

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAYRA KAUANY RODRIGUES CUNHA

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA FINS DE ANÁLISE DE
RISCO E PLANEJAMENTO URBANO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-
RS**

Caçapava do Sul

2022

MAYRA KAUANY RODRIGUES CUNHA

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA FINS DE ANÁLISE DE
RISCO E PLANEJAMENTO URBANO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para obtenção
do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: José Waldomiro Jiménez Rojas

Coorientador: Felipe Guadagnin

Caçapava do Sul

2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

C972m Cunha, Mayra Kauany Rodrigues

Mapeamento geológico-geotécnico para fins de análise de
risco e planejamento urbano no município de Caçapava do Sul-RS
/ Mayra Kauany Rodrigues Cunha.

119 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2022.

"Orientação: José Waldomiro Jimenez Rojas".

1. Mapeamento geotécnico. 2. Administração pública. 3.
Fotogrametria. 4. Riscos geológicos. I. Título.

MAYRA KAUANY RODRIGUES CUNHA

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA FINS DE ANÁLISE DE RISCO E
PLANEJAMENTO URBANO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

18 de março de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Waldomiro Jiménez Rojas
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Orientador

Prof. Dr. Felipe Gudagnin
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Co-orientador

Prof. Me. Diogo Peixoto Cordova – UNIPAMPA

Ma. Haline Dugolin Ceccato - UFSM



Assinado eletronicamente por **JOSE WALDOMIRO JIMENEZ ROJAS, Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 24/03/2022, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIOGO PEIXOTO CORDOVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/03/2022, às 08:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Haline Dugolin Ceccato, Usuário Externo**, em 25/03/2022, às 08:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0763662** e o código CRC **59BF6EB6**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

**Dedico este trabalho aos meus pais, Jurandir e Dalva,
às minhas avós Maria e Elisa e ao meu irmão Felipe, pelo apoio,
confiança, e credibilidade depositadas em mim. Obrigada!**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus, pela minha vida e por sempre ter me guiado e orientado nas minhas decisões. Aos meus pais, Jurandir e Dalva, minhas avós Elisa e Maria, meu irmão Felipe e meu namorado José, que são a base da minha vida e sempre me apoiaram e acreditaram em mim. Cada conquista adquirida nesses anos é parte do incentivo que recebi de todos vocês ao longo da minha trajetória acadêmica. Às minhas amigas que, independente da distância, sempre estiveram comigo, Amanda Giuliana, Ana Louise. Às amizades feitas ao longo desses anos, em especial a Adriely, Beatriz, Bianca, Carol, Laiane, Natácha, Poliana, Nanã, que de modo especial fizeram toda a diferença na minha vida nesses anos morando no Sul. Foram muitas amizades feitas durante esses anos, que eu sempre vou levar comigo. Agradeço a oportunidade de ter cursado um curso maravilhoso que me fez amadurecer e crescer profissionalmente, onde tive a chance de participar de eventos internacionais como Congressos, simpósios e o SIEPE. À Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, pela oportunidade a mim fornecida de cursar geologia com qualidade e pelo conhecimento adquirido pelos professores que se fizeram presentes ao longo desses 12 semestres.

Agradeço aos Prof^o. Dr^o. José Rojas e Prof^o. Dr^o Felipe Guadagnin, pela orientação, parceria, paciência e ajudas durante o TCC e durante toda a graduação. Agradeço também à Haline que tanto me ajudou durante o meu trabalho de conclusão de curso.

À Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, pelo empréstimo do Laboratório de sedimentologia, onde eu tive a oportunidade de fazer os meus ensaios e aprender muito lá. Também agradeço ao técnico de laboratório Rômulo, por ter me auxiliado na realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Tratamento de Minérios da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, agradeço de modo especial a técnica Ângela que me ajudou nas análises e no ensaio a laser. Agradeço a todos aqueles que, embora não nomeados, me apoiaram em diferentes momentos, e por suas presenças inesquecíveis, o meu reconhecimento e carinho, muito obrigado!

**“Mas pra quem tem pensamento forte
o impossível é só questão de opinião”.**

- Charlie Brown Jr.

RESUMO

A constante ocupação dos solos e dos centros urbanos de forma irregular está ocorrendo de forma acelerada e sem obedecer a qualquer critério de planejamento urbano. Com isso, se faz necessário, estudos específicos como mapeamentos geológico-geotécnicos com o intuito de caracterizar o meio físico, suas relações com os tipos de ocupação e análise das condições socioeconômicas do local, a fim de controlar o crescimento acelerado das áreas urbanizadas, dando o suporte necessário para adequação dos locais a serem ocupados e assim minimizando os riscos do surgimento dos acidentes geológicos. Nesse contexto os objetivos deste trabalho são discutir a importância dos conhecimentos geológicos e geotécnicos nos processos de planejamento territorial podendo assim avaliar os impactos ambientais gerados pelas ocupações habitacionais irregulares. Para isso, precisou-se caracterizar as zonas de riscos ambientais e geotécnicos através da análise da erodibilidade do solo local e realizar um mapeamento aéreo, enfatizando a importância e a aplicabilidade da fotogrametria no monitoramento da expansão urbana nas áreas de risco geológico, gerando assim, um modelo virtual 3D da área de estudo. A prevenção de acidentes geológicos urbanos só é possível a partir da identificação e da análise das áreas de risco, as quais são realizadas e ilustradas em trabalhos prévios de análise do meio físico, denominados mapeamentos geotécnicos. Assim, a área de estudo selecionada localiza-se nos bairros Vila Sul e Promorar, dentro do município de Caçapava do Sul, caracterizados como uma das maiores concentrações de habitações irregulares do município, onde é possível observar e mapear as zonas de risco geológico atreladas à movimentos de massa, colapsos e erosões do solo, inundações, poluição da água entre outros. Após a realização e análise dos objetivos principais, este trabalho também teve o intuito de mostrar, e auxiliar os órgãos públicos sobre a importância do planejamento e administração do uso dos solos dentro dos centros urbanos e as medidas a serem tomadas para amenizar as situações de risco já estabelecidas. Com isso, foi possível caracterizar 2 das 3 amostras analisadas, como fortemente passíveis a erosão, e uma fortemente erodível. Além disso, com os resultados do mapeamento aéreo, definiu-se áreas como R1, R2 e R3, caracterizando a área como uma área de fragilidade ambiental.

Palavras-chaves: Mapeamento geotécnico; administração pública; fotogrametria; riscos geológicos.

ABSTRACT

The constant occupation of land and urban centers in an irregular way is happening in an accelerated way and without obeying any urban planning criteria. With this, it is necessary, specific studies such as geological-geotechnical mappings in order to characterize the physical environment, its relations with the types of occupation and analysis of the socioeconomic conditions of the place, in order to control the accelerated growth of urbanized areas, giving the necessary support for the adequacy of the places to be occupied and thus minimizing the risks of the emergence of geological accidents. In this context, the objectives of this work are to discuss the importance of geological and geotechnical knowledge in territorial planning processes, thus being able to assess the environmental impacts generated by irregular housing occupations. For this, it was necessary to characterize the zones of environmental and geotechnical risks through the analysis of the erodibility of the local soil and to carry out an aerial mapping, emphasizing the importance and applicability of photogrammetry in the monitoring of urban expansion in areas of geological risk, thus generating, a 3D virtual model of the study area. The prevention of urban geological accidents is only possible from the identification and analysis of risk areas, which are carried out and illustrated in previous works of analysis of the physical environment, called geotechnical mappings. Thus, the selected study area is located in the Vila Sul and Promorar neighborhoods, within the municipality of Caçapava do Sul, characterized as one of the largest concentrations of irregular housing in the municipality, where it is possible to observe and map the geological risk zones linked to the mass movements, soil collapses and erosion, floods, water pollution, among others. After carrying out and analyzing the main objectives, this work also aimed to show and assist public bodies on the importance of planning and management of land use within urban centers and the measures to be taken to mitigate risk situations. already established. With this, it was possible to characterize 2 of the 3 samples analyzed as strongly susceptible to erosion, and one strongly erodible. In addition, with the results of the aerial mapping, areas such as R1, R2 and R3 were defined, characterizing the area as an area of environmental fragility.

Keywords: Geotechnical mapping; public administration; photogrammetry; geological.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	10
Figura 2: Vista aérea da área de estudo.....	11
Figura 3: Mapa Geológico.....	13
Figura 4: Tipos de Cartas Geotécnicas.	18
Figura 5: Exemplo de carta de suscetibilidade a escorregamento em Porto Alegre.....	20
Figura 6: Exemplo de carta de suscetibilidade do município de Nova Lima – MG.....	21
Figura 7: Exemplo de carta geotécnica de aptidão à urbanização das áreas suscetíveis à expansão urbana no município de São José.	22
Figura 8: Exemplo de carta de aptidão à urbanização.	23
Figura 9: Exemplo de carta geotécnica de risco do município de Nova Lima - MG.....	24
Figura 10: Exemplo de zoneamento de risco.....	27
Figura 11: Ilustração do conceito de erosão em sulcos e entressulco.....	31
Figura 12: Formação de sulcos com 5 e 8 cm de profundidade, respectivamente.....	32
Figura 13: Exemplo de ravina encontrada na área de estudo com aproximadamente 12 centímetros de profundidade.	33
Figura 14: Exemplo de voçoroca encontrada dentro da área de estudo, com mais de 50 centímetros de profundidade.	34
Figura 15: Esquema exemplificando o salpicamento.	35
Figura 16: Gráfico da erosão e a deposição em função da velocidade de escoamento e tamanho de partículas.	37
Figura 17: Limites de Atterberg dos solos.....	45
Figura 18: Esquema do aparelho de Casa Grande usado na determinação do limite de liquidez.....	46
Figura 19: Detecção de pontos em comum em pares estéreos de fotografias de um mesmo alvo a partir de posições distintas.	49
Figura 20: Fluxograma das etapas do presente trabalho.	52
Figura 21: Perfis mapeados dentro da área de estudo.	55
Figura 22: Amostras de solos coletadas e devidamente identificadas.....	56
Figura 23: Primeiro plano de voo.	57
Figura 24: Segundo plano de voo.	58
Figura 25: Terceiro plano de voo.	58
Figura 26: Tela observada no smartphone durante o procedimento de captura das imagens.....	55
Figura 27: Etapas de preparação do solo para o ensaio no granulômetro a laser; (A) Quarteamento dos solos; (B) Destorroamento dos solos; (C) Peneiramento dos solos; (D) Porção peneirada utilizada no ensaio; (E) Equipamento utilizado.....	60
Figura 28: Béquer contendo 47,9 gramas do defloculante de hexametáfosfato de sódio.....	62
Figura 29: (A) Destorroamento dos solos; (B) Peneiramento dos solos; (C) Água destilada; (D) Processo de agitação da solução.	63
Figura 30: Processo de sedimentação em que os solos foram submetidos.	64
Figura 31: Equipamento Casagrande preenchido com a pasta homogênea e semifluida.....	65
Figura 32: Amostra do material fissurada após a perda da sua umidade.....	66
Figura 33: Parametros utilizados para editar as imagens.....	67
Figura 34: Antes e depois das imagens tratadas.....	68
Figura 35: Parâmetro “Reconstruction Uncertainty” de refinamento do procedimento de alinhamento das fotografias.....	69
Figura 36: Parâmetro “Projection Accuracy” de refinamento do procedimento de alinhamento	

das fotografias.....	70
Figura 37: Parâmetros de otimização do alinhamento das câmeras.....	70
Figura 38: Modelo texturizado.....	71
Figura 39: Classificação automática das classes do <i>Agisoft Metashape</i>	72
Figura 40: Classificação da nuvem densa de pontos de forma manual.....	73
Figura 41: Ponto classificados como a superfície do terreno.....	74
Figura 42: Classificação final referente aos pontos do terreno.....	74
Figura 43: Ferramenta to to raster no arcgis para a geração do modelo digital de elevação...	75
Figura 44 - Mapa de declividade da área de estudo.....	77
Figura 45 - Modelo Digital de elevação da área de estudo.....	78
Figura 46: Dois dos afloramentos encontrados e descritos no local.....	79
Figura 47: Perfil de solo exposto no qual foram retirados amostra para análise.....	80
Figura 48: Curvas granulométricas referentes as 3 amostras de solos.....	81
Figura 49: Valores da porcentagem das frações granulometricas com defloculante.....	82
Figura 50: Curva granulométrica resultante do ensaio feito pelo granulometro a laser.....	83
Figura 51: Diagrama trilinear de classificação de solos.....	84
Figura 52: Classificação unificada dos solos.....	85
Figura 53: Resultados dos ensaio de LL.....	86
Figura 54: Resultados dos ensaio de LC.....	87
Figura 55: Valores obtidos com base na porcentagem passante na peneira 200.....	89
Figura 56: Feições erosivas observadas na área de estudo.....	90
Figura 57: Áreas classificadas com MR e R2 dentro da área de estudo.....	91
Figura 58: Áreas classificadas com R1, R2 e R3 dentro da área de estudo.....	93
Figura 59: Rachaduras presentes nas moradias dos habitantes da área de estudo.....	94
Figura 60: Mapa do zoneamento de risco.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da área por zoneamento de risco.....	25
Tabela 2 - Cadastramento de risco para classificar a área de estudo.....	26
Tabela 3 - Alguns outros fatores e sua influência na erodibilidade dos solos.....	40
Tabela 4 - Índices de Atterberg em alguns solos brasileiros.....	46
Tabela 5 - Classificação da plasticidade dos solos em relação aos valores de IP.....	47
Tabela 6 – Relação de erodibilidade com o índice de plasticidade proposto por Santos (2001)	48
Tabela 7 - Amostras de solos coletadas e devidamente identificadas.....	56
Tabela 8 - Procedimentos de comando realizados no software do equipamento para a realização da análise.....	61
Tabela 9- Resultados obtidos através dos cálculos utilizando as equações propostas por Bouyoucos (1935) e Manningel et al. (2002).....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano.....	19
Quadro 2 – Enfoque de cada área de estudo sobre a temática erosão (Bastos 2000)	29
Quadro 3 – Susceptibilidade à erosão pela textura dos solos (Ceccato, 2018)	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

