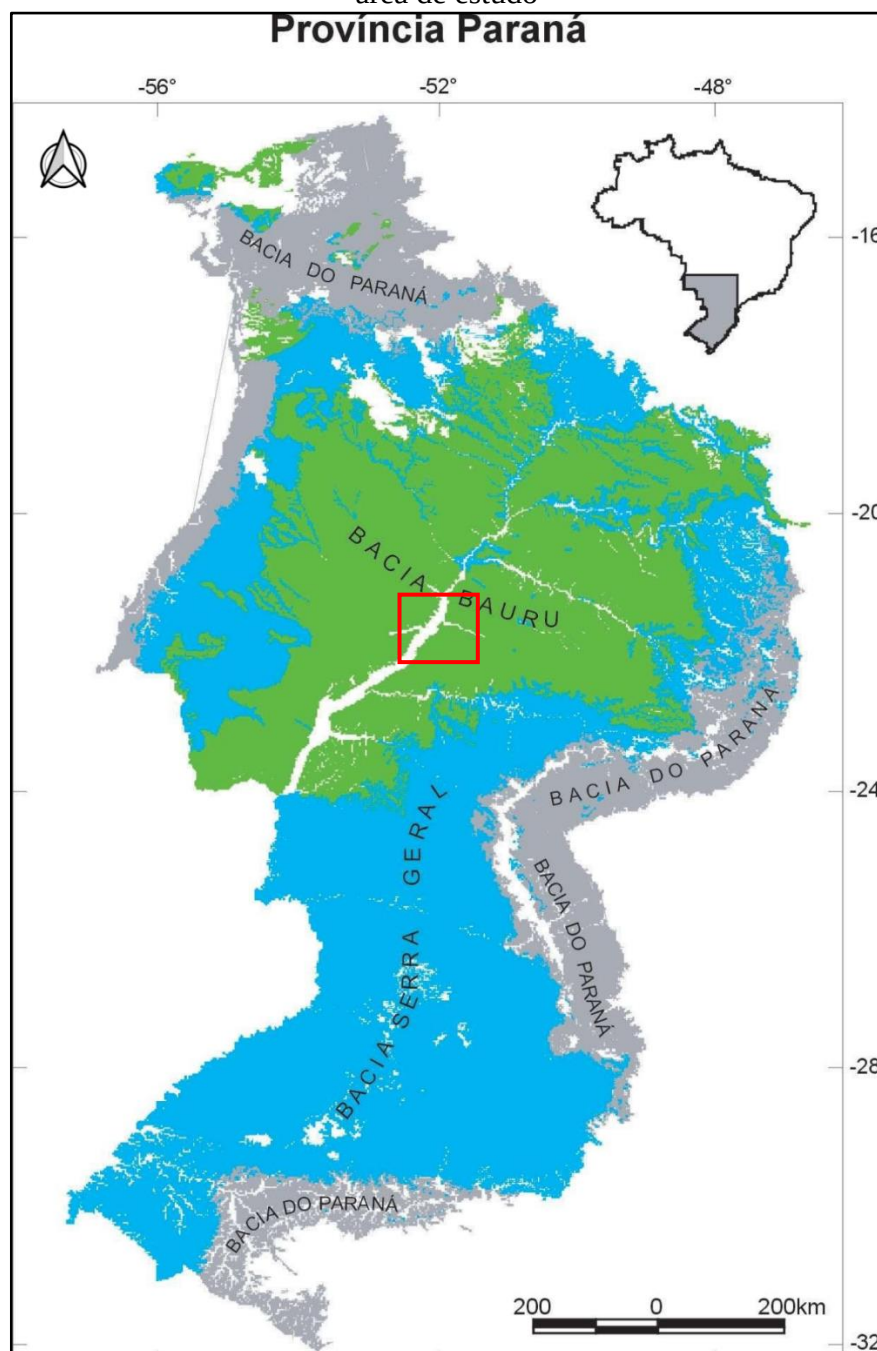
[...] porções subsidentes da crosta, preenchidas por sedimentos, que são às vezes muito antigos. Esses sedimentos foram depositados em diferentes ambientes, marinhos ou continentais. Assim, as bacias sedimentares representam porções favoráveis para o reconhecimento da evolução geológica da Terra, assim como para precisar a evolução dos ambientes antigos de sedimentação e sua relação com o Tempo Geológico (Carneiro; Almeida; Gonçalves; Uhlein; Noce, 2012, p. 29).

A Bacia Sedimentar do Paraná formou-se por volta de 460 milhões de anos atrás, havendo apenas um único continente denominado de Pangeia (Santos, 2020). Houve a separação da Pangeia por volta de 200 milhões de anos, apresentando-se com grandes fraturas afastando a América do Norte da Europa e do Noroeste da África. Mais tarde forma-se o Atlântico Sul, por volta de 135 milhões de anos, afastando a América do Sul do Sudoeste africano.

Devido a dispersão da Pangeia, surgem grandes fendas (*rifts*) nas superfícies dos continentes, seguidos pela ascensão do grande volume de derrames de magmas basálticos (basaltos e diabásios) que, quando formados na Bacia do Paraná (Figura 10), receberam o nome de Formação Serra Geral (Santos, 2020). Diante disso, compreendem-se três áreas de sedimentação independentes, as quais são separadas por profundas discordâncias (Milani; Ramos, 1998):

- a) Bacia do Paraná: é uma área de sedimentação que primitivamente se abria para o oceano Panthalassa a Oeste (Milani; Ramos, 1998);
- b) Bacia Serra Geral: compreende os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os derrames basálticos da Formação Serra Geral (Silva; Lopes; Vasconcelos; Bahia, 2003).
- c) Bacia Bauru: é uma bacia intracratônica⁴ (Silva; Lopes; Vasconcelos; Bahia, 2003).

Figura 10: Esboço geológico da Bacia Sedimentar do Paraná – o quadrado vermelho indica a área de estudo



Fonte: Silva; Lopes; Vasconcelos; Bahia (2003).

⁴ Bacia intracratônica: bacias localizadas em crosta continental.

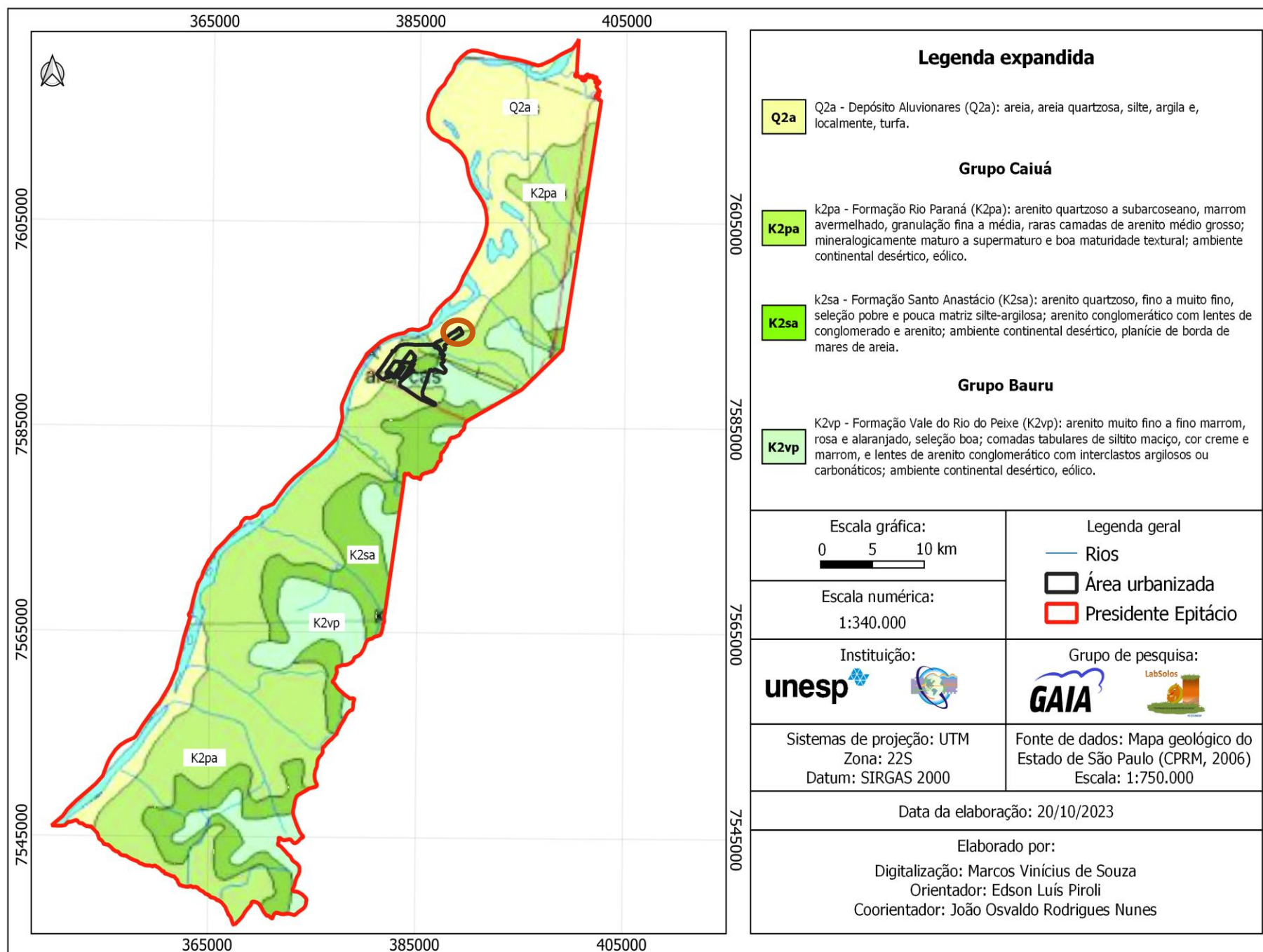
De acordo com a Figura 11, nota-se que o Grupo Bauru está relacionado às unidades litológicas da Formação Vale do Rio do Peixe (K2vp), enquanto o Grupo Caiuá contém as Formações Santo Anastácio (K2sa) e Formação Rio Paraná (K2pa).

De forma mais centralizada e de acordo com o mapa que apresenta a litologia do município de Presidente Epitácio, identifica-se que o recorte espacial estudado está sob a unidade litológica da Formação Rio Paraná (K2pa).

Diante do exposto, nota-se o predomínio do Grupo Caiuá em relação ao Grupo Bauru no município de Presidente Epitácio e em especial na área estudada.

Boin (2000) destaca que a antiga Formação Caiuá, assumindo-se como grupo Caiuá contendo as formações Rio Paraná e Santo Anastácio a partir de 2006, é composta essencialmente de arenitos, que está relacionada ao início de deposição do Grupo Bauru em uma área restrita, que se sobrepõe aos basaltos da Formação Serra Geral. Esta ocorrência é marcada restritamente ao extremo Oeste do estado de São Paulo, mais precisamente no Pontal do Paranapanema, estendendo-se ao Norte, margeando-se com o Rio Paraná até a confluência de seu afluente, o Rio do Peixe. É característico deste tipo de formação apresentar uma grande uniformidade litológica. Além disso, é constituída de arenitos de coloração arroxeada com notáveis estratificações cruzadas, tangenciais na base, de granulação fina a média, bem selecionada, arredondada, a qual é composta por quartzo, feldspato, calcedônia e opala, predominantemente quartzosos e, ocasionalmente, subarcosianos (IPT, 1981a).

Figura 11: Mapa geológico de Presidente Epitácio - SP. A área de estudo está destacada pelo círculo laranja.

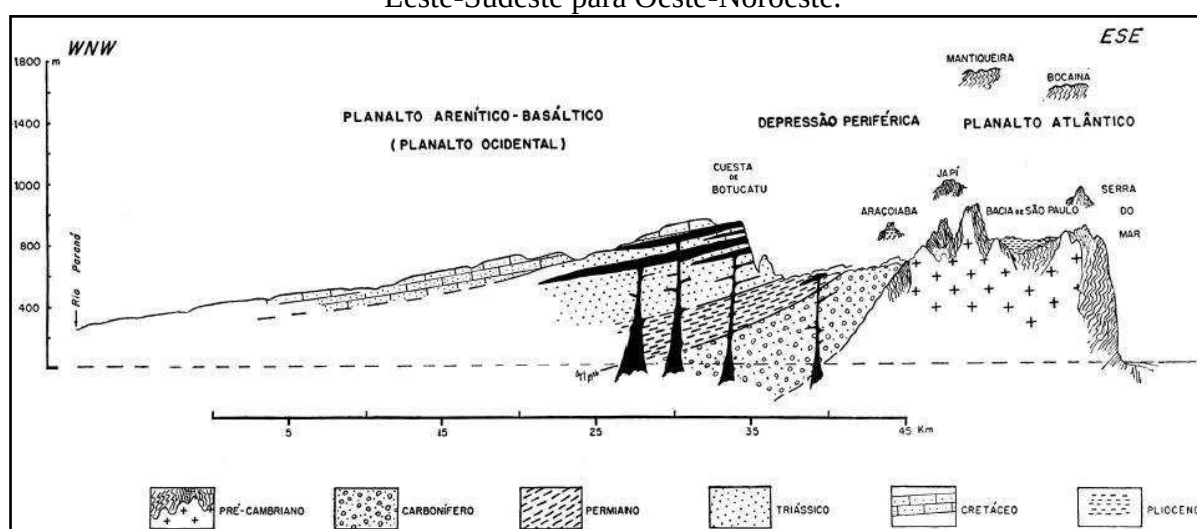


Fonte: CPRM (2006). Adaptado pelo autor (2023).

2.1.2 Geomorfologia

Ab'Saber (1956, p.12) apresenta uma representação geomorfológica do estado de São Paulo ilustrando as feições em uma perspectiva transversal, da direita (Leste), litoral e do Planalto Atlântico até a esquerda (Oeste) no rio Paraná, que é onde está localizado o município de Presidente Epitácio. No esboço fica claro a redução das altitudes no sentido de Leste para Oeste do estado (Figura 12).

Figura 12: Feições geomorfológicas esquemáticas do estado de São Paulo no sentido de Leste-Sudeste para Oeste-Noroeste.

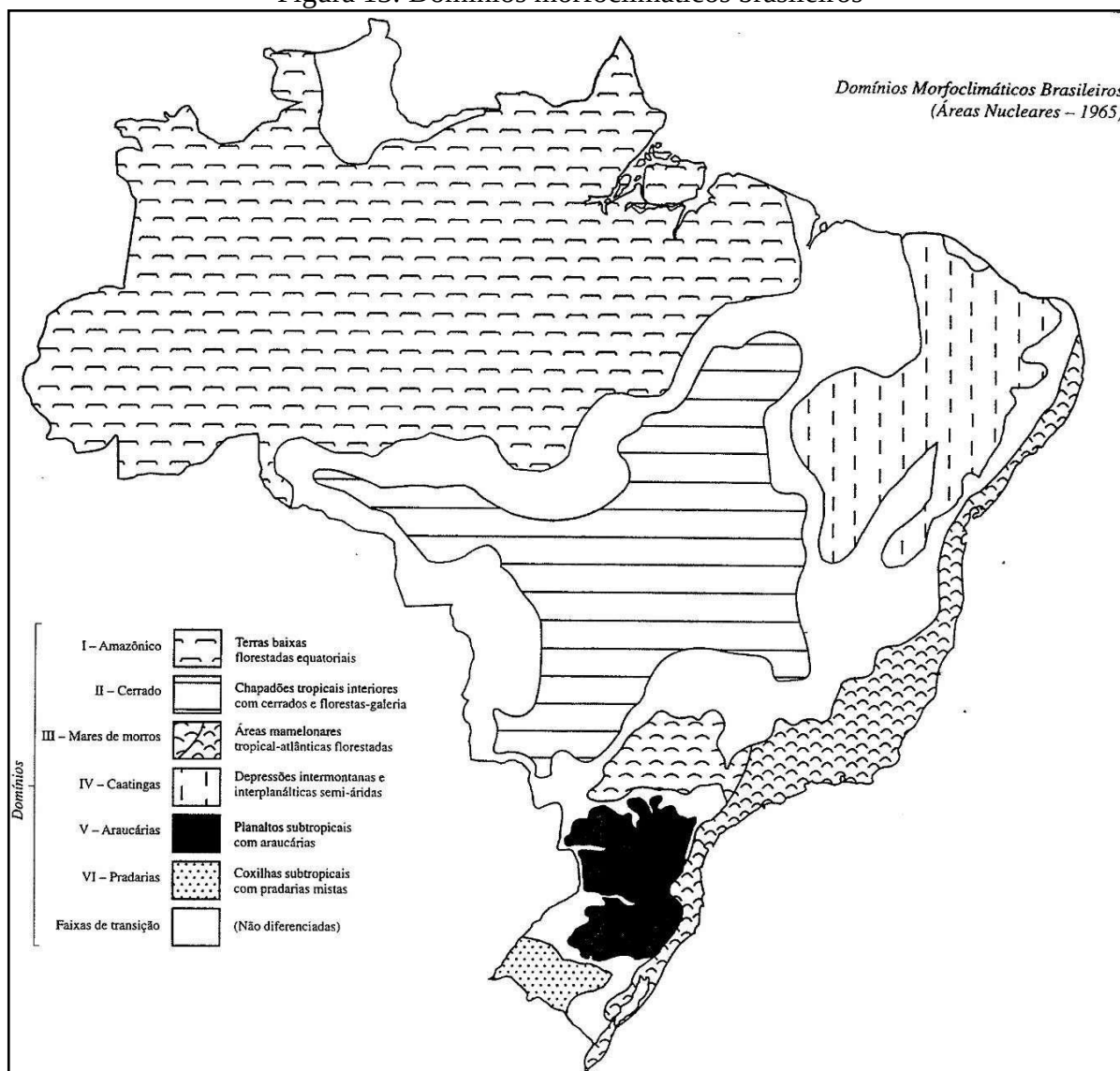


Fonte: Ab'Saber (1956).

Os “mares de morros” são uma denominação que foi empregada pelo geógrafo francês Pierre Deffontaines para as colinas dissecadas (Guerra, 1993, p. 278). Estes caracterizam-se por apresentarem um grau mais aperfeiçoado dos processos de mamelonização (morros arredondados pelo desgaste natural), constituído em áreas de planalto (predominantemente), planícies e tabuleiros litorâneos, depressões periféricas, planaltos e chapadas da Bacia do Paraná (Ab'Saber, 2012) (Figura 13).

Segundo Santos (2020), os solos predominantes do domínio dos “mares de morros” em ambientes florestados normalmente são profundos, e isso está relacionado ao processo de intemperismo atuante nestas áreas, configurando o espaço de desgaste natural pelo processo de lixiviação. Já a floresta dominante é a Mata Atlântica com sua relativa diversidade, podendo ser identificados outros biomas. E com relação à dinâmica socioeconômica, o domínio de “mares e morros” é o mais ocupado no Brasil, sendo as áreas mais expostas à exploração humana através de atividades agropecuárias e expansão urbana, tendo como resposta o estabelecimento de processos erosivos ligados à susceptibilidade natural destes solos (Ab'Saber, 2012).

Figura 13: Domínios morfoclimáticos brasileiros



Fonte: Ab'Saber (2012).

Segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross; Moroz, 1996), escala 1:500.000, o município de Presidente Epitácio está localizado na unidade morfoestrutural da bacia Sedimentar do Paraná e sobre a morfoescultura do Planalto Ocidental Paulista (Figura 15). É constituído pelas formas de relevo com colinas amplas e baixas, escupidos nos arenitos do grupo Caiuá e Bauru. Por situar-se essencialmente sobre rochas dos Grupos Caiuá e Bauru, é constituído por diversas formações areníticas, sendo em algumas regiões, cimentadas por carbonato de cálcio, as quais recobrem as rochas basálticas. O agente cimentante da região estudada é o carbonato de cálcio, contendo pequenas quantidades de óxido de ferro por conta da rocha arenítica, mas o carbonato de cálcio é o que prevalece.

O Planalto Ocidental Paulista encontra-se na porção Oeste do estado de São Paulo; sua composição é de camadas com caimento para Oeste, com cotas próximas de 500 metros nos limites orientais e com 247 metros de altitude na foz do rio Paranapanema (IPT, 1981b).

De acordo com Santos (2020), no município de Presidente Epitácio é comum encontrar a planície de inundação, expressando-se um limite tênue com os terraços, fazendo com que estes dois ambientes apresentem uma dinâmica contígua e simultânea, estando este fator relacionado às amplitudes das declividades na área.

As planícies de inundação no município de Presidente Epitácio, encontram-se, atualmente, imersas decorrentes do enchimento do reservatório da UHE – Porto Primavera nos anos finais do século XX e no início do século XXI.

Borges e Ferreira (2019) caracterizam planícies de inundações como sendo unidades geomorfológicas que são formadas por deposições sedimentares decorrentes da ação da água, sendo estas muito comuns em áreas de baixa declividade, nos vales dos rios, favorecendo a deposição e a permanência dos materiais transportados pela água. Destaca-se que as planícies de inundação estão associadas ao regime climático ou hidrológico da bacia de drenagem, uma vez que os sedimentos são estocados e transportados sob uma condição de equilíbrio, sem aumento ou diminuição por anos, uma vez que a taxa de entrada de sedimento é igual à de saída (Rocha; Comunello, 2009, p. 60). Contudo, se houver condicionantes que alterem o equilíbrio da bacia, como mudanças no uso da terra, processos tectônicos ou no regime hidrológico, poderá impactar na alteração deste ambiente levando à degradação e até mesmo à formação de terraços (Rocha; Comunello, 2009, p. 60).

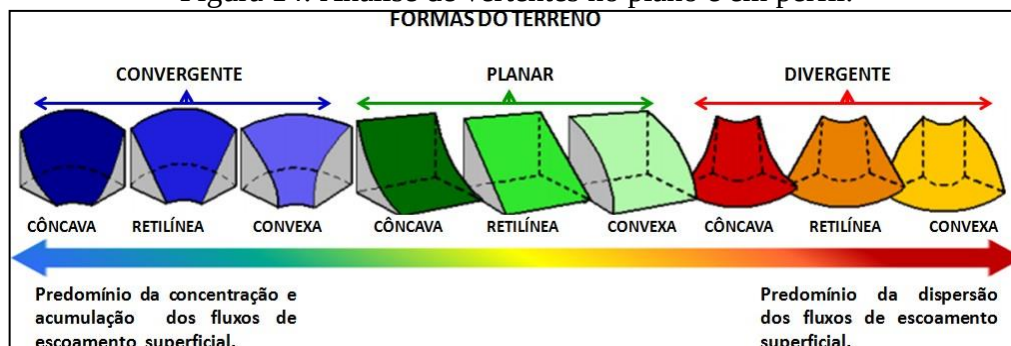
Já os terraços⁵ fluviais (ou terraços aluviais) são formados decorrentes dos depósitos aluviais que se encontram nas encostas de um vale (Guerra, 1993, p. 409).

As vertentes podem ser definidas como planos de declives variados, os quais divergem das cristas (ou interflúvios), encerrando-se no vale (Guerra, 1993). Nas zonas de planícies pouco se notam as vertentes, pois estas são mal esboçadas e o rio divaga amplamente. Já nas regiões montanhosas, as vertentes podem ser abruptas e formar gargantas e, neste caso estão mais próximas do leito do rio, enquanto nas planícies encontram-se mais afastadas (Guerra, 1993, p. 434).

⁵ Terraços: “superfície horizontal ou levemente inclinada, constituída por depósito sedimentar, ou superfície topográfica modelada pela erosão fluvial, marinha ou lacustre e limitada por dois declives do mesmo sentido. É por conseguinte uma banqueta ou patamar interrompendo um declive contínuo. Os terraços aparecem com mais frequência ao longo dos rios, ou ainda na borda dos lagos, lagoas e mesmo ao longo do litoral. Podemos classificar os terraços em: fluviais, marinhos, lacustres, estruturais, etc.” (Guerra, 1993, p. 409).

As vertentes apresentam diversas formas podendo ser separadas em três curvaturas verticais principais: côncava, convexa e plana (Figura 14). Os diferentes tipos de vertentes encontrados na natureza estão relacionados, principalmente, ao clima da região, à natureza das rochas, à estrutura e ao volume do relevo (Guerra, 1993). Aponta-se como exemplo a forma das vertentes convexas, que estarão, comumente, sob as rochas eruptivas (granitos, sienitos e mesmo algumas metamórficas como os gnaisses), em regiões de clima tropical úmido e em rochedos nus (Guerra, 1993).

Figura 14: Análise de vertentes no plano e em perfil.



Fonte: Silva Neto (2013).

Desta forma, Silveira, Fiori e Oka-Fiori (2005, p. 13) definem as curvaturas verticais da vertente sendo:

- Vertente côncava: elemento de curvatura negativa, quando seu ângulo de inclinação decresce da parte mais alta para a parte mais baixa da vertente;
- Vertente convexa: elemento de curvatura positiva, quando seu ângulo de inclinação aumenta da parte mais alta para a parte mais baixa da vertente;
- Vertente retilínea: quando a vertente adquire a forma de um segmento sem curvatura.

Ambientes onde se tem a presença de vertentes côncavas, são mais susceptíveis aos processos erosivos lineares devido ao fluxo concentrado de água. A dinâmica do escoamento de água em uma vertente côncava acontece da seguinte maneira: depois de um evento chuvoso, toda a água derramada sobre o solo converge formando um único canal principal, aumentando a velocidade conforme fluxo de água vai atingindo as porções mais baixas da vertente e com isso, aumenta-se a intensidade do arraste de partículas de solo.

Já nas vertentes convexas, altera-se a dinâmica de escoamento de água. Esta favorece a dissipação da água na encosta, gerando o escoamento difuso, o qual está relacionando aos processos erosivos hídricos do tipo laminar.

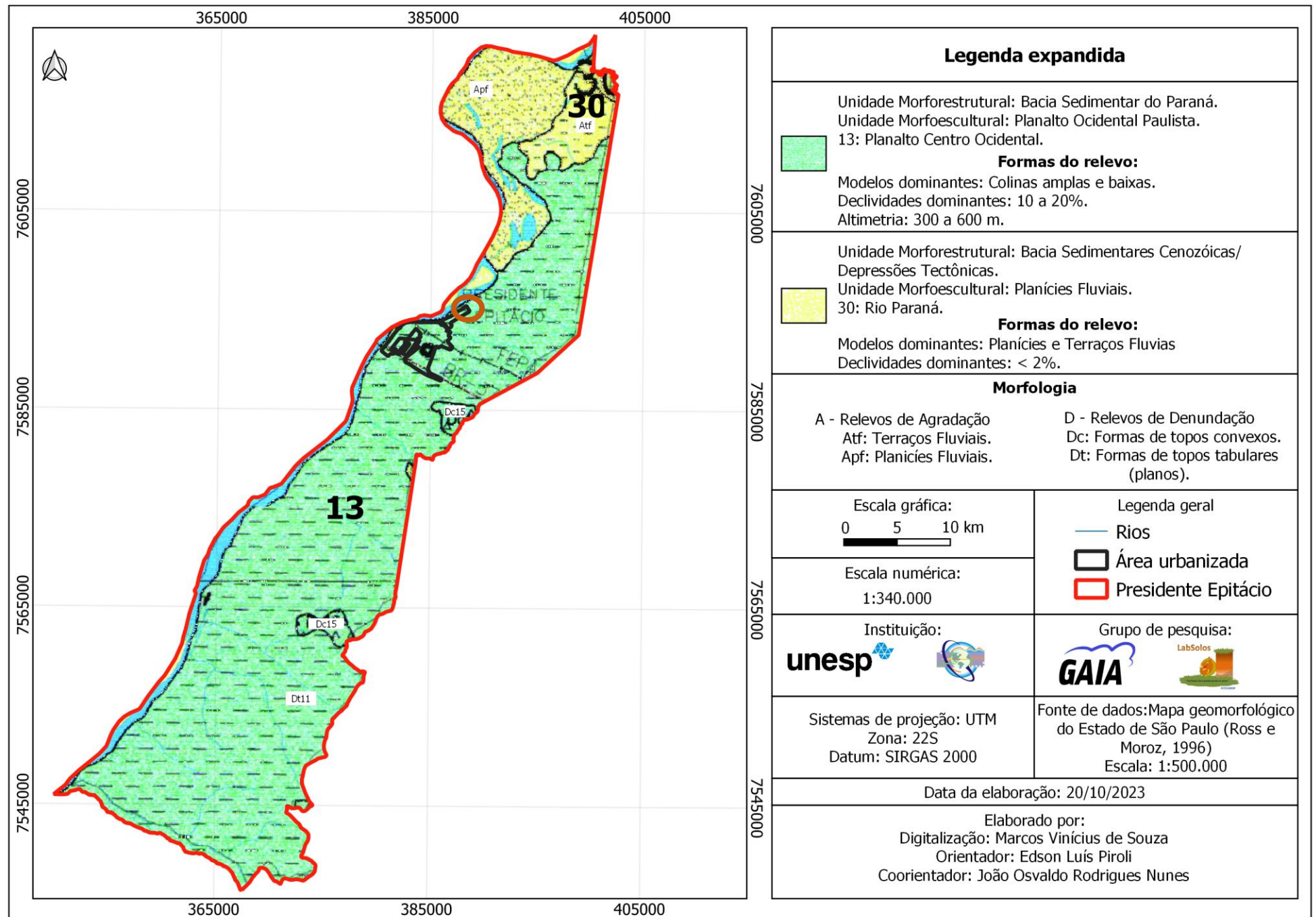
Santos (2020) aponta que compreender a dinâmica do relevo é um aspecto fundamental em estudos que envolvam planejamento ambiental e ordenamento territorial. O entendimento

desta característica favorece os ocupantes e o meio ambiente, visto que locais de riscos não seriam ocupados e diminuir-se-iam os impactos ao meio diante da ocupação.

Segundo Guerra (1994, p. 416), os topos são as porções mais elevadas de um morro ou elevação e, muitas vezes utiliza-se como sinônimo de cume. Os topos estão localizados após a linha de crista, depois de finalizada a vertente.

Desta forma, conclui-se que a distribuição morfológica do município de Presidente Epitácio, considerando de maior para a de menor ocorrência é de: vertentes convexas, topos, terraços fluviais, vertentes côncavas e planícies fluviais (Santos, 2020).

Figura 15: Mapa geomorfológico de Presidente Epitácio - SP. A área de estudo está destacada pelo círculo marrom.



2.1.3 Pedologia

O solo é considerado um recurso natural e básico para a existência humana na Terra, que suporta toda cobertura vegetal, incluindo culturas como todos os tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas para manutenção da vida humana (Bertoni; Lombardi Neto, 2005). A ciência do solo estuda o modo de formação, classificação, mapeamento, propriedades físicas, químicas, biológicas e de fertilidade do solo, associando essas propriedades com relação ao uso e manejo dos solos. Dentre tantas ciências que estudam este recurso, destaca-se a Edafologia, a qual trata-se da influência dos solos nos seres vivos, incluindo principalmente o uso da terra pelo homem para cultivar plantas, e a Pedologia, que trabalha com esse recurso desde a sua formação, seus aspectos morfológicos, mapeamento e classificação do solo (Lepsch, 2011).

No Brasil, o sistema taxonômico oficial adotado para classificar os solos é o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), surgindo através de pesquisas a partir da década de 1970, passando por aperfeiçoamentos até os dias atuais. O SiBCS é agrupado em 6 níveis categóricos, subdividido em 13 ordens, diversas subordens, grandes grupos, subgrupos, famílias e séries, uma vez que, conforme aumenta-se o número do nível, melhora-se o detalhamento das características (Santos *et al.*, 2018a). Neste estudo, optou-se por trabalhar até o terceiro nível, sendo: ordem, subordem e grande grupo.

O primeiro nível de classificação do solo (ordens) está relacionado à descrição morfológica, complementada com as análises laboratoriais, ou seja, está diretamente ligado à formação do solo. Através disso, identificam-se os horizontes diagnósticos superficiais (horizonte A é Moderado? Chernozêmico? Húmico?) e subsuperficiais (o perfil do solo tem o horizonte B? Ele é latossólico? Incipiente? Textural?), assim como os principais atributos diagnósticos (baixa ou alta atividade da argila? Baixa ou alta saturação por bases?) (Lepsch, 2011). Destaca-se que mesmo que a atividade da fração argila apareça na nomenclatura dos solos no terceiro nível taxonômico, como Gleissolos (Ta e Tb), estas também são usadas para definir alguns horizontes diagnósticos e ordens de solo.

No segundo nível categórico (subordens), as classes são separadas por atributos que estão relacionados aos processos de gênese daquele solo. Esses atributos revelam aspectos importantes, como a presença ou ausência de outros horizontes diagnósticos não considerados no primeiro nível, além de incluir características diferenciais que não foram apontadas no primeiro nível, por exemplo, a cor do horizonte B ou a constituição do horizonte C (quando não houver o horizonte B) (Lepsch, 2011).

Já o terceiro nível categórico (grandes grupos) representa as subdivisões das subordens apontadas pelo tipo, arranjo dos horizontes, atividade da fração de argila e na saturação do complexo sortivo por bases ou por alumínio, ou por sódio e/ou sais solúveis. Através deste nível permite-se notar algumas características nos perfis diagnósticos de solo que podem impactar negativamente no uso e manejo dos solos, afetando o desenvolvimento de raízes das plantas e o movimento de água no solo (Lepsch, 2011).

De acordo com Santos (2020), o qual considerou os três níveis do SiBCS, o município de Presidente Epitácio apresenta os níveis categóricos de solos descritos no Quadro 4, considerando as ordens, subordens e grandes grupos.

Quadro 4: Níveis categóricos dos solos (ordem, subordem e grande grupo) do município de Presidente Epitácio

Ordem (1º nível)	Subordem (2º nível)	Grande grupo (3º nível)
Argissolos (P)	Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) São bastante intemperizados, mas ao contrário dos Latossolos e Nitossolos, apresentam um horizonte B de acúmulo de argila de atividade baixa, ou excepcionalmente, alta de acordo com a composição química. Sua principal característica é a diferença textural entre os horizontes superficiais mais arenosos (A e/ou E) e o horizonte B textural. Os processos que mais atuam no desenvolvimento dos Argissolos estão associados às translocações e perdas. Ocorrem normalmente em áreas de relevos mais acidentados e dissecados que os relevos nas áreas de ocorrência dos Latossolos.	Distrófico (PVAd) – Solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Baixa fertilidade.
		Ta Distróficos (PVAvd) – Solos com argila de atividade alta e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Baixa fertilidade.
		Eutrófico (PVAe) – Solos com saturação por bases ≥ 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Alta fertilidade.

Ordem (1º nível)	Subordem (2º nível)	Grande grupo (3º nível)
Gleissolos (G)	Gleissolos Háplicos (GX) São comuns nas baixadas úmidas, normalmente situando-se nas partes relativamente mais baixas da planície aluvial. Esse ambiente favorece a saturação de água em períodos suficientes para desenvolverem uma coloração com padrões acinzentados característicos. Portanto, a hidromorfia se expressa por forte gleização, resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico.	Ta Distróficos (GXvd) – Solos com argila de atividade alta e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos horizontes B e/ou C (inclusive BA ou CA) dentro de 100 cm a partir da superfície do solo. Baixa fertilidade. Ta Eutróficos (GXve) – Solos com argila de atividade alta e saturação por bases ≥ 50%, ambas na maior parte dos horizontes B e/ou C (inclusive BA ou CA) dentro de 100 cm a partir da superfície do solo. Alta fertilidade.
		Tb Distróficos (GXbd) – Solos com argila de atividade baixa e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos horizontes B e/ou C (inclusive BA ou CA) dentro de 100 cm a partir da superfície do solo. Baixa fertilidade. Tb Eutróficos (GXbe) – Solos com argila de atividade baixa e saturação por bases ≥ 50%, ambas na maior parte dos horizontes B e/ou C (inclusive BA ou CA) dentro de 100 cm a partir da superfície do solo. Alta fertilidade.
Latossolos (L)	Latossolos Vermelhos (LV) Apresentam cores vermelhas acentuadas, devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. Apresentam uma evolução bastante avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização), resultando em intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e mesmo secundários menos resistentes, e concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização. Assim, se expressam com desenvolvimento de horizonte diagnóstico B latossólico, em sequência a qualquer tipo de A, e quase nulo ou pouco acentuado aumento de teor de argila de A para B. Ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado e em menor expressão, podem ocorrer em áreas de relevo ondulado. Em condições naturais, apresentam baixos níveis de fósforo.	Distróficos (LVd) – Solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Baixa fertilidade.
		Eutróficos (LVe) – Outros solos com saturação por bases ≥ 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Alta fertilidade.

Ordem (1º nível)	Subordem (2º nível)	Grande grupo (3º nível)
Neossolos (R)	Neossolos Quartzarênicos (RQ) Ocorrem normalmente em relevo plano ou suave ondulado e apresentam textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelada uniforme abaixo do horizonte A, que é ligeiramente escuro. Considerando-se o relevo de ocorrência, o processo erosivo não é alto, porém, deve-se precaver com a erosão devido à textura ser essencialmente arenosa. Os teores de matéria orgânica, fósforo e micronutrientes são muito baixos. A lixiviação de nitrato é intensa devido à textura essencialmente arenosa. São considerados solos em processo de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos, seja por características inerentes ao material originário. Por isso, apresentam insuficiência de expressão dos atributos diagnósticos.	Hidromórficos (RQ-) - Solos com presença do nível freático elevado durante grande parte do ano, na maioria dos anos, imperfeitamente ou mal drenados e apresentando um ou mais dos seguintes requisitos: horizonte H hístico; e/ou saturação com água permanente dentro de 50 cm a partir da superfície do solo; e/ou presença de lençol freático dentro de 150 cm a partir da superfície do solo durante a época seca; e/ou presença do nível freático dentro de 50 cm a partir da superfície do solo, durante algum tempo, na maioria dos anos, a menos que artificialmente drenados.
	Planossolos Háplicos (SX) Caracterizam-se por apresentarem teores significativos de bases, o que lhes confere elevado status nutricional, mas com sérias limitações de ordem física relacionadas principalmente ao preparo do solo e à penetração de raízes devido ao adensamento (compactação). Em condições de adensamento e em função do contraste textural, estes solos são muito susceptíveis à erosão. Apresentam processo de desargilização intensa na parte mais superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial evidenciada pela nítida diferenciação entre o horizonte B plânico e os horizontes precedentes A ou E, com mudança textural abrupta ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do horizonte A ou E para o B, além de restrição de permeabilidade em subsuperfície, que interfere na infiltração e no regime hídrico.	Distróficos (SX-) - Solos com saturação por bases < 50% na maior parte do horizonte B (Inclusive BA ou BE) dentro de 150 cm a partir da sua superfície. Quando o horizonte B plânico ocorrer abaixo de 150 cm de profundidade, deve-se considerar a maior parte deste dentro de 200 cm a partir da superfície do solo. Baixa fertilidade. Eutróficos (SX-) - Solos com saturação por bases ≥ 50% na maior parte do horizonte B (Inclusive BA ou BE) dentro de 150 cm a partir da sua superfície. Quando o horizonte B plânico ocorrer abaixo de 150 cm de profundidade, deve-se considerar a maior parte deste dentro de 200 cm a partir da superfície do solo. Alta fertilidade.