APP - Áreas de Preservação Permanente

CMPF - Complexo Metamórfico Passo Feio

CGCS - Complexo Granítico Caçapava do Sul

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESrg - Escudo Sul-Rio-Grandense

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

N - Norte

NW – Noroeste

RPAS - *Remotely Piloted Aircraft System*

RS - Rio Grande do Sul

S - Sul

SE – Sudeste

SW- Sudoeste

UFMS - Universidade Federal de Santa Maria

UgCS - Universal Ground Control System

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

UTM - Universal Transversa de Mercator

WGS84 - World Geodetic System 1984

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo	7
1.1.1 Objetivos Gerais	7
1.1.2 Objetivo Específicos	7
1.2 Justificativa	7
2. ÁREA DE ESTUDO	9
2.1 Localização	9
2.2 Geologia	12
2.2.1 Complexo Granítico Caçapava Do Sul.....	12
2.2.2 Geomorfologia, Pedologia e Clima	11
3. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Importância do mapeamento no planejamento territorial.....	16
3.2 Cartografia Geotécnica.....	17
3.3 Classificação das Carta Geotécnicas.....	17
3.3.1 Carta de suscetibilidade.....	19
3.3.2 Cartas de aptidão à urbanização.....	21
3.3.3 Cartas de risco.....	23
3.3.4 Setorização e cadastro de risco da área.....	24
3.4 Erosão: conceitos e classificação.....	27
3.4.1 Classificação dos processos erosivos.....	29
3.4.1.1 Erosão superficial ou laminar.....	30
3.4.1.2 Erosão em Sulcos ou ravinas.....	30
3.4.1.3 Voçorocas.....	33
3.4.2 Mecanismos dos processos erosivos.....	35
3.4.3 Fatores que interveem nos processos erosivos.....	37
3.4.4 Erodibilidade dos solos.....	41
3.4.4.1 Métodos indiretos de avaliação da erodibilidade do solo.....	42
3.4.4.1.1 Ensaios de caracterização física – Granulometria.....	42
3.4.4.1.2 Ensaios de caracterização física – Limites de Atterberg.....	44
3.5 Aerofotogrametria.....	48
4. METODOLOGIA	51
4.1 Etapa de gabinete	53

4.2	Etapa campo.....	53
4.2.1	Mapeamento Terrestre.....	54
4.2.2	Mapeamento Aéreo.....	56
4.3	Etapa laboratório.....	59
4.3.1	Ensaio de caracterização física.....	59
4.3.1.1	Ensaio do granulômetro a laser dos solos.....	60
4.3.1.2	Ensaio de Granulometria e Sedimentação.....	61
4.3.1.3	Ensaio de Limite de Liquidez.....	64
4.3.1.4	Ensaio de Limite de Plasticidade.....	65
4.4	Aquisição e processamento das fotografia aéreas.....	66
4.4.1	Geração do Modelo Digital de Elevação.....	71
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
5.1	Definição de áreas de risco no perímetro urbano	76
5.2	Modelo digital de elevação	77
5.3	Caracterização Geológica.....	78
5.4	Caracterização Geotécnica.....	80
5.4.1	Classificação da erodibilidade.....	87
5.5	Zoneamento e cadastro de risco.....	90
5.5.1	Mapa do zoneamento de risco.....	94
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

1. INTRODUÇÃO

A aceleração dos processos de ocupação urbana irregular é caracterizada por não obedecerem um planejamento assertivo em relação à ocupação dos solos e ao bem-estar das comunidades. Essas ocupações desordenadas do solo trazem como consequência prejuízos ambientais e socioeconômicos. Tendo em vista isso, faz-se necessários mapeamentos geológicos e geotécnicos constantes nessas regiões sem infraestrutura básica dentro do perímetro urbano, pois através desses estudos pode-se caracterizar o meio físico, os recursos naturais ali existentes e as possíveis situações de riscos geológicos existente no local. No Brasil, segundo Acosta (2020), nos últimos 30 anos, houve um aumento considerável no número de acidentes geológicos com indução antropogênica, os quais são ocasionados pela acelerada ocupação urbana sobre áreas de potenciais riscos geológicos, que acabam evoluindo para acidentes geológicos urbanos.

De acordo com Oliveira (2010), escorregamentos, colapsos e erosões do solo, inundações, poluição da água, voçorocas e alagamentos, são alguns exemplos de riscos geológicos. Os mesmos evoluíram para acidentes geológicos cuja origem está relacionada ao uso inadequado do solo devido à falta de informações básicas sobre o meio físico no processo de planejamento urbano. Isso sem mencionar os riscos à saúde dessas populações devido à falta de infraestrutura urbana e de saneamento básico.

Com isso, cada vez mais têm sido importante o fomento de estudos especializados nestes temas, com propostas em diferentes níveis de atuação. Esses níveis de atuação são em âmbito preventivo, como é o caso dos mapas de risco e de monitoramento remoto até o contexto corretivo com projetos de alto custo de estabilização, melhoria e condicionamento de solos, elaboração de um plano voltado para criar uma infraestrutura básica no local, ou até mesmo uma análise sobre a relocação dessa comunidade através dos planos habitacionais do Governo Federal.

Nesse contexto, conhecimento geológico-geotécnico, voltados à caracterização do meio físico é imprescindível no monitoramento, prevenção e correção dos riscos geológicos, além de auxiliarem nas ações de planejamento e administração pública, visto que essas informações, somadas ao entendimento das relações entre ocupação desordenada do solo, fornecem também indicações necessárias para controlar o crescimento acelerado das áreas urbanizadas, dando o suporte necessário para adequação dos locais a serem ocupados e assim minimizando os riscos

do surgimento dos acidentes geológicos (OLIVEIRA, 2010). Dessa forma, podem-se gerar mapas que mostram a distribuição espacial dos riscos ambientais, além de gerar modelos virtuais do local, através do mapeamento remoto utilizando a aerofotogrametria com o auxílio de RPAS (Remote Piloted Aircraft System), otimizando assim o mapeamento geotécnico da área.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como intuito contribuir de forma prática e objetiva para a melhoria e aperfeiçoamento da administração pública voltada para o planejamento da ocupação territorial urbana da Vila Sul, bairro do município de Caçapava do Sul-RS, conscientizar a comunidade local e os órgãos públicos sobre os riscos já instalados no local, e auxiliar na remediação ou diminuição da probabilidade dos riscos se tornarem acidentes geológicos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir a importância do conhecimento geológico e geotécnico nos processos de planejamento territorial e na avaliação dos impactos ambientais.
- Analisar amostras de solo extraídas do local de estudo a fim de classificar o tipo do solo e sua erodibilidade.
- Entender a importância e a aplicabilidade da fotogrametria e das câmeras embarcadas em RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) como uma solução econômica e eficiente no monitoramento remoto da expansão urbana em áreas de risco, através da geração de modelo virtual 3D da área de estudo.
- Caracterizar e mapear as zonas de risco ambientais e geotécnicas através da produção e análise do mapa de zoneamento do risco somada aos resultados gerados pelas análises de solo e pelo levantamento aéreo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Parizzi (2014), o monitoramento das áreas de risco deve ser uma ação prioritária e permanente nas cidades brasileiras. Conforme citado, os centros urbanos crescem cada vez mais, e muitas vezes, a forma de ocupação e/ou uso desses solos são inadequadas ao tipo de geologia e geomorfologia local, aumentando assim a vulnerabilidade da área e, conseqüentemente, o grau de risco geológico. Mapear essas áreas auxilia na amenização dos riscos geológicos para que os mesmos não evoluam para acidentes geológicos urbanos, além de

auxiliar no bem estar da comunidade local. Tendo em vista esse contexto, a area de estudo é considerada um dos maiores núcleos habitacionais do município de Caçapava do Sul e há relatos de alguns moradores alegando que a estrutura desses bairros, é a mesma desde a sua fundação.

Diante dessa premissa, diversos estudos acadêmicos já vem sendo desenvolvido pelos alunos da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), podendo destacar Lucas (2015), com foco na porção central do município de Caçapava do Sul, Barbosa et al. (2016) abrangeram uma área de interesse a expansão urbana do município, contemplando a região sul urbana, Barbosa et al (2016a, 2016b), Pereira (2017) e Silva (2021) realizaram novos estudos, porém, com foco na região nordeste da área urbana, no entanto, o trabalho de Silva gerou como produto final de seu estudo um mapa de zoneamento de risco no qual englobou todos os trabalhos citados acima. Tendo sido observado que a maior concentração dos estudos ocorreram na porção nordeste, o presente estudo busca dar continuidade nesta temática, porém com foco na porção sudoeste do município.

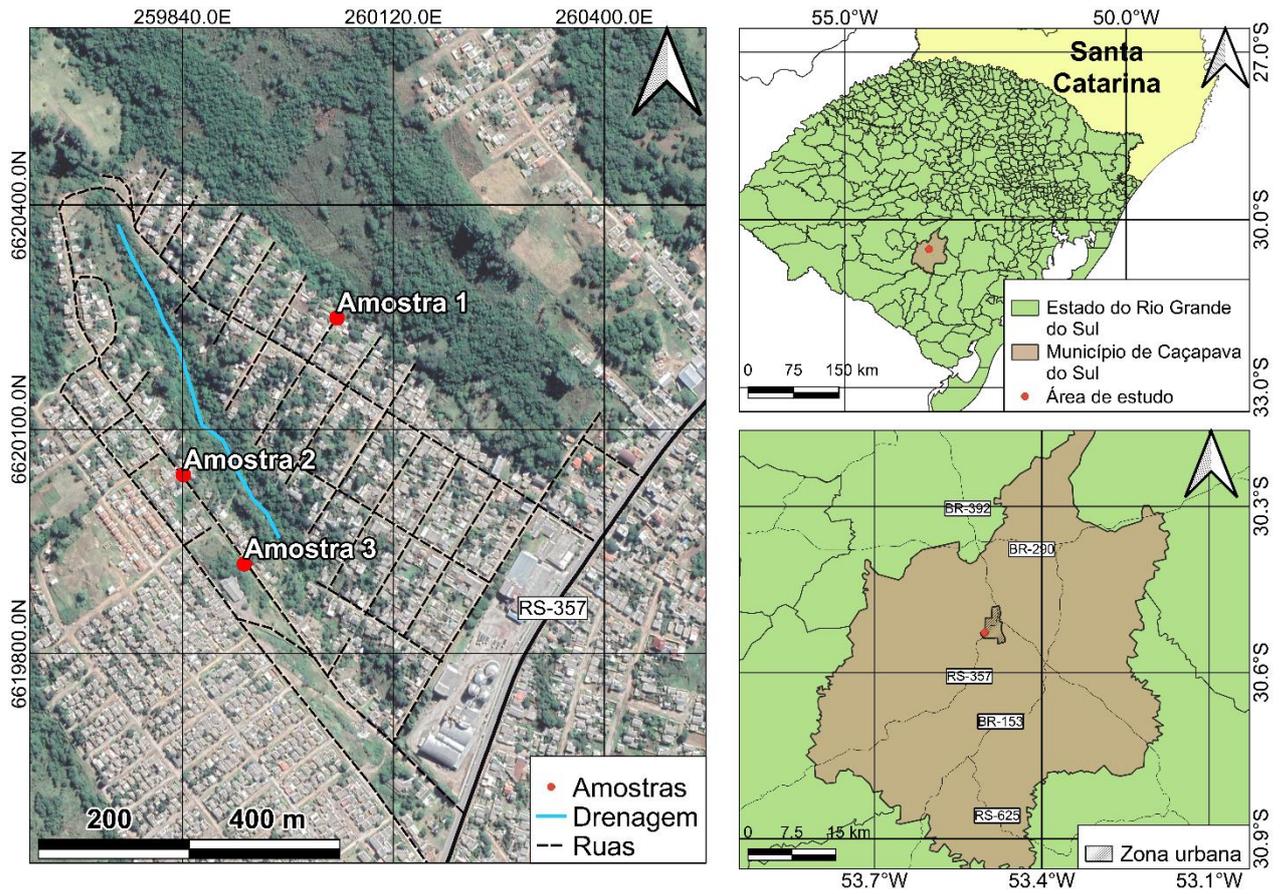
2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo do presente trabalho, encontra-se no município de Caçapava do Sul, localizado a 260,5 km via BR 290, sentido sudoeste da capital gaúcha de Porto Alegre. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), o município de Caçapava do Sul está situado na Mesorregião Sudeste Rio-Grandense e na Microrregião da Serra do Sudeste gaúcho, inserido dentro do Escudo Sul-Rio-Grandense e correspondendo às porções mais elevadas do escudo, com aproximadamente 450 metros de altitude.

Já em um âmbito mais local, a área escolhida dentro do município é a região que engloba um dos maiores núcleos habitacionais do município, os quais são os bairros Vila Sul e Núcleo Habitacional Vereador João Manoel de Oliveira, ou popularmente conhecido como Promorar (Figura 1). O acesso a área se dá pela Avenida João Manuel de Lima e Silva, sentido Lavras do Sul. Após passar pelo semáforo, vira a primeira à direita e já se encontrará dentro da área deste estudo (Figura 2).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: do Autora (2022).

Figura 2: Vista aérea da área de estudo.



Fonte: do Autora (2022).

De acordo com o Jornal Farrapo (2019), o projeto de habitação na zona sul da cidade começou no início dos anos 1980, na gestão do prefeito Cyro Carlos Melo. A entrega das primeiras 464 casas foi realizada no dia 25 de julho de 1984, na gestão do prefeito Otomar Vivian. A entrega foi divulgada amplamente na imprensa da época, inclusive no jornal da cidade, chamado de “BOM – Boletim Oficial do Município”.

Após mais de três décadas, o bairro cresceu com a construção de mais residências, postos de saúde, templos religiosos e comércio. Um ginásio de esportes e um campo de futebol completam a lista, mas atualmente estão fechados para reforma. Um dos fatos que chamam a

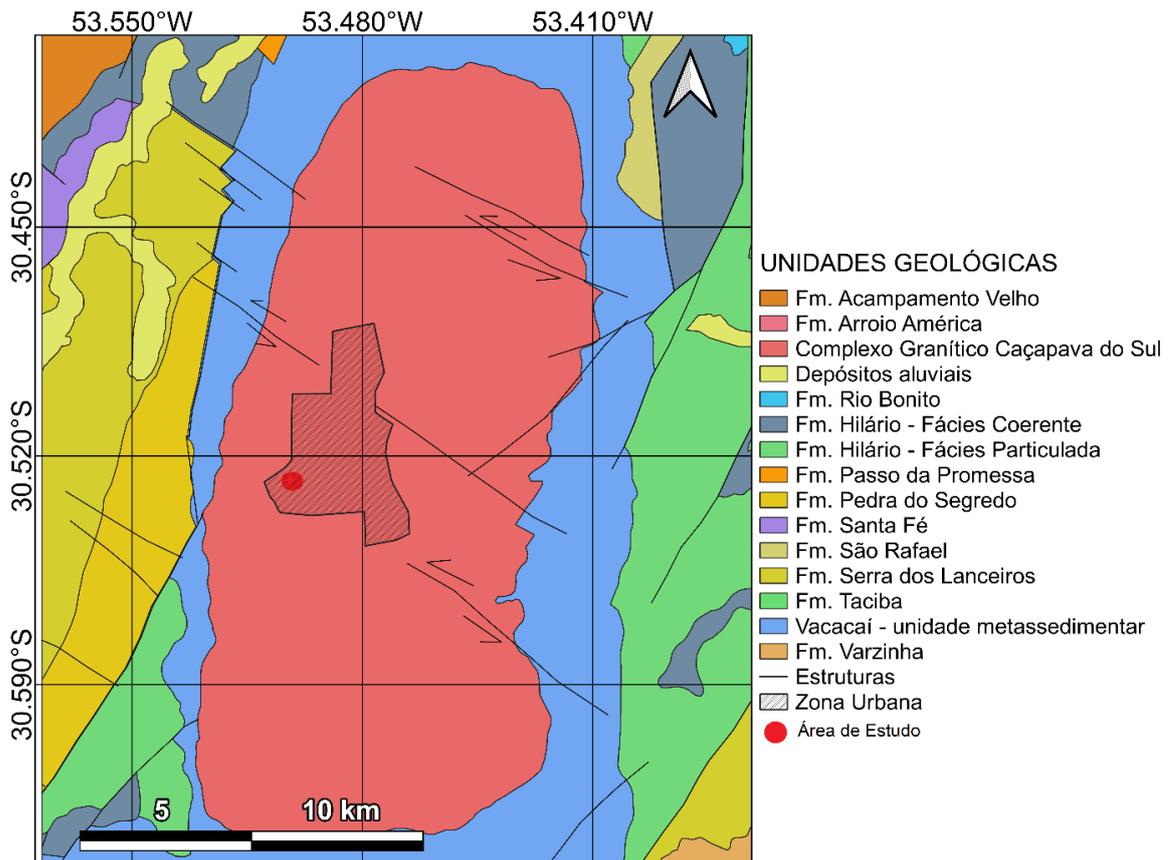
atenção para essa região são os relatos de alguns moradores, falando que a infraestrutura do bairro é a mesma desde a sua fundação.

2.2 GEOLOGIA

2.2.1 COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL

Segundo Bitencourt (1983), o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS), possui aproximadamente 250 km² aflorantes (Figura 3). É um corpo intrusivo em unidades metamórficas do Domínio Ocidental do ESrg (Complexo Metamórfico Passo Feio), orientado na direção NE-SW, ao longo de uma zona de cisalhamento, e compreende dois corpos graníticos (PORCHER, 2000), constituído por sienogranitos a granodioritos, com predominância de monzogranitos e raras ocorrências de tonalitos. O corpo principal (maior) possui forma oval e aproximadamente 25 km de extensão (N-S) por 10 km de largura, e o corpo secundário (menor) se localiza a sudeste do corpo maior, sendo denominado por Ribeiro (1970) como Granito Santo Ferreira. Em função de 24 serem corpos semelhantes em composição e estruturas, são considerados da mesma unidade (NARDI & BITENCOURT, 1989).

Figura 3 – Mapa Geológico



Fonte: Autora, 2022 (Dados de SIG extraídos do banco de dados da CPRM).

De acordo com Borba (2006), o CGCS apresenta foliação, principalmente nas bordas, caracterizadas por um forte estiramento de minerais como o quartzo e feldspato, e um alinhamento de minerais placóides e prismáticos. Essa foliação provém do contato das rochas graníticas com as encaixantes metamórficas, originando assim uma foliação milonítica ao longo das bordas que é concordante com a foliação da sequência metamórfica que as envolvem (BITENCOURT, 1983).

Segundo Nardi & Bitencourt (1989), o Complexo Granítico Caçapava do Sul possui três fácies principais bem definidas pela petrografia e pela geoquímica, sendo elas a biotita granitóides localizadas predominantemente nas porções sul, sudoeste e oeste, leucogranitóides predominantes nas porções norte e nordeste e granitóides transicionais nas porções centrais e leste. Nardi & Bitencourt (1989) também sugerem que o complexo granítico seja uma intrusão concomitante com a segunda fase de metamorfismo e deformação regional das rochas metamórficas encaixantes.

No centro do corpo, as rochas do CGCS são bastante fraturadas, apresentando um conjunto de falhas normais de direção NW-SE, com planos subverticais e falhas de direção N-NE com deslocamentos laterais, responsáveis pelo desenvolvimento das zonas cataclásticas, (Bitencourt 1983).

De modo geral, o Pré-Cambriano, foi um período geológico de intensa reativação de fraturas no ESrg, atingindo sequências mais jovens (PICADA, 1971), gerando assim falhas e fraturas visíveis em fotos aéreas e imagens de satélite. Os lineamentos mostram que direções como N050°E e N050°W são as mais notáveis, extensas e contínuas dentro do ESrg (PICADA, 1971), apresentando relação tectônica com batólitos graníticos, faixas metamórficas dobradas e associações de rochas metamórficas, sedimentares, vulcânicas e complexos granito-gnáissicos (RIBEIRO, 1980).

Ribeiro (1980) também identificou lineamentos na região de Caçapava do Sul na direção NE-SW, que possivelmente podem estar relacionados aos movimentos crustais compressionais e transcorrentes, associados ao último evento orogênico do ciclo Brasileiro no ESrg. Estes lineamentos notáveis estão presentes em eixos de dobras, alongamentos de estruturas dômicas graníticas e nas imbricações tectônicas de toda a região, principalmente no Terreno Tijucas (RIBEIRO, 1980).

Ainda na região de Caçapava do Sul foram identificados por Ribeiro *et al.* (1966), dois sistemas de falhas na região com direção NW, sendo eles o sistema de falhas Irapuá e o sistema de falhas do Cerro da Vigia. O sistema de falhas Irapuá compreende falhas de direção NE-SW, sendo o maior e o mais antigo sistema, o qual apresenta uma forte influência nas atividades magmáticas associadas às mineralizações da região. E o sistema de falhas do Cerro da Vigia, representado por falhas de direção NW-SE, tipicamente tensionais e definidas por falhas com um simples plano de falha, de deslocamento moderado vertical e rochas pouco brechadas. Além disso, esse sistema também é caracterizado por apresentar muitas fraturas preenchidas por diques de diabásio (RIBEIRO *et al.*, 1966).

2.2.2 GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CLIMA

A geomorfologia do município de Caçapava do Sul se insere na região geomorfológica do Planalto Sul-Rio-Grandense, contendo as unidades de relevo ‘Planaltos Rebaixados Canguçu-Caçapava’ e ‘Planaltos Marginais Rebaixados’. Esses relevos são marcados por colinas, áreas de topo plano, interflúvios tabulares, encostas íngremes, cornijas e cristas (JUSTUS et al., 1986).

Na porção norte do município, predominam serras e morros alongados, com solos rasos e afloramentos de granitos e riolitos, enquanto a porção sul, é demarcada por cerros ruiformes designados pelo termo regional “guaritas” (CPRM, 2009).

Segundo Streck (2008), a província do Escudo Sul-riograndense tem ampla diversidade geológica, com predomínio de litologias pré-cambrianas. A área superficial do município de Caçapava do Sul está localizada na província pedogenética da Serras do Sudeste, marcada principalmente pela presença de seis tipos de solos, sendo eles o Neossolo Regolítico e Litólico e em porções menores, Luvissole, Planosolo, Chernossolo e Argissolo, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1999).

Caçapava do Sul apresenta um elevado índice de precipitação pluvial (1588 mm) em função do efeito da altitude, especialmente nas áreas mais elevadas da Serra do Sudeste (EMBRAPA, 1999).

Segundo Moreno (1961), o município apresenta uma média de temperatura anual inferior a 18°C, sendo que a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio varia entre 3°C e 18°C. O mesmo autor aborda ainda, que a distribuição da chuva nesta região é uniforme, e seu relevo mais suave não influencia muito na distribuição das chuvas.

3. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a importância do mapeamento geotécnico no planejamento territorial, cartografia geotécnica, com foco na carta de suscetibilidade. Ainda nesse capítulo há uma síntese sobre os conceitos referentes à erosão e aos processos erosivos: classificações, mecanismos e fatores que intervêm nesses processos, conceitos sobre erodibilidade e seus métodos de avaliação, e por fim utilização e aplicabilidade da fotogrametria e geração de modelos 3D.

3.1 IMPORTÂNCIA DO MAPEAMENTO NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL

O mapeamento geológico-geotécnico analisa de forma conjunta o comportamento e as propriedades das rochas e dos solos (características geotécnicas) e sua gênese (características geológicas), isto é, reúne um determinado número de informações e análises extensivas para toda a área estudada e orientadas pela base geológica. Desta forma, pode reunir os subsídios do meio físico geológico, tanto para o planejamento da ocupação futura, quanto para a correção dos problemas de natureza geológico-geotécnica instalados nos núcleos urbanos (Zaine, 2000).

De acordo com Rodrigues *et. al.* (2009) e Mendes (2001), a importância do mapeamento geotécnico está na produção de um modelo que reúna o conjunto de recursos, de condicionantes e fenômenos atuantes no meio físico, de modo que os mapas produzidos tenham um valor efetivo em ações disciplinadoras do uso do solo ou mesmo para ações preventivas de defesa civil. Resumidamente a cartografia geotécnica tem que estar presente no planejamento urbano e ambiental dos municípios brasileiros, pois ela é uma ferramenta de grande importância no fornecimento de informações ao planejamento local e regional, determinando assim, o melhor uso e ocupação do solo possível à área estudada, e também promovendo a sustentabilidade ambiental, adequando às atividades antrópicas ao meio físico com o mínimo de danos possíveis.

Ainda, os autores afirmam que o crescimento desordenado das cidades e as intensas atividades antrópicas, além de transformarem o meio ambiente, ainda causam problemas de natureza física, social e econômica. Neste contexto, a busca pela sustentabilidade nos municípios se torna cada vez mais relevante, e para isto se criam instrumentos de planejamento e gestão de políticas públicas para aperfeiçoar essas demandas.

De acordo com a Lei nº 13.311, de 11 de julho de 2016, Art 182 da Constituição Federal de 1988, a política de desenvolvimento urbano básico, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em Lei têm por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento

das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, definindo que o instrumento básico desta política é o Plano Diretor.

3.2 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

A cartografia geotécnica começou a ser praticada no Brasil em meados da década de 1970 e 1980, com o desenvolvimento e aplicação de metodologias com enfoques e escalas de trabalho distintas, inicialmente praticadas por universidades e instituições de pesquisa. De maneira geral, a cartografia geotécnica é uma ciência que conecta diversas áreas de conhecimento científico como a Geologia, a Engenharia, a Geomorfologia e todas as suas aplicações dentro da geotecnia. Sendo assim, essa ciência é capaz de analisar dados geológicos do meio físico, como por exemplo, os relevos, as rochas, e os materiais inconsolidados, e prever seus comportamentos de acordo com determinado tipo de ocupação do solo ou qualquer outra ação antrópica.

Nos últimos 15 anos, o desenvolvimento das tecnologias de processamento digital dos dados cartográficos, aliado à evolução dos sistemas de informação geográfica também conhecida como SIG, possibilitaram a representação e o armazenamento dos dados através de um ambiente computacional, tornando assim possível capturar, gerenciar, manusear e analisar uma grande quantidade de dados de fontes distintas e referenciados espacialmente (DINIZ, 1998).