Fonte: Santos (2020), organizado pelo autor (2023).

De acordo com a Figura 16, identifica-se que no município de Presidente Epitácio há o predomínio dos Latossolos Vermelhos (LV) espalhados por toda extensão do município, seguido pelos Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) os quais ocorrem em maior intensidade na porção Sul e Leste do território. É possível identificar apenas uma pequena parcela de Gleissolos Háplicos (GX) na porção Sul do mapa. Já os Neossolos Quartzarênicos (RQ) e Planossolos Háplicos (SX), apresentam-se em maior expressividade na porção Norte do município, nas proximidades do distrito do Campinal e, relacionam-se às áreas de terraços e planícies aluviais.

O Latossolo apresenta a característica de ter uma reduzida susceptibilidade à erosão em condições naturais, indicado por uma boa permeabilidade e drenabilidade, estando associados estes fatores à pouca concentração de argila nos horizontes A e B (Guerra; Botelho, 2017). Normalmente, os Latossolos são quimicamente pobres por bases e ricos em sequióxidos de ferro e alumínio, na maioria das vezes estruturando-se por microagregação ou granular, o que lhe confere alta porosidade e alta permeabilidade (Salomão, 2020).

A matéria orgânica como cobertura do solo dificulta a instalação de processos erosivos, e isso acontece porque “a matéria orgânica incorporada no solo permite maior agregação e coesão entre partículas, tornando o solo mais estável em presença da água, mais poroso, e com maior poder de retenção de água” (Salomão, 2020, p. 235), além de que, este tipo de cobertura favorece o desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, identifica-se a grande relevância da presença de uma cobertura vegetal sobre os Latossolos, visto que uma cobertura vegetal densa fornecerá uma maior porcentagem de serrapilheira. Posteriormente, esta passará pela intensa atividade dos microrganismos presentes no solo, aumentando o teor de matéria orgânica neste ambiente.

Associar as características químicas com as físicas é extremamente necessário para entender a dinâmica de um solo, bem como classificá-lo. Neste sentido, a fertilidade natural de um solo está relacionada aos atributos Eutróficos (alta fertilidade) e Distróficos (baixa fertilidade).

A partir disso, faz-se necessário compreender a “capacidade de troca de cátions” (CTC). A CTC de um solo representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), uma vez que a CTC dos solos representa a capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a fertilidade por um bom tempo e evitando (ou reduzindo) a intoxicação relacionada à aplicação de fertilizantes. Com isso, se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , pode-se dizer que este solo está adequado para a nutrição das plantas. Contudo, se a maior parte da CTC está ocupada por cátions com potenciais tóxicos como H^+ e Al^{3+} , considera-se esse solo pobre em nutrientes. Solo com baixa CTC indica que este tem baixa capacidade para reter cátions em forma trocável e ao realizar as correções químicas do solo, não se deve aplicar adubações e calagens em grandes quantidades, mas sim de forma parcelada para evitar as perdas por lixiviação (Ronquim, 2010).

A caracterização da fertilidade de um solo está relacionada ao nível de saturação por bases (V%), ou seja, a soma das bases trocáveis em porcentagem da CTC. A fórmula utilizada para calcular o valor da “CTC total” está representada na (Ronquim, 2010).

$$V(\%) = 100 \cdot SB/CTC \text{ (Equação 1)}$$

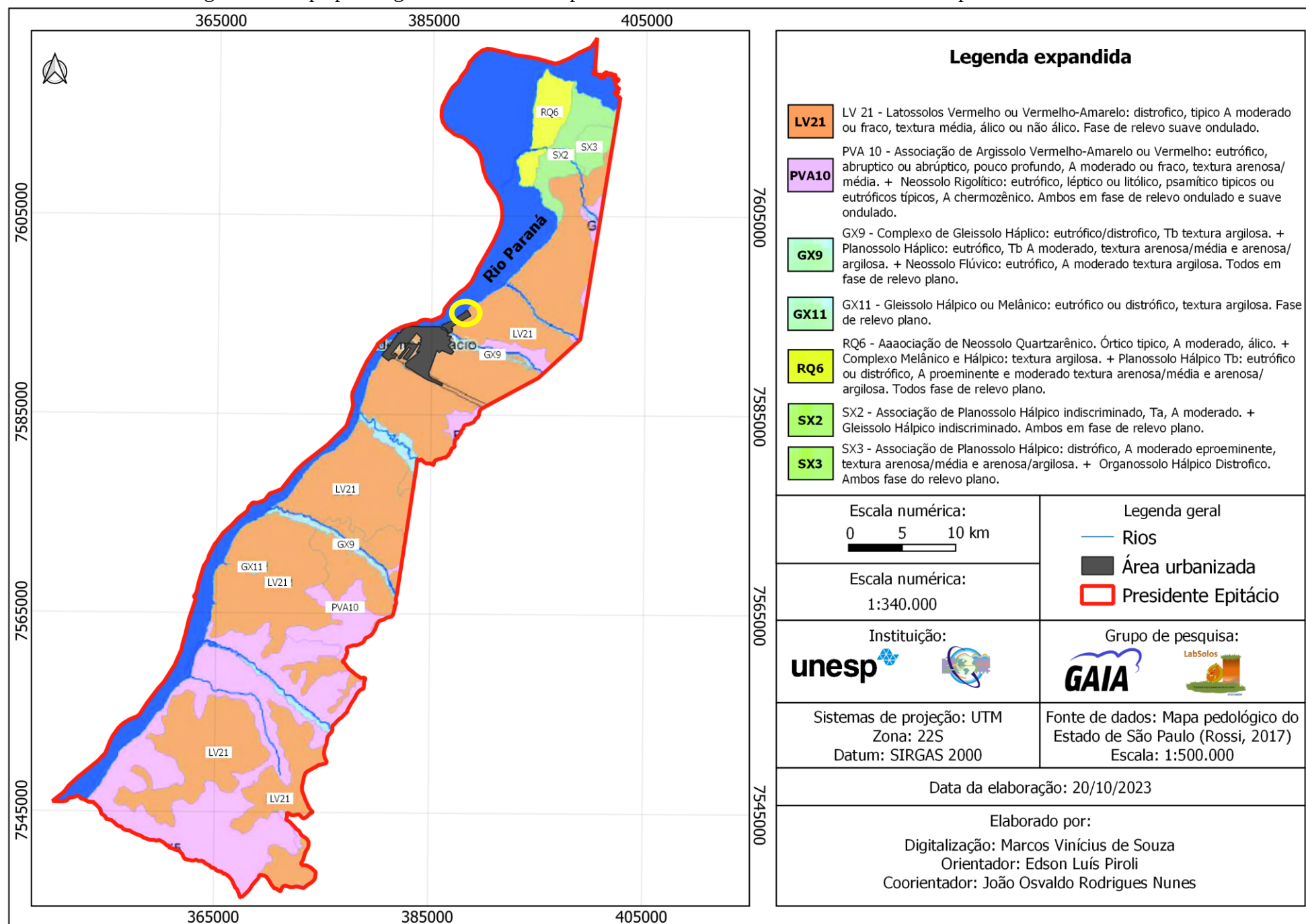
Diante disso, entende-se que a saturação por bases é um bom indicativo de fertilidade do solo, a qual é usada até mesmo como complemento na nomenclatura dos solos. Desta forma, os solos eutróficos, com $V \geq 50\%$, tendem a ser mais férteis, enquanto os solos distróficos, com $V < 50\%$, tendem a ser pouco férteis. Boa parte das culturas apresentam boa produtividade quando é obtido no solo o valor $V\%$ entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (Ronquim, 2010). Destaca-se que outros autores apresentam outra faixa ideal de pH para os solos agrícolas, como, por exemplo, Kiehl (1979), que considera solos férteis com a faixa de pH entre 5,5 e 6,5.

Vale ressaltar que quando o solo apresentar saturação por bases alta e simultaneamente estiver ocorrendo características de sódico e/ou sálico ou salino, não se pode utilizar a saturação por bases como um indicativo de fertilidade alta, por conta do alto teor de sódio e/ou sais solúveis, que é tóxico às plantas. Além disso, a saturação por bases alta também não pode ser um parâmetro utilizado como indicativo de alta fertilidade em solos com textura nas classes areia e areia franca e com valor de S inferior a $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Embrapa, 2018a).

Como mostra a Figura 16, identifica-se que o município de Presidente Epitácio se encontra com a maior parte de sua área sendo de baixa fertilidade ou seja, apresentando uma maior área por solos distróficos (baixa fertilidade) do que eutróficos (alta fertilidade). Nesse sentido, sugere-se para prática agrícola intervenções corretivas, para que se possa melhorar a qualidade química deste recurso.

As características texturais de um solo são de extrema importância para entender a sua fertilidade, bem como a susceptibilidade deste solo a processos erosivos. Neste sentido, de acordo com a Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo (1998, p. 10), solos com características argilosas apresentam partículas com carga negativa, e estas partículas atraem, seguram e liberam partículas de nutrientes com carga positiva (cátions). Ressalta-se que as partículas de matéria orgânica (MO) têm carga negativa e, por sua vez, atraem os cátions (carga positiva). Já as partículas de areia não apresentam reação. Por fim, ainda de acordo com a Figura 16, identifica-se um predomínio da classe textural média, estando relacionada aos Latossolos Vermelho ou Vermelho - Amarelo (LV21).

Figura 16: Mapa pedológico de Presidente Epitácio - SP. A área de estudo está destacada pelo círculo amarelo.



Fonte: Rossi (2017). Adaptado pelo autor (2023).

2.1.4 Cobertura vegetal

Com relação à formação vegetal, pode-se dizer que, em quase toda a extensão do Planalto Ocidental Paulista ocorria o predomínio da Floresta Estacional Semidecidual ou também dita, Mata Atlântica de Interior (Risso, 2009). Contudo, devido à ocupação produtiva em grande parte do estado de São Paulo gerou-se uma redução, tanto na diversidade biológica quanto na extensão territorial de tal formação florística, restando apenas alguns pontos de mata nativa.

De acordo com Santos (2020), o município apresenta um grande déficit com relação à vegetação florestal, sendo que a maior parte dos solos são destinados à ocupação antrópica e à hidrografia, que está relacionada ao reservatório da UHE Engenheiro Sérgio Motta (Figura 17).

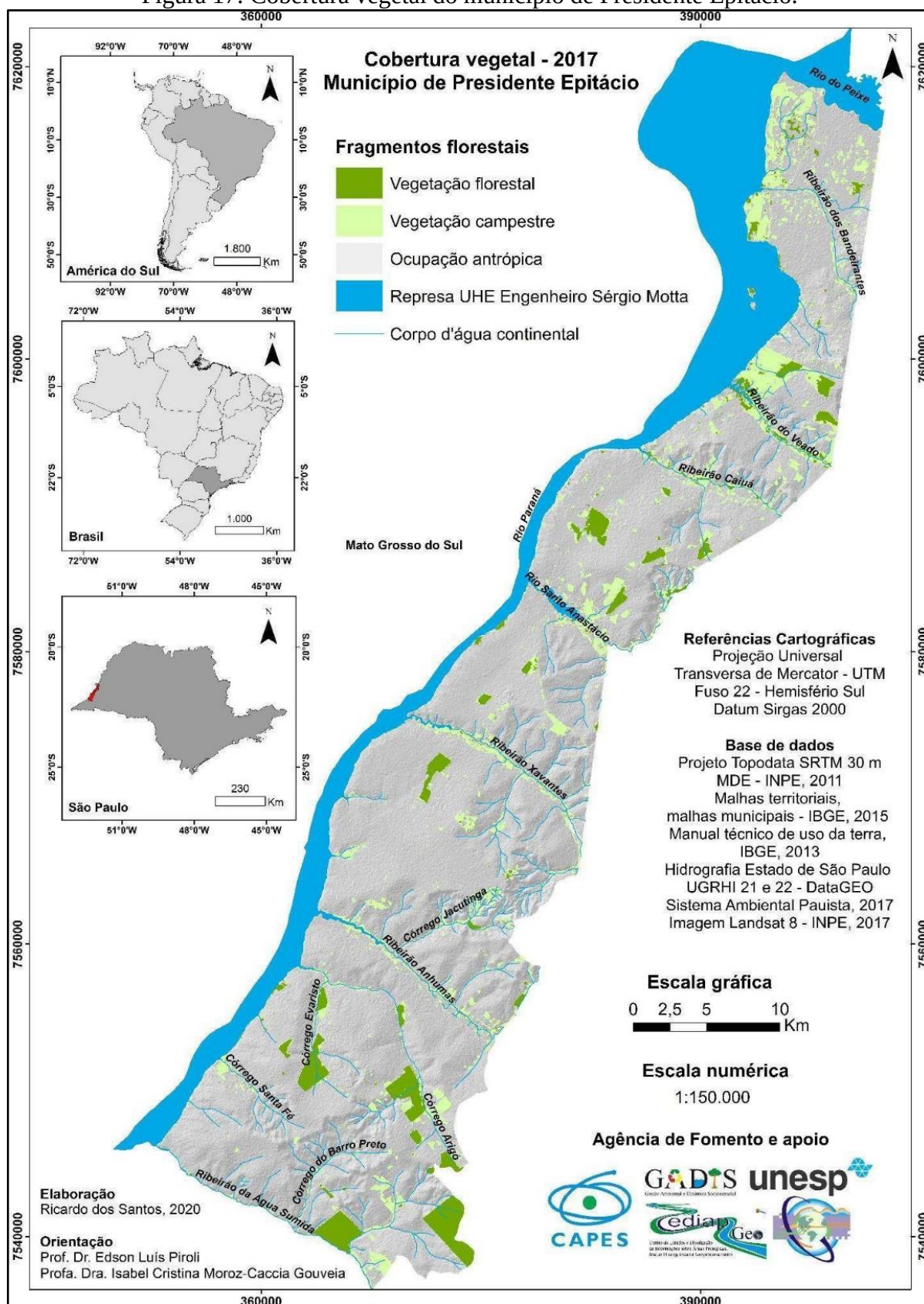
Abaixo são apresentadas as seguintes porcentagens referentes às respectivas classes da Figura 17 (Santos, 2020):

- Vegetação florestal: 3,47%;
- Vegetação campestre: 7,46%;
- Ocupação antrópica: 70,29%;
- Hidrografia: 18,78%.

O município de Presidente Epitácio não apresenta Unidades de Conservação (UC) municipais e nem estaduais, identificando-se apenas uma UC federal denominada Estação Ecológica Mico-Leão-Preto (ESEC-MLP). Esta unidade foi criada através do Decreto Federal s/n, de 16 de julho de 2002 (Brasil, 2002). O Decreto Federal s/n, de 14 de maio de 2004, altera o art. 2º do Decreto Federal s/n, de 16 de julho de 2002, que teve por objetivo ampliar os seus limites (Brasil, 2004).

A UC da Estação Ecológica Mico-Leão-Preto está presente nos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Marabá Paulista e Presidente Epitácio, nas glebas: Santa Maria, Água Sumida, Ponte Branca e Tucano. A UC tem como objetivo proteger remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica do Interior), em conjunto com a proteção das populações do mico-leão-preto (*Leontopithecus chrysopygus*), considerada uma das espécies ameaçadas de extinção (MMA, 2007).

Figura 17: Cobertura vegetal do município de Presidente Epitácio.



Fonte: Santos (2020).

Observa-se no Quadro 5 que a menor porcentagem em área da Estação Ecológica Mico-Leão-Preto pertence ao município de Presidente Epitácio. Por outro lado, as maiores extensões localizam-se nos municípios de Euclides da Cunha Paulista e Teodoro Sampaio, onde se faz presente o Parque Estadual do Morro do Diabo.

Quadro 5: Unidade de Conservação de Proteção Integral Estação Ecológica Mico-Leão-Preto.

Município	Área (km²)	Área (ha)	Percentual (%)
Euclides da Cunha Paulista	23,8	2380	35,63
Marabá Paulista	12	1200	17,96
Presidente Epitácio	8,5	850	12,72
Teodoro Sampaio	22,5	2250	33,68
TOTAL	66,8	6680	100,00

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2019) apud Santos (2020).

A Estação Ecológica Mico-Leão-Preto está próxima do remanescente mais expressivo da vegetação caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual no Oeste Paulista, que é denominado de Parque Estadual do Morro do Diabo, sendo sua área total de 338,45 km².

Além da única UC, o município apresenta a Reserva Florestal do Córrego do Veado, nas proximidades da foz do Ribeirão do Veado, com o predomínio da vegetação campestre. Outro fragmento vegetal pertencente aos limites do município é a restauração florestal na área da Fazenda Lagoinha (7,7 ha), que surgiu através de uma parceria entre o governo federal e estadual, incluindo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Sistema Ambiental Paulista e a Organização Não Governamental Associação em Defesa do Rio Paraná, Afluentes e Mata Ciliar (APOENA).

Além disso, ressalta-se a importância da cobertura vegetal de 20% em imóveis rurais como Reserva Legal, além da Área de Preservação Permanente, dada pela Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012, alterada pela Lei Federal 12.727, de 17 de outubro de 2012, artigo 12º, inciso II (BRASIL, 2012). O artigo 14º da referida lei dispõe de que a localização da área de Reserva Legal (RL) no imóvel rural deverá seguir os critérios:

- I. o plano de bacia hidrográfica;
- II. o Zoneamento Ecológico-Econômico;
- III. a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida;
- IV. as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade; e
- V. as áreas de maior fragilidade ambiental (BRASIL, 2012).

Ainda, a Lei Federal nº 12.727/2012, em seu artigo 29º, aponta que deve ser criado o Cadastro Ambiental Rural (CAR) no Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente – SINIMA, sendo obrigatório para todos os imóveis rurais (Brasil, 2012).

Desta forma, fica evidente a falta de fiscalização dos órgãos, sejam eles federais, estaduais ou municipais, pois, se todas as legislações fossem respeitadas como deveriam, a porcentagem de cobertura florestal no município seria maior que 3,47%.

2.1.5 Climatologia

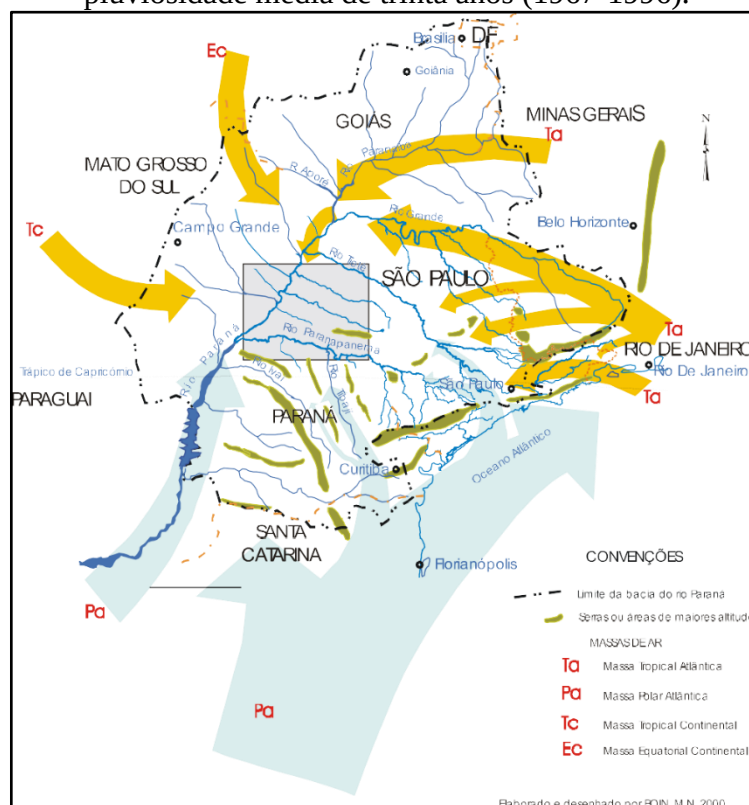
Identificar as dinâmicas climáticas presentes na região estudada é fundamental para trabalhos de monitoramentos de erosões, visto que estas dinâmicas podem atuar como fator ativo na formação do solo ou também, na degradação dele.

Desta forma, o clima de Presidente Epitácio é classificado como Aw segundo Koppen, com verão úmido e invernos secos, apresentando a temperatura média por volta de 24,3°C e pluviosidade média anual em torno de 1.324 mm, sendo que essa pluviosidade é torrencial, concentrada nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Pode-se dizer que esse clima contribui para a intensificação dos processos erosivos, pois segundo Bertoni e Lombardi Neto (1995), as perdas de solo são diretamente proporcionais ao produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos.

Boin (2000) apresenta um estudo detalhado sobre a dinâmica atmosférica relacionada à pluviosidade no Oeste Paulista, de acordo com os trajetos preferenciais das massas de ar. Desta forma, as chuvas estão predominantemente ligadas às passagens de frentes frias (principal agente causador das chuvas) e às correntes do Sul, pelos avanços da massa Polar Atlântica, sendo tanto com trajetos de longitudes marítimas e úmidas, quanto em percursos de longitudes continentais e secos.

As principais massas de ar responsáveis por provocar a precipitação na região do Oeste Paulista são: Polar Atlântica (Pa), Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc) e Equatorial Continental (Ec). A Figura 18 apresenta os trajetos preferenciais das massas de ar, em que as espessuras das setas indicam qualitativamente a sua intensidade de atuação. As informações expostas foram baseadas na pluviosidade média de um período de trinta anos (1967-1996).

Figura 18: Trajetos preferenciais das massas de ar que atingem o Oeste Paulista, inferidos na pluviosidade média de trinta anos (1967-1996).



Fonte: Boin (2000).

Neste sentido, Boin (2000) apresenta a dinâmica de atuação das massas de ar que atingem a região, sendo estas influenciando em uma maior ou menor precipitação:

- a) Massa Polar Atlântica: as correntes do Sul são de grande importância no impacto pluvial, as quais são canalizadas pelos principais vales dos rios, sendo geradas nas vertentes que a elas se opõem. Assim, o rio Tibagi (direção de drenagem SE-NW) é um dos agentes, na porção sul do Oeste Paulista, de sucessivos impactos pluviais, relacionando-se a quantidades e à intensidade das chuvas. Citam-se outros rios que atingem o Sul do Oeste Paulista, como o Pirapó, o das Cinzas e o Paranapanema, que também canalizam esses fluxos de ar das correntes de Sul e, dependendo das direções de deslocamento e dos confrontos gerados com a massa Tropical Atlântica, atingem o Oeste Paulista, principalmente nas vertentes que se confrontam com esses fluxos de ar, gerando maior precipitação na região. Por outro lado, o rio Paraná, o qual é considerado o maior “corredor” continental dos fluxos de ar polar que atingem o Oeste Paulista, apresenta menor influência na pluviosidade quando comparado com os vales dos rios citados anteriormente e, isso acontece por conta de sua trajetória, que na maioria das vezes é continental, provocando a perda da umidade das massas de ar ao longo do

percurso; e também, à ampla morfologia de seu vale, sendo pouco encaixado, o que favorece a descompressão das massas de ar polar, ressecando-as (Boin, 2000);

- b) Massa Tropical Continental: esta massa de ar comporta-se da mesma forma que as Massas Polares. Deslocam-se com maior frequência pelos vales dos rios com direções SE-NW e mesmo NE-SW, uma vez que o sentido anti-horário dos fluxos de ar da massa Tropical Atlântica favorece esse tipo de deslocamento, dependendo da posição ocupada pelo Anticiclone do Atlântico, que poderá estar em latitudes maiores ou menores, ao lançar suas correntes anti-horárias ao longo dos vales dos rios Tietê, Grande e no rio Paranaíba (Boin, 2000).
- c) Massas Tropical Atlântica e Equatorial: estas duas massas apresentam pouca participação nas precipitações desta região do território brasileiro. Apresentam participações em algumas situações. Um exemplo é quando a Massa Equatorial é forçada a deslocar-se no sentido Sul, em função da posição mais meridional assumida pelo anticiclone semi fixo do Atlântico. Desta forma, a Massa Tropical Atlântica, principalmente nas estações mais quentes, produz chuvas relacionadas à altitude (chuvas orográficas), reforçadas na região pelos grandes reservatórios das usinas hidrelétricas dos rios Tietê, Paraná e Grande, sendo que estas chuvas que se concentram ao norte da faixa Zonal (Monteiro, 1973), são na maioria das vezes, convectivas ou pré-frontais (Boin, 2000).

Cabe destacar que tanto o trajeto da massa Polar Atlântica, como as Massas Tropical Atlântica e Equatorial Continental, são guiadas e barradas pelo relevo, na baixa troposfera, definindo a quantidade e a intensidade das chuvas sobre as vertentes destes relevos (Boin, 2000).

Tommaselli *et al.* (1999), ao realizar o estudo relacionado à erosividade da chuva no Oeste Paulista partindo de dados pluviográficos de um período de 25 anos (janeiro de 1973 a dezembro de 1997), declara que, em Presidente Prudente, 76% de erosividade média anual (EI_{30} ³¹) ocorre entre o mês de outubro e março, sendo nos períodos de primavera e verão (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição média mensal dos valores absolutos e relativos da precipitação média mensal (P) e dos índices de erosividade (EI₃₀)⁶ para Presidente Prudente-SP no período de 01/01/1973 a 31/12/1997.

		P		Erosividades médias calculadas EI ₃₀	
Meses	Estação	Absoluta (mm)	Relativa (%)	Absoluto (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	Relativo (%)
Janeiro	Verão	192	14,8	1374	19,2
Fevereiro	Verão	159	12,3	1014	14,2
Março	Outono	126	9,7	767	10,7
Abril	Outono	79	6,1	476	6,6
Maio	Outono	84	6,5	332	4,6
Junho	Inverno	60	4,7	267	3,7
Julho	Inverno	37	2,9	121	1,7
Agosto	Inverno	37	2,9	89	1,2
Setembro	Primavera	82	6,3	296	4,1
Outubro	Primavera	119	9,2	571	8
Novembro	Primavera	145	11,2	942	13,2
Dezembro	Verão	174	13,4	911	12,7
Anual		1293	100	7161	100
Desvio padrão				2334	
Coeficiente de variação (%)				33	

Fonte: Tommaselli *et al.* (1999).

Neste sentido, compara-se a precipitação média anual e os índices de erosividade da chuva de Presidente Epitácio - SP com o de Presidente Prudente - SP e, identifica-se que os valores estão próximos, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Valores de precipitação média anual (P) e índices de erosividade (EI₃₀) Presidente Epitácio-SP para o período de 1973 a 1996.

Estação	Latitude	Longitude	P ³² (mm)	EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)
Presidente Epitácio-SP	-22,77	-52,1	1261	6706

Fonte: Tommaselli *et al.* (1999).

Por fim, Nunes (2014, p. 78) aponta que em um “período de intensa precipitação, é forte a tendência de se ampliarem os processos erosivos, principalmente nas áreas de solos desprovidos de cobertura vegetal de porte”. Contudo, em estudos que abrangem a dinâmica de formação e intensificação de processos erosivos, deve-se analisar, além das características climáticas, as condições de cobertura vegetal, uso e ocupação da terra, relevo, rochas e os solos.

⁶ EI₃₀: variável mais utilizada para avaliar “[...] erosão é o produto da energia cinética (E) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I₃₀), o que se expressa como índice EI₃₀” (BERTOLI, 1993, p. 515).

2.1.6 Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Paraná é um importante sistema fluvial para a América do Sul, apresentando uma área de 877.000 km², sendo o principal curso d'água desta bacia o Rio Paraná, com uma extensão de 4.000 km. A bacia hidrográfica do rio Paraná contempla 6 estados brasileiros (Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Distrito Federal), apresentando diferentes tipos de uso da água, como geração de energia (UHE – Itaipu, UHE - Sergio Motta, UHE – Jupiá e UHE Ilha Solteira), agricultura, consumo humano, entre outros.

O município de Presidente Epitácio é um dos municípios limítrofes ao rio Paraná, pertencente às Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Peixe (UGRHI-21) e do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22). A Figura 19 apresenta a área do município contida nas UGRHI-21 e UGRHI-22.

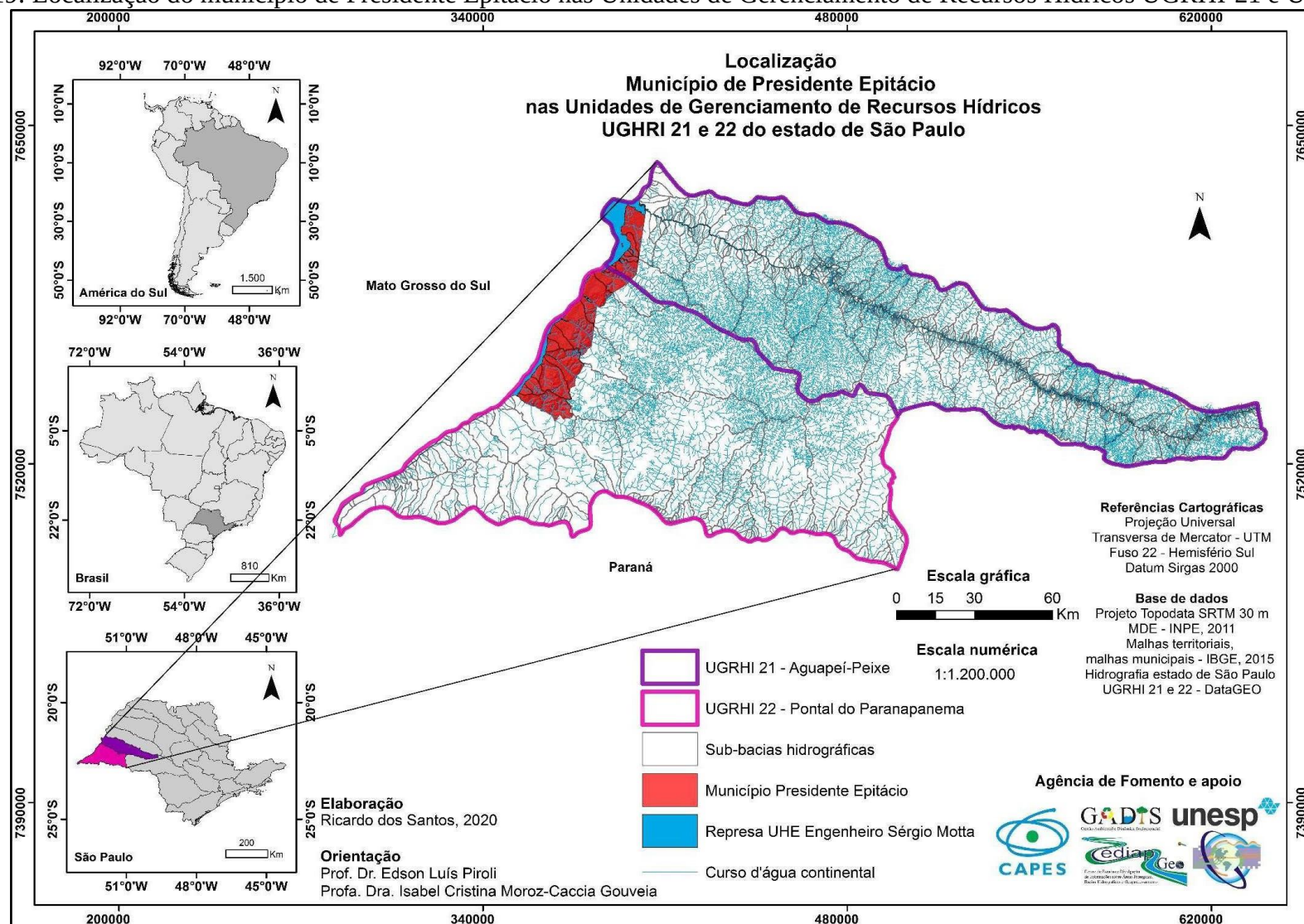
A UGRHI-21, bacia hidrográfica do Rio do Peixe, abrange uma área de drenagem de 9.156 km², apresentando os limites a Oeste com o rio Paraná, a Leste com a Serra dos Agudos e a Serra Mirante. O rio do Peixe apresenta sua nascente localizada na Serra dos Agudos (altitude de 670 m) e desagua no rio Paraná (altitude de 240 m), após percorrer 380 km.

Entre os 51 municípios pertencentes da UGRHI 21, 26 municípios estão inteiramente com suas áreas integradas, enquanto os 25 municípios restantes possuem apenas parte de sua área na UGRHI.

Já a UGRHI 22, bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema, abrange uma área de drenagem de 12.395 km², apresentando os seus limites a Oeste com o estado do Mato Grosso do Sul, o qual é cortado pelo rio Paraná; a Sul, com o estado do Paraná, que é cortado pelo rio Paranapanema; a Leste, com a UGRHI-17 e, a Norte, com a UGRHI-21. A UGRHI-22 inclui os tributários da margem direita do curso inferior do rio Paranapanema e também, alguns afluentes pela margem esquerda do rio Paraná, sendo os principais rios pertencentes à UGRHI-22: o Rio Paranapanema, Rio Paraná, Rio Santo Anastácio e o Rio Pirapozinho.

Dos 25 municípios pertencentes à UGRHI-22, 12 municípios estão com suas áreas integradas completamente, enquanto 13 municípios apresentam apenas parte de suas áreas pertencentes à UGRHI-22.

Figura 19: Localização do município de Presidente Epitácio nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI-21 e UGRHI-22



2.2 Caracterização histórica

2.2.1 História da ocupação do Oeste Paulista

O histórico de ocupação do Oeste Paulista pode ser compreendido de acordo com dois movimentos complementares denominados “fronteira demográfica” e “fronteira econômica” (Martins, 1975). Pode-se dizer que o primeiro movimento se caracteriza pelo homem que entrava nas matas, caminhava por terrenos desconhecidos e ocupava territórios que não eram considerados terras civilizadas e muito menos matas virgens, viviam em condições primitivas baseando-se na agricultura de subsistência. Esta cultura baseava-se na troca de produtos com os excedentes que lhes sobravam e assim, iniciava-se a fronteira econômica. Esta segunda, por sua vez, introduzia na agricultura a cultura de produzir mais do que o necessário para o consumo. Partindo deste pressuposto, a produção agrícola mune-se através do capital atraindo infraestrutura da empresa agrícola voltada para o comércio estrangeiro.

Neste sentido, a ocupação do território do Oeste Paulista, assim como boa parte do país, começou pela “fronteira demográfica”. Esta inicia-se por volta do ano de 1850, formada pelos grupos sociais da região sul do estado de Minas Gerais, considerados lavradores empobrecidos da antiga economia aurífera, que entravam em conflitos violentos com indígenas, decorrente da ocupação da região que se estendia para Oeste da serra de Agudos (Giavara, 2016, p. 155).

Por outro lado, marcando a primeira década do século XX, iniciava-se a “fronteira econômica” (ano de 1900), que se caracterizava pela ação de grandes cafeicultores paulistas que identificaram uma potência de mercado que poderia vir a ser útil, tanto para expansão da cafeicultura, como também para a diversificação agrícola e a especulação imobiliária (Giavara, 2016). Com a implementação da infraestrutura e o sucesso das estradas de ferro, favorece o estabelecimento dos cafeicultores que se mantiveram como importante segmento da economia nacional por décadas (Giavara, 2016).

Os percursos do Oeste Paulista, assim como boa parte do território nacional, foram os povos indígenas, sendo os primeiros moradores da região do Extremo Oeste Paulista os índios Coroados. Antes mesmo da chegada dos mineiros, que aconteceu na segunda metade do século XIX, os indígenas já se utilizavam dos recursos oferecidos pela natureza como parte de sua cultura (Monbeig, 1984). De acordo com Monbeig (1984), era comum os fazendeiros encontrarem grupos indígenas estabelecidos ao adentrarem as matas dos planaltos ocidentais, uma vez que esses grupos se aproveitavam dos ciclos naturais para garantir sua sobrevivência.

Por volta dos anos de 1890 a 1900 a figura do bugreiro, os quais eram responsáveis por caçar os índios, se torna mais evidente e a partir disso inicia-se o conflito sangrento gerando a perda de força dos indígenas (Monbeig, 1984). A partir daí, a resistência indígena começa a perder força e apresenta o seu fim definitivo com a construção da estrada de ferro Bauru-Mato Grosso. Após a marcha pioneira derrubar os indígenas, estes foram forçados a conviver entre os brancos e na maioria das vezes foram explorados, tendo de trabalhar a troco de mantimentos, fazendo com que os povos naturais fossem perdendo sua cultura, sendo obrigados a se adaptarem de acordo com o estilo de vida dos invasores (Monbeig, 1984).

Com a decadência do ciclo do ouro, a partir do ano de 1850, os mineiros começam a ser atraídos para o sertão paulista, decorrente das “[...] terras férteis e baratas, tencionados a produzir lavouras de café [...]” (Giavara, 2016, p. 156), mas que

[...]foram, entretanto, desestimulados pela falta de acesso a recursos e à infraestrutura, elementos essenciais para que se pudessem tornar a lavoura economicamente rentável. Diante dessa situação muitos acabaram se restringindo à condição de pequenos agricultores, mantendo roças de milho, arroz e mandioca e a criação de algumas cabeças de gado e de porcos ou qualquer outro gênero com que pudessem garantir a sua sobrevivência (Giavara, 2016, p. 156).

Dois marcos legais que favorecem a ocupação do Oeste paulista são a lei das terras de 1850 e, a chegada da linha de ferro, em 1909 “[...]datas que respectivamente se relacionam com a disputa pela legalização das posses pelos antigos lavradores mineiros e, ao final, o avanço da ferrovia na região que consolidaria a expansão do capital cafeeiro, imprimindo uma nova dinâmica na colonização” (Giavara, 2016, p. 149).

Os famosos grileiros foram importantes figuras na ocupação do Oeste Paulista. Estes “[...] utilizavam as contradições das leis agrárias e as divergências dos relatórios provinciais e depois estaduais, para reproduzirem uma determinada forma de ocupação do território baseada na grande propriedade” (Villaça, 2011, p. 10), sendo de forma muito complexa entender se o ocupante da propriedade o adquiriu de forma legal ou ilegal. A partir daí, surge a necessidade de uma legislação que direcionasse a posse da terra, dando início ao primeiro marco na ocupação do Oeste Paulista, e no ano de 1850 instaura-se a Lei de Terras (Lei nº 601 de 18 de setembro de 1850). Esta, dispõe

[...] sobre as terras devolutas no Império, e acerca das que são possuídas por título de sesmaria sem preenchimento das condições legais, bem como por simples título de posse mansa e pacífica: e determina que, medidas e demarcadas as primeiras, sejam elas cedidas a título oneroso, assim para empresas particulares, como para o estabelecimento de Colônias nacionais e de estrangeiros, autorizando o Governo a promover a colonização estrangeira na forma que se declara (Brasil, 1850, p. 1).

Já o segundo marco na ocupação do Oeste do estado de São Paulo está relacionado à chegada das ferrovias na região. Esta foi um fator fundamental para a alteração da paisagem,

visto a facilidade para escoar o café, que nesta época, era a monocultura estabelecida na região. Com a chegada da ferrovia, além de proporcionar uma facilidade no sistema de transporte, facilitava a comunicação com outros territórios. Segundo Villaça (2011, p. 10), “a chegada da estrada de ferro na região teria motivações políticas, verificadas desde o final do século XIX. A necessidade de colonização do sertão do Paranapanema até o Mato-Grosso era consequência, principalmente, da Guerra do Paraguai (1864-1870).”

Neste sentido, a ferrovia teve seu primeiro trecho construído em 1875, ligando São Paulo a Sorocaba. Posterior a isso, a ferrovia foi se estendendo em direção ao Oeste Paulista nos anos seguintes, atingindo os municípios de Presidente Prudente, Santo Anastácio e, chegando ao Porto Epitácio, localizado no rio Paraná, no ano de 1922 (Figura 20).

Decorrente da crise cafeeira de 1929, os agricultores do Oeste Paulista passam a investir na cultura do algodão (Souza, 2008). Nos anos de 1932 a 1936, o algodão substituiu em grande escala o café, considerando que “o papel do café no valor das exportações brasileiras caiu de 70 a 40%, enquanto o do algodão subiu de menos de 10% a mais de 20%. O Estado de São Paulo foi responsável, já em 1936, por 50% da produção algodoeira brasileira, somando 6% de todas as exportações globais de algodão [...]” (Brannstrom, 2006, p. 86). Os municípios que realizaram grandes compras de sementes de algodão foram os municípios de Presidente Prudente, Marília, Pompéia, Rancharia, Tupã, Guararapes e Valparaíso, sem contar que a “febre do ouro branco” (1935-1939) apresentava diversas vantagens quando comparada à cultura do café, pois não imobilizava a produção, não exigia grande quantidade de capital e produzia em alguns meses (Souza, 2008).

Conselho Nacional de Petróleo no ano de 1974 e como resultado disto, surgiu no ano seguinte o Programa Nacional de Álcool (Proálcool) (Costa, 2020), objetivando com a criação deste programa duas demandas internacionais: a crise internacional do preço do açúcar e a crise do preço internacional do petróleo (Costa, 2020).

Depois do segundo choque de petróleo em 1979 e com a alta em 50% nos preços dos barris, o governo brasileiro através da Comissão Nacional Executiva do Álcool (CENAL) decide quadruplicar a produção de álcool até 1985. A partir disto, o governo do estado de São Paulo com o intuito de incentivar a produção de cana, cria, por intermédio da Secretaria da Agricultura e Abastecimento, o Programa chamado “Bases para um Plano de Desenvolvimento do Oeste do Estado de São Paulo – PRÓ – OESTE”, implementando novas áreas para o cultivo de cana-de-açúcar (Costa, 2020).

Mediante o PROÁLCOOL e o PRÓ-OESTE, o Planalto Ocidental Paulista começa a receber investimentos a partir de 1980, sendo isto resultado da instalação de novas destilarias autônomas em grandes propriedades com o cultivo de cana-de-açúcar e, formando áreas canavieiras e alcooleiras no Oeste Paulista, como: Alta Paulista, Noroeste, Alta Sorocabana e Alta e Média Araraquarense (Bray *et al.*, 2000).

Em meados da década de 1990 dois fatores influenciaram no setor sucroalcooleiro brasileiro, a alta no preço mundial do petróleo e a dependência dos combustíveis fósseis considerando os impactos sobre o efeito estufa diante da assinatura do protocolo de Kyoto (Costa, 2020).

Decorrente destas questões, é introduzida a tecnologia *flex-fuel* no Brasil, em que a “[...] Volkswagen produziu pela primeira vez um automóvel flex-fuel no Brasil, o Gol 1.6 Total Flex, logo seguida por outras montadoras” (Correia, 2007). Esta tecnologia começou a ser estudada na década de 1980, sendo lançados os primeiros veículos do tipo flex em 1988 nos Estados Unidos (Correia, 2007). Este fato impactou na expansão de áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar novamente, sendo o Oeste do estado de São Paulo, Triângulo Mineiro e em algumas porções na região do Centro-Oeste e Nordeste, as principais áreas que receberam fortemente o impacto desta cultura (Costa, 2020).

Citam-se dois fatores físicos/geográficos que favoreceram o grande estabelecimento do cultivo de cana-de-açúcar no Oeste Paulista. Um deles a geomorfologia, pois nesta região encontra-se um relevo suave ondulado, facilitando a circulação dos maquinários. E o segundo, estando ligado à pedologia, uma vez que o Oeste Paulista apresenta uma alta porcentagem de Latossolos e Argissolos, sendo estes favoráveis para o cultivo da cana-de-açúcar (Costa, 2020).

A pecuária no Oeste Paulista é uma das atividades econômicas mais fortes. Desta forma, faz-se necessário contextualizar um pouco da sua história. A cultura da pecuária iniciou-se no século XVI, introduzindo a espécie bovina pelo continente Sul-Americano no período das Grandes Navegações, sendo o gado *vacum* inserido pelos colonizadores portugueses e holandeses, decorrente das viagens marítimas que saíam da Península Ibérica e da Ilha de Cabo Verde (Silva; Boaventura; Fioravanti, 2012). Os gados, mais especificamente, chegaram no ano de 1533 juntamente com os animais domésticos, na Expedição de Martin Alfonso de Souza, sendo estabelecida na cultura local, com relatos de curtumes em 1600 e produção de queijo em 1700 (Silva; Boaventura; Fioravanti, 2012).

Cabe-se destacar que durante toda a história e até mesmo nos dias atuais, a pecuária sempre teve um papel secundário na economia do Brasil, como durante o ciclo do açúcar, que aconteceu nos séculos XVI e XVII e, durante o ciclo da mineração, por volta do século XVIII.

Dois fatores que influenciaram o deslocamento da pecuária para o interior foram:

1º Fator: “Em virtude do crescimento do rebanho brasileiro, em 1701 foi publicada uma carta régia proibindo a criação de gado no litoral. A criação somente poderia ser realizada além de dez léguas da linha da costa, para evitar que o gado estragasse as plantações de cana-de-açúcar. Assim, a criação deslocou-se para o interior do território brasileiro” (MEDEIROS NETO, 1970, apud TEIXEIRA; HESPANHOL, 2014, p. 29).

2º Fator: “O outro fator responsável pelo deslocamento da criação de gado bovino para o interior do país foi, sem dúvida, a expansão da atividade mineradora em áreas pertencentes aos atuais estados de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais. Com o deslocamento de populações se formava um mercado consumidor de carne, leite e couro” (Medeiros Neto, 1970, apud Teixeira; Hespanhol, 2014, p. 29).

No século XIX, as principais áreas da pecuária bovina no Brasil eram o sertão da região Nordeste, o sul de Minas Gerais e as planícies e planaltos do Rio Grande do Sul (Dias Filho, 2016). Já ao final do século XIX e começo do século XX, a pecuária foi uma das principais atividades indutoras na ocupação do Oeste do estado de São Paulo, importando consigo migrantes mineiros que se instalavam próximo dos vales dos rios Paranapanema e Peixe (Costa, 2020).

Na segunda metade do século XX, devido aos incentivos para financiamentos na construção de frigoríficos nacionais (Bini, 2009), Presidente Prudente recebe a instalação de frigoríficos, passando a ser responsável pelo abate do gado da região, do Mato Grosso e Goiás.

Já na década de 1970 e 1980, em paralelo ao desmembramento de grandes propriedades, pequenos agricultores venderam suas terras tanto em decorrência do baixo rendimento das lavouras, como da degradação do solo, da precariedade das políticas agrícolas e em busca por melhores condições de vida (Santos, 2004). Ainda sobre o mesmo autor, a pecuária neste

período começa a ocupar áreas que antes eram destinadas a lavouras, bem como novas áreas são incorporadas, como Mirante do Paranapanema, Teodoro Sampaio, Marabá Paulista e Presidente Epitácio.

Depois desse período, com o segundo choque do petróleo de 1979 e devido aos incentivos do governo para investimento em outra fonte de energia, as lavouras de cana-de-açúcar tomam o espaço das áreas destinadas à pecuária, visando abastecer as usinas da região.

5.2.2 A ocupação do município de Presidente Epitácio

O município de Presidente Epitácio inicia sua história no começo do século XX, diante da necessidade da construção da estrada de rodagem com o intuito de ligar o “sertão desconhecido”, compreendido por parte do estado de São Paulo que era desabitado, com o sul do Mato Grosso, onde hoje é o atual estado do Mato Grosso do Sul.

Em 1 de janeiro de 1907, Francisco Whitaker funda o porto de Tibiriçá (Figura 21) nas margens do rio Paraná. No mesmo ano, foi construída a estrada Boiadeira através da Diederichsen & Tibiriçá, depois Companhia de Viação São Paulo – Mato Grosso (CVSPMG).

Figura 21: Porto de Tibiriçá em Presidente Epitácio/SP.



Fonte: EC Fluvial Tibiriçá (2019).

Como visto anteriormente, a chegada da Estrada de Ferro Sorocabana (Figura 22) foi outro marco para o município de Presidente Epitácio, no ano de 1922. Seu traçado foi alterado, sendo orientado para o espigão divisor de águas.

Figura 22: Ponto final da Estrada de Ferro Sorocabana.



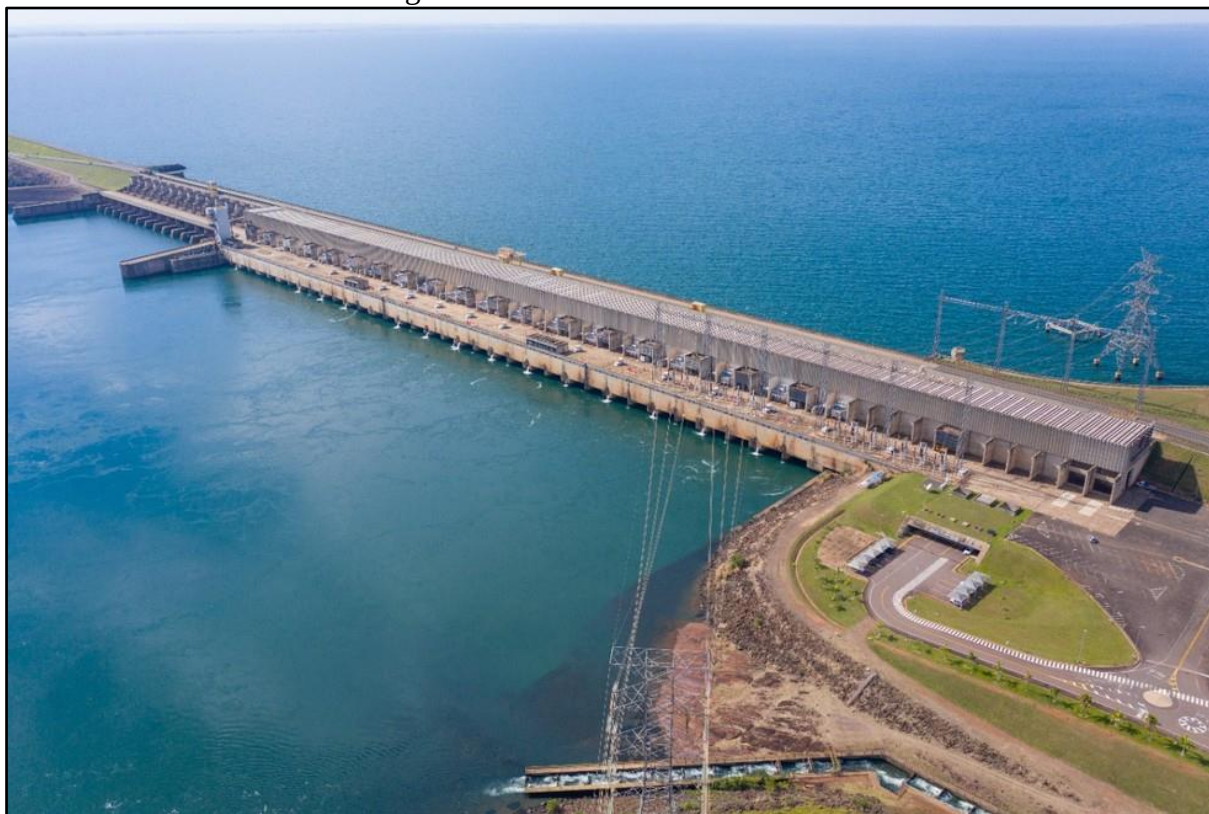
Fonte: Presidente Epitácio, 1922.

Em 1924, com o prolongamento da Estrada de Ferro Sorocabana, ela atingiu as barrancas do rio Paraná, sendo esta data a de instalação do porto fluvial de Presidente Epitácio. Posterior a isso, com o excessivo desmatamento da mata original, o comércio de madeira e as lavouras de café estendiam-se demandando de infraestrutura e mão-de-obra, intensificando o processo de povoamento na região (Fushimi, 2016). Ressalta-se que na década de 1940, devido ao favorecimento do transporte fluvial, aumentaram-se as serrarias, sendo que elas permaneceram no município até 1980.

Ainda na década de 1980, iniciam-se as obras de construção da barragem da Usina Hidroelétrica (UHE) de Porto Primavera. A chegada da usina na região trouxe consigo alterações positivas como a introdução do turismo na região, porém, em sua maior parcela os impactos negativos tiveram mais, dentre eles, a modificação da paisagem. A UHE de Porto Primavera está em operação há mais de 20 anos, localizando-se no rio Paraná, 26 km a montante da confluência com o rio Paranapanema, no município de Rosana/SP e Batayporã/MS. A

barragem da UHE Porto Primavera é considerada a mais extensa do Brasil, possuindo entre outros a barragem de concreto, 10,2 km de comprimento (Figura 23).

Figura 23: UHE de Porto Primavera



Fonte: Cesp, [s.d].

Dentre os principais marcos históricos ocorridos na UHE – Porto Primavera, destacam-se três desde a sua construção, sendo: em 1999 o início das operações da UHE, já no ano de 2018 houve a privatização da CESP⁷ e 2022 a alteração do nome de CESP (Companhia Energética de São Paulo) para Auren Energia⁸.

Após a instalação da UHE – Porto Primavera, o alagamento de grandes áreas tornou-se comum, uma vez que muitos municípios ribeirinhos ao rio Paraná, como o município de Presidente Epitácio - SP, passaram a ter problemas ambientais listando um dos principais, as erosões marginais. Outros danos ao meio ambiente também podem ser mencionados decorrente da instalação de uma UHE, como: desmatamento, inundações de grandes áreas, aumento da

⁷ CESP. **Diagnóstico Socioambiental Participativo:** UHE Porto Primavera. Presidente Epitácio, 2020.

⁸ MARTINS, A. Com atuação na região, Cesp muda de nome e vira Auren Energia. **O Imparcial Digital**. Presidente Prudente, 25 abr. 2022. Disponível em: <https://www.imparcial.com.br/noticias/com-atuacao-na-regiao-cesp-muda-de-nome-e-vira-auren-energia,50808#google_vignette>. Acesso em: 04 ago. 2022.

emissão dos gases do efeito estufa, morte de plantas e animais, modificação do microclima, entre outros.

5.2.3 Erosão estudada

A erosão estudada localiza-se no Village Lagoinha no município de Presidente Epitácio - SP. O Village Lagoinha está situado a montante da confluência do córrego Caiuá (conhecido popularmente como córrego Caiuazinho) com o rio Paraná. Esta feição caracteriza-se como uma erosão hídrica linear, em que sua maior área está contida na propriedade privada da Marina Porto Príncipe, sendo esta uma pousada e marina de grande atração turística para o município (Figura 24).

Figura 24: Erosão estudada.



Elaborado pelo autor (2024).

Na Figura 25 é apresentada uma sequência histórica de 8 imagens representando a evolução da erosão de 2003 a 2021. No decorrer deste período verificam-se as mudanças do terreno onde hoje é instalada a ravina estudada, principalmente com relação à evolução do processo erosivo hídrico linear.

Figura 25: Representação histórica da evolução do processo erosivo hídrico linear representado pelo círculo vermelho.



Fonte: Google Earth Pro, elaborado pelo autor (2024).

Além disso, em um trabalho de campo realizado no dia 04/10/2022, identificaram-se sulcos erosivos nas ruas do loteamento Village Lagoinha, bem como, uma erosão subterrânea no meio de um dos cruzamentos do loteamento, e observou-se que prefeitura havia sinalizado e despejado um caminhão de terra que provavelmente seria para cobrir a fissura. Uma outra erosão subterrânea foi identificada no estacionamento da Marina Porto Príncipe (Figura 26 e Figura 26).

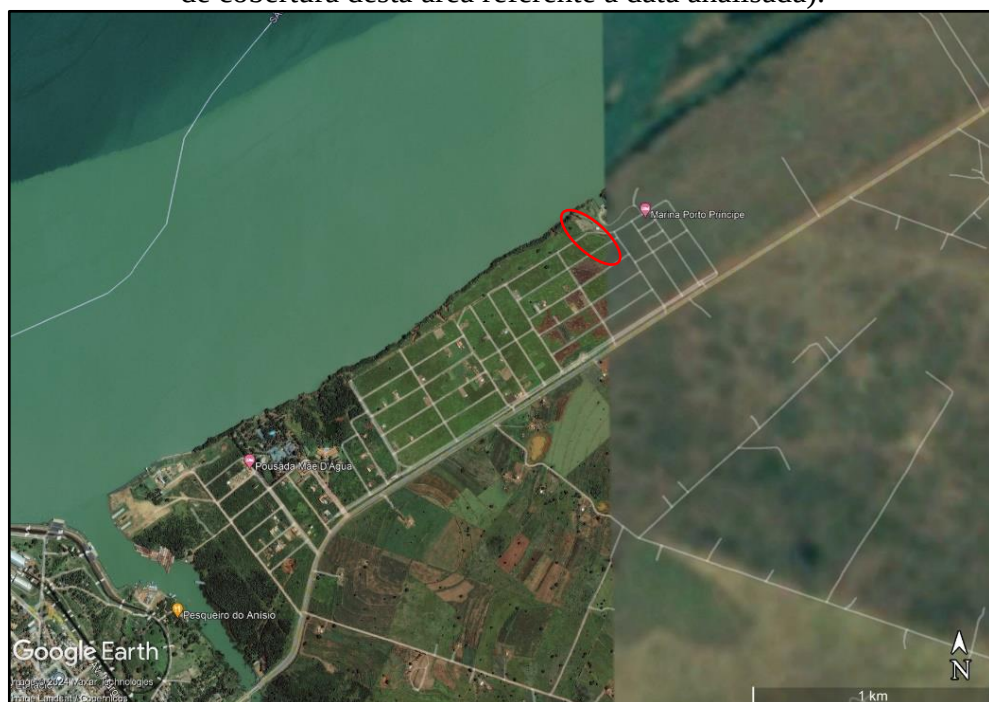
Figura 26: Erosão subterrânea identificada em um cruzamento do loteamento Village Lagoinha e no estacionamento da Marina Porto Príncipe, 04 de outubro de 2022



Foto do autor (2022).

Pode-se relacionar a falta de um sistema de drenagem do Village Lagoinha como uma das causas do surgimento das feições erosivas nas ruas do loteamento, assim como na Marina Porto Príncipe. Além disso, observa-se a evolução do processo erosivo de acordo com a instalação das residências do Village Lagoinha, como mostra a representação histórica (Figura 25) e a comparação entre as imagens de 03/2003 e de 09/2021 em uma escala menor (Figura 27 e Figura 27).

Figura 27: Imagem do Google Earth Pro 03/2003 (parte da figura está distorcida devido à falta de cobertura desta área referente a data analisada).



Fonte: Google Earth Pro (2003).

Figura 28: Imagem do Google Earth Pro 09/2021 (última cobertura realizada pelo Google Earth).



Fonte: Google Earth Pro (2021).

Desta forma, como o exposto, identifica-se a variação dos estágios do processo erosivo estudado ao longo do tempo de acordo com o histórico estudado, assim como a aplicação de alternativas para estabilizar ou diminuir a perda de solo. Porém, fica claro que as tentativas de recuperação não foram eficientes, pois o processo ainda encontra-se em atividade.

Capítulo 3 - Procedimientos Metodológicos



3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Projeto de PD&I

O projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) é uma iniciativa que visa criar um novo produto ou melhorar um que já existe, gerando ideias e explorando possibilidades. O PD&I é um tema muito discutido na área das engenharias. Os PD&I do setor elétrico estão inseridos no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, gerido pela Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica. O programa de PD&I é resultado da Lei Federal nº 9.991/2000, que assegura critérios “sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências” (Brasil, 2000).

Neste sentido, a presente pesquisa de mestrado foi desenvolvida com recursos de um PD&I do setor elétrico brasileiro, intitulado como “Desenvolvimento de metodologia de monitoramento de encosta com a utilização de VANT’s”, com o código ANEEL: PD-00061-0058/2021, o qual é gerido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e mantido com recursos do Fundo de Desenvolvimento do Setor Elétrico. O PD&I tem como finalidade viabilizar o ciclo completo da cadeia de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) para promover o conhecimento e ideias que tragam aprimoramentos e inovações ao setor elétrico.

O objetivo do PD&I é desenvolver técnicas de monitoramento marginal que possibilite o acompanhamento de grandes áreas nos reservatórios, diminuindo os custos da operação, na redução dos riscos à saúde e segurança dos técnicos além de garantir uma melhor qualidade nos dados finais. No Quadro 6 é apresentado o objetivo geral e específico do projeto de PD&I.

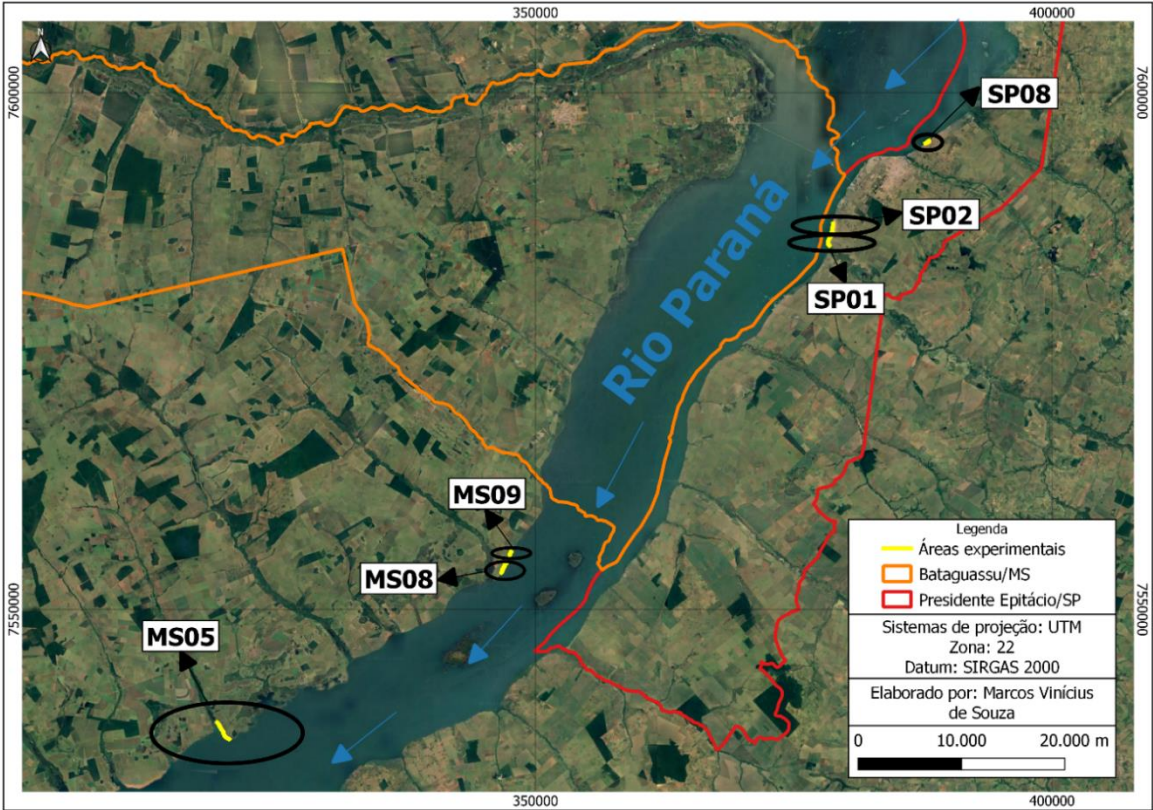
Quadro 6: Objetivo geral e específicos do projeto de PD&I intitulado como “Desenvolvimento de metodologia de monitoramento de encosta com a utilização de VANT’s”.

Objetivo geral
O objetivo principal deste Projeto de PD&I é o desenvolvimento de metodologias de monitoramento de erosões marginais em reservatórios com a utilização de veículos autônomos não tripulados (VANT’s), tanto aquático, quanto aéreo (drone).
Objetivos específicos
Identificação e adequação de veículos não tripulados passíveis de uso no monitoramento de erosões marginais em reservatórios;
Desenvolvimento de metodologia de processamento de nuvens de pontos geradas a partir de imagens fotográficas obtidas com câmeras RGB;
Desenvolvimento de configuração de aplicação em sistema WebGis para realização de estudo comparativo, de rápida e fácil aplicação, para avaliação da evolução dos processos erosivos em margens de reservatórios;
Desenvolvimento de metodologia para a aquisição e processamento integrado de dados de aerolevantamento e batimetria visando a modelagem tridimensional dos processos erosivos;
Desenvolvimento de critérios de análise e criticidade da evolução dos processos erosivos baseados em dados de levantamentos.

Elaborado pelo autor (2024).

O projeto de PD&I contou com 6 áreas de estudo localizadas no reservatório da usina hidroelétrica de Sergio Motta, no rio Paraná, sendo 3 áreas na margem do estado de São Paulo e 3 áreas na margem do estado do Mato Grosso do Sul (Figura 29).

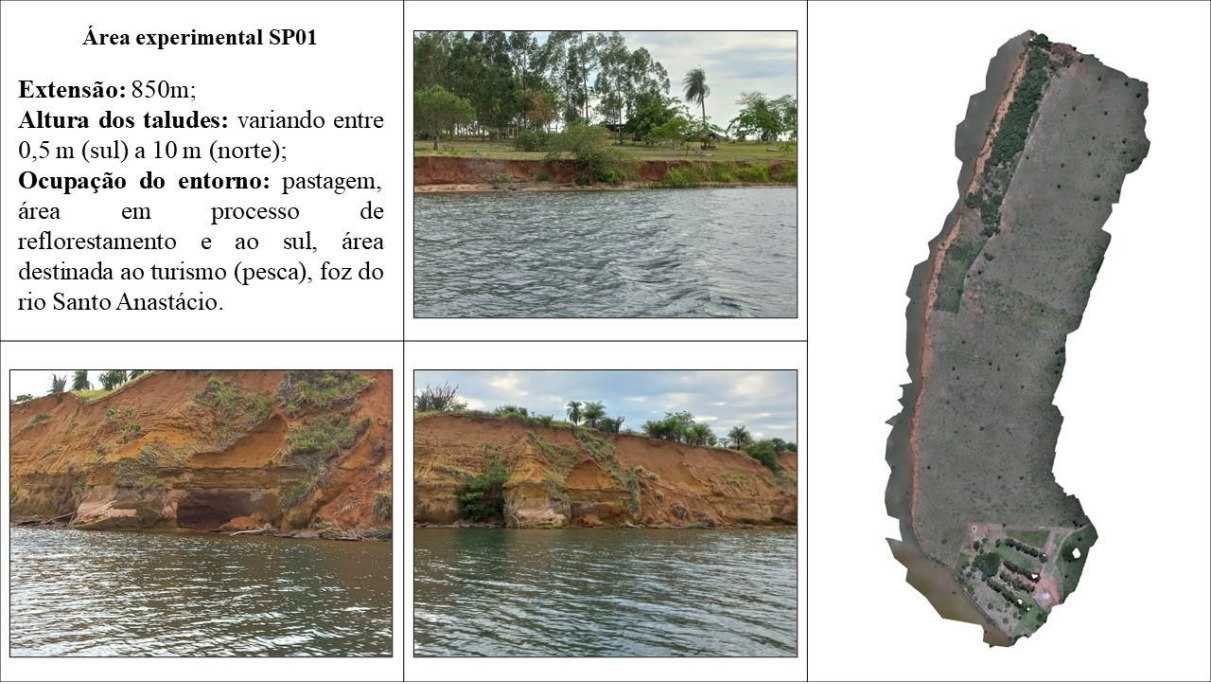
Figura 29: Áreas experimentais do PD&I intitulado “Desenvolvimento de metodologia de monitoramento de encosta com a utilização de VANT’s”.



Elaborado pelo autor (2023).

Para a escolha das 6 áreas experimentais levou-se em consideração as diferentes características do talude, como diferença de altura, diferentes tipos de solo e uso e ocupação do entorno. Nas Figura 30, 31, 32, 33, 34 e 35 é apresentado um resumo de cada área.

Figura 30: Área experimental SP01.



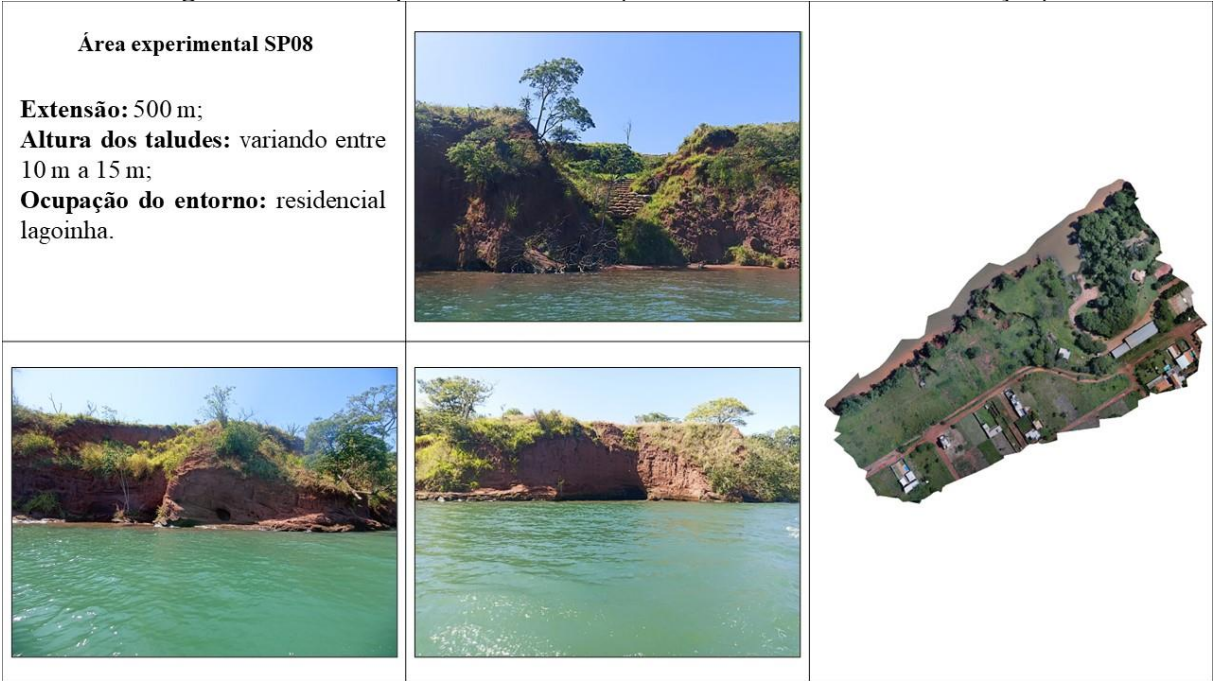
Elaborado pelo autor (2024).

Figura 31: Área experimental SP02.



Elaborado pelo autor (2024).

Figura 32: Área experimental SP08 (área vinculada a esta dissertação).



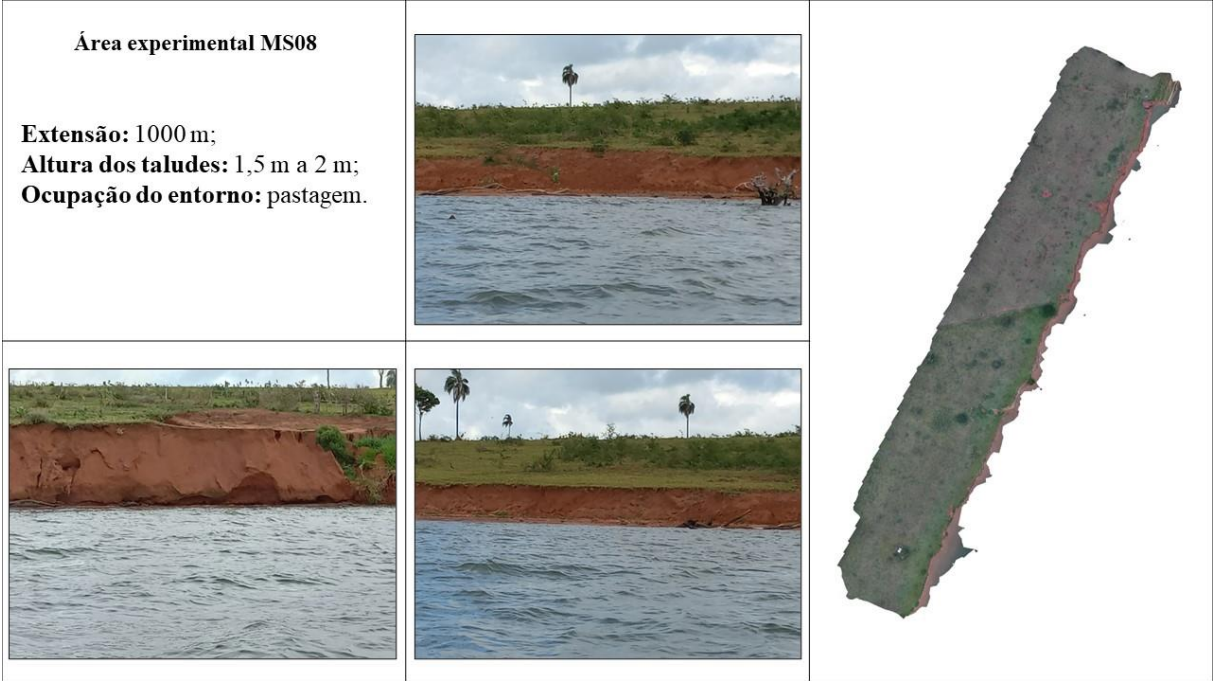
Elaborado pelo autor (2024).

Figura 33: Área experimental MS05.



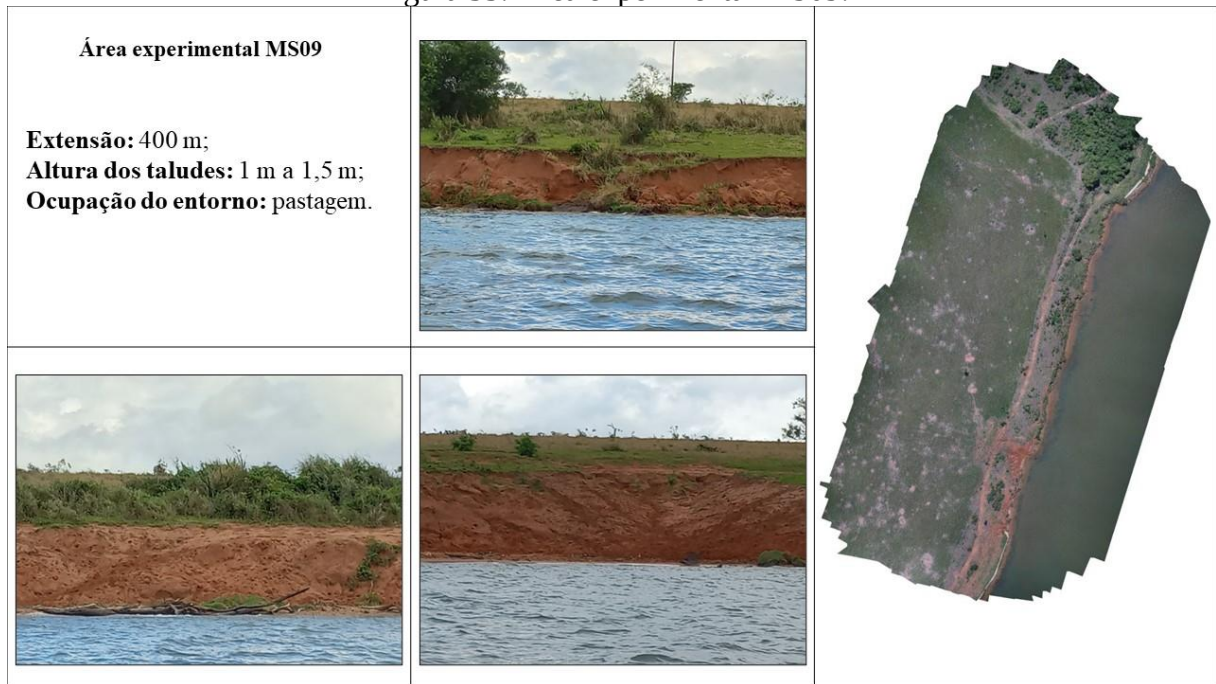
Elaborado pelo autor (2024).

Figura 34: Área experimental MS08.



Elaborado pelo autor (2024).

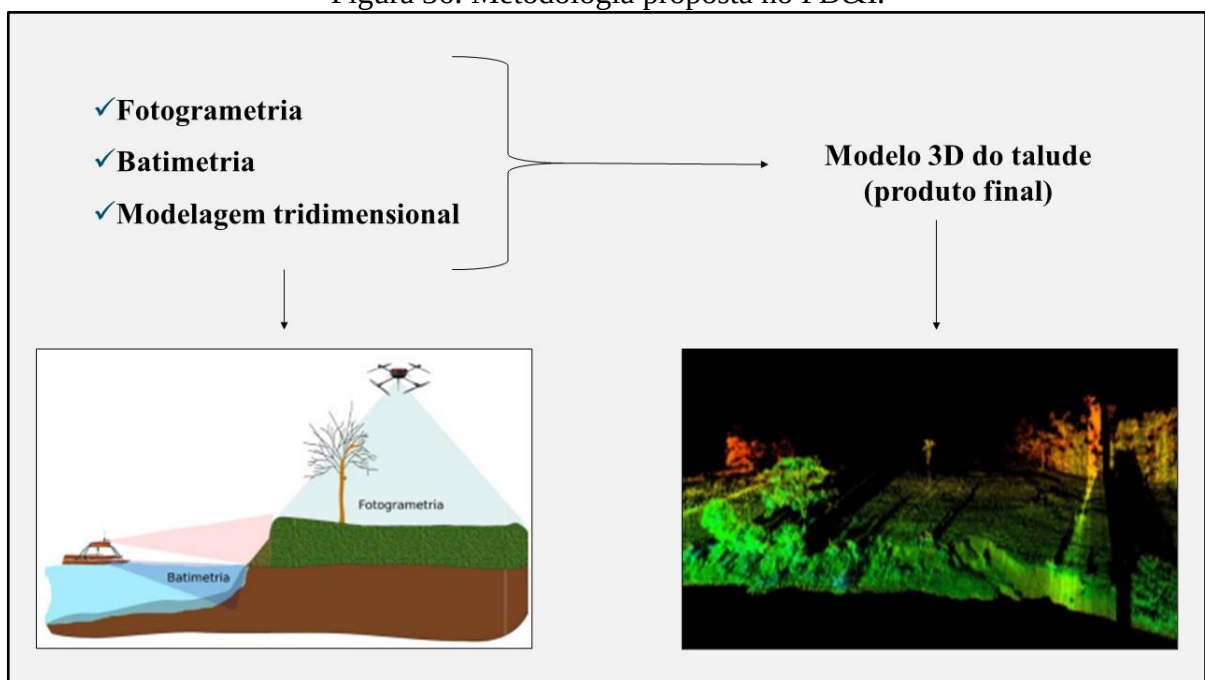
Figura 35: Área experimental MS09.