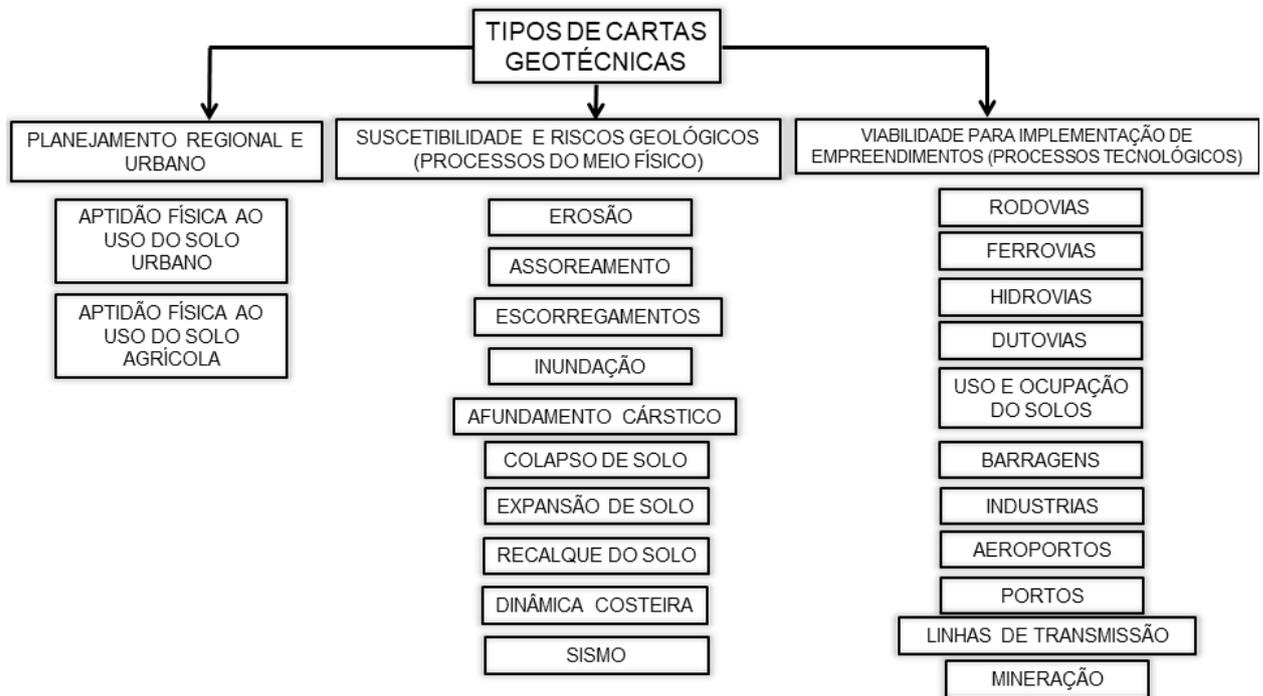
Através dessa evolução tecnologia e geração de produtos gráficos de maneira mais ágil, foi possível solucionar problemas complexos de planejamento e gerenciamento urbano, como por exemplo, planejamento ambiental, ordenamento territorial, gestão territorial, gerenciamento de obras civis, estudos de processos geodinâmicos, zoneamento ambiental dirigido, entre outros. Esse processo evolutivo da cartografia geotécnica foi de extrema importância para o reconhecimento das suas diversas aplicações (DINIZ, 1998).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS

Para Diniz (1998), as cartas geotécnicas são classificadas segundo a sua finalidade e podem ser divididas em três tipos gerais de acordo com a sua aplicação em ordenamento territorial, em avaliação de processos do meio físico, em estudos de implantação de empreendimentos. As primeiras seriam cartas de aptidão à urbanização; as segundas as cartas de suscetibilidade, perigo e riscos geológicos (hazard) a processos do meio físico; e as terceiras as cartas geológico-geotécnicas para estudos de viabilidade, projetos básicos e projetos executivos de implantação

de empreendimentos de infraestrutura, que seriam compostos por processos tecnológicos, resumidamente representados na Figura 4.

Figura 4: Tipos de Cartas Geotécnicas.



Fonte: Modificado de Diniz (1998).

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Zaine (2000) classifica as cartas geotécnicas em cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. Por outro lado, segundo Zaine (2000), “embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos”.

Porém, para os autores Sobreira & Souza (2012), a importância de correlacionar os tipos de produtos a serem gerados e o objeto do estudo, em termos de aplicação e utilização, e com o intuito de evitar o número elevado de classificações (nomes de cartas e de unidades), adota-se de maneira padrão os termos cartas geotécnicas de suscetibilidades, cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e cartas geotécnicas de risco geológico (Quadro 1), reconhecendo que cada uma delas tem determinadas especificações quanto à escala de mapeamento, aos dados

básicos de entrada para sua elaboração, à forma de representação e, principalmente, aos objetivos de sua aplicação no contexto do planejamento urbano.

Quadro 1 - Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano

Produto	Escala de mapeamento	Processos geodinâmicos passíveis de identificação
Carta de suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos
Carta de aptidão à urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Carta de risco geológico	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa acionais, rotacionais, cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos processos costeiros

Fonte: modificado de Sobreira & Souza (2012).

3.3.1 CARTAS DE SUSCETIBILIDADE

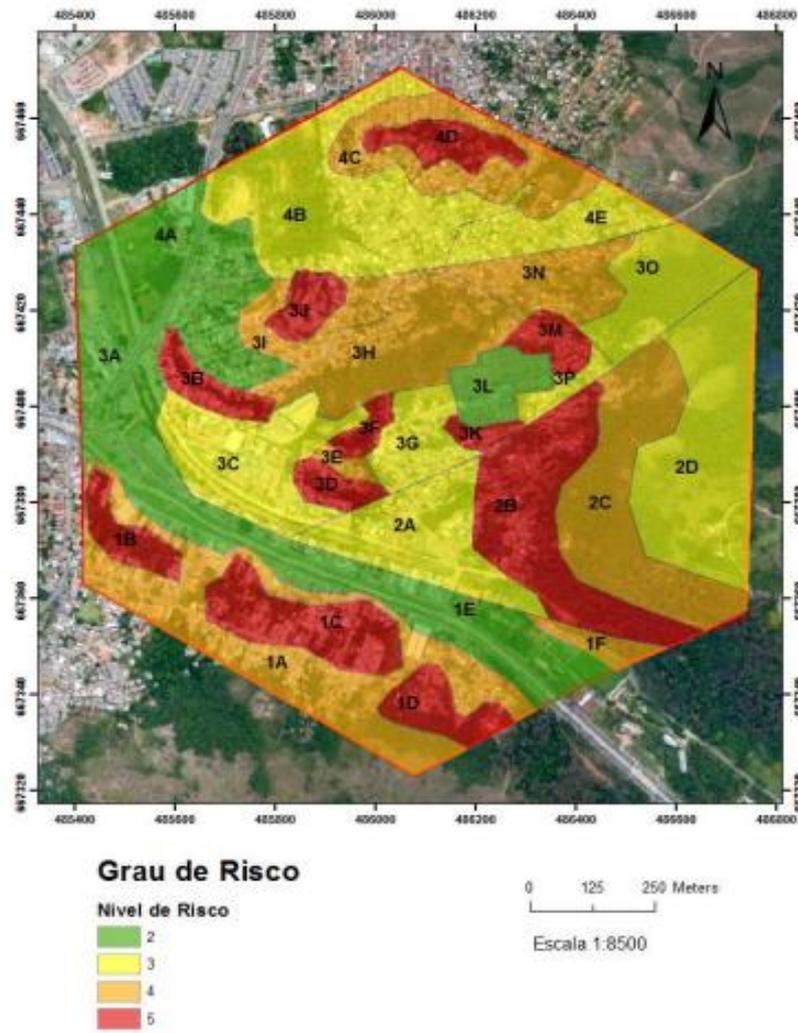
O termo suscetibilidade se refere a potencialidade dos processos geológicos como movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes, alagamentos, corridas, erosões, assoreamento e subsidências, causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas (SOBREIRA & SOUZA, 2012). Essa possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos está condicionada à ação da natureza no meio físico, podendo em alguns casos ter como um elemento adicional as práticas de uso e ocupação.

Assim, estudos de suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos naturais e o comportamento dos terrenos frente ao uso e ocupação dos solos. O estudo e avaliação desses processos geodinâmicos, somados às ações antrópicas, são representados em cartas de caráter quase sempre qualitativo, as quais são muito eficazes no planejamento em um nível mais macro.

Além disso, essas cartas têm capacidade de refletir a variação em forma e grau da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno geológico.

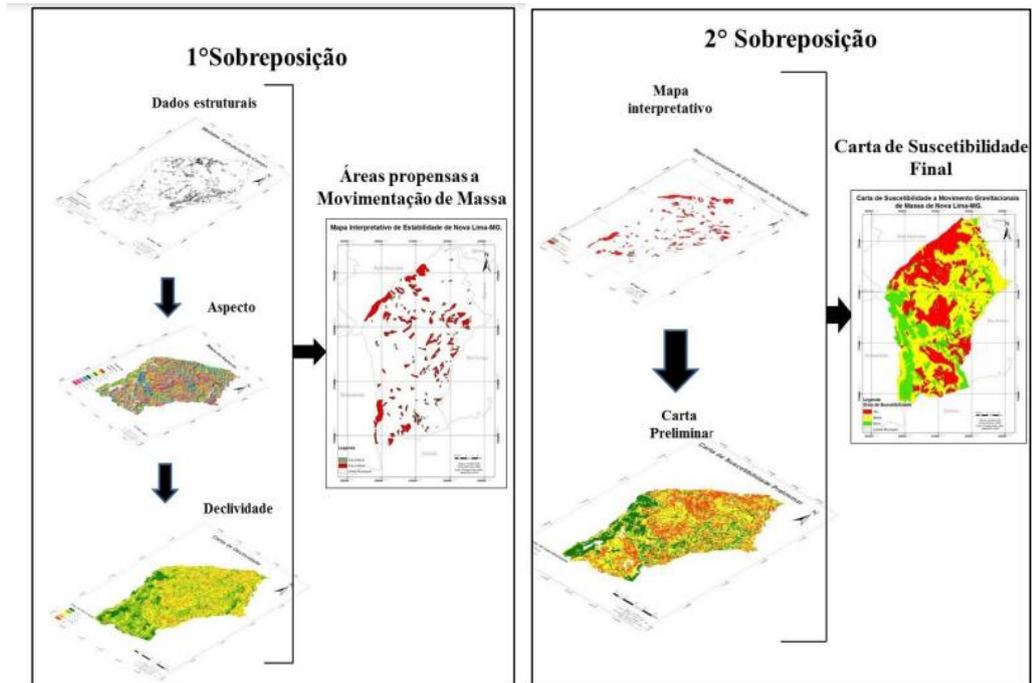
As cartas de suscetibilidade (Figuras 5 e 6) têm abrangência geral e prévia do meio físico, sendo mais eficaz em planejamentos ambientais e regionais, gestões territoriais e de bacias hidrográficas. Oferecem grande contribuição nos planos diretores municipais. De acordo com Sobreira & Souza (2012), uma análise completa de suscetibilidade indica as áreas mais adequadas para a ocupação e outras com restrições, mas a escala de análise não permite o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana.

Figura 5 - Exemplo de carta de suscetibilidade a escorregamento em Porto Alegre.



Fonte: Leite (2015).

Figura 6 - Exemplo de carta de suscetibilidade do município de Nova Lima - MG.



Fonte: Leão (2016).

3.3.2 CARTAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

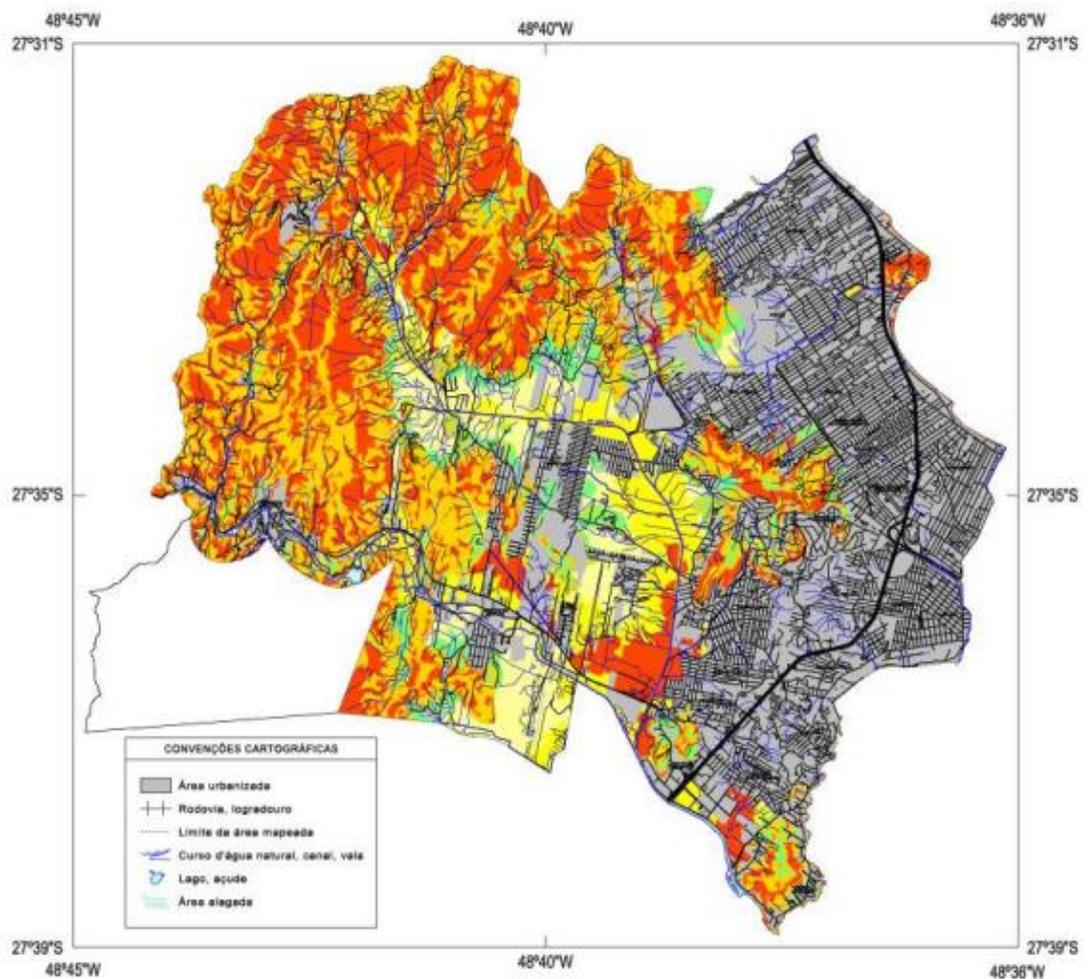
A aptidão à urbanização é definida como a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança (SOBREIRA & SOUZA, 2012). Para fazer esse tipo de análise, necessita-se do mapeamento, caracterização e integração de atributos da área de estudo, a fim de mapear o comportamento do meio físico mediante aos possíveis projetos propostos para a área, como a implantação de infra-estrutura local, melhorias habitacionais, reparcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária e programas de desenvolvimento comunitário, etc.