Elaborado pelo autor (2024).

A metodologia proposta utiliza técnicas da topografia clássica (realizando um único levantamento para estabelecer um padrão de comparação), fotogrametria, batimetria e modelagem tridimensional para obter informações espaciais georreferenciadas e precisas sobre os processos erosivos. Isso possibilita o acompanhamento ao longo do tempo da evolução desses processos, bem como a quantificação do material erodido e depositado através do modelo 3D do talude, o qual é o produto final (Figura 36).

Figura 36: Metodologia proposta no PD&I.



Elaborado pelo autor (2024).

Para realização dos monitoramentos dos processos erosivos marginais, utilizam-se de dois veículos autônomos não tripulados, sendo um drone e um barco do tipo catamarã.

Através do aerolevantamento obtém-se os dados do terreno, tanto à montante da linha de crista como na parte inferior do talude, que possibilita um acompanhamento de acreção ou retração da linha. Já o barco adquire imagens frontais do barranco, sendo possível identificar focos de solapamentos de blocos de solo e entre outros tipos de processos erosivos. Este ainda coleta os dados batimétricos, permitindo a estimativa do volume de sedimentos depositados no reservatório.

No Quadro 7 são apresentados os dois equipamentos utilizados no projeto com os respectivos componentes neles embarcados.

Além destes dois equipamentos, é utilizado um receptor GNSS do tipo base, no qual os pontos onde é instalada a base são conhecidos, operando em modo PPK, com o drone e o catamarã. A base é da Emild REACH RS2+, com multifrequência e precisão centimétrica (Figura 37).

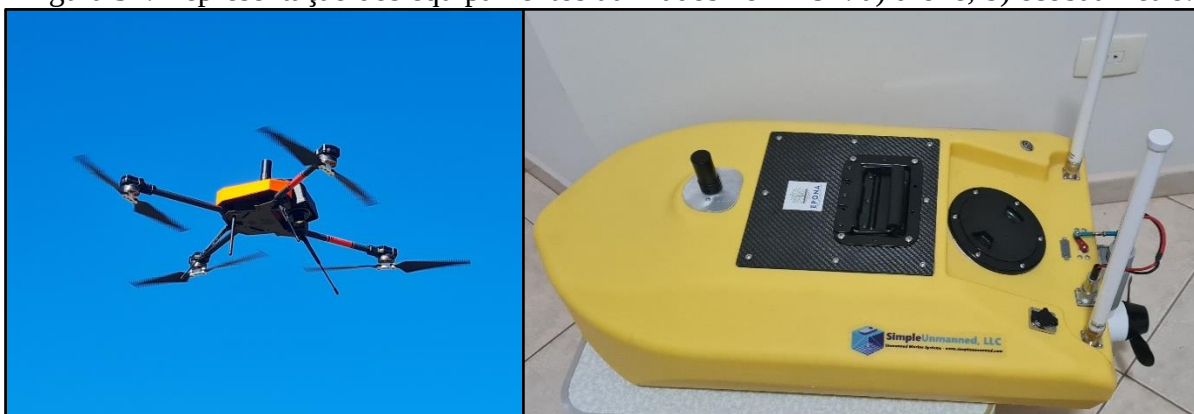
Na Figura 37 e Figura 38 são apresentadas imagens do equipamento utilizado no projeto.

Quadro 7: Equipamentos utilizados no PD&I com seus respectivos componentes.

Drone	
Modelo	VARP modelo Spectral 2 da Nuvem UAV.
Câmera	Equipado com uma câmera digital RGB de 24 mpx e receptor GNSS/PPK L1.
Barco	
Câmeras	2 câmeras Mapir Survey 3N, dispostas de forma convergente com ângulo de aproximadamente 30° entre elas.
Receptor GNSS	GNSS/PPK L1L2.
Batímetro	Ecobatímetro monofeixe modelo Z-Axis 2F da Unabara Hydro Systems.
	Simple Unmanned SS30i, é capaz de medir profundidades num intervalo de 0,35 m até 100 m.

Fonte: Epona (2022), organizado pelo autor (2023).

Figura 37: Representação dos equipamentos utilizados no PD&I: a) drone; b) ecobatímetro.



Fonte: Epona (2022), organizado pelo autor (2023).

Figura 38: Representação do receptor GNSS



Fonte: Epona (2022).

3.2 Análise da morfologia das amostras de solos

As características físicas do solo são fatores fundamentais nos estudos relacionados a processos erosivos, visto que este causa modificações em sua estrutura. Neste sentido, a análise morfológica do solo tem como objetivo interpretar as condições e aspectos estruturais que o compõem, considerando que este pode ter passado por mudanças que muitas vezes contribuíram para sua gênese ou degradação, sendo um exemplo comum da segunda situação o cultivo agrícola.

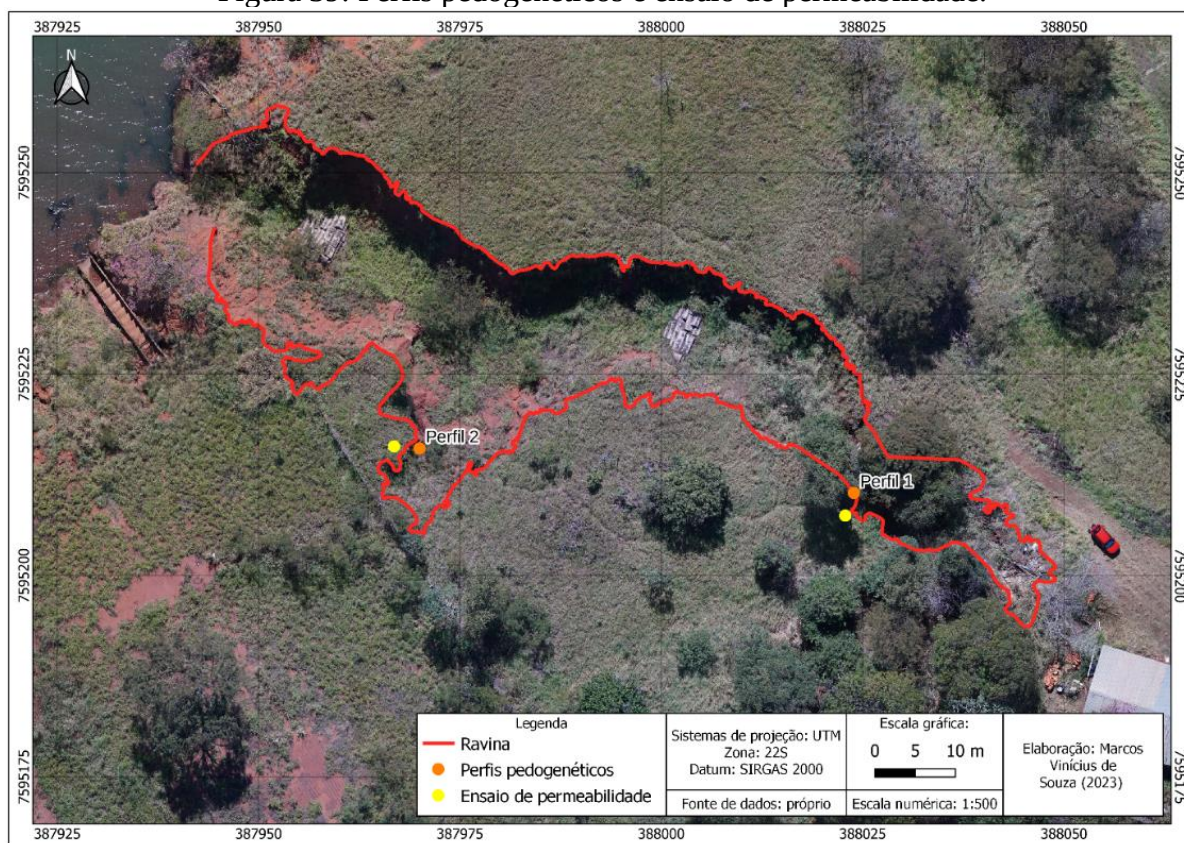
Como preconizado em Santos *et. al.* (2005), o estudo morfológico do solo parte da análise de um perfil de solo, através das inferências baseadas nas propriedades detectadas pelos sentidos da visão e do tato, como cor, textura, estrutura, porosidade, consistência e a transição entre os horizontes (ou camadas). Mas deve-se atentar para não desconsiderar nas descrições,

os fatores naturais e antrópicos que atuam no ponto de coleta, pois o solo apresenta características próprias as quais devem ser estudadas, visto que, a partir destas se tem uma visão integrada do solo na paisagem (Santos *et al.*, 2005). Por isso, a escolha do local para realização de amostragem deve ser feita com atenção e depois de um reconhecimento da área.

Para cumprir esta etapa, realizou-se o trabalho de campo no dia 04/06/2022. A amostragem foi realizada em dois pontos, sendo o perfil 1 localizando-se na cabeceira da ravina e o perfil 2 na porção média da ravina (Figura 39).

Cabe ressaltar que em nenhuma das duas coletas de amostras foram necessárias aberturas de trincheiras, visto que estes foram estudados nos “taludes” da erosão (perfil) e, desta forma, realizou-se apenas a limpeza do barranco (Figura 40).

Figura 39: Perfis pedogenéticos e ensaio de permeabilidade.



Elaborado pelo autor (2023).

Figura 40: Coleta das amostras em campo.



Fonte: Santos; Piroli (2022).

Na coluna da identificação da Tabela 3, caracterizaram-se os horizontes 1 e 4 como Ap, pois estes apresentavam indícios de revolvimento do solo, o que está relacionado ao seu uso agrícola no passado. Já o restante dos horizontes, foram classificados como Bw (B latossólico), pois apresentavam uma textura arenosa com uma estrutura fraca, blocos subangulares e com horizontes espessos, características as quais convergem como indicativos de um horizonte Bw. Cabe ressaltar que em nenhum dos horizontes encontrou-se cerosidade, atributo que também determina um Bw no solo estudado, pois a cerosidade é característica de horizonte Bt pelo acúmulo de argila iluvial.

Após a coleta em campo (Figura 41), as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solo da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente, para realização das análises físicas.

Tabela 3: Profundidade dos horizontes amostrados

Perfil	Horizonte	Profundidade (cm)	Identificação
Perfil 1	Ap	0 - 20	1
	Bw1	20 - 38,5	2
	Bw2	38,5 - 210	3
Perfil 2	Ap	0 - 22	4

Bw1	22 - 59	5
Bw2	59 - 230	6

Elaborado pelo autor (2023).

Figura 41: Coleta das amostras de solos em campo.



Fonte: Santos (2022).

As características morfológicas analisadas em campo para cada perfil pedogenético foram “cor”, “textura”, “estrutura”, “porosidade”, “cerosidade”, “consistência” e “coesão” de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo de Santos *et al.* (2005).

3.2.1 Cor

A cor é uma das características morfológicas mais importantes para descrição de um perfil de solo. Embora seja uma propriedade de fácil visualização, a cor pode contribuir para inferências como, a presença de matéria orgânica (MO), em tons marrons ou mesmo pretos, quanto maior sua quantidade maior é conteúdo de MO; a tipificação de óxidos de ferro: hematita (cor vermelha), goethita (cor amarela), formas reduzidas de Fe (cores cinzas); drenagem, quando encontradas cores neutras e acinzentadas indicam solos mal drenados, entre outros exemplos (Santos *et al.*, 2005).

A cor do solo é herdada do material de origem. Porém, não se pode desconsiderar a influência do ambiente sobre este, modificando-o (Costa, 2020). Ao estudar-se as cores de um solo, permite-se observar se aquele recorte espacial sofreu alterações ou se está em suas

condições naturais, e um dos indicativos para isso é observar a quantidade de matéria orgânica nos horizontes superficiais, identificando-se, por exemplo, a atividade biológica.

Para auxiliar na identificação da cor, utilizou-se a Carta de Cores Munsell para Solos (Tabela Munsell), sendo este o primeiro sistema aceito para a identificação de todas as cores do solo visíveis ao olho humano. A Tabela Munsell foi desenvolvida pelo professor Albert H. Munsell, em 1905. Já a versão utilizada no Brasil e em todo o mundo, foi publicada em 1946 (Ribeiro *et al.*, 2012).

A Tabela Munsell contempla o grau de intensidade em três diferentes componentes da cor: matiz (“hue”), valor (“value”) e croma (“chroma”), de acordo com as especificações apresentadas na Tabela Munsell (Kiehl, 1979; Santos *et al.*, 2005).

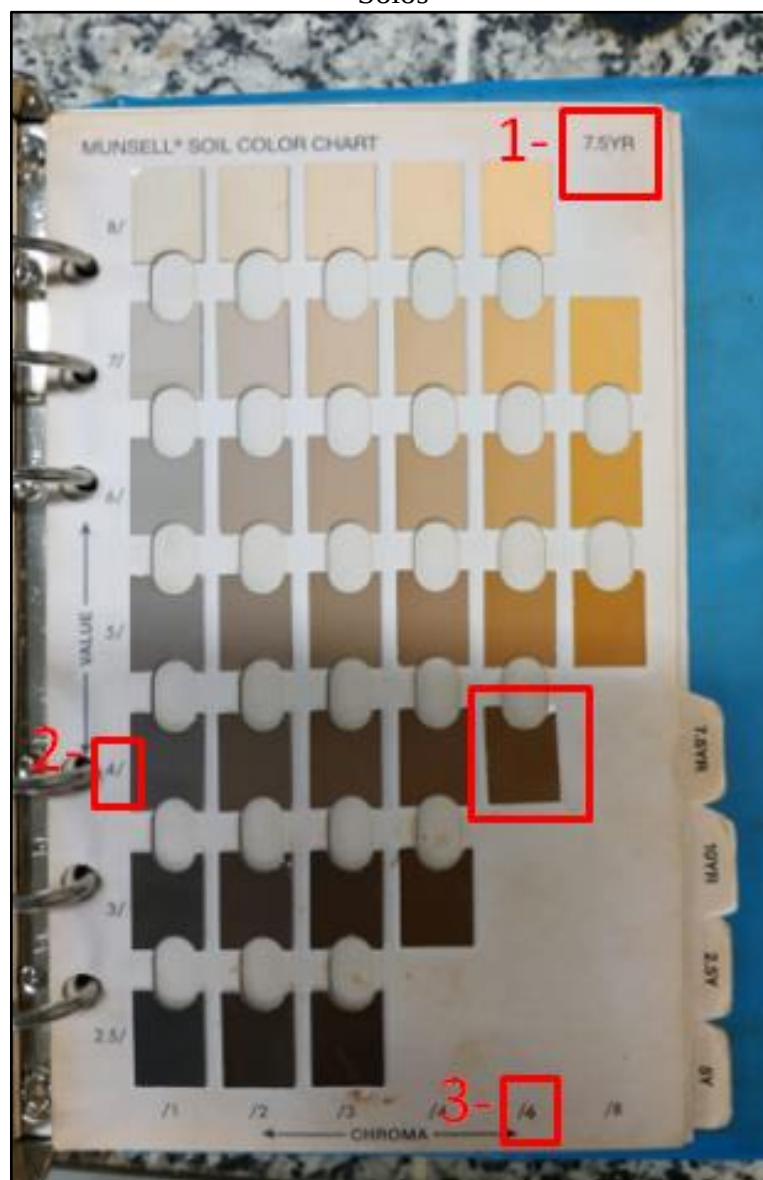
O matiz está relacionado ao espectro dominante da cor (vermelho, amarelo, azul, verde e púrpura) (Santos *et al.*, 2005). Este localiza-se no canto direito superior da tabela, e é representado entre 0 e 10 juntamente com uma ou duas letras maiúsculas, as quais correspondem às iniciais (em inglês) das cores do espectro solar (iniciais e combinações: R, YR, Y, G, BG, B, PB, P e RP), representadas na Figura 42 pelo número “1”.

Já o “valor” refere-se à tonalidade da cor, o qual é o segundo elemento a ser analisado, representando a tonalidade e indicando a proporção de branco e de preto combinados com determinado matiz, variando de 0 (preto absoluto) a 10 (branco absoluto) (Santos *et al.*, 2005). A tabela de Munsell inicia no valor de 2 e aumenta até 8, como mostra a Figura 42 representando o item “valor” como número “2”.

O item croma está relacionado à pureza relativa ou à saturação da cor, que pode variar de 0 para cores neutras e acinzentadas e aumentando gradativamente até 10. Porém, na Tabela Munsell para solos, apresentam-se as combinações de 1 até 8, encontradas na escala em sentido horizontal, como mostra a Figura 42 representando este item como número “3”.

Por fim, deve-se ressaltar a importância da caracterização e análise em campo das cores do solo, pois através da interpretação desta pode-se entender o seu estado de conservação, bem como estabelecer uma correlação do solo com os processos estabelecidos no ambiente. Além disso, a cor é fundamental na classificação do solo, geralmente no 2º nível categórico do SiBCS.

Figura 42: Esquematisação dos itens que compõem as cores na Carta de Cores Munsell para Solos



Fonte: Souza e Arias (2020).

3.2.2 Textura

Em estudos de solos degradados por erosão hídrica a análise da textura é essencial para o entendimento da gênese do processo erosivo. O tamanho e a distribuição das partículas de solo relacionam-se diretamente com a forma como este comporta-se ao sofrer o impacto das gotas de água da chuva.

O entendimento textural dos perfis de solo é necessário para identificar a relação da aeração e da drenagem que cada solo apresenta, uma vez que, solos com texturas mais arenosas melhor aeração e drenabilidade, enquanto solos argilosos apresentarão uma resistência a estas

propriedades. Ressalta-se que os solos argilosos que encontram-se em boas condições estruturais, a aeração e a drenagem não é prejudicada.

Uma outra comparação que pode ser estabelecida entre solos arenosos e argilosos é a respeito da matéria orgânica (MO). De maneira geral, os solos com texturas arenosas tendem a apresentar menor teor de MO, ao contrário disso, solos argilosos, em boas condições de preservação, apresentarão maior teor de MO.

Além disso, a textura pode ainda influenciar na Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Os solos de textura argilosa tendem a ter maior CTC por possuírem mais minerais de argila, devido ao seu estado coloidal, e também quando o conteúdo de matéria orgânica é considerável. A carga negativa dos minerais de argila e da MO “adsorvem” os cátions em sua superfície.

Neste sentido, em campo realizou-se a estimativa das frações texturais através da sensação tátil, o que foi confirmada depois em laboratório através da análise granulométrica pelo método da pipeta. Para realização da análise em campo, partiu-se da coleta de uma amostra de terra, a qual foi umedecida e trabalhada na mão até formar uma massa homogênea. Posterior a isto, o material foi trabalhado entre o polegar e o indicador, para identificar-se a sensação de aspereza, sedosidade e pegajosidade, sendo estas associadas de acordo com as frações de areia, silte e argila, respectivamente.

Com isso, destaca-se a importância da realização da análise textural em campo, visto que este estudo se soma à análise laboratorial, pois, *in loco* tem-se a contribuição das observações realizadas sobre a paisagem que, na maioria das vezes, está sob a influência da sociedade devido aos tipos de usos atribuídos à terra, como por exemplo, para produção de alimentos. As observações realizadas *in loco* são comparadas, posteriormente, com os ensaios laboratoriais. Em campo, as análises levaram em consideração a metodologia de Santos *et al.* (2005).

3.2.3 Estrutura

A estrutura do solo como propriedade pode ser alterada por diversos fatores, como estação do ano, grau de umidade do solo, sistema radicular que envolve as partículas primárias, teor de matéria orgânica disponível e principalmente, o uso da terra adotado.

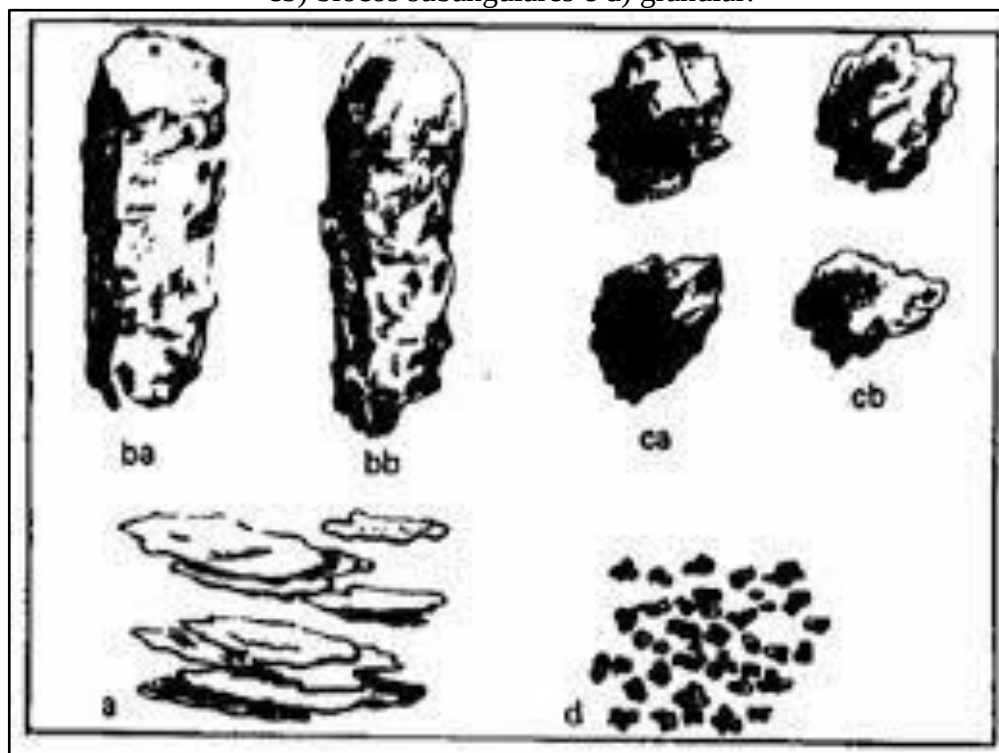
Desta forma, estrutura pode ser entendida como sendo o “padrão de arranjo das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) em unidades estruturais compostas chamadas de agregados, separadas entre si pelas superfícies de fraqueza” (Santos *et al.*, 2005).

Nas análises realizadas em campo observou-se: a forma, o tamanho e o grau de desenvolvimento dos elementos estruturais.

Neste sentido, os tipos de estrutura encontrados nos solos são:

- Laminar: este tipo de estrutura apresenta aparência de lâmina com suas espessuras variadas não ultrapassando o comprimento horizontal, sendo encontrada normalmente em horizontes superficiais (Figura 43 - a). “Esse tipo de estrutura ocorre em solos de regiões secas e frias onde há congelamento, podendo também ser causado por compactação (pisoteio, roda de veículos etc.)” (Santos *et al.*, 2005);
- Prismática: este tipo de estrutura apresenta dois subtipos “o prismático propriamente dito e o colunar, ambos apresentando a característica de ter o plano vertical maior do que o superior da unidade estrutural horizontal” (Perusi, 2005, p. 9) superficiais (Figura 43 - ba e bb). Estes dois subgrupos diferenciam-se quanto à forma da extremidade superior, sendo plana na prismática e arredondada na colunar (Santos *et al.*, 2005).
- Blocos ou cúbicas: esta apresenta suas três dimensões superficiais aproximadamente iguais (Figura 43 - ca e cb). Divide-se em “blocos angulares”, que expressa suas faces planas e ângulos vivos e; “blocos subangulares”, apresentando uma mistura de faces arredondadas e planas, contendo muitos vértices arredondados (Santos *et al.*, 2005).
- Granular: possui três dimensões aproximadamente iguais com superfícies arredondadas superficiais (Figura 43 - d). Esta estrutura está intimamente ligada à presença da matéria orgânica e da atividade biológica (Capeche, 2008).

Figura 43: Tipos de estrutura: a) laminar, ba) prismática, bb) colunar, ca) blocos angulares, cb) blocos subangulares e d) granular.



Fonte: Embrapa (2006), adaptada por Lopes (2017).

O tamanho das unidades estruturais foi o segundo aspecto que se analisou em campo. Deve-se considerar que esta propriedade pode sofrer influência de fatores adversos, como por exemplo, uma forte enxurrada que acaba carregando estruturas superficiais devido ao processo de rolamento, diminuindo assim o seu tamanho. Para essa propriedade são reconhecidas as seguintes classes: a) muito pequena; b) pequena; c) média; d) grande; e) muito grande.

Por fim, a última característica é o grau de desenvolvimento, o qual relaciona-se às condições de coesão, dentro e fora dos agregados (Santos *et al.*, 2005).

- Sem unidades estruturais ou peds: grãos simples (não coerente); maciça (coerente);
- Com unidades estruturais ou peds: a) Fraca: as unidades estruturais são pouco frequentes em relação à terra solta; b) Moderada: as unidades estruturais são bem definidas e há pouco material solto; c) Forte: as unidades estruturais são separadas com facilidade e quase não se observa material de solo solto.

Todos esses fatores descritos foram analisados em campo, considerando que foi realizada uma avaliação das amostras, dando importância para o grau de umidade.

3.2.4 Porosidade

A porosidade e a densidade do solo são características que estão intimamente relacionadas, considerando que “a porção do volume de um horizonte de solo não ocupada pelas partículas sólidas corresponde à sua porosidade” (Lepsch, 2011, p. 131). Outro fator que deixa clara essa associação entre a porosidade e a densidade é que ambas se apresentam de acordo com a relação entre a massa e o volume dos constituintes de solo (Lepsch, 2011, p. 131).

De acordo com Santos *et al.* (2005), a porosidade pode ser entendida como sendo o volume ocupado por água e/ou pelo ar. Desta forma, nota-se a importância de analisar esta propriedade em estudos relacionados à degradação do solo por processos erosivos, pois se o solo apresenta uma boa infiltração, o fenômeno de escoamento superficial não será um fator preocupante.

Os critérios analisados para o estudo da porosidade partiram dos procedimentos pré-descritos por Santos *et al.* (2005), os quais podem-se observar no Quadro 8.

Quadro 8: Critérios utilizados para análise da porosidade.

Classes	Tamanho
Sem poros visíveis	Sem poros
Muito pequenos	Inferiores a 1 mm de diâmetro
Pequenos	De 1 a 2 mm de diâmetro
Médios	De 2 a 5 mm diâmetro
Grandes	De 5 a 10 mm diâmetro
Muito grandes	Superior a 10 mm

Fonte: Santos *et al.* (2005), organizado pelo autor (2023).

3.2.5 Cerosidade

Cerosidade pode ser entendida como sendo um “aspecto um tanto brilhante e ceroso de superfícies naturais que revestem as diferentes faces de unidades estruturais, manifestado frequentemente por uma cor de matiz mais intenso” (Santos *et al.*, 2005, p. 33).

A cerosidade permite apontar, através do brilho, se há acúmulo iluvial de argila no perfil, resultante da translocação de horizontes superiores, podendo fazer uma importante relação com a quantidade dessa partícula, bem como, o seu comportamento em diferentes graus de umidade.

Para análise desta propriedade utilizaram-se os procedimentos de Santos *et al.* (2005), observando-se as faces dos agregados das amostras de cada horizonte seguindo os parâmetros apontados no Quadro 9.

Quadro 9: Critérios para análise da cerosidade.

Grau de desenvolvimento		Quantidade
Fraco		Pouco
Moderado		Comum
Forte		Abundante

Fonte: Santos *et al.* (2005), organizado pelo autor (2023).

3.2.6 Consistência

A consistência pode ser entendida como sendo “à resistência do material do solo a manipulações ou estresses mecânicos (aplicação de forças)” (Lepsch, 2011, p. 134) e a “adesão entre as partículas e outros materiais, conforme variação dos graus de umidade” (Santos *et al.*, 2005, p. 34). Nesse sentido, deve-se avaliar esta propriedade em campo, analisando-se há resistência à ruptura quando pressionado um “torrão” com a força da própria mão, levando em conta o grau de umidade (Lepsch, 2011).

Além do nível de umidade presente na amostra, a consistência pode vir a variar em decorrência de uma série de outras características, como textura, estrutura, agentes cimentantes (matéria orgânica, óxidos de ferro), tipos de minerais e frações de argilas, natureza do material coloidal e o tipo de cátion adsorvido (Lepsch, 2011; Santos *et al.*, 2005).

De acordo com os procedimentos descritos por Santos *et al.* (2005), as amostras devem ser analisadas em três estados de umidade distintos: seco, úmido e molhado.

Ao analisar a consistência da amostra de solo em seu estado físico seco, indicar-se-á sua dureza e tenacidade. Para examiná-la, necessitará de um torrão seco de aproximadamente 3 cm, que deverá ser comprimido entre o polegar e o indicador. Os critérios das classes de consistência do solo seco se fazem presentes no Quadro 10.

Já na análise da consistência da amostra úmida, caracteriza-se a sua friabilidade. Para essa análise deve comprimir um torrão de 3 cm que esteja em seu estado intermediário entre seco ao ar e a capacidade de campo. Depois disso, anota-se o nível de consistência quando úmido segundo os critérios presentes no Quadro 11.

Quadro 10: Descrição da consistência do solo quando seco

CONSISTÊNCIA DO SOLO QUANDO SECO	
Consistência	Caracterização
Solta	não coerente entre o polegar e o indicador.
Macia	a massa do solo é fracamente coerente e frágil; quebra-se em material pulverizado ou grãos individuais sob pressão muito leve.
Ligeiramente dura	fracamente resistente à pressão; facilmente quebrável entre o polegar e o indicador.
Dura	moderadamente resistente à pressão, pode ser quebrado nas mãos, sem dificuldade, mas é dificilmente quebrável entre o indicador e o polegar.
Muito dura	muito resistente à pressão. Somente com dificuldade pode ser quebrado nas mãos. Não quebrável entre o indicador e o polegar.
Extremamente dura	extremamente resistente à pressão. Não pode ser quebrado com as mãos.

Fonte: Santos *et al.* (2005), organizado por Souza e Arias (2020).

Quadro 11: Descrição da consistência do solo quando úmido

CONSISTÊNCIA DO SOLO QUANDO ÚMIDO	
Solta	não coerente.
Muito friável	o material do solo esboroa-se com pressão muito leve, mas agrega-se por compressão posterior.
Friável	o material do solo esboroa-se facilmente sob pressão fraca e moderada entre o polegar e o indicador e agrega-se por compressão posterior.
Firme	o material do solo esboroa-se sob pressão moderada entre o indicador e o polegar, mas apresenta resistência distintamente perceptível.
Muito firme	o material do solo esboroa-se sob forte pressão; dificilmente esmagável entre o indicador e o polegar.
Extremamente firme	o material do solo somente se esboroa sob pressão muito forte, não pode ser esmagado entre o indicador e o polegar e deve ser fragmentado pedaço por pedaço.

Fonte: Santos *et al.* (2005), organizado por Souza e Arias (2020).

Por fim, a análise da consistência da amostra molhada indica a plasticidade (Quadro 12) e a pegajosidade (Quadro 13). Neste ensaio, trabalha-se com a amostra apresentando o conteúdo de água ligeiramente acima da capacidade de campo.

Quadro 12: Descrição da consistência do solo quando molhado – plasticidade.

CONSISTÊNCIA DO SOLO QUANDO MOLHADO - PLASTICIDADE	
Não-plástica	quando muito, forma-se um fio que é facilmente deformado.
Ligeiramente plástica	forma-se um fio, que é facilmente deformado.
Plástica	forma-se um fio, sendo necessária pressão moderada para sua deformação.
Muito plástica	forma-se um fio, sendo necessária muita pressão para deformá-lo.

Fonte: Manual de descrição e coleta de solo no campo – Santos *et al.* (2005), organizado pelo autor (2022).

Quadro 13: Descrição da consistência do solo quando molhado – pegajosidade.

CONSISTÊNCIA DO SOLO QUANDO MOLHADO - PEGAJOSIDADE	
Não pegajosa	após cessar a pressão, não se verifica, praticamente, nenhuma aderência da massa ao polegar e indicador.
Ligeiramente pegajosa	após cessar a pressão, não se verifica, praticamente, nenhuma aderência da massa ao polegar e indicador.
Pegajosa	após cessar a compressão, o material adere a ambos os dedos e, quando estes são afastados, tende a alongar-se um pouco e romper-se, em vez de desprender-se de qualquer um dos dedos.
Muito pegajosa	após a compressão, o material adere fortemente a ambos os dedos e alonga-se perceptivelmente quando eles são afastados.

Fonte: Manual de descrição e coleta de solo no campo – Santos *et al.* (2005), organizado pelo autor (2022).

3.2.7 Coesão

A coesão é uma propriedade que está ligada à resistência que o solo apresenta quando aplicada uma determinada força. Para esta avaliação, considera-se o nível de umidade inferiores à capacidade de campo (Santos *et al.*, 2005).

De acordo com Santos *et. al* (2005), avaliam-se dois graus de coesão:

- Moderadamente coeso: quando seco, o material de solo resiste à penetração do martelo pedológico ou trado e apresenta uma fraca organização estrutural. Geralmente seco, apresenta uma consciência dura e quando úmida, varia de friável a firme.
- Fortemente coeso: a amostra de solo, quando seco, resiste fortemente à penetração do martelo pedológico ou trado e não apresenta uma organização estrutural visível; apresenta consistência, quando seco, muito dura e às vezes extremamente dura. A consistência úmida varia de friável a firme.

3.3 Análise granulométrica para determinação da textura do solo em laboratório

No Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da FCT/UNESP, Câmpus de Presidente Prudente - SP, realizaram-se as análises de textura de acordo com os procedimentos estabelecidos no Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997), revisado por Teixeira *et al.* (2017).

Já com as amostras coletadas em campo, realizou-se o processo de separação e identificação, seguindo-se de numeração de 1 a 12 (Figura 44). Vale ressaltar que as análises das amostras foram realizadas em triplicatas, a fim de garantir a qualidade do procedimento e para isto adotou-se o seguinte parâmetro, sendo que cada resultado deve apresentar uma variação de até 2%. Caso uma das amostras da triplicata apresente uma variação acima disso, esta deve ser desconsiderada.

Figura 44: Separação e numeração das amostras em laboratório (06/2022).



Foto do autor (2022).

Dispensou-se o uso da estufa com ventilação a 40°C, utilizando o método da secagem ao ar e na sombra, que também está prevista no manual. O tempo para a secagem foi de aproximadamente 6 dias, considerando que as amostras estavam espalhadas para que ocorresse a secagem uniforme do material.

Após isso, deve-se realizar o destorroamento do material. Este procedimento foi feito manualmente com o auxílio de um martelo de borracha, de forma suave a fim de evitar a

moagem do material. Além disso, realizou-se o peneiramento das amostras em uma peneira com a malha de 2 mm, a fim de separar a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) (Figura 46). Ressalta-se que não foi necessária a utilização de peneiras de 4 mm e 8 mm, uma vez que não havia partículas grosseiras como cascalhos.

Figura 45: Amostra do ponto 2 na profundidade de 0,70 m seca, peneirada e destorroada (06/2022).



Foto do autor (2022).

Depois disso, realiza-se a análise granulométrica que tem por finalidade quantificar a distribuição das partículas individualizadas de solo. Este procedimento tem como objetivo realizar “a ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão estabilizada, e a quantificação após a separação das frações” (Viana *et al.*, 2017).

Os materiais utilizados na etapa da análise granulométrica foram: béquer de 50 ml, placas de vidro, proveta 1L, peneira com malha de 2,0 e 0,053 mm, funil, suporte para funil, bastão para agitação com tampa emborrachada contendo vários furos e com diâmetro menor do que o do cilindro ou proveta, termômetro, cronômetro, pipeta graduada de 25 ml, agitador rotativo (mesa agitadora), balança de precisão e estufa com circulação forçada. E, de produto químico, foi utilizado apenas um reagente composto pela solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ o qual é recomendado para o uso quando o agente cimentante da rocha é o carbonato de cálcio.

Inicialmente, pesam-se 10 g de cada amostra (TFSA) em um erlenmeyer de 200 ml (Figura 46). Depois disso, adicionam-se 20 ml de água destilada, com o auxílio de uma proveta de 25 ml, e em seguida são inseridos 10 ml de solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹, com uma pipeta volumétrica de 10 ml. Após esta etapa, encaminham os erlenmeyers para a mesa agitadora, o qual deve permanecer por 6 horas a 50 rpm (Figura 47).

Em seguida, partiu-se para a separação da areia. Nesta etapa foi montado um jogo de peneiras de 0,53 mm, juntamente com um funil que direcionava o material para uma proveta (Figura 48). A amostra de solo foi transferida para a peneira. Com o auxílio de uma pisseta contendo água deionizada realizou-se, sobre uma pressão frequente, a lavagem da peneira até a proveta atingir 1000 ml. O objetivo deste procedimento é fazer com que partículas com diâmetros menores que 0,53 mm passem pela peneira e o material que ficar retido na peneira seja quantificado como fração areia.

Figura 46: Pesagem da amostra de solo do perfil 1 antes de encaminhar para a mesa agitadora (06/2022).



Foto do autor (2022).

Figura 47: Agitação das amostras do perfil 1, as quais permaneceram por 6 h a 50 rpm (06/2022)



Foto do autor (2022).

Figura 48: Materiais utilizados no processo de separação da areia (06/2022). As setas indicam: amarela - proveta com a amostra; vermelha – pisseta com a água deionizada; verde - funil e; azul – peneira de 0,53 mm.



Foto do autor (2022).

Com isso, o material retido na peneira foi depositado na placa de petri, a qual já havia sido pesada. Após isso, as amostras foram levadas para a secagem em uma estufa, as quais permaneceram por 24 h sob uma temperatura de 105°C. Posteriormente, foram retiradas da estufa e encaminhadas para o dessecador para esfriar (Figura 49). Com as amostras já em temperatura ambiente, partiu-se para a pesagem.

Figura 49: Dessecador utilizado no procedimento de secagem das amostras (06/2022).



Foto do autor (2022).

Para os materiais de solo que restaram na proveta (silte e argila), realizou-se a filtragem partindo do método da pipeta. As provetas que continham este material foram encaminhadas para o tanque para manter uma uniformidade térmica, e após isso mediu-se a temperatura das soluções com o auxílio de um termômetro. A Tabela 4 estabelece o tempo de pipetagem de acordo com a temperatura das amostras.

Tabela 4: Tempo de sedimentação para a pipetagem

Temperatura (°C)	Tempo (h e `)
15	4h 19'
16	4h 12'
17	4h 5'
18	3h 59'
19	3h 53'
20	3h 48'
21	3h 42'
22	3h 37'
23	3h 32'
24	3h 27'
25	3h 22'
26	3h 18'
27	3h 13'
28	3h 09'
29	3h 05'
30	3h 01'

Fonte: Embrapa (1997).

Realizou-se a agitação nas soluções que continham a argila/silte com o auxílio de um bastão com a tampa de borracha por 1 minuto, deixando um intervalo de 2 minutos entre as amostras. Após terminar o tempo de sedimentação, agita-se as amostras e o tempo de pipetagem começa a ser contado. A pipetagem foi realizada a cada 2 minutos entre uma amostra e outra, na profundidade de 5 cm e com o volume de 5 ml. Esta alíquota obtida por pipetagem foi transferida para um béquer seco e com peso conhecido. Depois de toda transferência deste material, os béqueres foram encaminhados para uma estufa onde permaneceram por 24 h a 105°C. Transcorrido este tempo, pesaram-se os béqueres com argila.

Por fim, realizaram-se os seguintes cálculos para determinar as porcentagens de areia, argila e silte:

- Porcentagem de areia:

$$M_{\text{areia}} = P2 \text{ (peso da placa com areia)} - P1 \text{ (peso da placa)}$$

$$\% \text{ areia} = 10 * M_{\text{areia}}$$

- Porcentagem de argila:

$$M_{\text{argila}} = P4 \text{ (peso do béquer com a argila)} - P3 \text{ (peso do béquer)}$$

$$\% \text{ argila} = (M_{\text{argila}} - 0,002) * 2000$$

- Porcentagem de silte:

$$\% \text{ silte} = 100\% - \% \text{ areia} - \% \text{ argila}$$

3.4 Densidade do solo

A densidade⁹ do solo (ou densidade global) é definida pela relação existente entre a massa de uma amostra seca de solo a 105°C, e o volume ocupado pelas partículas de solo somada ao espaço dos poros, os quais também podem estar ocupados por ar e/ou água.

Através da densidade pode-se estabelecer uma relação com a textura, pois “em geral, valores de densidade do solo mais baixos correspondem a solos argilosos com agregados muito pequenos e estáveis” (Lepsch, 2011, p. 132). Já em solos arenosos, as partículas de maiores dimensões tendem a ocupar maior volume em relação aos solos argilosos que, por sua vez, podem possuir grandes poros como os arenosos, mas também possuem poros pequenos (microporos) fazendo com que reduza a sua densidade do solo, visto que os espaços porosos possuem uma massa específica menor do que as partículas sólidas (Lepsch, 2011). Nos solos arenosos, além do maior tamanho dos grãos, o sistema de arranjo das partículas também resulta em espaços porosos menores que nos solos argilosos.

Outra relação que se pode estabelecer através da densidade do solo está ligada aos solos orgânicos, visto que estes apresentam uma baixa densidade. Lepsch (2011) explica que a densidade (tanto a global como a de partículas) é baixa em solos orgânicos por conta da massa específica que compõe a matéria orgânica, que se apresenta reduzida quando, por exemplo, compara-se a densidade do húmus com a do quartzo ou da caulinita, observam-se valores de 2,5 vezes para os sólidos minerais e isso explica os baixos valores de densidade encontrados em solos orgânicos.

A análise da densidade do solo, permite avaliar propriedades, como: drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade (do ar e da água), capacidade de saturação, armazenamento de água e umidade disponível para as atividades microbianas.

Para realização da análise da densidade do solo, baseou-se na Embrapa (1997). Inicialmente realizou-se a coleta do material, utilizando o anel volumétrico de Kopeck de bordas cortantes e capacidade interna conhecida (cálculo do volume do anel: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$). Em campo, com o auxílio de um martelo, cravou-se o anel na parede do perfil pedogenético, certificando-se que de este foi totalmente penetrado (Figura 50). Em seguida, retirou-se o anel do solo com uma faca, e com a mesma ferramenta, efetuou-se a retirada do excesso da terra,

⁹ A densidade diferencia-se de massa específica, mesmo ambas apresentando a mesma unidade de medida e tendo a mesma relação, deve-se ressaltar que a densidade diz respeito ao corpo, enquanto a massa específica está ligada à substância.

cuidando para que não se perdesse o material interno do anel; após isso, transferiu-se cada amostra para o seu respectivo recipiente.

Já com os anéis em laboratório, aqueceram-se as amostras a 105°C por 24 horas (Figura 51). Depois disso, foram pesadas e os valores foram anotados, para que pudesse ser realizado o seguinte cálculo $D_s = M/V$, uma vez que: D_s é a densidade do solo; M é a massa da amostra e V é o volume da amostra.

Figura 50: Coleta de solo utilizando anel volumétrico.



Foto do autor (2022).

Figura 51: Amostra indeformada de terra no laboratório



Foto do autor (2022).

A densidade do solo deve ser expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3) ou em quilogramas por metros cúbicos (kg/m^3). Na Tabela 5 são apresentadas as amplitudes de variação da densidade característica diferentes texturas ou composição de solo.

Tabela 5: Amplitudes de variação da densidade de solo relacionada aos tipos de solos

Textura do solo	Densidade do solo característica
Solos turfosos	0,20 - 0,40 g/cm^3
Solos húmicos	0,75 - 1,00 g/cm^3
Solos argilosos	1,00 - 1,25 g/cm^3
Solos arenosos	1,25 - 1,40 g/cm^3

Fonte: Mazza (2016), organizado pelo autor (2022).

3.5 Permeabilidade do solo

Para a realização do ensaio de permeabilidade, utilizou-se o permeâmetro de Guelph. Primeiramente, deve-se realizar uma análise do local mais adequado para instalação do permeâmetro. Neste trabalho realizaram-se dois ensaios, um perto do perfil pedogenético 1 e o outro próximo ao perfil pedogenético 2. Em seguida perfurou-se o solo com o auxílio de um

trado (Figura 52), para que posteriormente fosse realizada a montagem do equipamento de acordo com os procedimentos descritos em seu manual de instruções (Figura 53). Em ambos os pontos (ensaio 1 e ensaio 2), o solo foi perfurado a uma profundidade de 25 cm.

O permeâmetro de Guelph pode ser ajustado tanto para solos argilosos como para solos arenosos. No permeâmetro há dois reservatórios, um menor que é utilizado em solos menos permeáveis, com a característica argilosa. Já para os solos arenosos, utiliza-se o recipiente com o maior volume de água, sendo este a soma do reservatório interno mais o externo. Ressalta-se que, neste estudo, utilizou-se a configuração para solos com características texturais arenosas.

Para dar início ao ensaio, abriu-se o registro e realizaram-se as leituras da altura do nível de água a cada 2 minutos, até que as diferenças entre três leituras consecutivas fossem iguais. Este procedimento foi realizado duas vezes em cada ponto de ensaio, um na altura do nível de água do reservatório (H_1) em 5 cm, e o outro ensaio a 10 cm (H_2).

Figura 52: Perfuração do solo com o trado para a instalação do permeâmetro de Guelph.



Foto do autor (2022).

Figura 53: Montagem do permeâmetro de Guelph.



Fonte: Santos (2022).

Através da razão entre a diferença de nível em centímetros e o tempo em segundos entre as leituras, é obtida a taxa (R). Já H_1 , que é taxa de queda d'água após a estabilização de água no reservatório, foi nomeada de R_1 e, para a taxa de queda após a estabilização da água no reservatório H_2 , denominada de R_2 .

Após as atividades realizadas em campo, deve-se realizar o cálculo da condutividade hidráulica saturada de campo (K_{fs}).

A Equação 2 apresenta o cálculo que se aplicou neste trabalho. Esta equação é empregada quando se utiliza da combinação dos dois reservatórios, o interno e o externo, destinado à análise de solos com texturas arenosas.

$$K_{fs} = (0,0041) \cdot (X) \cdot (R_2) - (0,0054) \cdot (X) \cdot (R_1) \quad (\text{Equação 2})$$

O valor que deve ser utilizado quando empregados os reservatórios integrados é de $X = 35,39 \text{ cm}^2$.

Quando o ensaio for realizado em solo com textura argilosa, utilizando-se apenas o reservatório interno, aplica-se a Equação 3. E neste caso, o valor da constante é de $Y = 2,19 \text{ cm}^2$.

$$K_{fs} = (0,0041) \cdot (Y) \cdot (R_2) - (0,0054) \cdot (Y) \cdot (R_1) \quad (\text{Equação 3}).$$

3.6 Análise química do solo

Foram coletadas 4 amostras para análise química do solo, duas delas na profundidade de 20 cm e as outras duas foram coletadas a 40 cm de profundidade. Ambas as coletas foram realizadas no perfil 1 e no perfil 2 (Figura 54). Depois realizou-se a mistura das amostras, gerando uma amostra composta do perfil 1, resultando em uma única amostra que foi a mistura das profundidades de 20 cm e 40 cm, o mesmo procedimento foi feito para o perfil 2, tratando-se de análises exploratórias. Na sequência, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de “Ciência em Solo” especializado em análises químicas do solo.

Figura 54: Coleta das amostras para análise química.

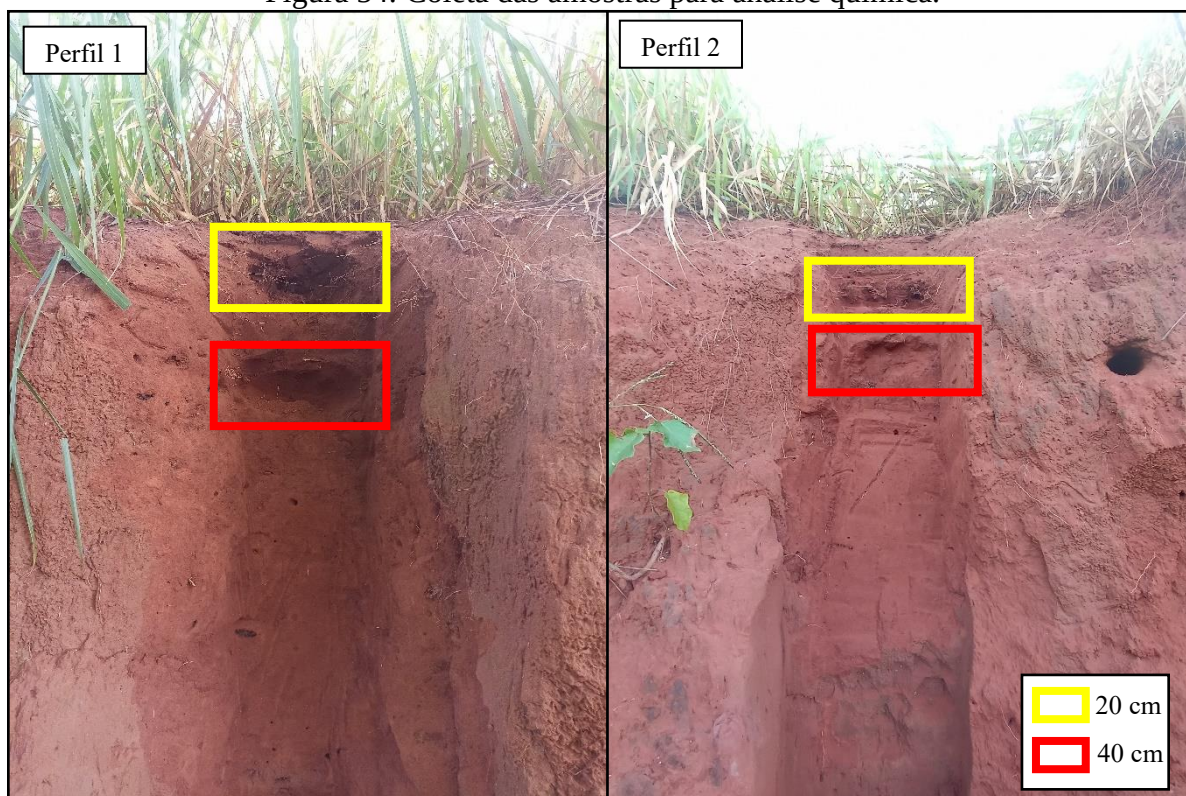


Foto do autor (2022).

Para a interpretação dos resultados laboratoriais baseou-se na maior parte no Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análise de Solos (Sobral *et al.*, 2015), e também se utilizou dos parâmetros estabelecidos por Alves *et al.* (1999), Coelho (2021) e outras.

3.7 Monitoramento

3.7.1 Receptores GNSS

Os receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) são equipamentos que realizam medições da superfície terrestre, podendo ser de maneira direta (processamento automático) ou indireta (dados processados no pós-campo).

Desta forma, para compreender o funcionamento dos levantamentos utilizando receptores GNSS apresentam-se aqui três tópicos chaves que devem ser analisados antes de qualquer levantamento topográfico, sendo eles: o tipo do receptor de acordo com a acurácia exigida no levantamento, os métodos de correção que serão utilizados na operação do equipamento em campo e os sistemas de navegações.

Os receptores GNSS são classificados em diferentes tipos de acordo com seu comprimento de onda, sendo eles: receptores com o código C/A, receptores para sistema de informações geográficas (SIG), receptores L1 e receptores L1/L2.

1. Receptores com o código C/A: este tipo de receptor possui um comprimento de onda de aproximadamente 300 metros, o que faz com que este comprimento de onda consiga atravessar uma mata densa, por exemplo. O problema destes receptores é que eles apresentam uma acurácia de aproximadamente 2,5 m, não sendo apropriados para levantamentos topográficos;
2. Receptores para SIG: estes tipos de receptores também utilizam o código C/A. A diferença é que estes receptores possuem um banco de dados que é utilizado para cadastramento de algumas informações de interesse. Contudo, estes receptores também não podem ser utilizados para levantamentos topográficos, pois apresentam uma acurácia por volta de 2,5 m;
3. Receptores L1: estes equipamentos são conhecidos como receptores geodésicos e possuem um comprimento de onda de 19 cm o que implica em uma acurácia em torno de 50 cm. Cabe destacar que este tipo de receptor encontra dificuldades para aquisição de dados em locais de mata densa, pois trata-se de um comprimento de onda muito pequeno encontrando dificuldade ao atravessar mata fechada;
4. Receptores L1/L2: este tipo de receptores que apresentam o código L1/L2, utilizam os comprimentos de onda L1 com 19 cm e o comprimento de onda L2 com 24 cm,

garantindo uma fixação dos dados e fornecendo uma facilidade em atravessa locais de mata fechada. Sua acurácia é melhor que 50 cm.

Neste trabalho utilizaram-se os receptores L1/L2. Estes, por sua vez, apresentam diferentes métodos de correção de posicionamento dos dados, e com isso, a escolha do tipo de correção que será utilizada também é uma questão que deve ser analisada antes do levantamento, pois isto também implicará na operação que será realizada em campo. Desta forma, os tipos de correções podem ser separadas em: RTK, PPK e NTRIP.

1. Sistema Real Time Kinematic (RTK): este sistema demanda dois receptores, um receptor “base” e outro “rover”. O receptor “base” possui coordenadas fixas e conhecidas, que são utilizadas para todo o levantamento. Esta base é instalada em um marco de coordenadas conhecidas e apoiada pelo sistema do IBGE de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e os pontos são coletados pelo rover (receptor móvel). Desta forma, é feita uma triangulação de todos estes dados para que a correção ocorra em tempo real. Para que o sistema RTK funcione e entregue resultados de qualidade, é necessária a conexão constante entre a base e o rover;
2. Sistema Post Processed Kinematic (PPK): o sistema PPK utiliza-se da mesma lógica de cruzamento de dados do sistema RTK. O que difere é que em modo PPK o processamento dos dados que ocorre posterior ao levantamento não necessita que a base estacionária apresente coordenadas conhecidas, ou seja, não necessita de um PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) durante a operação, pois ele será obtido no pós-processamento.
3. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP): é uma tecnologia que opera em modo RTK em que a correção dos dados é feita em tempo real por meio da internet. Neste caso, necessita-se de apenas um receptor GNSS que tenha a tecnologia NTRIP para realizar o levantamento, não demandando de um segundo receptor base e muito menos, estar apoiado no sistema do IBGE através de um PPP.

Neste trabalho utilizou-se o sistema de correção PPK por motivos de segurança, pois se tratar de um sistema em que o rover não necessita estar em contato constantemente com a base e, no caso do levantamento aéreo, o sensor rover acoplado na aeronave poderia perder a conexão facilmente com a base devido às distâncias do plano de voo.

Os sistemas de navegação por satélite tiveram origem no contexto da Guerra Fria, por volta da década de 60. Os Estados Unidos da América (EUA) lançam o primeiro satélite artificial, o Sputnik, responsável por dar a largada da corrida espacial entre a EUA e a antiga União das

Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Um pouco depois, as forças aéreas americanas lançam o sistema TRANSIT ou NNSS (Navy Navigation Satellite System), o qual foi o primeiro sistema de navegação por satélite a ser usado operacionalmente através dos sinais de rádio emitidos por satélites artificiais (CASACA *et al.*, 2010).

Os quatro sistemas de posicionamentos globais conhecidos hoje são o GPS, GLONASS, Galileo e BeiDOu. Além destes, existem o NavIC que é de origem Indiana e o QZSS que é Japonês, porém, estes sistemas dispõem apenas de coberturas regionais, não sendo de uso universal.

O GPS (Global Positioning System) é um sistema de posicionamento de propriedade do Departamento da Defesa dos Estados Unidos, o qual foi desenvolvido em 1972 e é o mais utilizado até os dias de hoje. O GLONASS (Global Navigational Satellite System) foi desenvolvido pela União Soviética em 1976 para uso com fins militares, sendo disponibilizado para o cidadão comum em 2007. Tanto o GPS quanto o GLONASS oferecem cobertura global e mesmo o GPS sendo considerado como tendo a melhor cobertura, há algumas indicações de que o GLONASS fornece melhor precisão nas regiões setentrionais do planeta.

O sistema de posicionamento Galileo foi desenvolvido pela União Europeia (UE), a qual teve seu primeiro sistema de posição independente em 2013. O Galileo veio com a proposta de se tornar uma alternativa ao GPS e ao GLONASS, com a ideia de que o Galileo será capaz de fornecer uma precisão um pouco melhor que a do GPS a longo prazo. Já o BeiDou, é sistema de posicionamento pertencente a China. Seu último satélite foi lançado em 2020 e, a partir daí, tornou-se um sistema que dispõe de cobertura global.

Ressalta-se que neste trabalho foi empregado sensor GNSS no sistema de posicionamento GPS. Para o levantamento em perspectiva terrestre, utilizou-se um par de receptores, sendo uma base e um rover. Já para o levantamento em perspectiva aérea, utilizou-se um receptor base e um sensor GNSS acoplado na aeronave, o qual é configurado como rover. O sensor GNSS acoplado à aeronave é exatamente o mesmo sensor GNSS dos receptores utilizados no levantamento terrestre. Tanto o par de receptores quanto o sensor acoplado na aeronave são da marca Emlid REACH RS2+.

3.7.2 Perspectiva terrestre - levantamento e processamento dos dados

Nesta etapa, utilizou-se apenas um par de receptores, um tripé onde ficou posicionado o receptor configurado como a base, uma coletora (smartphone) e um bastão em que estava a bordo o receptor configurado como rover. Neste levantamento adotou-se o modo de correção PPK.

O levantamento baseou-se na coleta de pontos da linha de crista da ravina e da linha de pé. Porém, no segundo monitoramento terrestre foi possível realizar o levantamento apenas da linha de crista, pois, o mato estava muito alto. Na Figura 55 é apresentada uma foto registrada pelo drone para demonstrar a altura do mato.

Na coleta dos pontos em campo para representar a linha de crista e a linha de pé, partiu-se de uma análise *in loco* no momento do levantamento. Por exemplo, em feições que apresentavam mais detalhes, o número de pontos coletados eram intensificados. Por outro lado, em áreas em que as feições apresentavam uma constância, ou seja, um padrão nas linhas de crista e de pé, mantinha-se uma distância maior entre pontos e desta forma, minorava-se o número de pontos coletados.

Figura 55: Representação da altura do mato utilizando como escala uma pessoa destacada pelo quadrado vermelho



Fonte: Epona (2023).

O processamento dos dados coletados em campo foi realizado no próprio aplicativo da Emlid Studio versão 1.2. Foi utilizado o tipo de processamento “kinematic” (cinemático) (Figura 56), o qual consiste em um rastreamento preciso das medições, usando os dados registrados em campo (dados brutos) de uma base e de um rover sem utilizar um link de correção, o que vai de encontro com o tipo de coleta realizada.

Figura 56: Seleção do tipo de processamento no Emlid Studio.

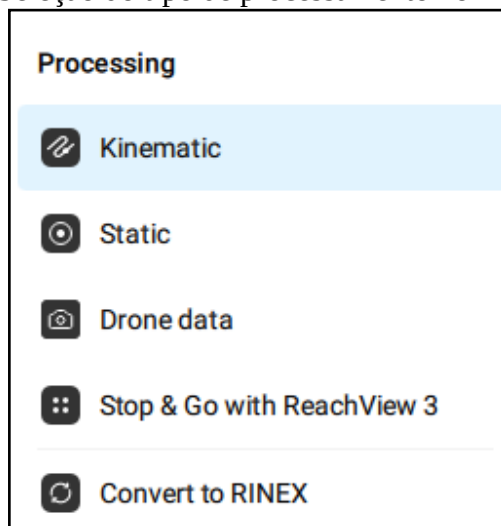


Foto do autor (2023).

Depois disso, realizou-se a etapa de transferir os dados dos receptores GNSS para o software. Deve-se realizar a carga do arquivo UBX respectivo ao rover (1) e o arquivo UBX da base (2) (Figura 57). A aba denominada “Navigation” (3) é preenchida automaticamente pelo software.

Figura 57: Carregando dados da base e do rover.

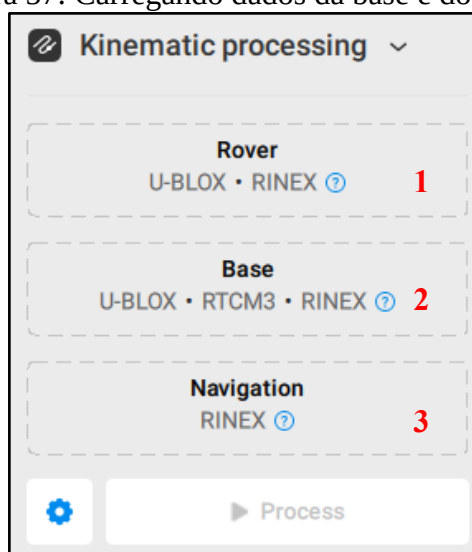


Foto do autor (2023).

Ressalta-se que os mesmos procedimentos destacados aqui valem para o processamento dos dados do GNSS a bordo no drone. A única alteração é com relação ao item 1, sendo adicionada a opção no tipo de processamento como sendo a de “Drone data” (Tabela 6). O próximo passo é inserir as coordenadas conhecidas do ponto-base. Na Tabela 6 apresentam-se as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator, Fuso 22, Sul), porém, para o processamento, realizou-se a transformação das coordenadas UTM para coordenadas geográficas.

Tabela 6: Informações dos levantamentos terrestres com o GNSS

	Dia do voo	Coordenadas do ponto base			Altura do GNSS rover (Bastão) (m)	Altura do GNSS base (m)	Extensão da linha de crista (m)
		E (m)	N (m)	H (m)			
1M	01/06/2022	388.076,30	7.595.254,32	257,302	2	1,833	278,559
2M	06/06/2023	388.076,30	7.595.254,32	257,302	2,57	1,78	272,08

Elaborado pelo autor (2022).

Por fim, realizou-se a inserção do modelo do receptor (1) e a altura da base (2) (Figura 58).

Figura 58: Inserção de informações no software sobre o receptor “Base”.

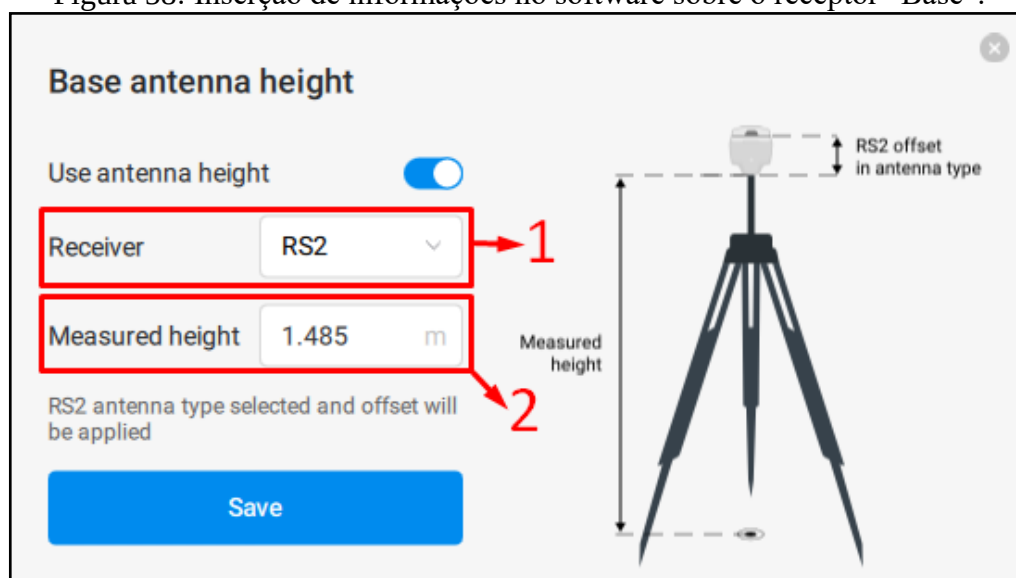


Foto do autor (2023).

3.7.3 Perspectiva aérea: Drone - levantamento e processamento dos dados

Para o levantamento dos dados em perspectiva aérea foi utilizado um drone da Nuvem UAV Spectral 2 (Figura 59). Este equipamento é confeccionado em fibra de carbono e conta

com os sensores de captação das imagens, receptor GNSS, 4 motores elétricos de 600 watts de potência e 2 baterias, sendo que cada uma proporciona uma autonomia de 1h, podendo chegar à velocidade de 14 m/s.

O conjunto do equipamento conta com uma antena de telemetria e um tripé (suporte para antena de telemetria), a qual é conectada em um computador, fazendo a comunicação entre o operador e o drone. O alcance da telemetria é limitado via software, sendo de 6 km de distância e altura de 500 m (Figuras 61).

Figura 59: Drone - Spectral 2.



Foto do autor (2023).

Figura 60: Itens que acompanham o Spectral 2.



Foto do autor (2023).

Para fins de coleta das coordenadas, o Spectral 2 é equipado com um receptor GNSS Emilid M+ Monofrequência (L1), sendo capaz de rastrear sinais de GPS, GLONASS, Beidou, Galileo, SBAS, possui 72 canais e memória interna de 8 GB. Esse receptor GNSS acoplado ao drone é responsável por fazer a coleta dos pontos do aerolevanteamento (configurado como “rover”). Como o levantamento baseou-se na coleta de dados pós-processados, necessitou-se da utilização de um outro receptor GNSS do mesmo modelo, porém, configurado como “base” que fica estático em solo coletando informações dos satélites que estão em órbita, para que, posteriormente possibilitasse a realização da correção das coordenadas no processamento dos dados. A base fica apoiada em um tripé de coordenadas conhecidas (Figura 61).

Figura 61: Instalação da base no tripé no ponto de coordenadas conhecidas



Foto do autor (2023).

Já o sensor acoplado na aeronave responsável por realizar o registro das imagens é uma câmera Sony NVM RGB 24.3 mpx, de lentes de 25 mm, com estabilizador de câmera de 01 eixo, contendo um cartão de memória de 5 GB responsável por arquivar as imagens, apresentando saídas USB 2.0 e HDMI. Este sensor realiza a integração com o sistema PPK, oferecendo os produtos nos formatos de arquivo e imagem RAW, RAW+JPEG e apresentando a faixa de velocidade do obturador de 1/4000-30s.

No pré-voo, primeiramente destravam-se os quatro braços onde estão situados os motores e as hélices. Depois disso, abrem-se os três trens de pouso e também a antena de comunicação da telemetria. Em seguida, fixa-se a câmera e antena GNSS. Em seguida, identifica-se um ponto em condições favoráveis para decolagem e, desta forma, inicia-se o aerolevanteamento (Figura 62).

Figura 62: Drone pronto para iniciar o levantamento



Foto do autor (2023).

O voo foi realizado totalmente de forma autônoma. Para isso, inicialmente realizou-se um plano de voo no software “NControl” (Figura 63). Toda a operação deve ser acompanhada por este software, atentando-se sempre para os itens de navegação exibidos por ele. Os principais itens que devem ser monitorados durante o aerolevanteamento são a “voltagem (V)” da bateria, não deixando-a cair de 21 V, e o nivelamento do drone com relação à superfície da Terra. Este segundo é acompanhado pela bússola.

Depois de realizada a coleta dos dados em campo, partiu-se para o escritório realizar o processamento deles, para que se elaborasse como produto o “mosaico” e o “Modelo Digital de Terreno” (MDT).

Figura 63: Software NControl utilizado no aerolevantamento. O quadrado amarelo indica a bússola e o retângulo vermelho, indica a voltagem da bateria.

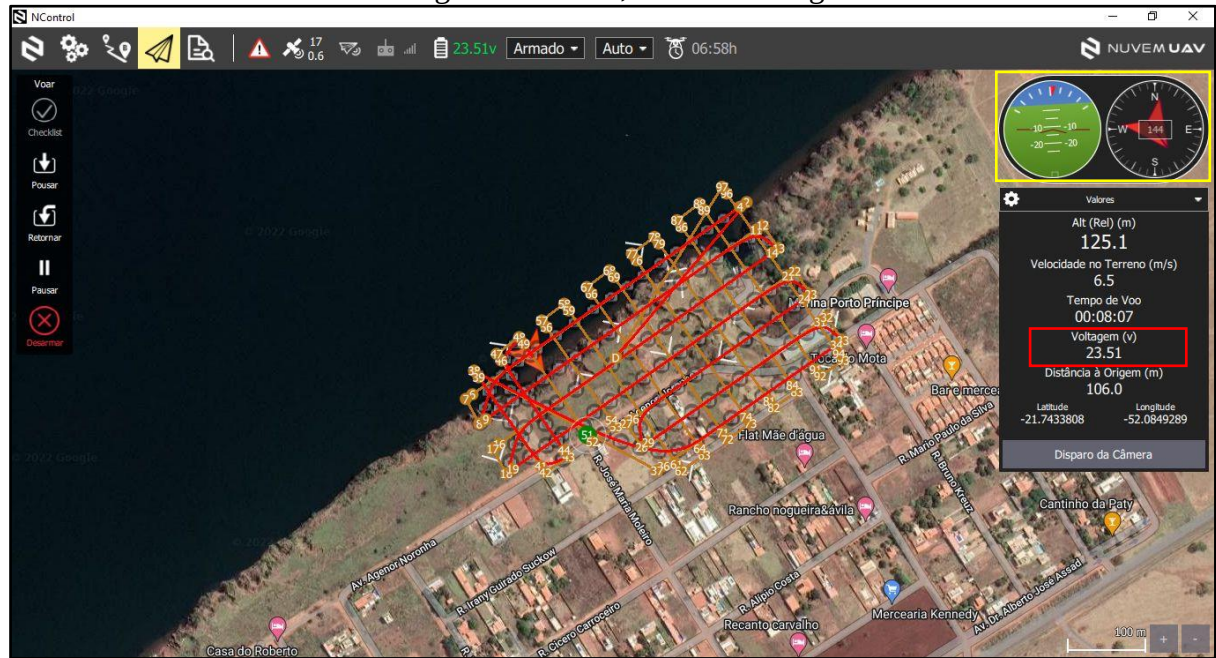


Foto do autor (2023).

Na

Tabela 7 são apresentadas as informações de levantamento, sendo cada linha respectiva a cada monitoramento através do aerolevantamento realizado. Estas informações foram utilizadas para o processamento dos dados coletados em campo.

Tabela 7: Informações dos levantamentos aéreos com o Drone

	Dia do voo	Coordenadas do ponto base			Altura do GNSS (Base) (m)	Extensão (m)
		E(m)	N(m)	H(m)		
1M	01/06/2022	388.076,30	7.595.254,32	257,302	1,833	370
2M	03/10/2022	387.893,87	7.595.176,65	271,17	1,85	500
3M	07/03/2023	388.076,30	7.595.254,32	257,302	1,225	500

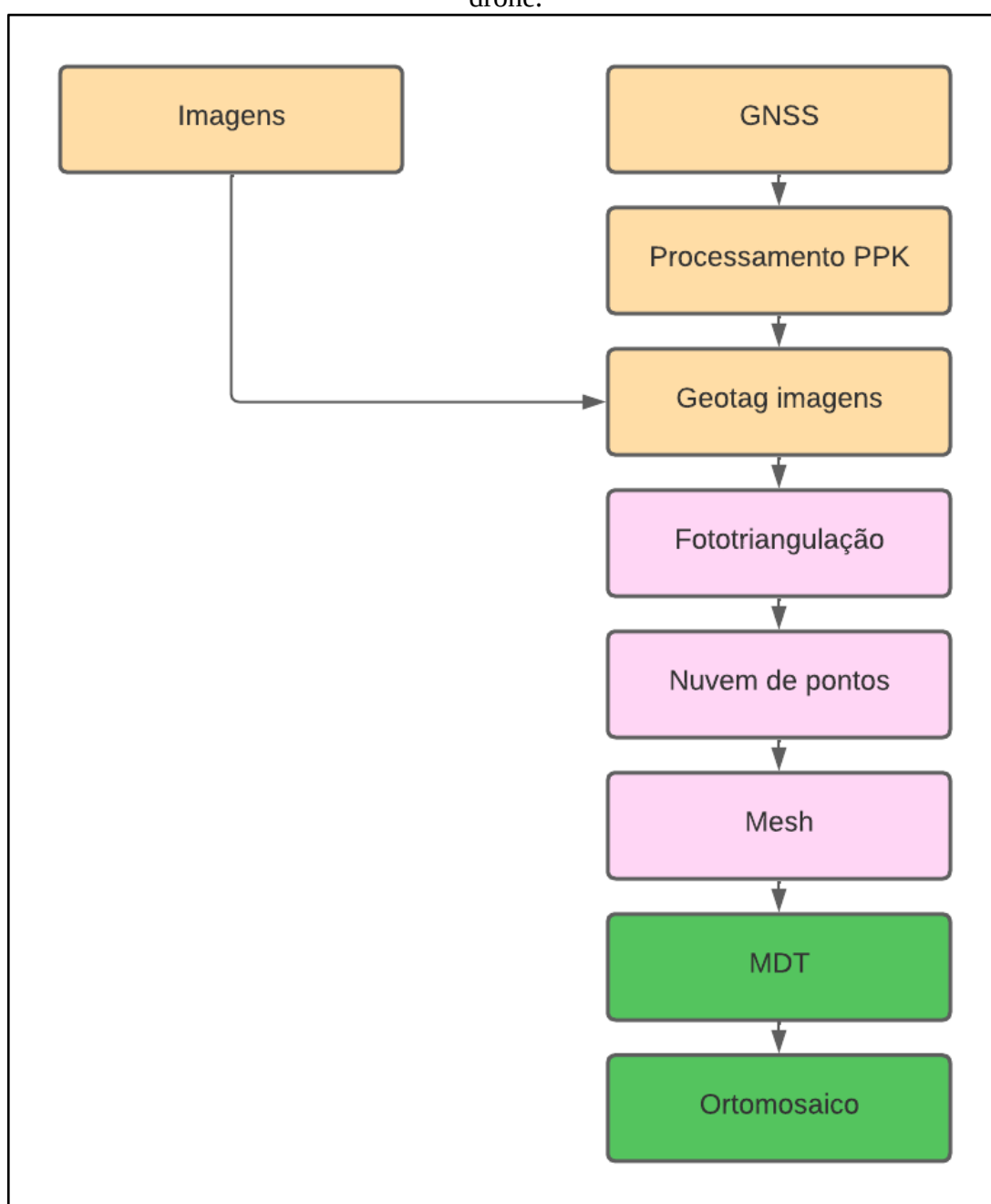
Elaborado pelo autor (2023).

Cabe ressaltar que o ponto de instalação da base foi alterado no monitoramento 2 (2M). Justifica-se essa alteração, pois o ponto de base utilizado nos monitoramentos 1(1M) e 3 (3M), localiza-se dentro da pousada Marina (propriedade privada) e, como na data do levantamento do 2M a vegetação encontrava-se pouca expressiva por conta da baixa precipitação que ocorre no inverno na região, facilitou a identificação do marco com o ponto conhecido, optando-se por instalar a base fora da propriedade privada.

Na Figura 64 é apresentado um fluxograma com os procedimentos executados no processamento.

Os dados do GNSS/base são processados seguindo os mesmos procedimentos descritos no item 3.7.2. Através destes dados, obtém-se as trajetórias precisas da plataforma em função do tempo. Em seguida, foi realizado o georreferenciamento das imagens, em que a posição da câmera no instante de aquisição de cada imagem é obtida de acordo com a trajetória processada (dados da GNSS/base), gerando a lista de coordenadas de cada uma das imagens. Por fim, é realizada etapa de fototriangulação no software Agisoft Metashape, gerando o MDT e o ortomosaico.

Figura 64: Fluxograma representativo dos procedimentos do processamento das imagens de drone.



Fonte: Epona, (2022), adaptado pelo autor (2023).

3.7.4 Comparações de épocas através da linha de crista

O monitoramento temporal da ravina baseado na comparação das épocas se respaldou em dados base do levantamento em perspectiva aérea, feito com o uso do drone e, dos levantamentos em perspectiva terrestre, com o auxílio do par de receptores GNSS.

Realizou-se a vetorização da linha de crista nos produtos obtidos pelo aerolevanteamento através das imagens ortomosaicos e MDT's. Durante a vetorização, percorreu-se toda a borda da erosão, realizando-se a sobreposição das camadas do ortomosaico e MDT, para uma melhor precisão e detalhamento dos dados (Figura 65). Destaca-se que a resolução espacial do produto em perspectiva aérea foi de 2 cm.

Figura 65: Vetorização da linha de crista em perspectiva aérea (monitoramento 1).