As cartas geotécnicas de aptidão (Figuras 7 e 8) devem sempre considerar que será necessária uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental (aptidão à urbanização), jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas alvo das análises e para tal, os estudos com estes objetivos devem ser feitos em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos quando necessário (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Cartas de aptidão à urbanização têm detalhe suficiente para embasar instrumentos como leis de uso e ocupação do solo ou mesmo planos diretores, em seus aspectos mais detalhados, mas, principalmente, devem dar suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos

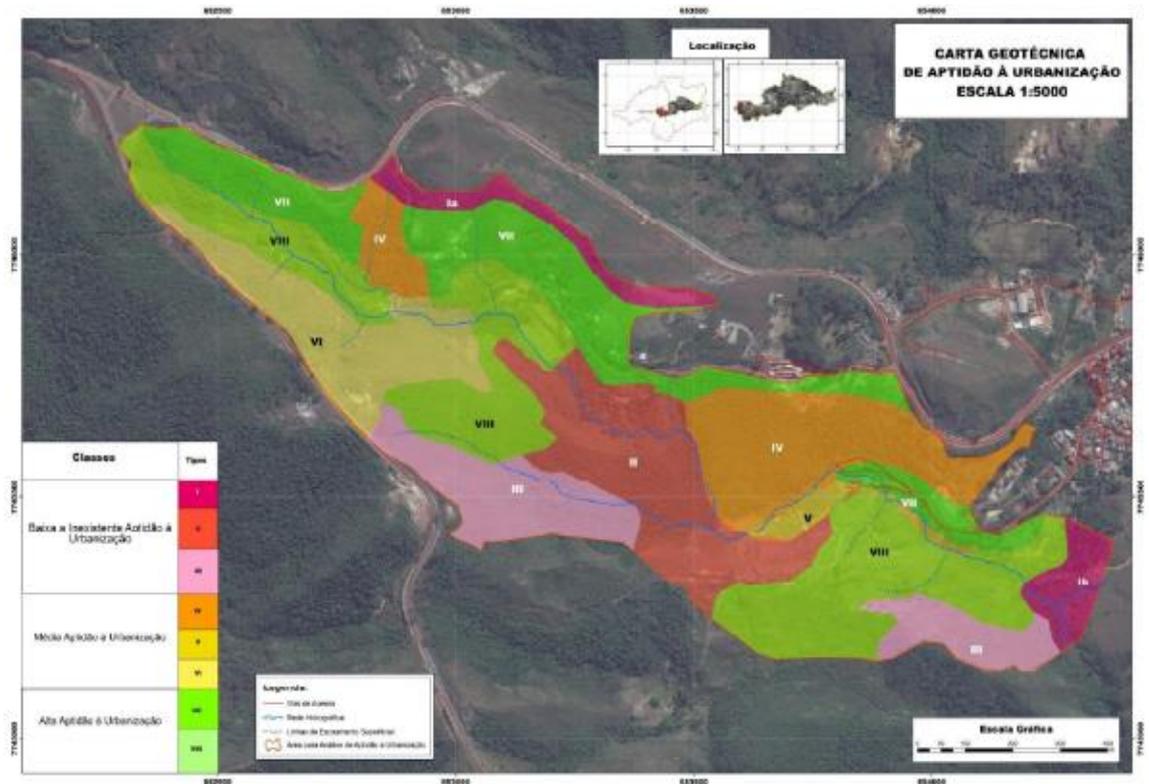
municípios. Ela deve correlacionar as características do meio físico e os processos geodinâmicos que podem ocorrer, sejam de causa natural sejam induzidos pela ocupação, além de representar todas as diferentes feições geológicas e geomorfológicas, delimitando unidades quanto aos seus comportamentos geotécnicos frente à ocupação urbana, gerando unidades de aptidão ao uso. O objetivo final é definir áreas que não são passíveis de ocupação e os setores que podem ser ocupados.

Figura 7: Exemplo de carta geotécnica de aptidão à urbanização das áreas suscetíveis à expansão urbana no município de São José.



Fonte: Flores *et. al.* (2017).

Figura 8: Exemplo de carta de aptidão à urbanização.



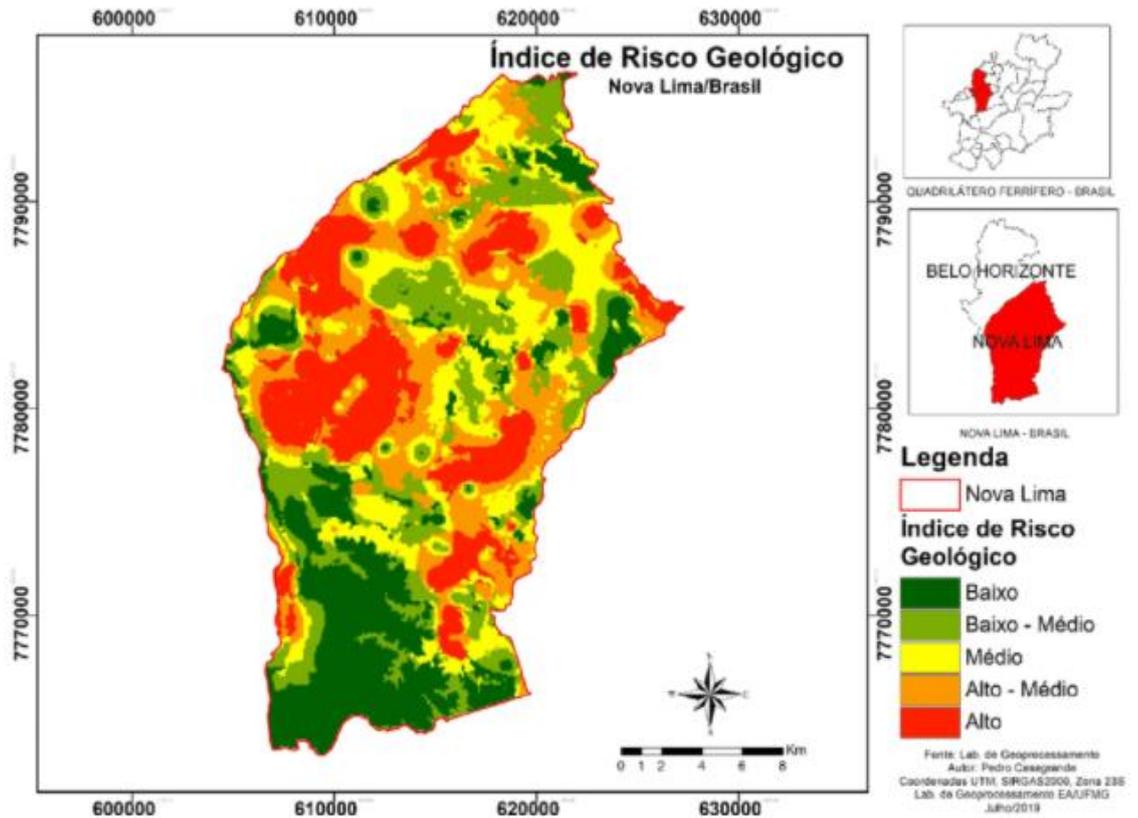
Fonte: SOUZA & SOBREIRA (2014).

3.3.3 CARTAS DE RISCO

O risco geológico está diretamente relacionado aos mecanismos e formas de ocupação e uso dos solos, planícies ou encostas, e à conscientização da população local sobre os riscos eminentes. Ou seja, em áreas urbanas não depende apenas das características mecânicas e hidráulicas dos materiais envolvidos nos processos geodinâmicos, da morfologia das encostas ou do regime pluviométrico na área.

As cartas de risco (Figura 9) em áreas urbanas avaliam os danos potenciais à ocupação decorrentes de fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo, hierarquizando unidades, setores e pontos quanto ao grau ou iminência de perda, buscando a proposição de medidas corretivas e erradicadas das situações de risco, decorrentes da desorganização da ocupação urbana ocorrida (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Figura 9: Exemplo de carta geotécnica de risco do município de Nova Lima - MG.



Fonte: Casagrande *et. al.* (2019).

3.3.4 SETORIZAÇÃO E CADASTRO DE RISCO DA ÁREA DE ESTUDO

Risco geológico pode ser definido como uma situação perigosa que gere algum dano ou perda ao ser humano, ocasionado por ação dos processos geológicos locais, amplificados ou não pelo uso incorreto dos solos. O estudo do risco geológico envolve inúmeros procedimentos e metodologias, que dependem dos objetivos, das escalas de trabalho e dos processos atuantes (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Os mapas de risco representam os resultados da avaliação de risco, a qual se refere à estimativa da extensão dos prováveis danos decorrentes de um desastre natural (perigo). Os danos podem ser na forma de perdas de vidas ou ferimentos, danos aos recursos da terra e propriedades (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

A caracterização de riscos de natureza geológico-geotécnica será um dos produtos principais desse estudo, que segundo BRAGA (2016) permite a hierarquização da gravidade das situações e, conseqüentemente, possibilita a priorização no reconhecimento dos problemas na área. Nesse sentido, Braga (2016) afirma que o mapa geológico e geotécnico elaborado deve

associar o Zoneamento e o Cadastramento de Risco (figura 10), onde, respectivamente, são individualizadas regiões passíveis de ocorrência de fenômenos geológicos potencialmente causadores de danos e vítimas e identificadas, em detalhe, as moradias sujeitas, em maior ou menor grau, à destruição por efeito de processos localizados (Tabela 1 e 2).

Tabela 1 - Classificação da área por zoneamento de risco.

Zoneamento de Risco	
Alto Risco (AR)	Grande probabilidade de ocorrência de fenômenos geológicos-geotécnicos, generalizados ou localizados, porém frequentes, envolvendo volumes de materiais mobilizados tais que sejam potencialmente causadores de danos.
Médio Risco (MR)	Prababilidade de ocorrência de fenômenos geológicos -geotécnicos, preferencialmente localizados, e/ou envolvendo pequenos volumes de material mobilizado, ou naturalmente de menor poder destrutivo, sendo potencialmente reduzidas a probabilidade de danos.
Baixo Risco (BR)	Condição de estabilidade satisfatórias em função da baixa possibilidade de desenvolvimentos de fenômenos destrutivos, potencialmente causadores de danos entre a população.

Fonte: modificada de Braga (2016).

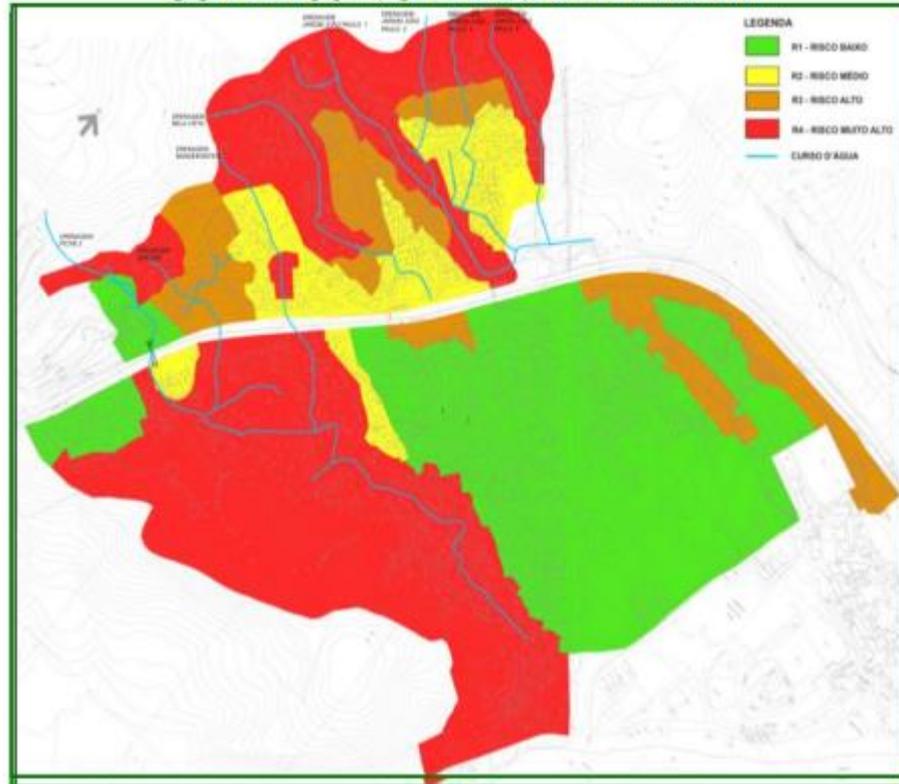
Tabela 2 - Cadastramento de risco para classificar a área de estudo.