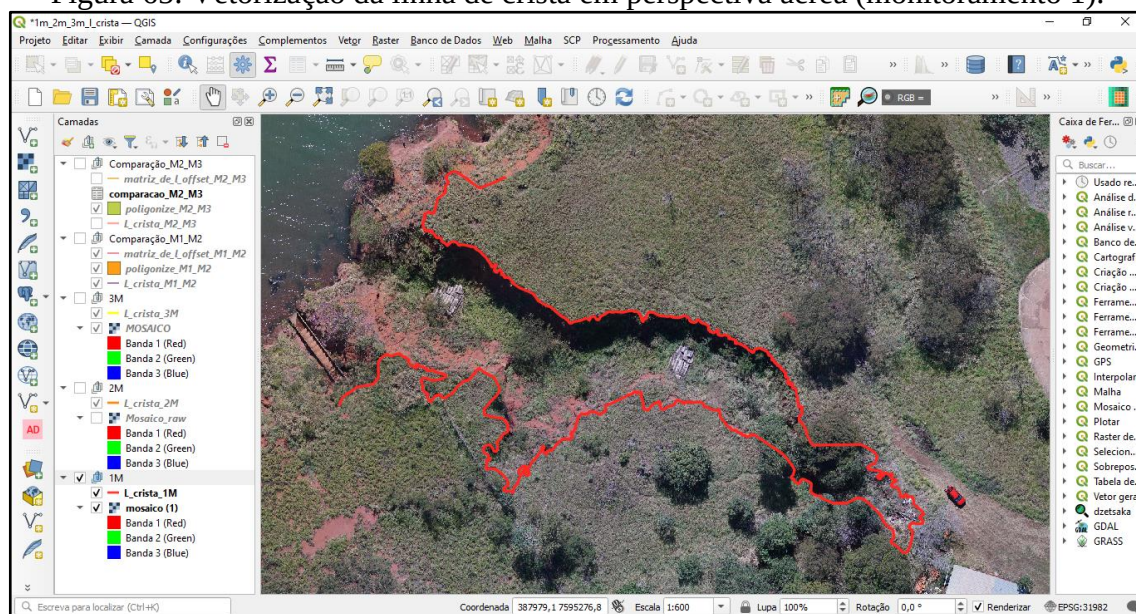


Foto do autor (2023).

A vetorização da linha de crista dos dados obtidos em perspectiva terrestre partiu da ligação dos pontos levantados em campo gerando o vetor do tipo linha, como mostra a Figura 66. Cabe ressaltar que a distância da coleta dos pontos partiu de uma avaliação em campo, observando-se a necessidade de coletar pontos mais próximos ou mais distantes conforme o nível de detalhamento que a feição exigia, ou seja, em feições que apresentavam grande irregularidade coletavam-se pontos mais próximos. Ao contrário, quando se identificava uma linearidade, aumentava-se a distância de coleta dos pontos.

Figura 66: Vetorização da linha de crista em perspectiva terrestre (monitoramento 1).

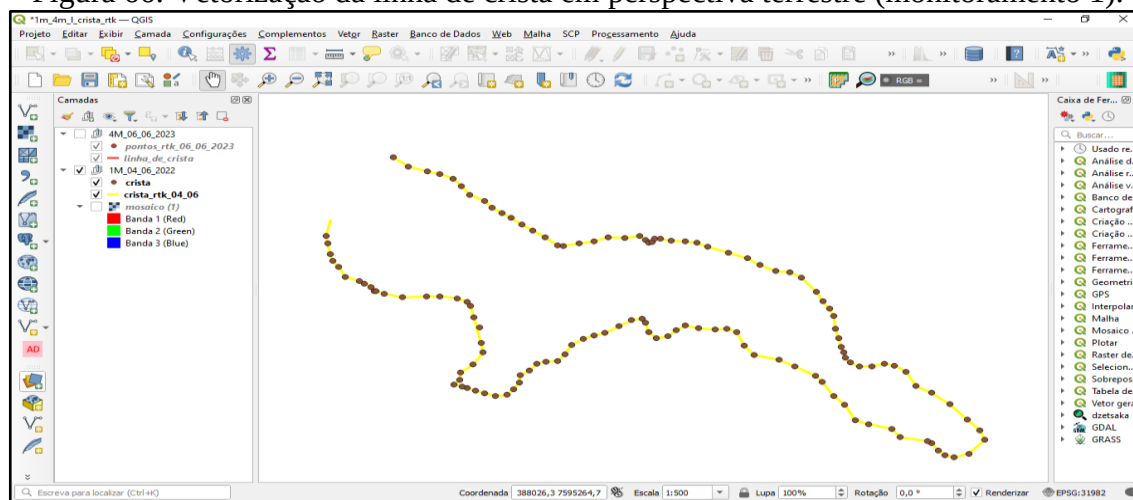


Foto do autor (2023).

Realizaram-se 2 coletas de dados com os receptores GNSS no intervalo de 1 ano. Já com relação aos dados do levantamento aéreo, foram realizadas 3 coletas, como mostra o Quadro 14.

Quadro 14: Coletas de dados referentes às perspectivas terrestre e aérea.

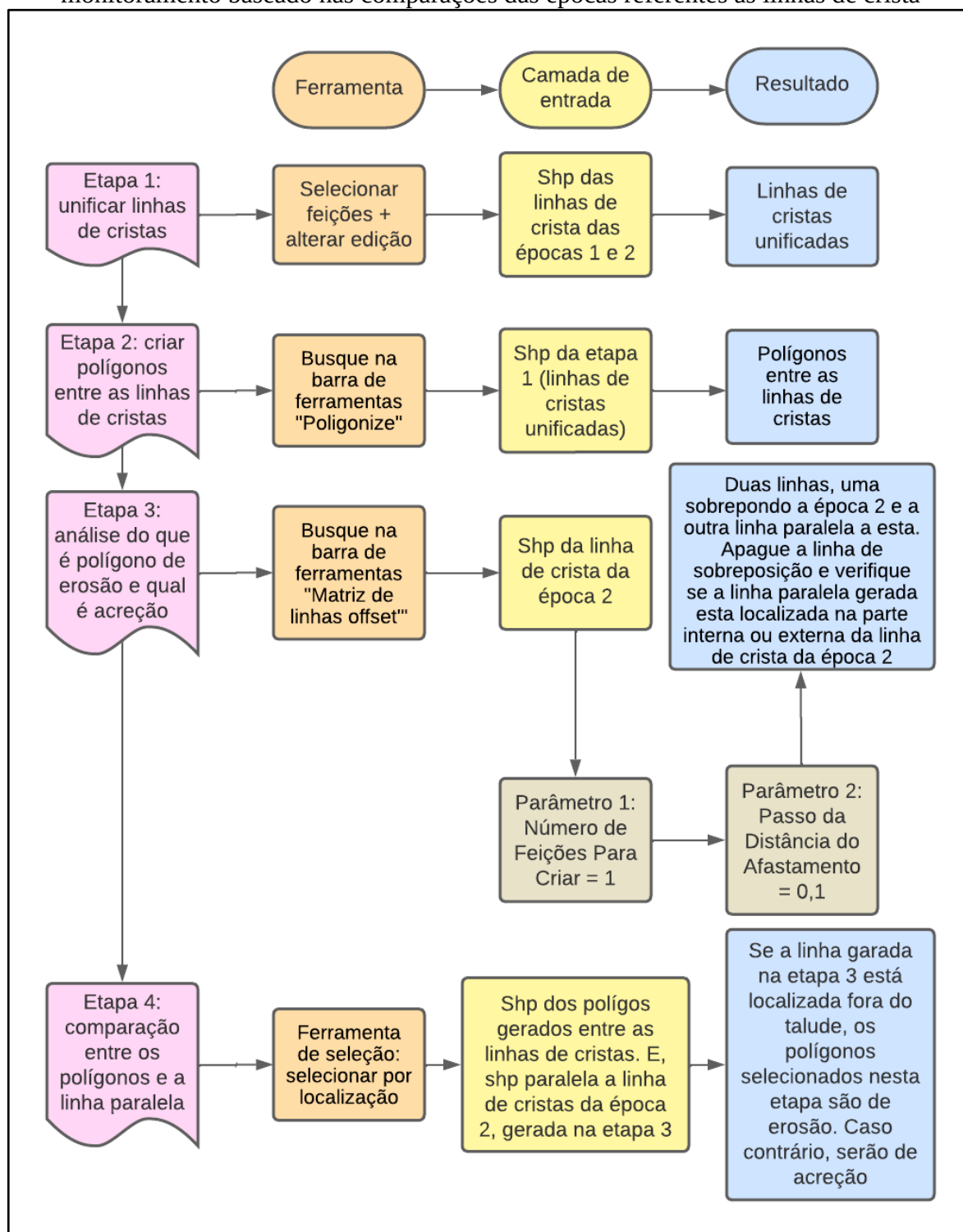
Monitoramentos	Data	GNSS - pontos	Drone
		Linha de crista	Linha de crista
1M	04/06/2022	X	X
2M	03/10/2022	***	X
3M	07/03/2023	***	X
4M	06/06/2023	X	***

Elaborado pelo autor (2023).

Os procedimentos adotados na comparação temporal dos dados dos monitoramentos realizados foram executados utilizando o software QGIS na versão 3.22.15. Nele foi possível realizar a identificação e a quantificação em m^2 das áreas que sofreram erosão ou acreção. A Figura 67 apresenta os procedimentos adotados para a realização desta comparação temporal.

Como observado no fluxograma da etapa 3, Figura 67, cabe uma análise depois da geração da linha através da ferramenta “matriz de linha offset” de forma que, se a linha paralela gerada nesta etapa estivesse posicionada fora do talude, os polígonos selecionados na etapa 4 seriam de erosão. Agora, se a linha paralela gerada estivesse posicionada no barranco, ou seja, após alinhada de crista, os polígonos selecionados na etapa 4 seriam de acreção (Quadro 15). Ressalta-se que os polígonos que não foram selecionados na etapa 4 foram de classe oposta aos dos polígonos selecionados, isto é, se os polígonos selecionados de acordo com a análise proposta foram de erosão, os não selecionados foram de acreção e vice-versa (Figura 68).

Figura 67: Fluxograma representando os procedimentos executados no software QGIS para o monitoramento baseado nas comparações das épocas referentes às linhas de crista



Elaborado pelo autor (2023).

Quadro 15: Resultado de cada análise realizada nas comparações

Comparações dos monitoramentos	A linha paralela foi gerada (etapa 3 - fluxograma)	Polígono selecionado (etapa 4 - fluxograma)	Polígono não selecionado
M1 e M2 - drone	Fora do talude	Erosão	Acreção
M2 e M3 - drone	Fora do talude	Erosão	Acreção
M1 e M4 - GNSS	Dentro do talude	Acreção	Erosão

Elaborado pelo autor (2023).

Figura 68: Linhas de crista e a sua paralela para análise dos polígonos selecionados. Neste caso a linha amarela é de crista e a vermelha é a sua paralela, então, os polígonos selecionados são de erosão (comparação M2 e M3 – drone).



Elaborado pelo autor (2023).

Depois disso, no próprio software QGIS, realizaram-se os cálculos das áreas em m^2 para cada comparação dos monitoramentos, tanto para acreção quanto para erosão. Por fim, estas informações foram passadas para uma planilha Excel e comparadas quanto à área em m^2 , do material erodido ou acrescido nos respectivos monitoramentos.

Capítulo 4 - Resultados



4. RESULTADOS

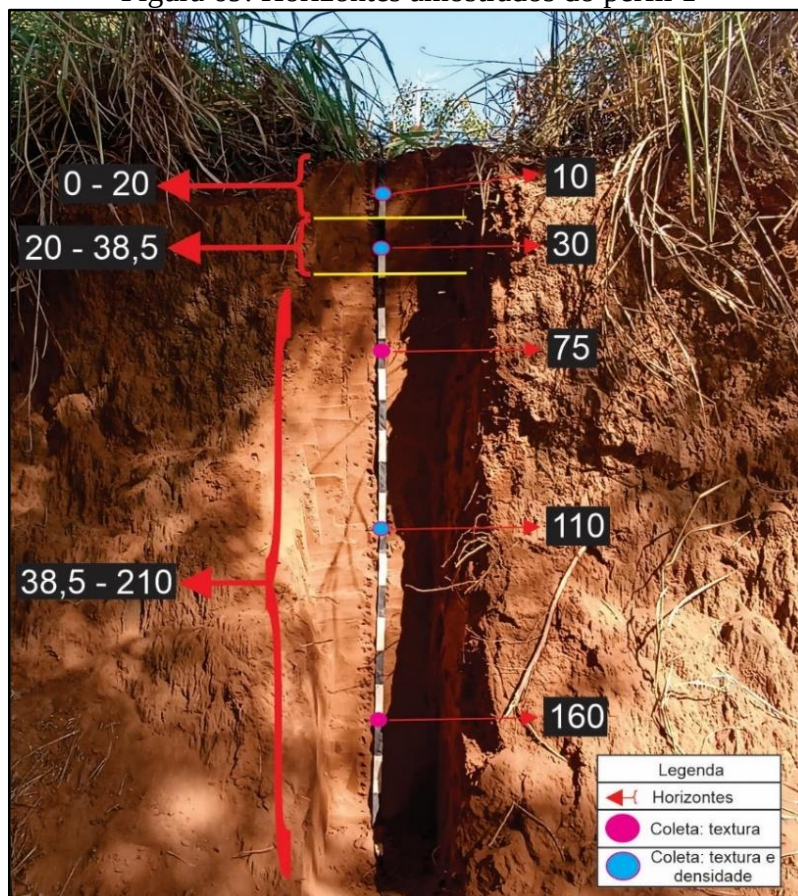
4. 1 Características físicas do recorte espacial estudado

4.1.1 Análise morfológica

Neste estudo foram analisados dois perfis de solos, um na cabeceira da erosão e outro na porção média. Estes localizavam-se em uma ravina de aproximadamente 130 metros de extensão, onde não foi possível identificar o afloramento do lençol freático e assim, de acordo com DAEE (1990), a incisão não configura uma voçoroca.

Para o perfil 1 localizado na cabeceira da erosão, inicialmente efetuou-se a limpeza do barranco, definiram-se os horizontes a partir do tato e da visão, em seguida, coletaram-se as amostras. Este primeiro perfil apresentou os seguintes horizontes com relação às profundidades em centímetros: 0 – 20 (Ap); 20 – 38,5 (Bw1) e 38,5 – 210 (Bw2). As coletas das amostras foram realizadas exatamente nas seguintes profundidades em centímetros: 10, 30, 75, 110 e 160 (Figura 69). Destaca-se que a separação dos horizontes foi feita respeitando os critérios de alteração da cor e da textura.

Figura 69: Horizontes amostrados do perfil 1



Elaborado pelo autor (2022).

As transições entre os horizontes foram classificadas como graduais por não apresentarem diferenças significativas com relação à cor e à textura, o que é típico de um perfil de solo do tipo Latossolo Vermelho. Uma outra característica muito comum neste tipo de solo é que o perfil 1 atingiu 210 cm de profundidade e não foi encontrado o material de origem (rocha) naquela porção do relevo. Esta segunda característica pode ser explicada pelo fato de que os Latossolos tendem a ser mais antigos e, desta forma, são mais desenvolvidos o que faz com que estes apresentem camadas mais espessas. Porém, ressalta-se que mesmo que este solo tenha se mostrado desenvolvido naquele recorte espacial, não se identificou a presença da camada O (essa camada significa a riqueza em matéria orgânica), o que é comum acontecer isso na região dado o uso da terra predominante.

No primeiro horizonte do perfil 1, evidenciou-se uma boa porção de raízes derivadas dos componentes vegetais que o recobriam, como as gramíneas e algumas espécies arbóreas isoladas. Este primeiro horizonte superficial de 0 – 20 cm enquadrou-se como Ap, sendo sequenciado pelo Bw1 na profundidade de 20 – 38,5 cm e Bw2 na profundidade de 38,5 – 210 cm.

Quanto à estrutura, o horizonte Ap foi classificado como grumoso, conforme o Quadro 16. Este tipo de estrutura apresenta-se com as mesmas dimensões de partículas, obtendo a forma de grânulos arredondados, sendo característicos dos horizontes superficiais (A1 e Ap), onde se tem maior teor de matéria orgânica e material coloidal, diferenciando-se do tipo granular, que apresenta a característica de ter menos poros quando comparado com o tipo grumoso. A presença da gramínea dá origem a esse formato de arredondamento das partículas, isso devido à ação de suas raízes.

Os demais horizontes desse perfil apresentaram-se com estruturas que foram classificadas como blocos subangulares, apresentando suas partículas de tamanho médio e com grau de desenvolvimento fraco.

Em relação à porosidade deste perfil, identificou-se em todos os horizontes a presença de muitos poros, o que configura uma alta permeabilidade neste tipo de solo. Com relação à cerosidade, não foi evidenciada em nenhum dos horizontes, e relaciona-se este fato ao pequeno conteúdo de argila nas camadas.

Quanto à consistência das amostras, os horizontes foram classificados como: solta, macia, ligeiramente dura, macia e macia, partindo da superfície até a maior profundidade.

Quadro 16: Resultado das análises morfológicas em campo do perfil 1

Perfil 1					
Horizontes	0 - 20	20 – 38,5	38,5 - 210		
Profundidades	10	30	75	110	160
Cor:	10 R 3/4	7.5 YR 3/3	10 R 3/4	10 R 3/4	10 R 3/4
matiz, valor e croma					
Textura:	Areia-franca	Franco-arenosa	Franco-argilo-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa
arenosa, siltosa, argilosa					
Estrutura:	Grumoso, pequeno, com grau de desenvolvimento fraco	blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento fraco	blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento fraco	blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento fraco	blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento fraco
Forma, tamanho, grau de desenvolvimento					
Porosidade:	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros
Tamanho, quantidade					
Cerosidade:	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade
Grau de desenvolvimento, quantidade					
Consistência:	solta, muito friável, não plástica, não pegajosa	macia, friável, plástica, ligeiramente pegajosa	ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa
tenacidade, friabilidade, plasticidade, pegajosidade					

Elaborado pelo autor (2022).

Com a amostra úmida, analisa-se o critério de friabilidade, obtendo-se: muito friável, friável, friável, muito friável e muito friável, respectivamente à profundidade da amostragem, não havendo variações texturais significativas entre os horizontes.

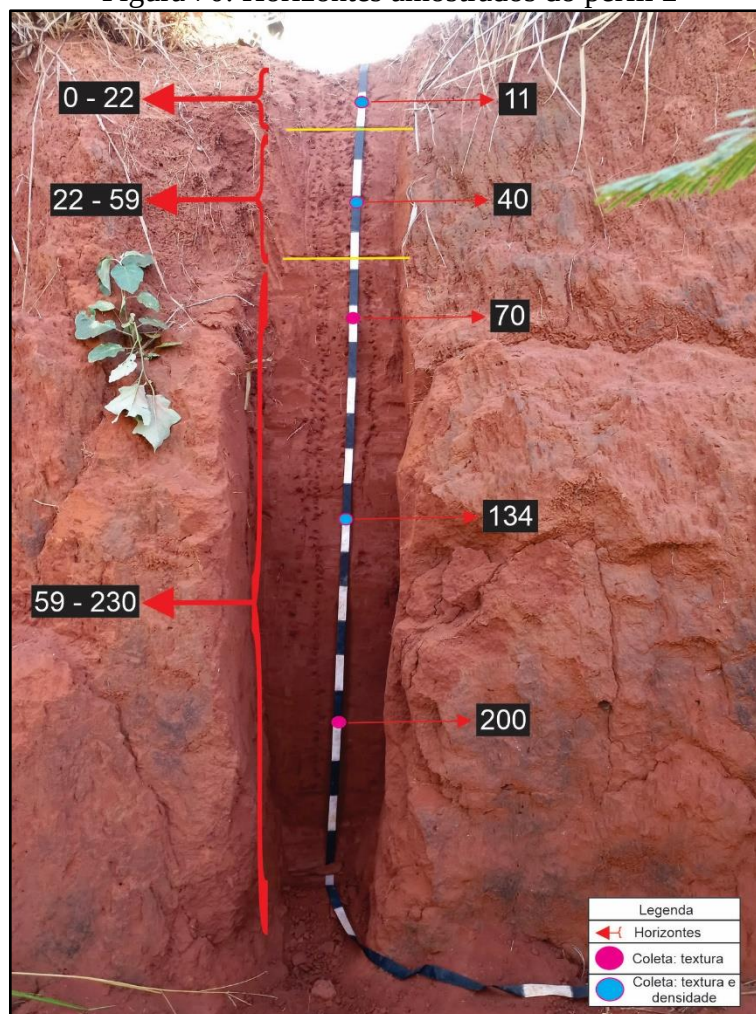
O critério de plasticidade foi analisado com as amostras molhadas, as quais apresentaram os seguintes resultados, respectivamente à profundidade: não plástica, plástica, ligeiramente plástica, ligeiramente plástica e ligeiramente plástica, o que está dentro do esperado, visto que solos com texturas mais arenosas apresentam menores capacidades de serem moldados.

A pegajosidade também foi avaliada com o solo molhado e assim como os demais resultados, esteve dentro do esperado, pois quanto maior o teor de areia nas amostras, menos pegajoso o solo será.

De modo geral, pode-se dizer que a consistência das amostras seguiu um padrão que esteve de acordo com a textura, uma vez que, quanto menor a quantidade de areia da amostra, menos consistente ela será e, quanto maior a quantidade de argila da amostra, mais plástico e pegajoso o solo será.

O perfil 2 (Figura 70) localiza-se na porção média da erosão. Este segundo perfil apresentou os seguintes horizontes com relação à profundidade em centímetros: 0 – 22 (Ap), 22 – 59 (Bw1) e 59 – 230 (Bw2). As amostras foram extraídas nas profundidades de: 11, 40, 70, 134 e 200 cm. Assim como no perfil 1, efetuou-se a limpeza do barranco e depois para a separação dos horizontes, respeitou-se os critérios de alteração da cor e da textura.

Figura 70: Horizontes amostrados do perfil 2



Elaborado pelo autor (2022).

Como é notável, o perfil 2 apresenta características físicas muito semelhantes às do perfil 1, alterando alguns itens pontuais. Desta forma, destacam-se apenas os aspectos que se diferenciaram do perfil 1 quanto à sua composição morfológica.

Como observado no Quadro 17, nota-se que os únicos aspectos que se alteraram quando comparado ao perfil 1 foram a cor e a consistência. Com relação à mudança na classificação da cor, faz-se necessário pontuar que as alterações não foram significativas, mantendo-se próximas das tonalidades classificadas do perfil 1.

Quadro 17: Resultado das análises morfológicas em campo do perfil 2.

Perfil 2					
Horizontes	0 - 22	22 - 59	59 - 230		
Profundidades	11	40	70	134	200
Cor:	10 R 3/3	10 R 3/4	10 R 3/6	10 R 3/4	10 R 3/4
matiz, valor e croma					
Textura:	Areia-franca	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Areia-franca
arenosa, siltosa, argilosa					
Estrutura:	Grumoso, pequeno, com grau de desenvolvimento o fraco	Blocos subangulares, pequeno, com grau de desenvolvimento o fraco	Blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento o fraco	Blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento o fraco	Blocos subangulares, médio, com grau de desenvolvimento o fraco
Forma, tamanho, grau de desenvolvimento					
Porosidade:	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros	Grandes, muitos poros
Tamanho, quantidade					
Cerosidade:	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade	Sem, não há cerosidade
Grau de desenvolvimento, quantidade					
Consistência:	Solta, muito friável, não plástica, não pegajosa	Macia, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	Macia, friável, plástica, ligeiramente pegajosa
tenacidade, friabilidade, plasticidade, pegajosidade					

Elaborado pelo autor (2022).

Com relação à consistência, os horizontes que apresentaram divergência quando comparados com o perfil 1, foram os de profundidades: 11, 40, 70, 134 e 200 (cm). No horizonte 20 – 40 cm, identificou-se a alteração na friabilidade. A camada do perfil 1 que se assemelha no aspecto profundidade do perfil 2 foi classificada como friável, já no perfil 2 foi classificada como muito friável. As outras duas amostras que tiveram divergências, foram as que se localizam nos horizontes mais profundos, sendo as amostras de profundidade de 70 – 134 cm e 134 – 200 cm. A primeira diferenciou-se quanto à tenacidade, sendo esta classificada como macia no perfil 1 e como ligeiramente dura no perfil 2. Já a segunda e última amostra que apresentou diferença, foi quanto à friabilidade e à plasticidade, sendo que no perfil 1 foram classificadas como muito friável e ligeiramente plástica e, no perfil 2, identificaram-se as características de friável e ligeiramente dura, respectivamente.

As características morfológicas apontadas em ambos os perfis amostrais assemelham-se ao solo caracterizado na área, sendo típico de Latossolos Vermelhos apresentar aspectos de homogeneidade e isso pode ser facilmente evidenciado tanto com as análises individuais dos perfis, como quando comparando ambos.

4.1.2 Análise granulométrica e textural

Entender a textura do solo em estudos relacionados à erosão hídrica linear é de caráter fundamental, pois este aspecto pode ser um fator condicionante para formação das ravinas e voçorocas.

No geral, no perfil 1 foi descartada apenas uma amostra dentre todas as triplicatas estudadas, sendo a coleta na profundidade de 110 cm. Já no perfil 2, descartaram-se três amostras, a profundidade 11, 134 e 200 (cm).

Na Tabela 8 são apresentados os resultados das análises de textura do perfil 1, divididos em argila, areia e silte, contendo seu resultado em grama por quilograma.

Tabela 8: Resultados laboratoriais da análise de textura do perfil 1.

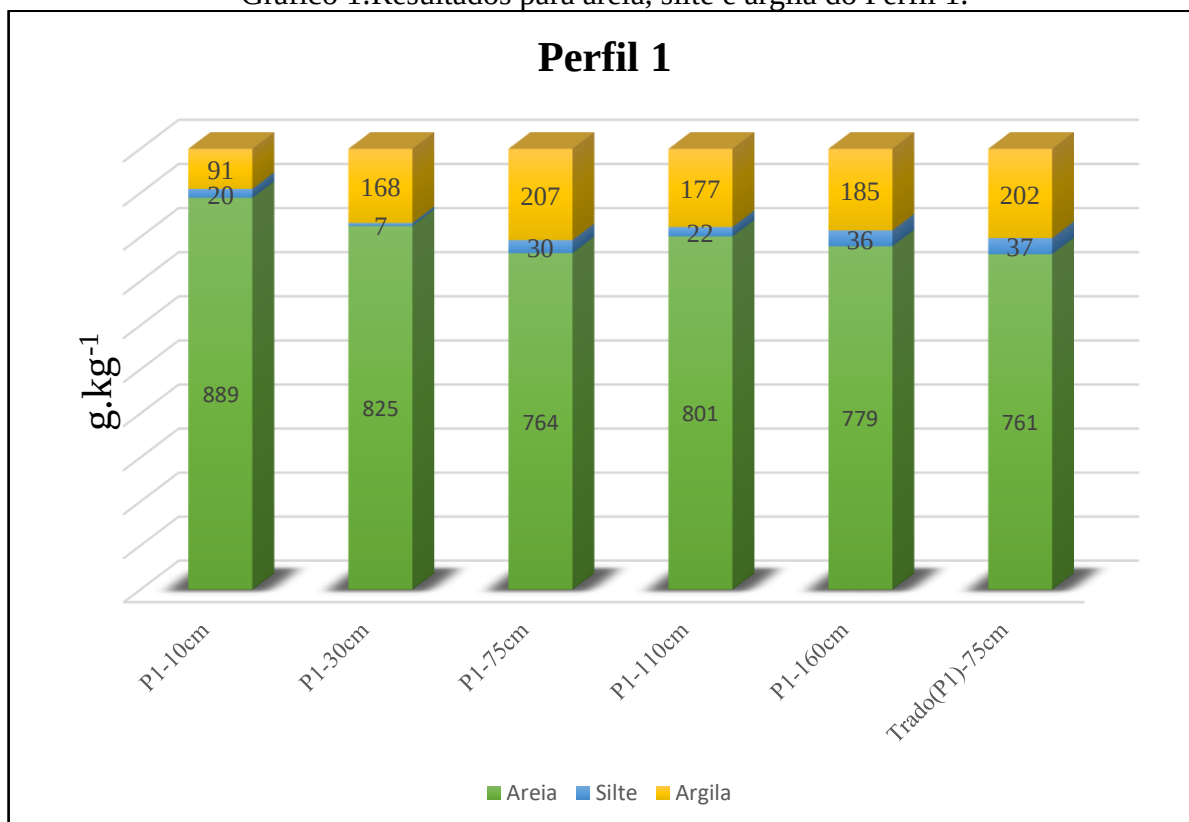
Perfil 1			
Profundidade da coleta (cm)	Argila	Areia	Silte
***	g.kg⁻¹	g.kg⁻¹	g.kg⁻¹
10	91	889	20
30	168	825	7
75	207	764	30
110	177	801	22
160	185	779	36
Trado – 75	202	761	37

Elaborado pelo autor (2022).

No perfil 1 (Gráfico 1) as amostras que apresentaram o maior teor de areia foram nas profundidades de 10 cm e 30 cm, sendo estas componentes dos horizontes superficiais do perfil estudado. A amostra da profundidade de 10 cm apresentou-se como areia-franca e a amostra de profundidade de 30 cm possui textura franco-arenosa, porém, muito próxima de ser areia-franca como identificado pelo diagrama textural (Figura 71).

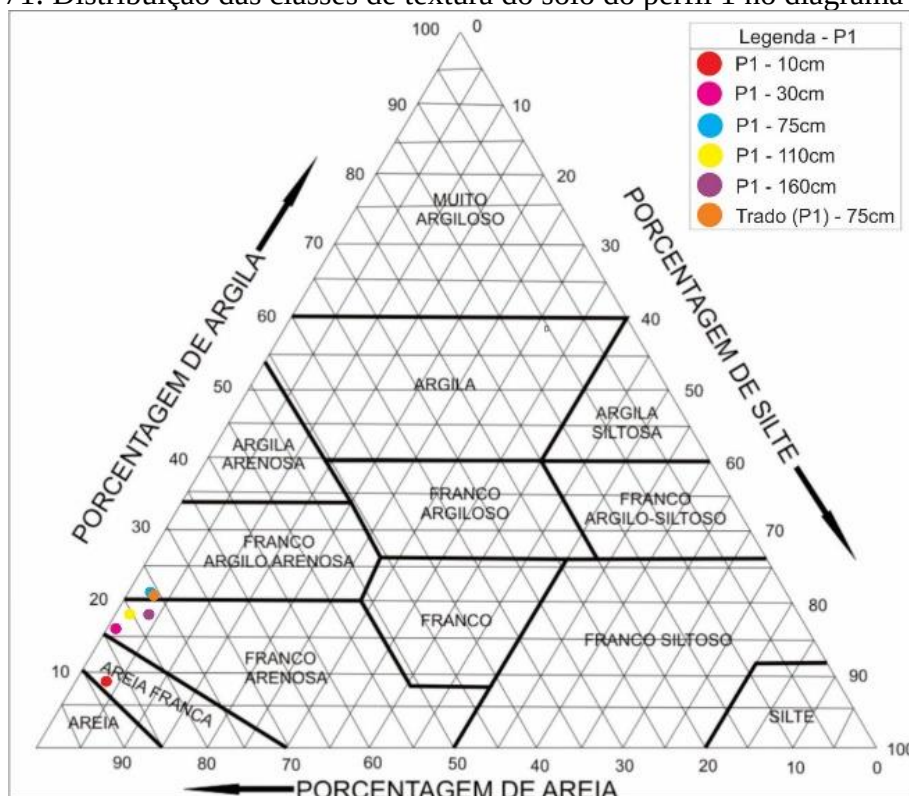
No que tange à amostra coletada com o trado no ponto onde foi realizado o ensaio de permeabilidade 1, próximo ao perfil 1, nota-se que esta contém porcentagens similares às da amostra retirada na mesma profundidade do perfil 1 a 75 cm, pois estão em profundidades iguais (Gráfico 1). Pode-se dizer também que ambas as amostras, tanto a do perfil 1 - 75 cm como a do trado (Trado (P1)-75cm), foram as que apresentaram um maior teor de argila, enquadrando-se no Diagrama das Classes Texturais (Figura 71), como franco argiloarenosa. Já nas profundidades de 110 cm e 160 cm as amostras enquadraram-se como franco-arenosas.

Gráfico 1: Resultados para areia, silte e argila do Perfil 1.



Diante dos resultados das análises texturais do perfil 1, identifica-se a susceptibilidade dos solos à erosão hídrica linear no ponto, pois os usos atribuídos a este solo, decorrentes da ocupação histórica e da exploração econômica que influenciaram na retirada da cobertura vegetal que, quando somado às características naturais de textura do solo, facilitam a desagregação e o arraste de partículas formando o primeiro estágio do processo erosivo, os sulcos. Entretanto, o gradiente textural da fração argila é muito pequeno no perfil.

Figura 71: Distribuição das classes de textura do solo do perfil 1 no diagrama textural



Fonte: United States Department of Agriculture (U.S.D.A, 1951), organizado pelo autor (2022).

A Tabela 9 apresenta os resultados das análises de textura do perfil 2, separados por argila, areia e silte, contendo seus resultados em grama por quilograma.

Tabela 9: Resultados laboratoriais da análise de textura do perfil 2.

Perfil 2			
Profundidade da coleta (cm)	Argila	Areia	Silte
***	g.kg⁻¹	g.kg⁻¹	g.kg⁻¹
P2-11cm	93	870	37
P2-40cm	167	789	44
P2-70cm	172	780	48
P2-134cm	189	759	52
P2-200cm	126	823	51
Trado(P2)-75cm	157	778	65

Elaborado pelo autor (2022).

No perfil 2 (Tabela 9 e Gráfico 2 pg. 136), as amostras mais arenosas são as de profundidade de 11 cm e de 200 cm apresentando-se no diagrama textural como areia franca (Figura 73). A amostra entre a profundidade de 0 – 11 cm apresenta-se com características condizentes, tendo em vista as fortes evidências de antropização, transformando as suas características originais através da exploração econômica que historicamente foram reproduzidas naquela região. Já a alta concentração de areia na amostra entre a profundidade 134 – 200 cm, está relacionada à proximidade com o material parental, neste caso, as rochas

sedimentares da Formação Rio Paraná (Grupo Caiuá) (Figura 72). Além disso, a profundidade do perfil 2 foi maior do que o perfil 1, posicionando-se à jusante do perfil 1, ou seja, em uma menor altitude, na porção média da erosão hídrica linear.

Figura 72: Face do talude à jusante da área estudada. A linha branca representa o encontro entre a camada de rocha sedimentar da Formação Rio Paraná (Grupo Caiuá) com o Latossolo Vermelho.

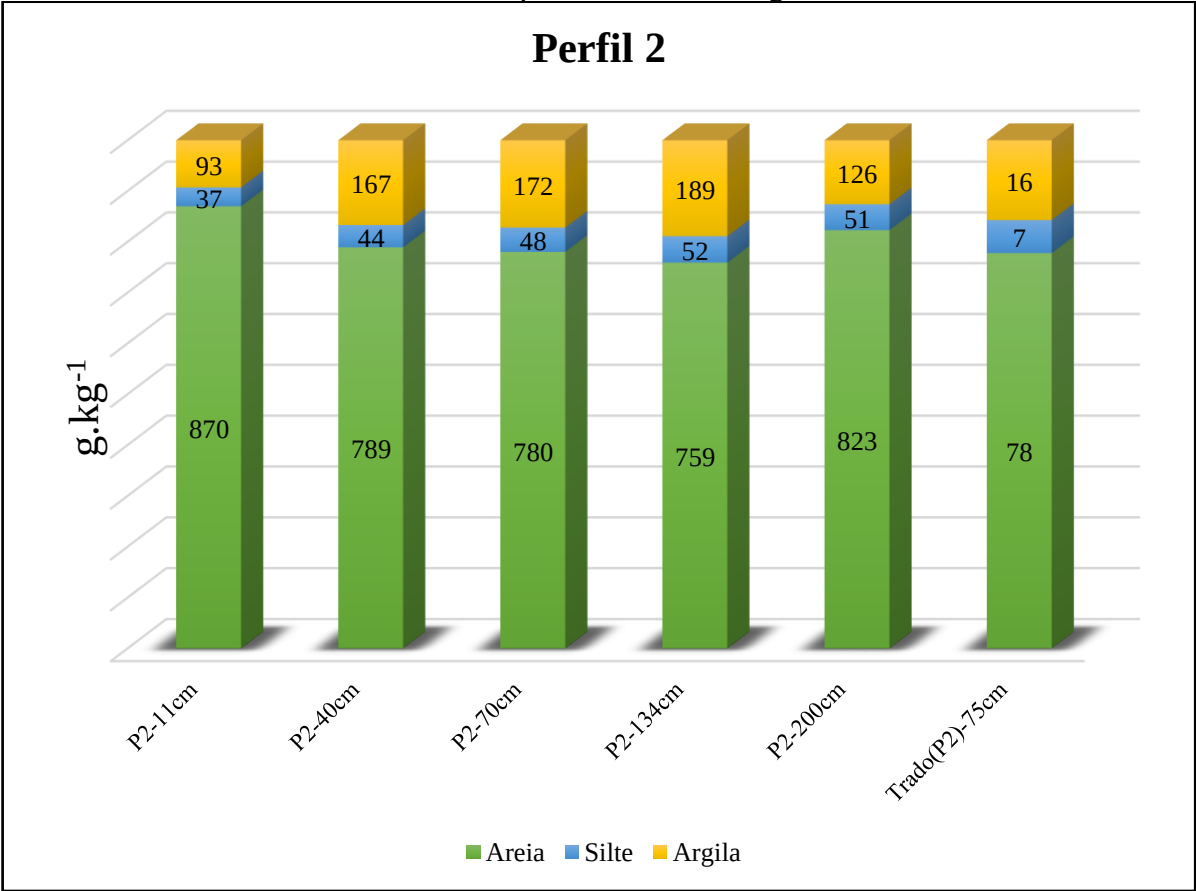


Foto do autor (2022).

Quando comparada a amostra coletada através do trado próximo ao perfil 2, no ponto de ensaio de permeabilidade 2 (Tabela 9 e Gráfico 2), com a amostra do perfil 2 na profundidade de 40 - 70 cm (P2-70cm), verifica-se que as quantidades de areia se assemelham, podendo-se dizer que as características coincidem pois ambas as amostras foram retiradas de uma mesma profundidade, estando os dois pontos de coleta a uma distância de apenas 2 m.