CADASTRAMENTO DE RISCO	
RISCO IMINENTE (Ri)	Há evidências de processo destrutivo em andamento. Essa classificação não guarda relação à gravidade da consequência do desenvolvimento do processo, o qual poderá evoluir com ou sem ocorrências de condições atmosféricas adversas. Recomenda-se a remoção preventiva imediata da população
RISCO 1 (R1)	Situação de potencial instabilidade gerando elevada possibilidade de destruição da moradia e ocorrência de vítimas. Recomenda-se a adoção de medidas emergenciais provisórias, visando melhorar a condição de estabilidade do local.
RISCO 2 (R2)	Situação de potencial instabilidade de menor gravidade sendo reduzida à possibilidade de destruição de moradia e ocorrência de vítimas. Recomenda-se vigilância da evolução dessas condições.

Fonte: modificada de Braga (2016).

Figura 10: Exemplo de zoneamento de risco.

ZONEAMENTO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO COTA 100/95 E PINHAL/FABRIL



Fonte: Extraído de Santos (2012)

3.4 EROSÃO: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO

De acordo com Bastos (1999), erosão provém do latim “erode” cujo significado é corroer, onde podemos definir a erosão de maneira geral, como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestres são degradados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos como rios, geleiras, mares, vento e chuva. Segundo Camapum de Carvalho et al. (2006), a erosão constitui um processo natural que não pode ser evitado, sendo considerado um agente geológico que provoca modificação das paisagens terrestres, lento e medido através do tempo geológico.

A ocupação humana, gera uma alteração deste processo natural (erosão natural), iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, construção de estradas, criação e expansão urbana, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, constitui fator decisivo da origem e aceleração dos processos erosivos, conhecido como erosão acelerada (AHEMD, 2009). Além da ação antrópica de ocupação do solo, os processos erosivos passam a ser comandados por

diversos fatores naturais relacionados às características da chuva, do relevo, do solo, e da cobertura vegetal de determinado local.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) consideram benéfico o processo de erosão natural, pois é através dele que se formaram inúmeras colinas suaves, planícies extensas e vales férteis. No entanto, a erosão acelerada, ocorre em intensidade superior à erosão natural e numa escala de tempo 15 relativamente curta, sendo assim, incapaz por si só de alcançar a nova compensação de forças. De acordo com Facio (1991) e Camapum de Carvalho et al. (2006), o que causa o desequilíbrio são as mudanças climáticas e as intervenções antrópicas, como o mau uso do solo na agricultura e obras de engenharia, que interferem diretamente no meio físico provocando processos erosivos diretos e, em sua maioria, previsíveis.

A erosão natural é aquela que ocorre sobre condições naturais e dinâmicas (CECCATO, 2018). Quando esse equilíbrio é rompido e a taxa de erosão excede valores esperados para um determinado ambiente, designamos de erosão acelerada. O resultado disso é que em uma erosão natural, as perdas de solo são geralmente muito menores quando comparadas com a erosão acelerada. As principais causas dos processos de erosão acelerada estão no desmatamento e posterior uso do solo para atividades agrícolas e pastoris (GUERRA e VITTE, 2004).

Além disso, atividades econômicas como a construção civil, o crescimento das cidades, a mineração, entre outras, também contribuem diretamente para o surgimento de agravantes dos processos de erosão acelerada, que quase sempre são irreversíveis. Sendo assim, o tema erosão dos solos é um tema abordado em diversas áreas de estudo como a agronomia, hidráulica, geologia e engenharia. No quadro 2 é relatado de forma resumida o principal enfoque de cada área de estudo sobre a temática de erosão.

Quadro 2 – Enfoque de cada área de estudo sobre a temática erosão (Bastos 2000).

Área do conhecimento		Enfoque
Agronomia	Física dos solos	Estudo de características físicas, químicas e mineralógicas, que influenciam a erodibilidade dos solos dos horizontes superficiais, e estudo de modelos de previsão da perda de solo.
	Manejo e conservação dos solos	Estudo e conservação do impacto de técnicas de cultivo e manejo no processo erosivo.
Hidráulica	Hidráulica de canais	Estudo da erosão localizada dos solos pelo fluxo d'água em estruturas hidráulicas (p. ex. canais em terra)
Geologia	Geologia de engenharia	Estudos concentrados no diagnóstico ambiental da erosão, nas condicionantes geológicas e geomorfológicas à erosão regional e o relato de obras para controle da erosão.
Engenharia	Engenharia geotécnica	Ainda limitada abordagem ao problema da erosão. Poucos trabalhos na modelagem dos mecanismos de erosão e em critérios de avaliação da erodibilidade de solos.

Fonte: Modificada de AHMED (2009).

3.4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

A erosão é classificada em quatro grandes grupos de acordo com seus agentes erosivos, sendo esses grupos conhecidos como a erosão hídrica, a erosão eólica, a erosão glacial e a erosão organogênica. O enfoque deste trabalho será a erosão hídrica, que geralmente é classificada em três tipos principais: erosão superficial ou laminar; erosão interna e erosão linear (sulco, ravina, voçoroca), com relação ao seu estágio de evolução.

A evolução dos processos erosivos provocados pela ação das chuvas se desenvolve primeiramente na etapa da erosão superficial ou laminar, as quais evoluem para a formação de sulcos, que por sua vez se transformam em ravinas, e por fim evoluem para um estado

impactante, conhecido como voçorocas, estas, no geral, atingem o lençol freático (PITTELKOW, 2013).

3.4.1.1 EROSÃO SUPERFICIAL OU LAMINAR

Segundo Magalhães (2001), a erosão superficial ou laminar é caracterizada pelo desgaste e arraste uniforme em toda a extensão da área sujeita ao processo erosivo. É considerada como um dos tipos mais perigosos de erosões e está relacionada à distribuição do destacamento das partículas do solo, que acontece de maneira suave e uniforme por toda a sua extensão.

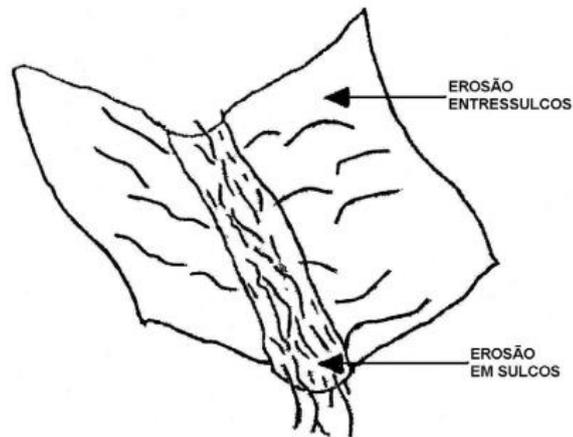
Esse tipo de erosão depende de fatores externos (cobertura do solo, declividade do terreno e clima) e fatores internos (tipo de solo, estrutura e umidade), que no geral são aspectos naturais, porém, a ação antrópica modifica o estado do solo, intensificando o processo erosivo (CAMAPUM et al. 2006).

Camapum de Carvalho et al. (2006, p.46), afirmam que “o poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e da velocidade de escoamento, bem como da espessura de lâmina d’água e, principalmente, da inclinação da vertente do relevo”. Assim, a formação de linhas de fluxo superficial interfere no potencial de desprendimento e arraste das partículas de solo, por consequência, dando origem aos sulcos que evoluem para ravinas e, dependendo da condição, podendo chegar à voçorocas.

3.4.1.2 EROSÃO EM SULCOS OU RAVINAS

De acordo com Camapum de Carvalho et al (2006) e Bigarella (2003), esse tipo de erosão é a primeira fase de desenvolvimento de uma erosão linear, na qual se desenvolve rapidamente durante as épocas de chuvas intensas devido à concentração do escoamento superficial. Para Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Bigarella (2003), a erosão em sulcos resulta das pequenas irregularidades na declividade do terreno, fazendo com que a enxurrada se concentre em alguns pontos mais baixos do terreno, atingindo velocidades e volumes suficientes para formar marcas nos solos mais ou menos profundas (Figura 11).

Figura 11: Ilustração do conceito de erosão em sulcos e entressulco.



Fonte: Extraído de Bastos (1999).

Os mecanismos de destacamento e transporte das partículas de solo ocorrem de formas diferentes nas regiões dos sulcos e nas intersulcos. Nos sulcos, o desprendimento e transporte das partículas ocorrem em função do fluxo superficial. Contudo, segundo Tomasi (2015), na região de intersulcos, o processo é desencadeado pelo fenômeno *splash* ou salpicamento, ou seja, quando a queda d'água provoca o destacamento das partículas dos solos.

De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006), sulcos são os canais de até 10 cm de profundidade, formados pela concentração do escoamento superficial; e as ravinas são canais com profundidade entre 10 e 50 cm, em que começa a ocorrer a instabilidade dos taludes, sendo que o aumento de concentração de água em determinados sulcos interfere para que eles evoluam para voçorocas. Nas figuras 12 e 13 podemos ver exemplos de sulcos e ravinas, respectivamente, encontrados na área de estudo

Figura 12: Formação de sulcos com 5 e 8 cm de profundidade, respectivamente.



Fonte: Autora (2022).

Figura 13: Exemplo de ravina encontrada na área de estudo com aproximadamente 12 centímetros de profundidade.



Fonte: Autora (2022).

3.4.1.3 VOÇOROCAS

Para Bastos (1999), o termo Boçoroca é originado do termo Tupi-guarani “mboso’roka”, que designa romper ou rasgar, sendo considerada uma ravina de grandes dimensões provocada pela ação antrópica devido à grande concentração do fluxo superficial, combinada com a ação do fluxo subsuperficial e subterrâneo. Esse autor ainda afirma que a boçoroca é o palco de diversos fenômenos como a erosão superficial, erosão interna, salopamentos, desabamentos e escorregamentos. Tendo em vista isso, percebe-se que esse conjunto de eventos que podem ser desencadeados através do processo erosivo, tornam esse estágio de erosão, mais complexo ainda e com um alto poder destrutivo.

O autor Galeti (1986) aborda voçorocas como sendo sulcos profundos em resposta do efeito da água no solo, tanto em decorrência de águas superficiais quanto de águas profundas, que se infiltram no solo até que atinjam uma camada menos permeável ou impermeável onde se

acumulam e deslocam horizontalmente, gerando o arraste de partículas, deslizamento e desmoronamento. Já para Guerra (2003), voçoroca é uma incisão com largura maior que 30 cm e profundidade maior que 60 cm. E, segundo o glossário de Ciências dos Solos dos Estados Unidos de 1987, as voçorocas são classificadas como as feições erosivas que resultam mais de 50 cm de largura e profundidade. Na figura 14 podemos ver exemplos de processos de formação de voçorocas encontradas na área de estudo.

Figura 14: Exemplo de voçoroca encontrada dentro da área de estudo, com mais de 50 centímetros de profundidade.



Fonte: Autora (2022).

3.4.2 MECANISMOS DOS PROCESSOS EROSIVOS

De acordo com Bertoni (2005) e Guerra (2007), para que a erosão se desenvolva em uma determinada superfície, é necessária a atuação de diversos fatores simultaneamente e em diferentes escalas espaciais e temporais, onde esses fatores são denominados por eles como “mecanismos de erosão”. O processo erosivo se divide em três etapas, sendo elas a desagregação do solo, o transporte e a deposição do material desagregado. A desagregação do solo ou da rocha é a primeira etapa do processo erosivo, na qual de acordo com o autor Galetti (1985), ocorre devido ao agente erosivo, choque e impacto independente da intensidade, desde que seja capaz de desprender alguma quantidade de material.

Toda remoção de solo exige a presença de água sobre terreno, sendo que em países de clima tropical, a água da chuva é o principal agente de transporte dos materiais inconsolidados (Oliveira e Brito, 1998). No caso da erosão hídrica, que é o enfoque deste trabalho, o agente erosivo é a chuva. Este processo erosivo se apresenta de duas formas: pela ação da gota da chuva e pelo escoamento superficial. Ambos atuam no arrancamento e no transporte das partículas do solo (Bastos 1999).

A primeira etapa é a desagregação do solo, a qual ocorre pelo fato do agente erosivo (chuva), chocar-se contra a superfície do solo, fazendo com que partículas sejam destacadas deste substrato, movimentando-as a curtas distâncias por salpicamento (Figura 15). Esse processo se chama *erosão por impacto de gota* (Bastos 1999).

Figura 15: Esquema exemplificando o salpicamento.



Fonte: IPT, 1991.

O movimento do solo pela água é um processo complexo, influenciado pela quantidade, intensidade e duração da chuva local, natureza do solo, cobertura vegetal, declividade da superfície do terreno (AHMED, 2009). Em cada caso, a força erosiva da água é determinada pela interação ou balanço dos vários fatores, favorecendo, alguns, o movimento do solo, e outros opondo-se a ele. O material do solo deve primeiro ser deslocado de sua posição da superfície antes que possa ser transportado. Em seguida, é carregado na suspensão ao longo da superfície do terreno. (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

O autor Galeti (1985), afirma que o transporte das partículas ocorre da seguinte maneira: as partículas menores, como argilas finas, são carregadas em solução; as partículas médias, como argilas médias e areia finas, são levadas em suspensão, pois não se dissolvem na água; e as partículas mais grossas, como areias grossas, cascalho, seixos e pedras, são empurradas/roladas pela enxurrada.

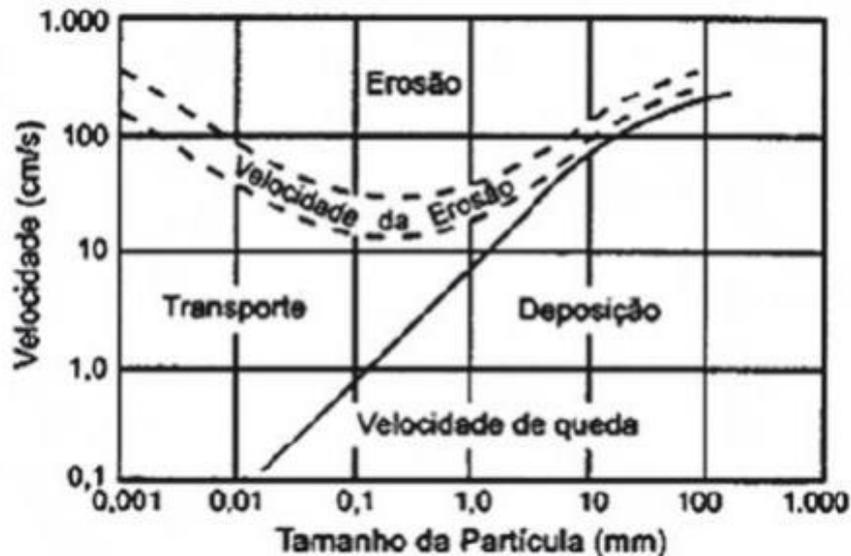
Já para Guerra (2007), o transporte pelo escoamento superficial pode ser compreendido como o resultado de tensões cisalhantes que superam a resistência estática das partículas individuais. A energia de escoamento superficial está relacionada diretamente com o declive do terreno e o comprimento de rampa a ser percorrido pelo fluxo, ou seja, quanto maior o declive e a rampa, maior será o poder de desagregação e, principalmente, transporte. Com isso, podemos afirmar que quanto maior for a declividade, maiores serão as perdas de solos se comparado a locais com menor declividade, fazendo com que áreas de maior declividade sejam mais susceptíveis a formarem sulcos e ravinas.

Por fim, tem-se etapa da deposição das partículas, na qual ocorre quando o agente erosivo (fluxo superficial) perde sua força, com a diminuição da sua velocidade ou volume. Obstáculos pelo caminho interferem no fluxo, fazendo com que ele mude de direção, ou até diminua a sua velocidade (CECCATO,2018). As partículas de solo depositadas pelo movimento das águas são geralmente separadas por tamanho da partícula. Primeiramente são depositados os de baixa transportabilidade, e por últimos os mais leves nos pontos mais distantes e mais baixos (AHMED, 2009).

Desta forma, resumidamente, a erosão hídrica se inicia com a desagregação do solo devido ao impacto das gotas de chuva, posteriormente, tem-se o transporte dessas partículas pela água que não infiltrou e escoou superficialmente. Esse sedimento irá depositar em áreas de menor declive, resultando em depósito (PITTELKOW, 2013). A erosão e a deposição em função da velocidade de escoamento e tamanho de partículas podem ser representadas em um gráfico

(Figura 16), no qual é possível observar a existência de um ponto crítico combinando menor velocidade com tamanho de partículas (Hjulstrom, 1935 apud Camapum et al., 2006.).

Figura 16: Gráfico da erosão e a deposição em função da velocidade de escoamento e tamanho de partículas



Fonte: Hjulstrom, 1935 apud Camapum et al., 2006.

3.4.3 FATORES INTERVENIENTES NOS PROCESSOS EROSIVOS

O fenômeno da erosão pode parecer simples, mas, destaca-se sobretudo pela complexidade dos mecanismos envolvidos, pois apresenta uma multiplicidade e a inter-relação de fatores intervenientes no fenômeno (Bastos 1999). A erosão hídrica, ocorre quando o solo superficial fica saturado, devido a processos como: volume, duração, velocidade, frequência, intensidade da energia cinética da água das precipitações. Além disso, leva-se em consideração o tipo de solo e suas propriedades físicas e químicas, vegetação, geologia, declividade das encostas e intensidade da interferência da ação antrópica. A erosão, então, se resume à soma de um conjunto de fatores que vão resultar na erodibilidade do solo (PITTELKOW, 2013)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), o fator antrópico influencia diretamente na intensidade da desagregação das partículas do solo, juntamente com outras características locais

como a natureza do solo (estrutura, textura, entre outras) e a quantidade e tipologia da cobertura vegetal. Estes fatores podem ser agrupados em quatro classes principais: fatores climáticos, fatores topográficos, fator vegetação e fator solo (Tabela 3). Nas explicações a seguir, será mostrado cada ação de cada fator no decorrer da erosão hídrica.

O fator clima é considerado o mais importante no processo erosivo, pois ele atua de forma direta na desagregação da rocha e formação do solo. Assim, os aspectos climáticos mais importantes no desenvolvimento pedogenético se resumem na precipitação pluviométrica e na temperatura (SALOMÃO e ANTUNES, 1998). A água da chuva provoca a erosão do solo através dos impactos das gotas sobre sua superfície, caindo com velocidade e energia variáveis, e através do escoamento da enxurrada. Sua ação erosiva irá depender da distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e de sua intensidade (AHMED, 2009). Chuvas torrenciais ou pancadas de água intensas, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. Durante esses eventos, a aceleração da erosão é máxima (Salomão e Iwasa, 1995). A ação erosiva feita pela ação da chuva, é conhecida como *erosividade* (BASTOS 1999).

Outro fator decisivo na intensidade do processo erosivo é o fato topográfico, o qual se resume na declividade e o comprimento de rampa, da encosta ou vertente. De modo geral, eles influenciam diretamente no escoamento superficial. Com isso podemos perceber que em terrenos com maiores declividades e comprimentos de rampa, apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva. Porém, uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa grande também pode ter alta intensidade erosiva, desde que sujeita à grande vazão do escoamento das águas superficiais (INFANTI JR. E FORNASARI FILHO, 1998).

O fator vegetação ou cobertura vegetal age diretamente na interceptação da chuva e na redução da velocidade do escoamento superficial. Mudanças no regime de escoamento superficial e subterrâneo são observados como consequência do desmatamento e alteração nas formas de uso do solo. A primeira barreira que a água das chuvas encontram é a copa das árvores, fazendo com que haja uma diminuição na velocidade de queda da gota sobre o solo, e conseqüentemente com menos força, onde uma parte da água se infiltra facilmente. Assim, terrenos com pouca vegetação estão mais sujeitos a erosão, já que apresentam menor proteção contra o impacto das chuvas (TEIXEIRA & MISRA, 1997).

O fator solo também é um fator decisivo pois são justamente as suas propriedades físicas e químicas que juntamente com os outros fatores, se completaram e resultaram em processos erosivos mais intensos ou menos intensos. Essas propriedades irão determinar a velocidade de infiltração da água da chuva e determinar a resistência à erosão pelas gotas e pelo escoamento superficial (no caso da erosão hídrica). As características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e do grau de fraturamento, condicionam a susceptibilidade do material à erosão (AHMED, 2009). No fator solo encontramos representada a erodibilidade dos solos, o tema principal deste trabalho de pesquisa.

As propriedades do solo mais importantes no seu comportamento quanto a maior ou menor susceptibilidade à erosão são: textura, estrutura, densidade aparente, porosidade, permeabilidade, teor de matéria orgânica e estabilidade dos agregados. A textura e a estrutura apresentam influência sobre o espaço poroso do solo e distribuição de seus poros, dificultando em maior ou menor intensidade o movimento da água (AHMED, 2009).

A estrutura é o modo como se arranjam as partículas de solo, sendo de grande importância na quantidade de solo arrastado pela erosão. Quanto maior estabilidade dos agregados menor será a enxurrada e menor a erosão. De acordo com AHMED (2009), as propriedades biológicas na estabilidade dos agregados são amplamente reconhecidas, a diminuição da erosão pela estabilidade dos agregados deve-se ao efeito de coesão das partículas proporcionado pelos produtos em decomposição.

A densidade do solo é a relação entre a sua massa total e volume, sendo inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade. Tendo em vista isso, o processo de compactação do solo, faz com que a densidade aumente com a diminuição dos macros poros, fazendo com que o solo se torne mais erodível.

Outra característica importante do solo, com relação ao comportamento erosivo, é a sua espessura. Solos rasos permitem rápida saturação dos horizontes superiores, favorecendo o desenvolvimento de enxurradas (SALOMÃO E IWASA, 1995).

Tabela 3 - Alguns outros fatores e sua influência na erodibilidade dos solos.

Fatores	Influência
Físicos Textura	Influi no destacamento e carreamento das partículas do solo; Determina a facilidade com que o solo é dispensado; Determina a força limite necessária para o destacamento.
Estrutura	Condiciona a formação de agregados que resistem a dispersão, aos efeitos da água de escoamento e ao destacamento; Influi no grau de agregação e distribuição de agregados estáveis; A rugosidade superficial dos agregados influencia a retenção d'água; Condiciona a formação de crosta superficial determinante de alta taxa de escoamento superficial.
Mecânicos Resistência ao cisalhamento	Importante no destacamento de partículas por impacto de gotas ou escoamento superficial; Influencia o rolamento e deslizamento de grãos.
Hidrológicos Retenção d'água	A umidade inicial do solo influencia a resistência ao destacamento das partículas; As poropressões geradas no processo influenciam a resistência ao cisalhamento do solo;
Infiltração e permeabilidade	A taxa de infiltração e a permeabilidade do solo determinam o volume de escoamento superficial.
Químicos, biológicos e mineralógicos Matéria orgânica	Influencia a textura e as propriedades de retenção e distribuição d'água; Fortalece os agregados e os micro-agregados, aumentando suas resistências à desagregação e à dispersão;
Argilominerais	Integram com a matéria orgânica, influenciando a estabilidade de agregados.
Características do perfil Morfologia do perfil	Influencia o escoamento superficial pelas mudanças nas propriedades hidrológicas dos diferentes horizontes;
Substrato rochoso	As características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a erodibilidade dos solos saprolíticos.

Fonte: Extraído de Bastos (1999).

3.4.4 ERODIBILIDADE DOS SOLOS

A erodibilidade dos solos representa a suscetibilidade do solo em resistir aos processos erosivos (Morgan, 1986). Segundo esse autor, os fatores que afetam a erodibilidade são: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo. A erodibilidade não é uma propriedade estática ao longo do tempo. As práticas agrícolas, por exemplo, produzem modificações intensas nas características dos solos, alterando a sua erodibilidade (AHMED, 2009).

De acordo com Bastos (2000) a erodibilidade é a facilidade com que as partículas do solo são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo. Para Wischmeier e Smith (1965) a erodibilidade é uma propriedade própria de cada solo, onde há uma combinação particular intrínsecas em cada solo, que influencia diretamente nas características de infiltração e permeabilidade. Esta propriedade é considerada a mais complexa a ser medida, pois ela está em função de muitos fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes. Segundo outros autores como Bastos (1999), a erodibilidade justificaria o porquê de alguns solos erodirem com mais facilidade que outros, mesmo quando o declive, a chuva, a cobertura e o manejo dos solos são os mesmos (AHMED, 2009).

Com relação às variáveis físicas do solo que interferem na sua erodibilidade, pode-se considerar a profundidade, a textura, a permeabilidade e a estrutura. A profundidade do solo tem grande influência no processamento da infiltração (CECCATO, 2018). Em solos pouco profundos, embora a infiltração ocorra de maneira mais lenta, de acordo com a permeabilidade do solo considerado, ela encontra uma barreira intransponível na rocha matriz que ocorre à pequena profundidade e que, sendo impermeável, fará com que a água se acumule no perfil, saturando-o rapidamente (BRAUN, 1961).

Sendo assim, é de extrema importância conhecer as características naturais e físicas dos solos locais, antes da realização de qualquer atividade antrópica, possibilitando assim o direcionamento correto para cada tipo de manejo do solo. Este planejamento prévio, irá permitir a identificação dos possíveis problemas ocasionados pelo efeito das ações antrópicas sobre essas regiões, tendo relação direta com a conservação e a exploração sustentável dos recursos naturais.

O planejamento adequado da terra deve ser realizado constantemente com o intuito de amenizar as possíveis possibilidades de degradação do solo e muitas vezes até evitá-los a curto e longo prazo, principalmente em áreas consideradas de preservação permanente.

A erodibilidade de um solo pode ser avaliada através das suas características físicas e químicas, e de suas condicionantes externas. Para isto, é necessário determinar a sua granulometria, plasticidade, teor de matéria orgânica, estrutura, permeabilidade e porosidade (BASTOS, 1999; AVILA, 2009; FERNANDES, 2011). A avaliação da erodibilidade de um solo pode ser feita através de métodos diretos e indiretos. A avaliação direta consiste no ensaio de Inderbitzen, já a avaliação indireta consiste em ensaios de caracterização física, ensaios de infiltrabilidade e de perda de massa através da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) de Nogami e Vilibor (1979) e ensaio de cone de laboratório.

3.4.4.1 MÉTODOS INDIRETOS DE AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO

Neste trabalho, foram realizadas metodologias indiretas de avaliação da erodibilidade do solo através de ensaios de caracterização física como o ensaio de granulometria e os ensaios de limites de liquidez e limites de plasticidade, conhecidos como limites de Atterberg.

3.4.4.1.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – GRANULOMETRIA

A caracterização física compreende uma série de características inerentes aos solos que auxiliam na avaliação da erodibilidade. Estes ensaios são regidos pelas normas ABNT 6502/97, 7181/84, 6459/84, 7180/84. De acordo com estudos realizados por Stanchi et al. (2012), os limites de Atterberg estão relacionados com a estrutura e erodibilidade dos solos.