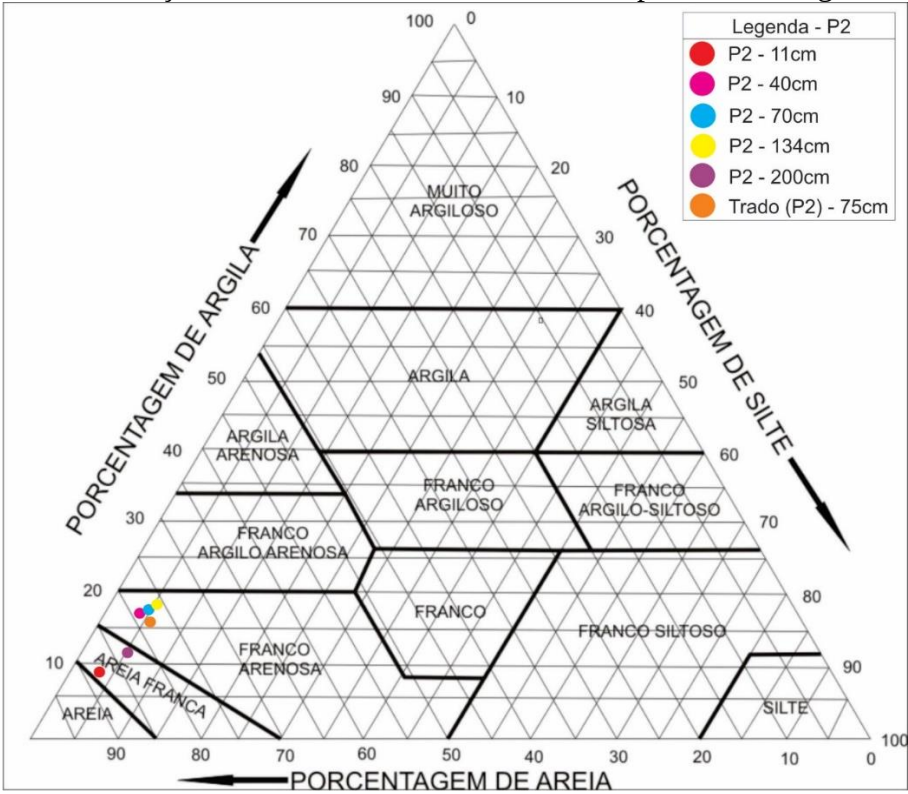
As amostras restantes, localizadas nas profundidades do perfil 2 de 40 cm, 70 cm e 134 cm, apresentaram-se como franco arenosa, conforme apresentado no diagrama textural do perfil 2 (Figura 73).

Gráfico 2: Resultados para areia, silte e argila do Perfil 2.



Elaborado pelo autor (2023).

Figura 73: Distribuição das classes de textura do solo do perfil 2 no diagrama textural



Fonte: United States Department of Agriculture (U.S.D.A, 1951), organizado pelo autor (2022).

Diante dos resultados texturais do solo, pode-se dizer que, assim como o perfil 1, o perfil 2 apresenta alta suscetibilidade à erosão hídrica linear. A ocupação da terra e as características texturais do solo podem vir a influenciar na formação e expansão do processo erosivo. Destaca-se a organização dos horizontes quanto à textura, em que o horizonte 1 apresenta o maior teor de areia e nos horizontes intermediários deste perfil observa-se uma maior concentração de argila, porém, o conteúdo de areia ainda é muito alto (no mínimo 759 g.kg^{-1}). Com isso, o material superficial permite uma maior infiltração e desagregação de suas partículas, quando comparado com os horizontes intermediários, que apresentam uma permeabilidade dificultada. O fato de o solo estar desprovido de cobertura vegetal somado a esta característica organizacional dos horizontes de solo com relação às suas classes texturais, podem facilitar o arraste de partículas após um evento de precipitação.

No geral, as amostras de ambos os perfis variaram dentre três classes: areia-franca, franca arenosa e franco-argilo-arenosa, conforme os diagramas de classes texturais apresentados nas Figura 71 e Figura 73. Com relação às porcentagens totais entre os perfis 1 e 2 pertencentes a cada classe, teve-se 16,67% de franco-argilo-arenosa, 25% de areia franca e 58,33% de franca arenosa.

Por fim, pode-se destacar que o solo da área estudada apresenta-se, no geral, com características texturais média e arenosa, sendo permeáveis e apresentando boa drenagem dentro do perfil, contudo, expressam baixa capacidade de retenção de umidade e influência em uma baixa capacidade de troca catiônica (CTC), tendendo a apresentar índices de potencial Hidrogeniônico (pH) abaixo do adequado para o desenvolvimento da maior parte das culturas, sendo também, mais susceptíveis à erosão hídrica e à lixiviação. Além de tudo, é comum conter nos horizontes superficiais maior fração de areia justamente por perderem as frações menores por eluviação para as profundidades maiores.

4.1.3 Densidade do solo

Os resultados obtidos para densidade do solo nos perfis amostrais analisados encontram-se na Tabela 10. Diferente das análises morfológicas e texturais, em que foram coletadas uma amostra no horizonte superficial, uma amostra no horizonte intermediário e três amostras no horizonte subsuperficial, para densidade, coletou-se apenas uma amostra em cada horizonte.

Tabela 10: Densidade do solo dos horizontes amostrados		
Perfil	Profundidade	Densidade (g/cm ³)
Perfil 1	10	1,79
	30	1,70
	110	1,82
Perfil 2	11	1,87
	40	1,90
	134	1,83

Elaborado pelo autor (2023).

No perfil 1, o horizonte superficial está compactado, apresentando maior densidade que a 30 cm de profundidade, mesmo tendo, possivelmente, maior conteúdo de matéria orgânica. Todavia, o mesmo não acontece para o perfil 2, onde no horizonte intermediário pode ser encontrado o maior valor de densidade quando comparado com as outras duas outras amostragens realizadas no perfil 2.

De maneira geral, os horizontes amostrais apresentaram-se dentro dos limites para solo predominantemente mineral que contém uma boa presença da fração de areia. Quando comparado com os dados obtidos de textura e porosidade (analisados em campo) somada aos dados de densidade, infere-se que ambos os perfis apresentam boas condições de condutividade hidráulica, boa drenagem e permeabilidade ao ar e à água.

Os valores para densidade obtidos nos horizontes dos perfis amostrais revelam uma densidade consideravelmente alta, principalmente quando comparado com as amplitudes de variação de densidade de solo proposta por Mazza (2016), em que o autor sugere o intervalo para solos arenosos de 1,25 - 1,40 g/cm³ para solos não compactados.

Por fim, pode-se dizer que os resultados de densidade vão de encontro com os resultados texturais da análise laboratorial granulométrica sendo classificados como solo arenoso, uma vez que solos arenosos tendem a serem mais densos.

4.1.4 Permeabilidade

A permeabilidade do solo é um dos fatores considerados fundamentais quando discutida a questão de susceptibilidade dos solos à erosão hídrica, da mesma forma que a disponibilidade de retenção de nutrientes, capacidade de retenção de água, aeração, infiltração e drenagem (Ferraz *et al.*, 2008).

Os resultados obtidos em campo ao realizar o ensaio de permeabilidade são apresentados na Tabela 11 para o primeiro ensaio (perfil 1), e na Tabela 12 para o segundo ensaio (perfil 2). Como pode-se observar, em ambos os casos a infiltração estabilizou-se muito rápido.

Tabela 11: Resultados obtidos no ponto 1 - cabeceira da ravina.

Amostra 1 – Carga Hidráulica de 5 cm						
Nº da leitura	Tempo (min)	Intervalo de Tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação de nível de água (cm)	Taxa de queda (cm/min)	Taxa de queda (10^{-2} cm/s)
1	0	-	4	-	-	-
2	2	2	15,50	11,50	5,75	9,58
3	4	2	25	9,50	4,75	7,92
4	6	2	33	8	4	6,67
5	8	2	41	8	4	6,67
6	10	2	49	8	4	6,67
7	12	2	57	8	4	6,67
Amostra 1 - Carga Hidráulica de 10 cm						
Nº da leitura	Tempo (min)	Intervalo de Tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação de nível de água (cm)	Taxa de queda (cm/min)	Taxa de queda (10^{-2} cm/s)
1	0	-	7	-	-	-
2	2	2	18,50	11,50	5,75	9,58
3	4	2	28,50	10	5	8,33
4	6	2	38	9,50	4,75	7,92
5	8	2	47,50	9,50	4,75	7,92
6	10	2	57	9,50	4,75	7,92

Elaborado pelo autor (2023).

Quanto aos coeficientes de permeabilidade, para o ponto 1 foi obtido o valor de $K_{fs} = 3,65 \cdot 10^{-3}$ e para o ponto 2 $K_{fs} = 3,27 \cdot 10^{-3}$. Em ambos os casos se apresentam com uma permeabilidade “rápida”.

Tabela 12: Resultados obtidos no ponto 2 - trecho médio da ravina

Amostra 2 - Carga Hidráulica de 5 cm						
Nº da leitura	Tempo (min)	Intervalo de Tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação de nível de água (cm)	Taxa de queda (cm/min)	Taxa de queda (10^{-2} *cm/s)
1	0	-	1	-	-	-
2	2	2	6,50	5,50	2,75	4,58
3	4	2	12	5,50	2,75	4,58
4	6	2	17,50	5,50	2,75	4,58
5	8	2	23	5,50	2,75	4,58
Amostra 2 - Carga Hidráulica de 10 cm						
Nº da leitura	Tempo (min)	Intervalo de Tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação de nível de água (cm)	Taxa de queda (cm/min)	Taxa de queda (10^{-2} *cm/s)
1	0	-	9	-	-	-
2	2	2	21	12	6	10
3	4	2	31,50	10,50	5,25	8,75
4	6	2	41	9,50	4,75	7,92
5	8	2	50,50	9,50	4,75	7,92
6	10	2	60	9,50	4,75	7,92

Elaborado pelo autor (2023).

De acordo com o Quadro 18 elaborado por Cruz (1996), são estabelecidos os coeficientes de permeabilidade típicos de cada tipo de solo, em que o solo da área estudada se enquadra no valor de $>10^{-3}$, concretizando-se como um solo de “alta” permeabilidade.

Quadro 18: Valores típicos do coeficiente de permeabilidade.

PERMEABILIDADE		TIPO DE SOLO	K (cm/s)
SOLOS PERMEÁVEIS	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	Siltes e Argilas	10^{-5} a 10^{-7}
SOLOS IMPERMEÁVEIS	Muito baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Fonte: Cruz (1996).

4.2 Análise química do solo

No Quadro 19 são apresentadas as classificações utilizadas para a interpretação dos atributos químicos do solo. Para as padronizações dos intervalos, realizou-se a conversão de alguns dados, uniformizando as unidades de medida.

Quadro 19: Classes de interpretação dos resultados referentes à análise química do solo

Item	Valores utilizados para interpretar resultados de análise de solo			Legenda expandida	Referência utilizada
	Baixo	Médio	Alto		
pH (CaCl ₂)	< 5	5 - 6	> 6	pH da solução do solo, determinado em solução de cloreto de cálcio.	Sobral <i>et al.</i> (2015).
MO (g.dm ⁻³)	< 15	15 - 30	> 30	Matéria orgânica e carbono orgânico. Oxidação via úmida por solução sulfocrômica e determinação por colorimetria.	Sobral <i>et al.</i> (2015).
CO (g.dm ⁻³)	< 4,1	4,1 - 40,6	> 40,6		Alvarez <i>et al.</i> (1999).
P (mg.dm ⁻³)	< 20	20 - 40	> 40	Fósforo disponível, P(res): extração por resina de troca iônica.	Coelho <i>et al.</i> (2021).
K ⁺ (mmol _c .dm ⁻³)	< 0,77	0,77 - 1,54	> 1,54	Potássio, cálcio e magnésio trocáveis, extração por resina de troca iônica e determinação por espectroscopia.	Sobral <i>et al.</i> (2015).
Ca ²⁺ (mmol _c .dm ⁻³)	< 16	16 - 30	> 30		
Mg ²⁺ (mmol _c .dm ⁻³)	< 4	4 - 10	> 10		
Al ³⁺ (mmol _c .dm ⁻³)	< 5	5 - 10	> 10	Alumínio trocável do solo, extração por solução de cloreto de potássio e determinação por titulometria.	Sobral <i>et al.</i> (2015).
SB (mmol _c .dm ⁻³)	< 6,1	6,1 - 60	> 60	Soma de bases (K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺).	
CTC (mmol _c .dm ⁻³)	< 20	20 - 40	> 40	Capacidade de troca de cátions (K ²⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺ + H+Al ³⁺) – (CTC Total).	
V (%)	< 50	50 - 70	> 70	Saturação por bases do solo (relação SB/CTC).	
m (%)	< 30	30 - 50	> 50	Saturação por alumínio (relação Al ³⁺ /(SB+Al ³⁺)).	

Elaborado pelo autor (2024).

Na Tabela 13, são apresentados os valores obtidos para o pH, matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). Além disso, classificaram-se os valores dos resultados de cada

componente químico para a profundidade de 0 – 40 cm dos perfis 1 e 2 de acordo com o Quadro 19, dividindo-os em três classes, sendo elas: baixo, médio e alto.

Tabela 13: Resultados da análise química para o perfil 1 e perfil 2.

Resultado da análise química - Perfil 1											
pH	MO	CO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V	m
CaCl ₂	g.dm ⁻³		mg.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³						%	
4,3	12,2	7,1	1,8	0,7	3	2	6,1	5,7	36,1	15,8	51,7
Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Baixo	Alto
Resultado da análise química - Perfil 2											
pH	MO	CO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V	m
CaCl ₂	g.dm ⁻³		mg.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³						%	
4,3	9,5	5,5	6,6	0,8	4	2	7	6,8	37,9	17,9	50,7
Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Baixo	Alto

Elaborado pelo autor (2024).

Observa-se que os valores de pH para o perfil 1 e perfil 2 coincidiram, sendo que em ambos os casos obtiveram valor abaixo do valor médio esperado para solo, classificando este solo como pH baixo. O pH está relacionado a acidez ativa do solo que nada mais é do que a concentração de hidrogênio, variando na escala de 0 a 14. Valores de pH entre 2 e 3 indicam a presença de ácidos livres oriundos da pirita que, ao oxidar, passa para ácido sulfúrico (H₂SO₄). Quando o valor de pH se situa entre 4 e 5, indica a presença de alumínio trocável, por outro lado, quando o valor de pH está por volta de 5,2 a 5,3, o alumínio trocável está quase todo insolubilizado, não oferecendo danos as raízes (Sobral *et al.*, 2015).

Valores de pH entre 7 e 8 indicam solos calcários e, quando o pH está próximo de 9, significa a presença de sódio (Sobral *et al.*, 2015). Como neste caso o solo apresenta o valor de 4,3 de pH para ambos os perfis, indica que eles têm a presença de alumínio trocável. Isso significa que se esse solo fosse destinado ao plantio necessitaria de uma calagem, para diminuir a acidez e aumentar o pH do solo.

Os valores de matéria orgânica (MO) tanto para o perfil 1 quanto para o perfil 2, classificaram com valores “baixo”. Isso é preocupante, pois a MO é fundamental na manutenção do solo, para os aspectos químicos e físicos do solo, como na estrutura e estabilidade do solo, retenção de água, biodiversidade e como fonte de nutrientes para as plantas.

O carbono orgânico (CO) compõe 58% da MO dos solos. Ressalta-se que os solos apresentam CO estocado por volta de duas vezes superior ao da atmosfera e três vezes superior

ao presente na vegetação (Kreling *et al.*, 2019). Diante disso, os valores para CO encontrados no perfil 1 e perfil 2, classificaram-se como “médios”.

Os solos brasileiros, no geral, apresentam característica de serem em sua maioria ácidos (principalmente os solos da vegetação do Cerrado), com baixas concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e de magnésio (Mg^{2+}), apresentando, por outro lado, valores elevados de alumínio trocável (Al^{3+}) e baixa disponibilidade de fósforo (P) do solo (Coelho *et al.*, 2021). O que vai de encontro com os resultados para pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e P, uma vez que todos os elementos classificaram-se como “baixo” com exceção do Al^{3+} , que se classificou como “médio”.

Altos valores para potássio (K^+) indicam presença de minerais primários e pouco intemperismo (comum nas regiões mais secas), por outro lado, teores baixos de K^+ indicam solos mais intemperizados (Sobral *et al.*, 2015). Neste sentido, identificou-se que o perfil 1 classifica-se como de “baixo” teor de K^+ , e o perfil 2 como “médio”. o teor de K^+ pode ser aumentado com a aplicação de adubos contendo nutrientes, sendo a fonte mais comum no Brasil, o cloreto de potássio (Sobral *et al.*, 2015).

A Soma de Bases (SB) presentes no solo é o conjunto da soma dos elementos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ (nesse caso não foi determinado). Para o perfil 1 e perfil 2 o resultado obteve a classificação como “médio”. A interpretação da SB genérica, sendo estimadas para auxiliar no cálculo da capacidade de troca catiônica (CTC) e da saturação por base (V).

Desta forma, a CTC é obtida através da SB. Este dado é considerado importante no manejo da adubação, uma vez que em solos de baixa CTC, o parcelamento do nitrogênio e do potássio é necessário para evitar perdas por lixiviação (Sobral *et al.*, 2015). A CTC é uma das variáveis mais importantes para interpretação do potencial produtivos do solo, indicando quantidades totais de cargas negativas que o solo pode apresentar, sendo que essas cargas são aptas a reter os nutrientes de cargas positivas (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) (Prezotti *et al.*, 2015). Os resultados da CTC tanto para o perfil 1 como para o perfil 2 apresentaram-se classificados como “médio”. Sobral *et al.* (2015) ressalta que “em solos intemperizados como os dos Tabuleiros Costeiros, boa parte da CTC vem da matéria orgânica” (Sobral *et al.*, 2015, p. 11).

A saturação por bases (V) é a proporção da CTC ocupada pelas bases (Sobral *et al.*, 2015), através da relação $(\text{SB}/\text{CTC}) \cdot 100$. Considera-se “alta saturação” a solos com saturação por bases igual ou superior a 50%, são os denominados solos “eutróficos”, e a “baixa saturação” a solos com valores inferiores 50%, referindo-se aos solos “distróficos” (Embrapa-SBCS, 2018). No perfil 1 e perfil 2 os valores de V foram menores que 50%, sendo respectivamente 15,8% e 17,9%, sendo classificado como “baixo” para V, caracterizado como solos distróficos. Segundo Prezotti *et al.* (2015), aplica-se a calagem ao solo para elevar os valores da V, uma

vez que a maioria das culturas exigem valores entre 50 a 80% de V. Ao elevar a V através da calagem, consequentemente há uma redução do H+Al, diminuindo-se a acidez do solo.

A saturação por alumínio (m) indica a proporção de alumínio solúvel com relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC (Texeira *et al.*, 2017). Segundo Sobral *et al.* (2015) “para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, o ideal é que não haja presença de Al^{3+} , isto é, que o pH seja maior que 5,5, ocasião em que o m se iguala a zero”. Desta forma, as porcentagens obtidas no perfil 1 e perfil 2 para m, classificaram-se como “alto”, o que não é favorável para o desenvolvimento das plantas.

Apresentam-se a Tabela 14, com os resultados dos micronutrientes encontrados no perfil 1 e perfil 2.

Tabela 14: Resultados dos micronutrientes do perfil 1 e perfil 2.

Micronutriente – Perfil 1 (mg.dm-3)				
B	Cu	Fe	Mn	Zn
0,2	3	5	23,1	0,5
Médio	Alto	Médio	Alto	Médio
Micronutriente – Perfil 2 (mg.dm-3)				
B	Cu	Fe	Mn	Zn
0,2	3,6	2	15	0,5
Médio	Alto	Baixo	Alto	Médio

Elaborado pelo autor (2024)¹⁰.

Desta forma, embora sejam exigidos em menor quantidade, os micronutrientes exercem funções importantes para o crescimento celular e o desenvolvimento das plantas, como: respiração, fotossíntese, assimilação de nitrogênio, ativação de enzimas e resistência a estresses bióticos e abióticos (Cantarella et al., 2022).

¹⁰ O laboratório “Ciência em solo” foi responsável por realizar as análises. Responsável técnico Eng. Agr. Dr. Adolfo Valente Marcelo.

4.3 Monitoramento da erosão

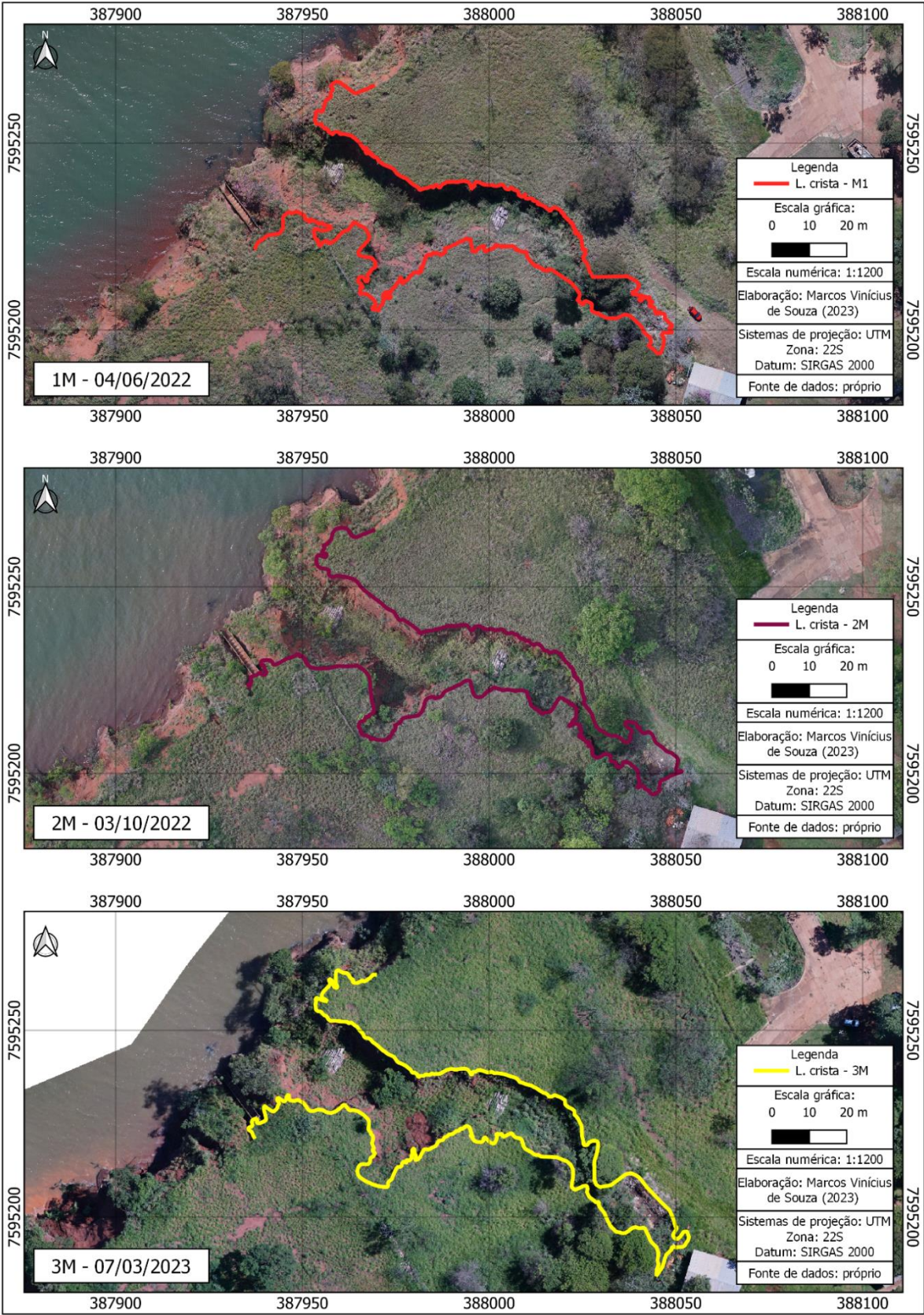
4.3.1 Análise temporal

A Figura 74 representa a carta elaborada contendo as três linhas de cristas correspondentes aos levantamentos na perspectiva aérea. Através dela pode-se observar a alteração no formato da linha de crista ocorrente em cada levantamento realizado, bem como a alteração da vegetação instalada neste recorte espacial. Ficam claramente destacadas as estações em que, nos períodos de baixo volume de precipitação a vegetação encontra-se com menos vigor vegetativo, como é o caso dos períodos 1M e 2M. Já no levantamento 3M, em que na área o solo recebe altos volumes de precipitação, a vegetação demonstra-se mais hidratada e mais ativa.

Destaca-se que o aumento da cobertura vegetal é um aspecto favorável para estabilização da erosão, pois diminui o impacto da gota d'água no solo, permitindo uma maior infiltração e um menor escoamento superficial. Porém, para monitoramento em perspectiva aérea é prejudicada a interpretação real da linha de crista, pois, como a vegetação está cobrindo parte da área dificultando a interpretação do técnico que está realizando a vetorização da borda da feição, podendo gerar alguns erros neste processo.

Através dos cálculos realizados pela retração da linha de crista por erosão ou de acreção de área em metros quadrados (m^2), elaborou-se a Tabela 15 a título de mensuração e comparação entre os três períodos de monitoramento em perspectiva aérea, sendo a primeira comparação realizada entre o monitoramento 1 (1M) e o monitoramento 2 (2M), e a segunda comparação entre o monitoramento 2 (2M) e o monitoramento 3 (3M).

Figura 74: Carta apresentando os três levantamentos para o monitoramento em perspectiva aérea.



Diante disso, identificou-se que entre a comparação do monitoramento 1 e monitoramento 2, teve-se um maior valor em m^2 do deslocamento da linha de crista relacionado a sua retração por perda de solo por erosão hídrica do que o aumento no valor em m^2 do acúmulo por acreção, sendo que para o segundo foi quase nulo. Para a comparação do monitoramento 2 e monitoramento 3, neste caso, observou-se que o valor de acreção teve um aumento significativo quando comparado à última relação (M1 vs M2). Pode-se relacionar este fato que, devido ao grande volume na precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro na cabeceira onde já havia patamares que favoreciam a adição de material devido à contribuição de montante. Outro fator que pode ter resultado no acréscimo do valor de acreção da comparação do monitoramento 2 e monitoramento 3, é com relação ao aumento no fragmento de vegetação, que faz com que cause uma distorção no processo de vetorização da linha de crista, bem como ao depósito de entulho (descarte da construção civil), principalmente na cabeceira da ravina. Porém, os maiores valores são de perda de solo por erosão, tanto para comparação M1 vs M2, como para M2 vs M3, como observado na Tabela 15.

Tabela 15: Quantificação da área em metros quadrados (m^2) de erosão e acreção para as duas comparações dos três levantamentos realizados em perspectiva aérea

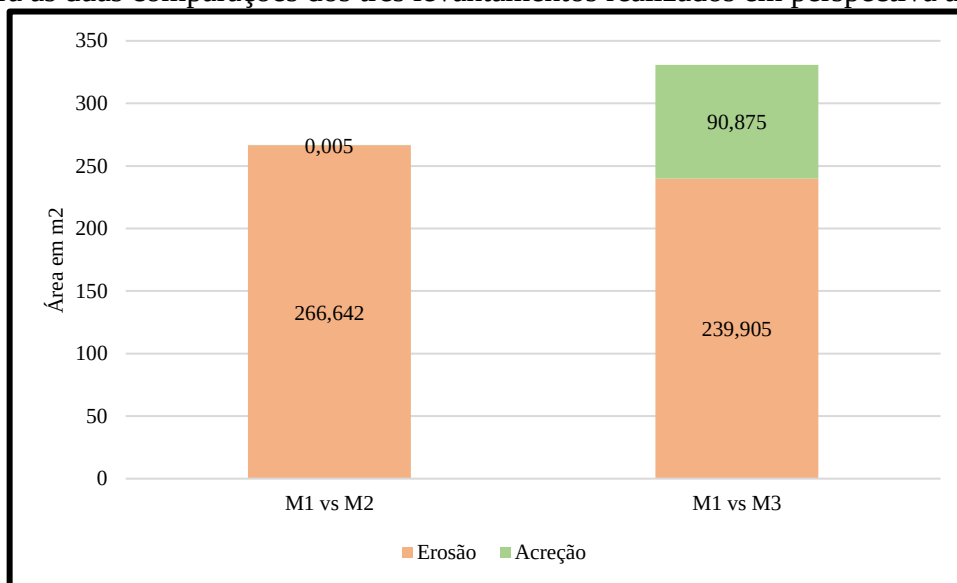
	Comparação - M1 vs M2		Comparação – M2 vs M3	
	2022-06/2022-10		2022-10/2023-03	
	Erosão	Acreção	Erosão	Acreção
Área (m^2)	266,64	0,005	239,91	90,88
Nº polígonos	148	2	42	60

Elaborado pelo autor (2022).

Para uma melhor representação gráfica dos resultados obtidos nas comparações realizadas em perspectiva aérea, elaborou-se o Gráfico 3.

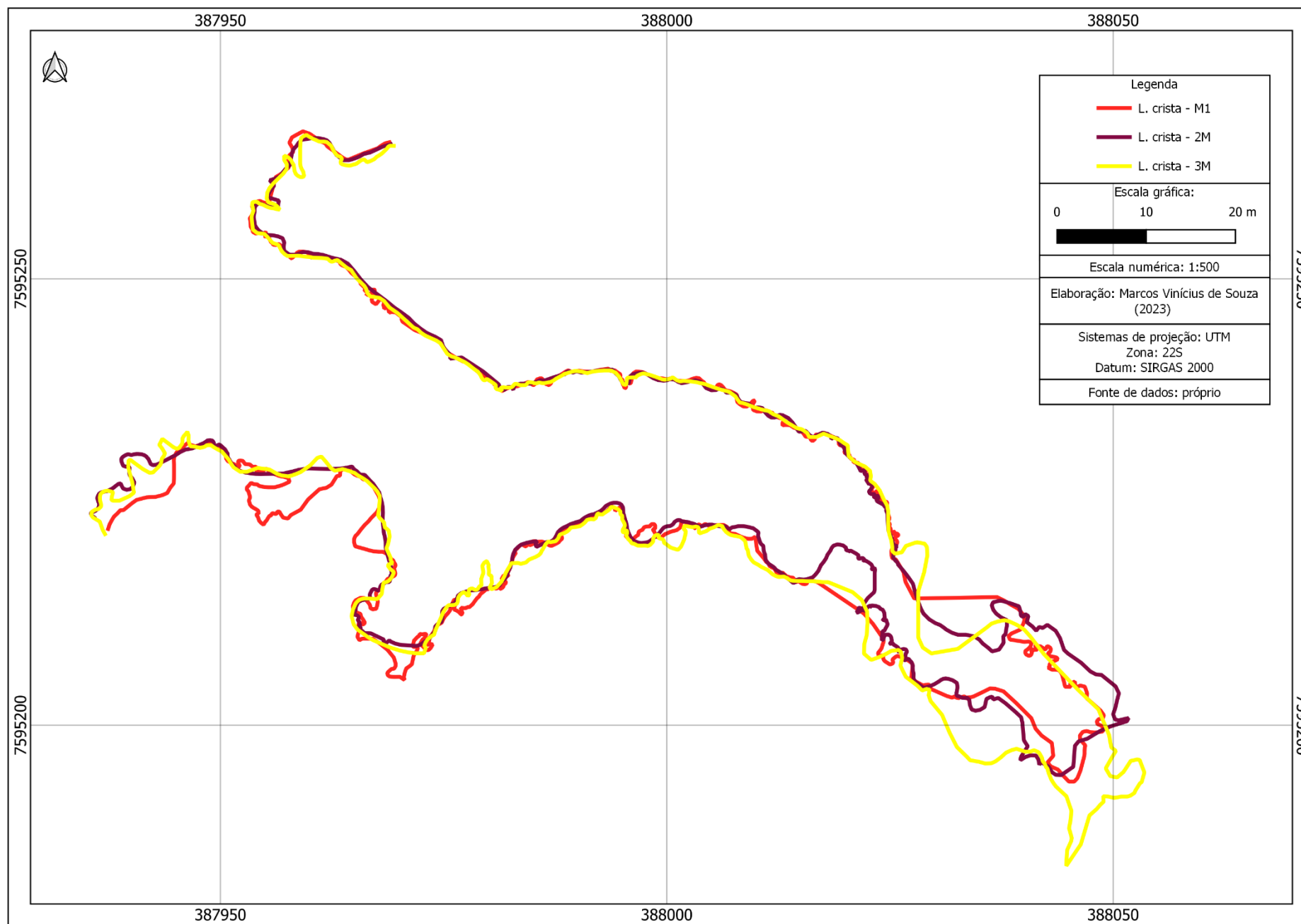
Para uma melhor visualização da dinâmica de mudança com relação à comparação de um levantamento para o outro, elaborou-se a carta de comparação dos 3 levantamentos realizados no recorte espacial estudado (Figura 75).

Gráfico 3: Representação da quantificação em metros quadrados (m^2) de erosão e acreção para as duas comparações dos três levantamentos realizados em perspectiva aérea



Elaborado pelo autor (2023).

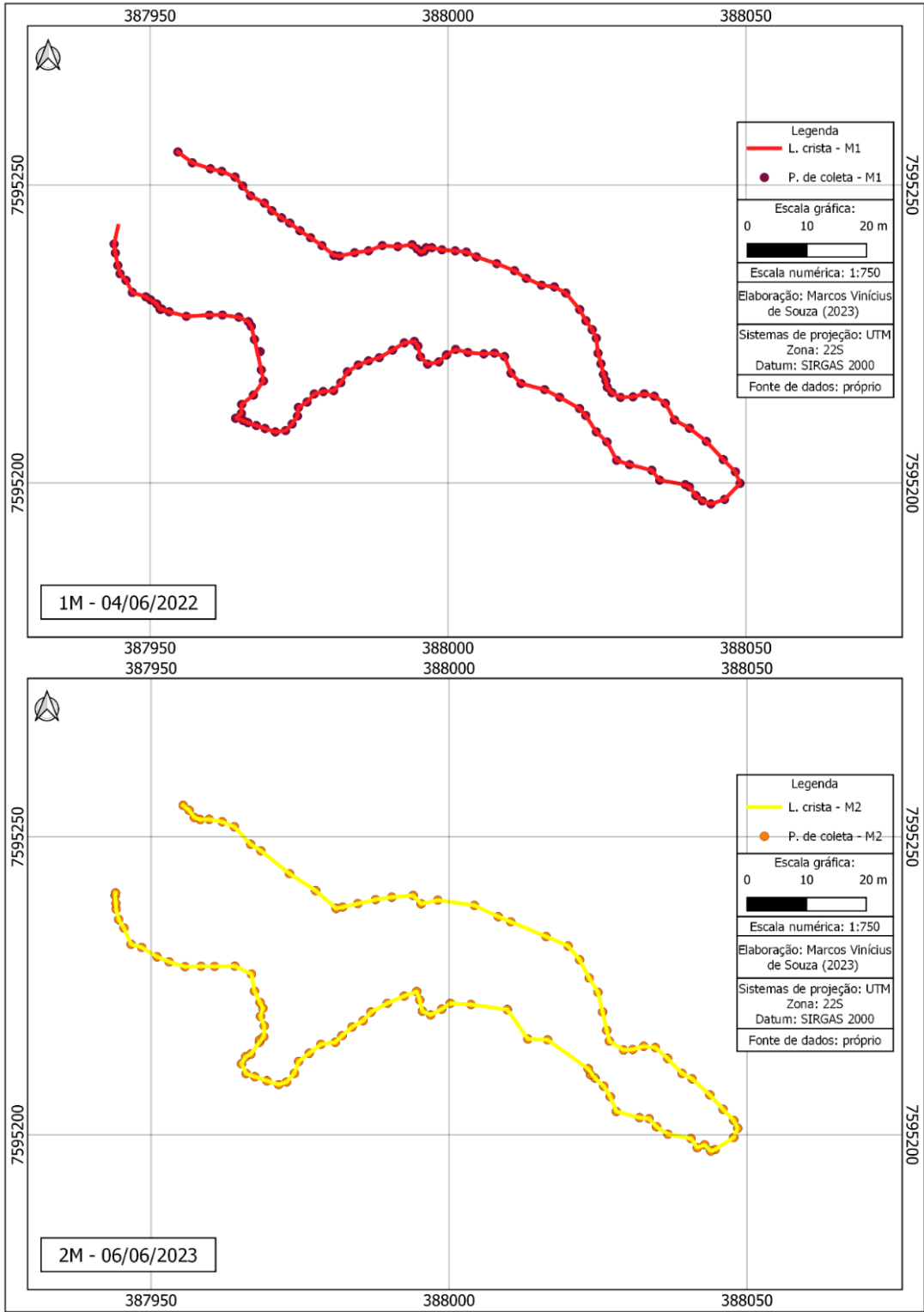
Figura 75: Comparação das linhas de crista dos três levantamentos em perspectiva aérea



Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 76 está representada a comparação das linhas de cristas dos monitoramentos 1 (1M) e 2 (2M) em perspectiva terrestre, ou seja, realizando a coleta de dados com o uso do GNSS.

Figura 76: Carta apresentando os dois levantamentos do monitoramento em perspectiva terrestre



Elaborado pelo autor (2023).

Como mostra a

Tabela 16, pode-se observar que do M1 para o M2 do levantamento em perspectiva terrestre houve maior acreção, ou seja, aumento do valor do material acumulado na borda da ravina. Outro motivo que pode ter influenciado no alto valor em área (m^2) de acreção, vai de encontro com um dos fatores que também podem ter influenciado nos resultados do monitoramento M2 e M3 no levantamento de dados em perspectiva aérea, que é o aumento no fragmento de vegetação de um monitoramento para o outro, dificultando a vetorização da linha de crista (Figura 77), mesmo que na execução do levantamento em campo tenha coletado os vértices da crista da ravina, a influência da vegetação é mínima, porém, ainda existe.

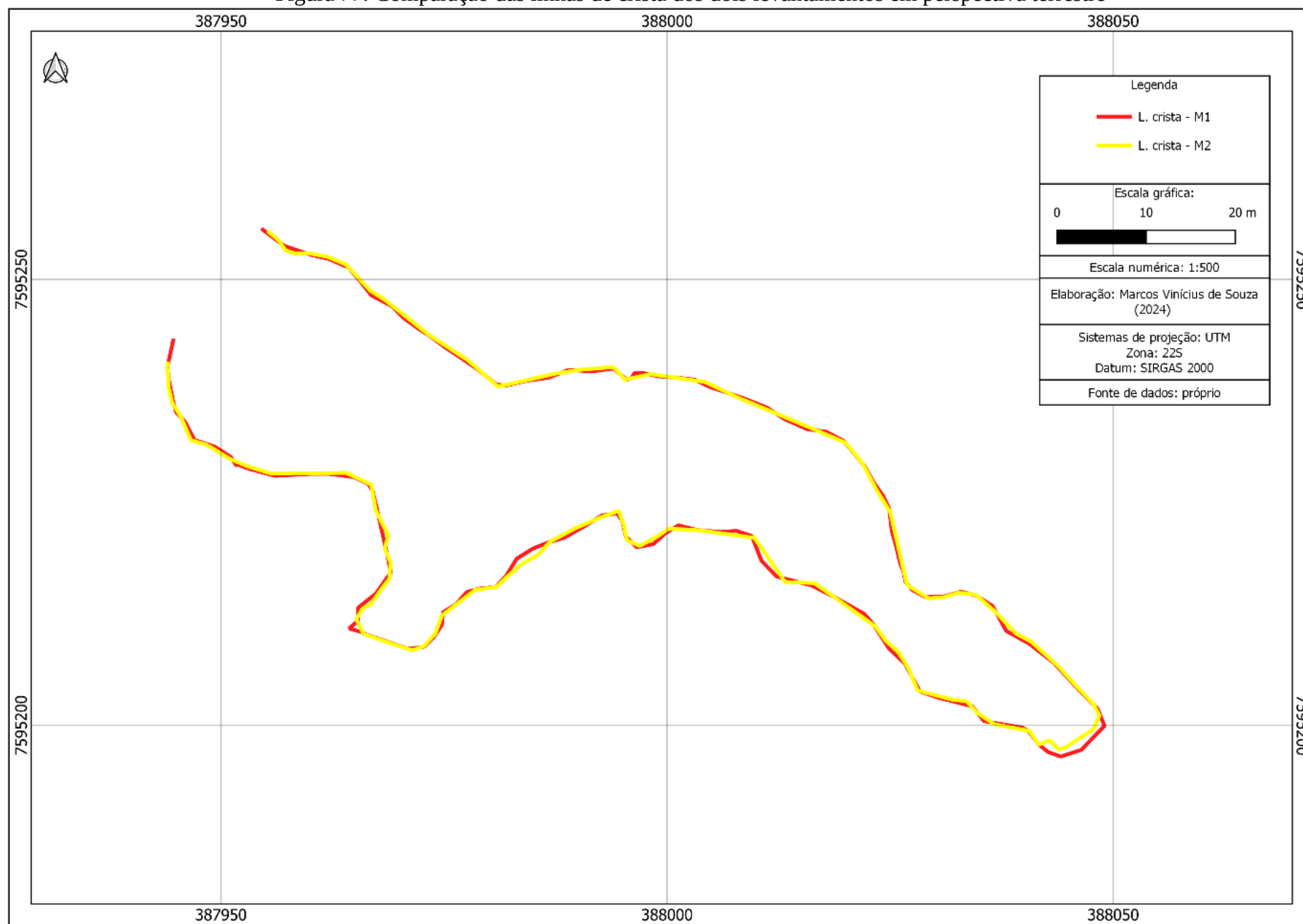
Tabela 16: Quantificação da área em metros quadrados (m^2) de erosão e acreção para as comparações dos dois levantamentos realizados em perspectiva terrestre.

Comparação em perspectiva terrestre:		
M1 vs M2		
2022-06/2023-06		
	Erosão	Acreção
Área (m^2)	24,135	29,33
Nº polígonos	34	25

Elaborado pelo autor (2023).

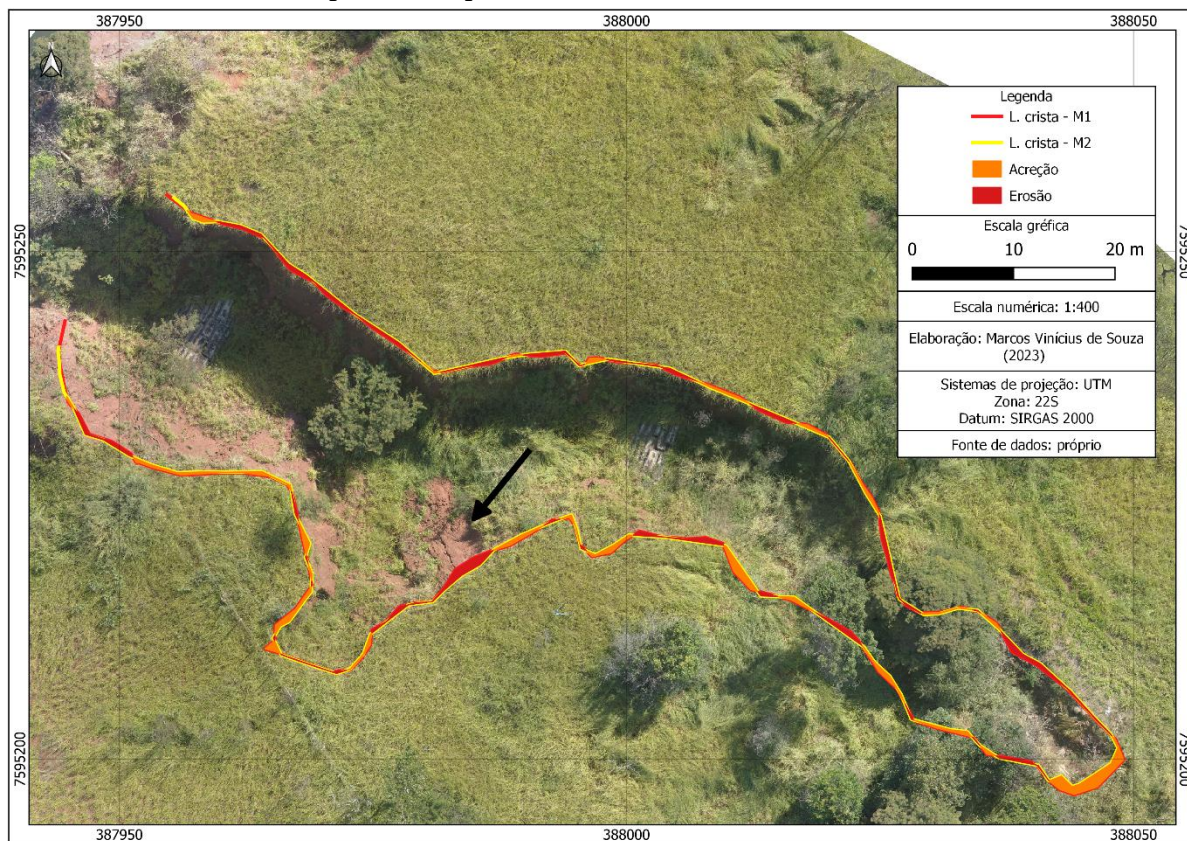
Pode-se validar como os procedimentos de processamentos utilizados apresentam os resultados corretos. Isso pode ser certificado através da seta preta presente na Figura 78, em que é identificada uma queda de bloco de solo (Figura 79), que pôde ser mapeada através da comparação em perspectiva terrestre entre o primeiro trabalho de campo, no dia 04/06/2022 e o último trabalho de campo, no dia 06/06/2023.

Figura 77: Comparação das linhas de crista dos dois levantamentos em perspectiva terrestre



Elaborado pelo autor (2024).

Figura 78: Carta representando as áreas de acreção e erosão do levantamento em perspectiva terrestre, com ênfase à seta preta, que indica uma queda de bloco mapeada no intervalo de tempo entre o primeiro monitoramento e o último.



Elaborado pelo autor (2023).

Figura 79: Queda de bloco de solo na erosão hídrica linear estudada



Foto do autor (2023).

De modo geral, ambas as técnicas propostas para o monitoramento da erosão hídrica linear apresentaram resultados precisos e, mesmo o objeto de estudo que neste caso é a ravina, não apresentou grandes mudanças em relação à perda ou acúmulo de sedimentos.

A fim de comparar a técnica de levantamento em perspectiva aérea com a de levantamento em perspectiva terrestre, com relação à qualidade dos dados e ao produto final, elaborou-se o Quadro 20.

Quadro 20: Comparação das técnicas em perspectiva: aérea (Drone) versus terrestre (GNSS)

	Drone	GNSS
Custo de operação	Menor custo	Maior custo
Risco à saúde e à segurança do técnico que irá realizar o trabalho de campo	Baixo risco	Alto risco
Tempo de levantamento	Menor tempo	Maior tempo
Resolução espacial	Mais detalhada	Menos detalhada

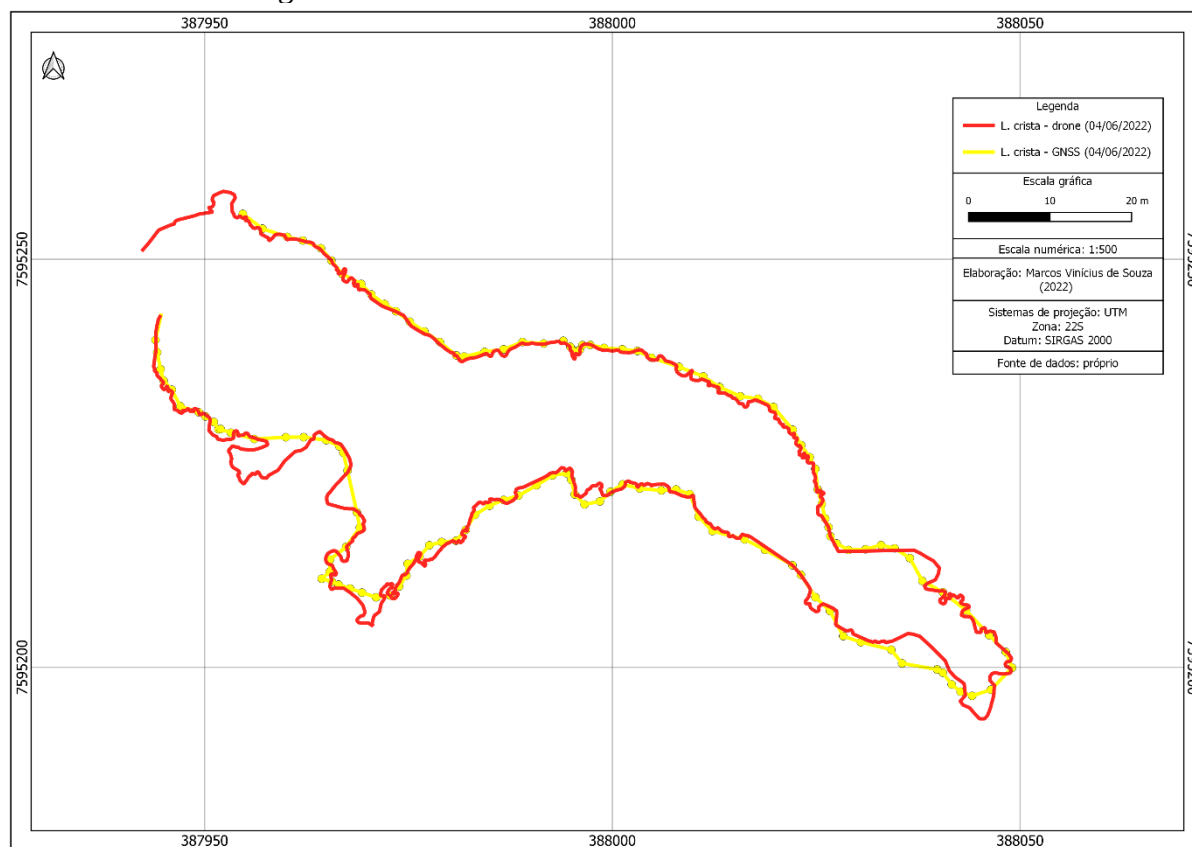
Elaborado pelo autor (2023).

Além disso, elaborou-se a carta de comparação (Figura 80), representando a comparação entre a linha de crista do levantamento com o drone e a linha de crista gerada através dos dados do GNSS. Ambos os levantamentos foram realizados na mesma data, dia 04 de junho de 2022.

A técnica utilizando o drone destacou-se em todos os critérios de análise de comparação como a melhor. Com relação ao critério de menor custo no levantamento dos dados, pontua-se que o drone se destaca, pois o levantamento aéreo é feito com maior agilidade quando comparado ao levantamento topográfico e isso implica em menos horas pagas para um técnico em campo oferecendo também uma maior precisão.

Com relação ao risco à segurança humana, o levantamento com o drone também foi classificado como melhor. Para o levantamento utilizando o GNSS, teve-se que percorrer a área toda para coletar os pontos da borda da ravina (crista), e em diversos momentos identificaram-se situações de exposição ao risco quanto à segurança devido à grande presença do mato, de cair tanto dentro da ravina quanto no reservatório por conta de um desprendimento de bloco de solo, etc. Já no levantamento aéreo, não se teve essa exposição ao risco, pois o drone na maioria das vezes foi decolado de locais que não ofereciam risco algum à vida humana.

Figura 80: Comparação da linha de crista gerada através do levantamento com o drone versus a linha de crista gerada com levantamento realizado através do GNSS – 04/06/2022.



Elaborado pelo autor (2023).

O tempo demandado para o levantamento aéreo com o drone foi menor do que o levantamento com o GNSS. O levantamento com o drone levou em torno de 1 hora, já com o GNSS, só para o levantamento da crista da erosão foram gastas 2 horas.

A resolução espacial do levantamento com o drone ofereceu um melhor detalhamento na vetorização da linha de crista e, conseqüentemente, uma boa precisão nos resultados obtidos. Por outro lado, há a desvantagem da vegetação, que dificulta a identificação do limite da crista em algumas partes da erosão.

Por fim, identificou-se que o drone se destacou como sendo o melhor equipamento para o levantamento dos dados em todos os critérios propostos, porém, cabe ressaltar que se deve analisar cada situação e as suas respectivas particularidades, sem contar, o acesso ao equipamento: na maioria das vezes um par de receptores GNSS é de mais fácil acesso do que um drone de alta precisão, como o usado na pesquisa.

4.4 Sugestões de medidas mitigadoras

Diante do monitoramento realizado, nota-se que o processo erosivo se encontra em evolução, decorrente das quedas de blocos de solo evidenciadas, bem como a identificação da retração da linha de crista na ravina. Com isso, sugerem-se algumas propostas alternativas de medidas mitigadoras a serem implementadas para a recuperação da área degradada.

Um dos principais fatores que têm contribuído para a aceleração do processo erosivo estudado é o acúmulo de água relacionada ao escoamento superficial vinda da contribuição de montante e, como identificado e apresentado neste trabalho, não existe um sistema de drenagem eficiente no residencial Village Lagoinha. Neste caso, a implementação de um sistema de microdrenagem urbana com a dissipação da água acumulada pelas ruas do loteamento e em pontos adequados, contribuiria para diminuição do avanço da ravina estudada, uma vez que reduziria a concentração de água que hoje chega à cabeceira da ravina.

Um sistema de microdrenagem urbana deve ser dimensionado de acordo com diversos fatores, entre eles a pluviosidade da região, que irá impactar na vazão de contribuição e o tamanho da área de captação. Na Tabela 17 e na Figura 81 é apresentado de maneira resumida um sistema de microdrenagem urbano.

Tabela 17: Sistema de microdrenagem urbana.

Sarjetas	Receptora das águas pluviais das vias públicas: apresenta a função de drenar a água das vias e não direcionando-a para um só ponto
Boca de lobo	Estes dispositivos estão localizados nas sarjetas e têm como objetivo realizar a captação das águas pluviais
Poço de visita	Esta instalação permite o acesso à rede de drenagem subterrânea
Tubos de ligações	Tem o objetivo de ligar todo o sistema de microdrenagem

Elaborado pelo autor (2024).

Figura 81: Sistema de microdrenagem urbano.



Fonte: Rodrigues (2022), adaptado pelo autor (2024).

Uma segunda gestão como proposta de medida mitigadora é implementar uma restauração florestal através do plantio direto de muda. Para propor a área destinada ao plantio, considerou-se uma faixa marginal de 50 m da crista da ravina. Esta decisão levou em conta a APP para nascentes definida pelo novo Código Florestal, Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Mesmo não havendo afloramento de água, optou-se por levar em conta a APP para nascentes em função das características da área.

Para realizar o plantio, sugere-se a escolha de espécies nativas de acordo com o bioma da área estudada (Mata Atlântica de Interior), com mudas de diferentes espécies distribuídas de forma aleatória, ressaltando-se que quanto maior a diversidade maior é a probabilidade de obter sucesso (Drumond *et al.*, 2016).

Conforme os resultados obtidos da análise química do solo, para o plantio, será necessário um manejo cauteloso, pois identificou-se que o solo estudado apresenta baixa fertilidade como, por exemplo, apresentando baixo pH e baixa saturação por base.

Na proposta do plantio, sugere-se que o espaçamento entre as mudas seja feito de 2 m entre plantas e 3 m entre linhas de plantio. Recomenda-se a profundidade para o plantio de: 40 cm; diâmetro: 40 cm; e largura: 40 cm (Drumond *et al.*, 2016). Como trata-se de uma área plana, não será necessário realizar curvas de nível.

A área total proposta para o plantio foi de 14.687,26 m² (ou 1,47 ha), não estando inclusa a área da rua do residencial Village Lagoinha, benfeitorias pertencentes à pousada Marina, a área da ravina e de fragmentos de vegetação isolados (Tabela 18).

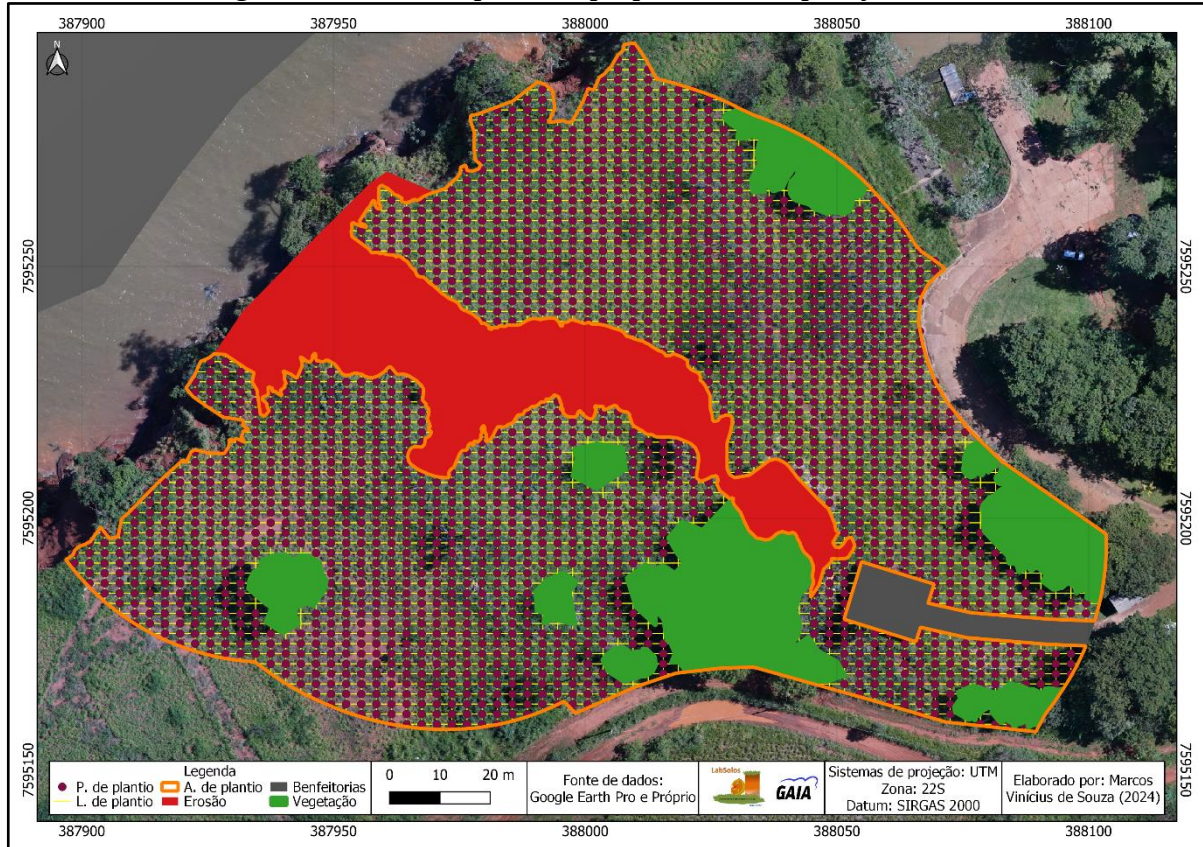
Tabela 18: Área das parcelas

Tipo	Área em m²
Área de plantio	12.673,23
Benfeitorias	346,23
Erosão	2.439,00
Fragmentos isolados de vegetação	2.014,02

Elaborado pelo autor (2024).

Na Figura 82 são apresentados a planta cartográfica com as linhas de plantio e os pontos para plantação das espécies, que deve ser feito respeitando o espaçamento proposto.

Figura 82: Planta de plantio - proposta de recuperação da área.



Elaborado pelo autor (2024).

Conforme o dimensionamento de plantio realizado para o reflorestamento identificou-se que serão necessárias 2.039 espécies nativas para cobrir a área de plantio. O cálculo, bem como a definição das linhas de plantio respeitando o espaçamento de 2 x 3 m, foram feitos no software QGIS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de revisões bibliográficas, trabalhos de campo e análises laboratoriais, foi possível compreender os fatores que levaram ao atual cenário de degradação, bem como, compreender, através da aplicação da técnica de monitoramento, os fatores que ainda atuam na evolução da erosão hídrica linear.

A caracterização dos elementos físicos naturais do município de Presidente Epitácio foi fundamental para compreender a susceptibilidade natural aos processos do município e, em especial, da ravina estudada. Foram compilados os mapas geológico, geomorfológico e pedológico, para o recorte espacial do município de Presidente Epitácio/SP.

Assim como, a revisão de literatura para caracterização histórica do Oeste Paulista, Presidente Epitácio e da ravina estudada, permitiram compreender os diversos fatores sociais e econômicos que atuaram na ocupação da área decorrente da exploração e “expansão econômica”, levando ao presente cenário de degradação do meio ambiente. Aponta-se que o desmatamento, seguido da implementação da cultura de café, agropecuária, cana-de-açúcar e outras culturas que usaram daquele solo, contribuíram para o desenvolvimento dos processos erosivos da região.

A leitura do solo da área estudada foi fundamental para este trabalho, pois proporcionou uma interpretação de elementos físicos do solo que puderam favorecer uma maior susceptibilidade aos processos erosivos. Desta forma, através das análises em campo e em laboratório das características físicas do solo, foi possível entender que este solo apresenta características morfológicas homogêneas. Houve pouca variação de cor e transição gradual entre os horizontes e sub-horizontes do perfil e, também, entre os dois perfis de solo, característicos dos Latossolos Vermelhos distróficos encontrados na área.

Outra característica marcante foi com relação à análise granulométrica realizada em laboratório. As amostras obtiveram altos valores para a classe textural “areia”, e assim, enquadraram-se no diagrama de textura, a maioria dos resultados das amostras, como sendo “franco arenosa”. Um aspecto morfológico analisado em campo que vai de encontro com esse resultado obtido em laboratório, é a falta da cerosidade encontrada nos horizontes, pois a presença desta nos horizontes pode ser um indicativo de concentração de argila iluvial.

Os resultados obtidos na análise da densidade do solo e do ensaio de permeabilidade realizado em campo também vão de encontro com as características identificadas na descrição morfológica e na análise granulométrica, indicando tratar-se de um solo com alta densidade e,

também, com uma permeabilidade rápida sendo, assim, um solo de textura arenosa, compactado e muito permeável.

Com relação às características químicas do solo estudado, pode-se identificar que este trata-se de um solo com baixa fertilidade. Tanto para o perfil 1 como para o perfil 2, o pH resultou em valores abaixo da média, tratando-se assim, de um solo ácido. Além disso, destacam-se as porcentagens muito baixas para saturação por bases, sendo caracterizado como solos distróficos. Os valores para CTC enquadraram-se como “médios”, na classificação proposta. Já a matéria orgânica, apresentou resultados abaixo da média, uma vez que esta é fundamental para manutenção dos aspectos químicos e físicos do solo.

Através dos resultados das análises químicas e físicas do solo, identificou-se que o solo da área estudada se trata de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd). Identificou-se que a perda de solo se manteve com valores próximos, considerando as duas comparações referentes aos três levantamentos, indicando uma erosão com um padrão de perda de solo. Os valores para acreção foram baixos para técnica em perspectiva aérea e terrestre. Destaca-se que a acreção não se refere ao acúmulo de sedimento na borda da ravina estudada, mas ao depósito de entulho (bota-fora) e com possíveis distorções nos dados em períodos que a gramínea estava alta.

Conforme a comparação das técnicas do monitoramento da evolução do processo erosivo em perspectiva terrestre e aérea, identificou-se que a técnica mais eficiente, apresentando um menor custo, baixo risco, menor tempo de levantamento e um detalhamento maior nos resultados, foi a técnica em perspectiva aérea com o uso do drone. Mas não se deve descartar a técnica de levantamento em perspectiva terrestre, pois pode haver casos em que o uso do GNSS se apresente mais eficiente do que com o drone.

Portanto, depois de todas as características estudadas e identificadas as possíveis causas que contribuíram e ainda contribuem para evolução do processo erosivo, propõem-se duas possíveis medidas mitigadoras, sendo uma proposta que impacta positivamente na estagnação da evolução do processo erosivo e, a outra que tende a recuperar a área que foi degradada. A degradação desta área está relacionada a uma susceptibilidade natural do solo, sendo acelerada pelo processo de ocupação antrópica desorganizada, não se preocupando com medidas conservacionistas para o uso da terra.

REFERÊNCIAS



REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **A terra paulista. Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, julho de 1956, n. 23. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1299/1137>. Acesso em: 23 maio 2023.

_____, A. N. **Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012, p. 158.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N.F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T.G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 25-32.

BERTOLI, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC)–1a aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 4, 1993. p. 515-521.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. ed. 5. São Paulo: Ícone, 2005.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia**, 1985.

BINI, D. **Histórico da Expansão da Pecuária Bovina de Corte na Região de Araçatuba (SP)**. *Análises e Indicadores do Agronegócio*. v. 4, n.5, maio 2009.

BRANNSTROM, C. Relações de Trabalho na cotonicultura do Oeste Paulista (1930 a 1960): uma visão do arquivo do fórum da comarca de Assis. **Revista Patrimônio e Memória**. UNESP – FCLAs – CEDAP, v.2, n.1, 2006, p. 85.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000.

BRASIL. **Lei N° 601, de 18 de setembro de 1850**. Dispõe sobre as terras devolutas do Império. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l0601-1850.htm. Acesso em: 04 de mai. 2023.

_____. **Decreto Federal nº 4.297, de 10 de julho de 2002** - Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-

Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm. Acesso em: 16 abr. 2023.

_____. **Lei Federal nº 9.991, de 24 de julho de 2002.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm#:~:text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20investimentos,el%C3%A9trica%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 23 de fev. 2024.

_____. **Decreto Federal s/n, de maio de 2004 – Alterando o art. 2º do Decreto de 16 de julho de 2002,** que criou a Estação Ecológica do Mico-Leão-Preto. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/esec-mico-leao-preto/arquivos/Decretodealteracao_2004.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

_____. **Lei 12.651 de 25 de maio de 2012:** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n os 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n os 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n o 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 04 de mai. 2023.

_____. **Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012:** Altera a Lei n o 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n os 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis n os 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória n o 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei n o 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2 o do art. 4 o da Lei n o 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm. Acesso em: 04 de mai. 2023.

BRAY, S. C. *et. al.* **As políticas da agroindústria canavieira e o PROÁLCOOL no Brasil.** Marília: UNESP-Marília Publicações, 2000, p. 104.

BRIZZI, Raphael Rodrigues; SOUZA, A. P.; COSTA, AJST. Relação entre a infiltração da água nos solos e a estabilidade dos agregados em sistemas de manejos diferentes na bacia

hidrográfica do rio São Romão–Nova Friburgo/RJ. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 67, 2018, p. 304-321.

Canil, K., Iwasa, O. Y., Silva, W. S., Almeida, L. E. G. Mapa de feições erosivas lineares do estado de São Paulo: Uma análise Qualitativa e Quantitativa. In: **5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. ABGE/UNES, São Paulo, Bauru. Vol, 5, 1995, p. 249-251.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; JUNIOR, D. M.; BOARETTO, R. M.; RAJI, B. V.. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: **Instituto Agrônomo de Campinas**, 2022. 221-229 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991, p. 146.

CASACA, J. M.; MATOS, J. L.; DIAS, J. M. B. **Topografia geral**. 4. ed. atual. e aum. Rio de Janeiro: LTC, 2010. v, p. 208.

CAPECHE, C. L. **Manejo e conservação de solo e água para estagiários e bolsistas de graduação e pós graduação da EMBRAPA Solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2008.

CESP. Diagnóstico Socioambiental Participativo: UHE Porto Primavera. Presidente Epitácio, 2020.

COELHO, M. C., Alves, V. M. C. Planejamento da Adubação e Calagem. **Embrapa**. Brasília/DF, 08 de dez. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/adubacao-e-fertilidade-do-solo/planejamento-da-adubacao-e-calagem>>. Acesso em: 12 de mar. de 2024.

CONCIANI, W. **Processos erosivos: conceitos e ações de controle**. 1 ed. Cuiabá: CEFET - MT, 2008, p. 148.

CORREIA, E. L. **Retomada do uso de álcool combustível no Brasil**. Dissertação (Mestrado) apresentada ao curso de Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2007.

COSTA, F. A. **Transformações da paisagem no Oeste Paulista e processos erosivos no município de Caiabu/SP**. 2020.

CPRM-Serviço Geológico. **Mapa geodiversidade do Brasil**, escala 1: 2.500. 000. 2006.

CRUZ, P. L. da. **100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção e projeto**. Oficina de Textos: São Paulo, 1996.

CRUZ, P. L. da. **100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção e projeto.** Oficina de Textos: São Paulo, 1996.

DIAS FILHO, M. B. **Uso de Pastagens para a Produção de Bovinos de Corte no Brasil: Passado, Presente e Futuro.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2016.

DRUMOND, M. A. et al. **Caracterização e usos das espécies da caatinga: subsídio para programas de restauração florestal na Unidades de Conservação da Caatinga (UCCAs).** 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS).** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

FERRAZ, R. P. D. **Fundamentos de morfologia, pedologia, física e químicos do solo de interesse no processo de recuperação de área degradada.** In: TAVARES, Sílvia Roberto de Lucena [et al]. Curso de recuperação de áreas degradadas: A visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicações de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008, p. 9-62.

FERREIRA, M. F. M. et al. Geomorfologia da Área de Proteção Ambiental do Rio Machado, Sul de Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 1, 2019, p. 36-57.

FUSHIMI, Melina. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP.** 2016.

GIAVARA, E. As fronteiras do desconhecido: civilização e barbárie no Oeste Paulista. Albuquerque – **Revista de História**. vol. 8, n. 16. jul.- dez./2016, p. 147-165.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 57-99.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas.** 1995.

GUERRA, Antonio J.T. e CUNHA, Sandra B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017, p. 149-209.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão dos solos**. In: CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017, cap. 5, p. 181-227.

GUIMARÃES, C. N. **Maapeamento geotécnico da bacia do córrego da Barra, aplicação de penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos São Pedro – SP – Escala 1:10.000**. 2008. 104f. Dissertação de Mestrado em Geotecnia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2008.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2003, p. 222.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE. **Censos 2022**. População. São Paulo: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-epitacio/panorama>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. Mapa geológico do estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981a. Escala 1:500.000.

_____. INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981a. Escala 1:500.000.

_____. INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981b. Escala 1:500.000.

_____. INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. Tecnologia, ambiente e desenvolvimento. São Paulo: IPT, 1992.

JULIÃO, R., NERY, F., RIBEIRO, J. L., BRANCO, M. C., ZÊZERE, J. L. (2009). **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográficos (SIG) de base municipal**. Edição Autoridade Nacional de Proteção Civil. Lisboa.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relação solo-planta**. Piracicaba: Ceres, 1979, p. 262.

KRELING, Bruna Eduarda et al. Comparação de métodos de preparo de amostras para a posterior determinação da matéria orgânica do solo. In: **4º Salão de Pesquisa**, Extensão e Ensino do IFRS. 2019.

LADEIRA, J. E. R.. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos: o caso UHE São Simão**. 2007.

LOPES, A. S.. Manual internacional de fertilidade do solo. **Associação Brasileira Para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**. Tradução e adaptação, v. 2, 1998.

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

LOZET, J., MATHIEU, C. **Dictionnaire de Science du Sol**. 4º ed. Paris: Tec & Doc, 2002.

MARTINS, J. S. **Fronteira: a degradação do outro nos confins do humano**. São Paulo: HUCITEC, 1997. Frente Pioneira: contribuição para uma caracterização sociológica. In: Estudos Históricos. São Paulo, n. 10, 1975, p. 33 - 41.

MARTINS, A. **Com atuação na região, Cesp muda de nome e vira Auren Energia**. O Imparcial Digital. Presidente Prudente, 25 abr. 2022. Disponível em: <https://www.imparcial.com.br/noticias/com-atuacao-na-regiao-cesp-muda-de-nome-e-vira-auren-energia,50808#google_vignette>. Acesso em: 04 ago. 2022.

MAZZA, J. A. **Densidade do solo e densidade de partículas**. 2016. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1018891/mod_resource/content/1/densidade%20do%20solo.pdf. Acesso em: 5 de mai. 2024.

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?**. Ed. 8. 3º impressão. São Paulo, 2020.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. **Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 527-544, dezembro de 1998. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11243>. Acesso em: 17 maio de 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo da Estação Ecológica Mico-Leão-Preto**. Brasília: MMA, 2007. 261 p. E-book. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/esec-mico-leao-preto/arquivos/esec_mico_leao_preto.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, Polis, 1984.

NETO, R. M.; PEREZ FILHO, A.. Análise morfoestrutural e morfotectônica da bacia do rio Capivari, sul de Minas Gerais: a neotectônica e as superfícies geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, 2013.

NUNES, J. O. R.. **Práxis geográfica e suas conjunções**. 2014.

OLIVEIRA, M. at. ; NASCIMENTO, E. E. DG. **Alcovas de Regressão e Expansão de Voçorocas em Sedimentos Inconsolidados: Praia Mole, município de Florianópolis, SC**. 1996, v. 8.

OLIVEIRA, M. A. T. de. **Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 57-99.

PERUSI, Maria Cristina. **Discriminação de argissolos e avaliação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo**. 2005.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Vitória: **Instituto Capixaba de Pesquisa**, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2013, p. 1-104.

RÉ CARNEIRO, C. D.; ALMEIDA, F. F. M.; GONÇALVES, P. W.; UHLEIN, A.; NOCE, C. M.. **Um olhar geológico... para o tempo profundo**. In: HASUI, Yocieru; RÉ CARNEIRO, Celso Dal; ALMEIDA, Fernando Flávio Marques. Geologia do Brasil. São Paulo: Beca, 2012, p. 24-31.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. **Caracterização morfológica do solo**. In: KER, J. C. CUR, N; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia: Fundamentos. Viçosa-mg: SBCS, 2012, p. 81-146.

RISSO, L. C. Estudo de Percepção e Conservação do Parque Ecológico de Ourinhos – SP: Discussões a respeito da percepção e metodologia. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Anais... Viçosa, 2009. Disponível em: < http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo2/008.pdf >. Acesso em: 15 abr, 2020.

ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.. **Geomorfologia e áreas inundáveis na planície fluvial do Alto rio Paraná**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18.,

2009, Viçosa. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2009. p. 60 – 75. Disponível em: http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/075.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

RODRIGUES, N. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. R.. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. **Research, Society and Development**. 2022, v. 11, n. 6.

RONQUIM, C. C.. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010, p. 27. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

Ross, J. L. S.. **Geografia do brasil**. Edusp, 1996.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo. 1997. Escala 1:500.000.

Rubio M. F. **Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios**. **Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014, p. 255.

RUBIRA, F. G.; DE MELO, G. V.; DE OLIVEIRA, F. K. S. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia (Recife)**. 2016, v. 33, n. 1.

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado (org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 11. ed., cap. 7. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2020, p. 229-267.

SANTOS, J. C. **O Sistema agroindustrial do leite na região de Presidente Prudente**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP. Presidente Prudente. 2004, p. 200.

SANTOS, R. D. et al. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5 ed. **Revista Ampliada**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solos, 2005.

SANTOS, J. C. **Dos Canaviais à “etanolatria”: o (re) ordenamento territorial do capital e do trabalho no setor sucroalcooleiro da Microrregião Geográfica de Presidente Prudente – SP.** Tese de Doutorado, UFU/ Uberlândia. 2009.

SANTOS, Marianne Silva. **Análise da suscetibilidade e vulnerabilidade aos processos erosivos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no estado de Sergipe.** 2019.

SANTOS, R.. **Planejamento ambiental e ordenamento territorial: subsídios à gestão ambiental do município de Presidente Epitácio,** estado de São Paulo, Brasil. 2020.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Saneamento de. Controle de Erosão. 21 ed. São Paulo: DAEE, IPT. 1989.

SCHAEFER, C. E. R. et al. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, mai. 2002, p. 669-678.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, Ruy B. C. **Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores.** In: BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (org.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.* Brasília: CPRM, 2003, cap. 2, p. 55-85.

Disponível em:

http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos_minerais/livro_geo_tec_rm/capII.pdf.

Acesso em: 18 maio 2023.

SILVA, M. C.; BOAVENTURA, V. M.; FIORAVANTI, M. C. S. **História do povoamento bovino no Brasil central.** Dossiê PECUÁRIA. Revista UFG. Dez 2012, Ano XIII nº 13.

SILVEIRA, CT da; FIORI, A. P.; OKA-FIORI, C.. Estudo das unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial na APA de Guaratuba: subsídios para o planejamento ambiental. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 57, 2005, p. 9-23.

SOBRAL, L. F. et al. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos.** 2015.

Soil Science Society of America. Proceedings. **Universidade da Califórnia**, V. 39. 1975.

SOUSA, A. A. A formação histórica do Oeste Paulista: alguns apontamentos sobre a introdução da imigração japonesa. **Revista Geografia em Atos**, n. 8, v.1. UNESP, Presidente Prudente, 2008, p. 31-38.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Espaço geográfico uno e múltiplo**. Barcelona: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. **A natureza da Geografia Física na Geografia**. Terra Livre, n. 17, 2001, p. 11-24.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Ambiência e pensamento complexo: ressignificação da geografia**. In: Tagliani, C. R. A. 2002. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informação. Grigio, A. M. 2003 Dissertação de Mestrado no 34 – PPGG/UFRN Capítulo 8 221 Galeria de artigos acadêmicos. Disponível em www.fatorgis.com.br. Acessado em 08 de jan. de 2003, p. 8.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura**. 2018.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1998, p. 1222.

TEIXEIRA, A. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de, 1993.

TEIXEIRA, J. C.; HESPAHOL, A. N.. A trajetória da pecuária bovina brasileira. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 36, 2014, p. 26-38.

TEIXEIRA, P. C. et al. . Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, **Embrapa**, 2017, p. 573.

TOMMASELLI, J. T. G.; FREIRE, O.; CARVALHO, W. A. **Erosividade da chuva da Região Oeste do Estado de São Paulo**. Rev. Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 7, n. 2, 1999, p. 269-276.

United States Department of Agriculture (U.S.D.A, 1951) - SOIL SURVEY STAFF (Washington, D.C.). **Soil survey manual**. Washington: United States Department of Agriculture, 1951, p. 503.

VIEIRA, A. F. G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM)**. (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: UFSC. 1998, p. 222.

VILLAÇA, P. **Terra e Poder no Sertão Paulista: Dominação de classe e conflito de terras no Pontal do Paranapanema (1890/1940)**. Tese de doutorado – UFF, 2011.