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física são correlacionados à erodibilidade de maneiras diferentes por diversos autores. A seguir, serão detalhados alguns dos métodos que são utilizados. Segundo Bouyoucos (1935), é possível relacionar a erodibilidade (E) dos solos com sua porcentagem de areia, silte e argila, de acordo com a equação (1):

$$E = \frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}} \quad (1)$$

De acordo com o autor Manning et al. (2002), através da expressão de Bouyoucos, é possível obter o fator de erodibilidade do solo (k) (Equação 2), expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm. Ambos os autores classificaram os valores de erodibilidade do solo (k) em três classes diferentes, sendo elas:

$$K = \frac{\frac{\%areia + \%silte}{\%argila}}{100} \quad (2)$$

Valores entre 0,01 e 0,03 – baixo;

Valores entre 0,03 e 0,06 – médio; e

Valores acima de 0,06 – alto.

Segundo Meireles (1976), através da curva granulométrica de um solo é possível determinar o seu potencial de erodibilidade. Meireles (1976) infere que:

- Solos fortemente erosíveis → % passante na peneira 200 for $\leq 20\%$;
- Solos passíveis de forte erosão → $20\% < \%$ passante na peneira 200 $< 40\%$;
- Solos pouco erodíveis → % passante na peneira 200 $> 40\%$

Para Bastos (1999), a classificação dos solos como potencialmente erodíveis ocorre quando menos que 55% das suas partículas passam pela peneira 200 (abertura igual a 0,074 mm).

Outra proposta abordada por alguns autores como Llopis Trillo (1999), é a utilização da propriedade textura do solo (tamanho dos grãos) como sendo um dos fatores mais importantes na magnitude dos efeitos erosivos sobre um determinado tipo de solo. Llopis Trillo (1999) propôs um sistema hierárquico com relação ao efeito erosivo em função da textura dos solos (Quadro 3), já Grey e Leiser (1989) propuseram um estudo da relação dos solos com a sua susceptibilidade à erosão, ambos trabalhos baseados no Sistema Unificado de Classificação de Solos.

Quadro 3 – Susceptibilidade à erosão pela textura dos solos.

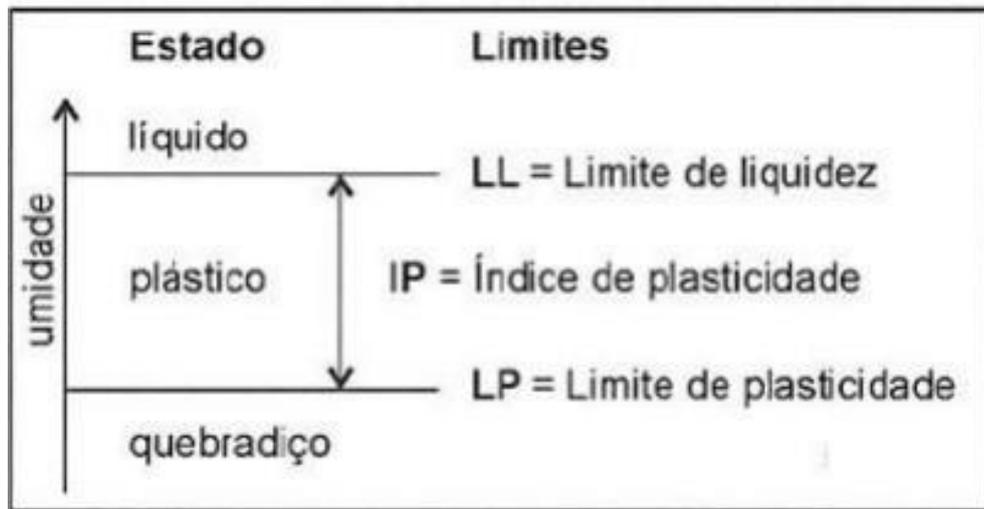
Símbolo	Descrição do solos – Classificação Unificada	Erodibilidade	
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia bem graduados com pouca ou sem finos.		
GP	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia mal graduados com pouca ou sem finos.		
SW	Areias e pedregulhos bem graduados, com pouco ou sem finos		
GM	Cascalho siltoso, mistura de cascalho e silte		
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada		
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou media, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argila magra.		
OL	Siltes orgânicos, silte e argilas de baixa plasticidade		
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos		
SC	Areias argilosas		
SM	Areias siltosas		
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas e siltes argilosos pouco plásticos.		Mais Erodível

Fonte: Extraído de Llopis Trillo, 1999 apud Ceccato (2018)

3.4.4.1.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – LIMITES DE ATTERBERG

Outra possibilidade de metodologia indireta para a determinação da erodibilidade de um solo é a correlação com os limites de Atterberg, os quais são o limite de liquidez (LL), limites de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP). No início do século XX, um cientista sueco chamado Atterberg desenvolveu uma metodologia para descrever a consistência de solos granulares finos com variação nos teores de umidade (figura 17). A fração mais fina tem uma importância muito grande no comportamento do solo, pois quanto menores as partículas, maior a superfície específica. Com isso, o estudo do comportamento de solos finos se torna necessário para a determinação de seus limites de consistência. Dependendo do seu teor de umidade, de forma geral, um solo pode existir em três diferentes estados: quebradiço, plástico e líquido (MACEDO, 2021).

Figura 17: Limites de Atterberg dos solos.



Fonte: Extraído de Pinto (2006).

A diferença entre o Limite de liquidez (LL) e Limite de plasticidade (LP) é denominada índice de plasticidade (IP). O índice de plasticidade é o indicador do estado plástico de um solo, e é comumente utilizado por diversos autores para elaboração de correlações com o intuito de se obter parâmetros para a realização de outros ensaios ou estimativas de comportamento durante a execução dos mesmos.

Segundo Heidemann (2011), é comum a tentativa de correlacionar o limite de liquidez e o índice de plasticidade com outros parâmetros de comportamento dos solos, como a resistência ao cisalhamento. A tabela 4 apresenta uma relação com os principais índices de Atterberg em alguns solos no Brasil.

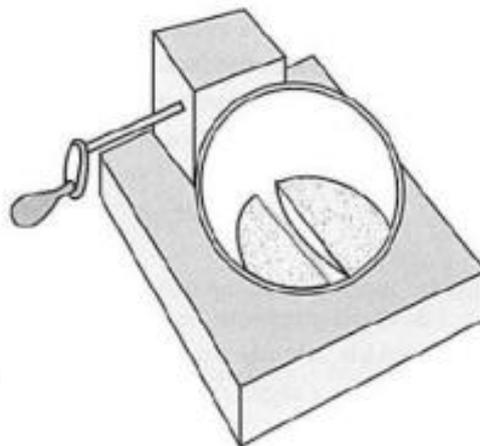
Tabela 4 - Índices de Atterberg em alguns solos brasileiros.

Solos	LL%	IP%
Residuais de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaise	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila porosa vermelha de São Paulo	65-85	25-40
Argilas variegadas de São Paulo	40-80	15-45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20-40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: Extraído de Pinto (2006).

Por definição, segundo Pinto (2006), o limite de Liquidez pode ser entendido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar na concha do equipamento conhecido como Casagrande (Figura 18). A realização desse ensaio é regida em território nacional pela ABNT NBR 6459 (ABNT, 2016). Com isso, são realizadas várias tentativas com o solo em diferentes umidades, sendo o principal objetivo de o ensaio obter o número de golpes necessários para que a ranhura criada na concha seja fechada.

Figura 18: Esquema do aparelho de Casa Grande usado na determinação do limite de Liquidez.



Fonte: Extraído de Pinto (2006).

Já o limite de plasticidade é regido conforme as normas NBR 7180 (ABNT, 2016). Este ensaio se baseia no menor teor de umidade na qual, se consegue moldar um cilindro de 3mm

de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento, rolando-se o material com a palma da mão sobre uma placa de vidro (PINTO, 2006). Tendo em vista isso, pode-se associar este ensaio aos solos argilosos, pois quanto maior seu valor, mais plástico será considerado o solo. Nesse sentido, em areais limpas, o índice de plasticidade (IP) é nulo, sendo então, o material classificado como não plástico (IP=NP) (CAPUTO, 1988). Caso os solos granulares apresentem uma quantidade representativa de partículas finas, estas deverão ter seus valores de LL, LP e IP definidos, pois elas afetam o comportamento do material. Na Tabela 5 a seguir são apresentados os valores de IP e suas respectivas classificações quanto a sua plasticidade.

Tabela 5 - Classificação da plasticidade dos solos em relação aos valores de IP.

IP	Descrição
0	Não plástico
01 a 05	Ligeiramente plástico
05 a 10	Plasticidade baixa
10 – 20	Plasticidade média
20 – 40	Plasticidade alta
>40	Plasticidade muito alta

Fonte: Modificada de Pinto (2006).

Desta forma, Santos e Castro (1966) estabeleceram que solos com comportamento bom ou regular apresentam:

- $LP \leq 32\%$
- $IP \leq 17\%$

Já solos classificados como de baixa plasticidade, são altamente erosivos e apresentam:

- $LL < 50\%$
- IP próximo de 20%

Meireles (1967) afirma que solos fortemente erodíveis são aqueles que apresentam baixa plasticidade, representada por:

- $LL \leq 21\%$

- $IP \leq 8\%$
- $\% \text{ passa } \#200 \leq 20\%$

Solos passíveis de forte erosão apresentam:

- $20\% < \% \text{ passa } \#200 < 40\%$

E solo pouco erodíveis apresentam:

- $\% \text{ passa } \#200 > 40\%$

Já Bastos (1999), classifica os solos como potencialmente erodíveis quando apresentam:

- $IP < 10\%$

Fragassi (2001) e Mendes (2006) afirmam que solos que apresentam um comportamento de bom a regular referente à resistência a erosão apresentam:

- $LP \leq 32\%$
- $IP \leq 17\%$

Outra proposta foi apresentada por Santos (2001), apresentado na tabela 6.

Tabela 6 – Relação de erodibilidade com o índice de plasticidade proposto por Santos (2001).

IP	Erodibilidade
$IP > 15$	Boa resistência a erosão
$15 > IP > 6$	Média resistência a erosão
$IP < 6$	Baixa resistência a erosão

Fonte: Extraído de Santos (2001) apud Ceccato et al. (2019).

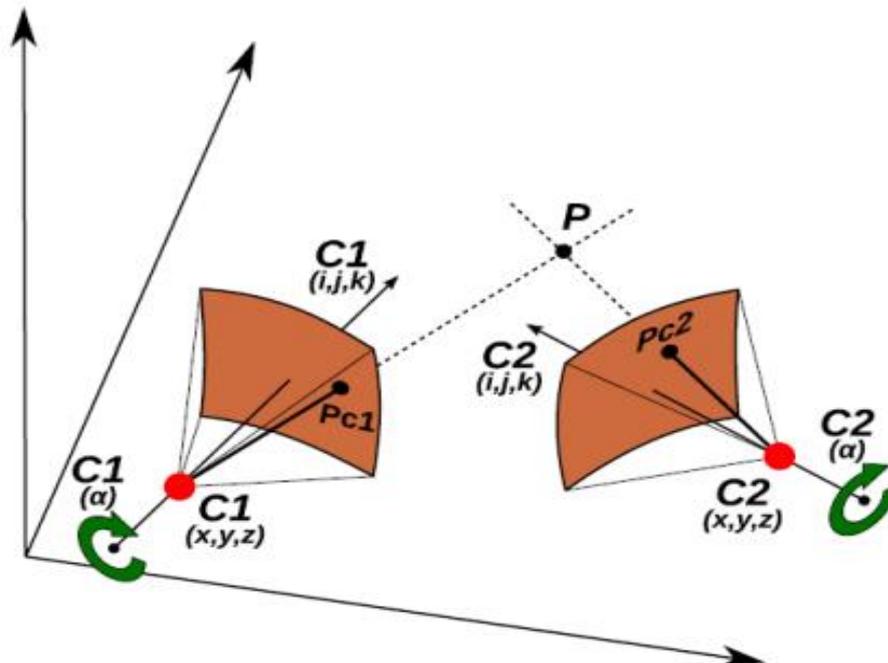
3.5 AEROFOTOGRAMETRIA

De acordo com Carrivick *et al* 2016, a fotogrametria é uma ferramenta de grande aplicabilidade, a qual utiliza conjuntos de fotografias sobrepostas para adquirir dados da superfície terrestre em 3D. Tavani *et al.* (2014) e Soares (2019) afirmam que o algoritmo Structure from Motion – Multi-View Stereo (SfM-MVS) detecta pontos em comum em pares

estéreos (Figura 19) de fotografias de um mesmo alvo a partir de posições distintas, realizando, a sobreposição das imagens para reconstruir a geometria de feições e objetos.

Essas fotografias podem ser adquiridas usando qualquer câmera digital terrestre ou aérea (por meio de helicópteros, aviões e veículos aéreos não tripulados (CARRIVICK; SMITH; QUINCEY, 2016).

Figura 19: Detecção de pontos em comum em pares estéreos de fotografias de um mesmo alvo a partir de posições distintas.



Fonte: Extraído de Tavani *et al.* (2014)

A visibilidade em 3D neste processo, ocorre pelo reconhecimento da orientação, posição e distância focal das imagens, permitindo assim, que qualquer ponto no espaço possa ser calculado com base nas suas coordenadas 2D (Tavani et al. 2014). A fotografia aérea é facilmente afetada por fatores de origem humana como a distância focal da lente, altura de voo, combinações de filmes, filtros e ângulo da lente. Influenciados também pela ação da natureza, a exemplo a cor dos objetos fotografados, posição de um objeto com respeito ao ângulo de incidência do sol, bruma atmosférica entre outros.

Para Marinos; Karantanellis; Vassilakis; Christaras, 2020, a escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre a distância focal da câmera e a altura de voo da aeronave. Isto é, conforme ocorre o aumento da distância focal, conseqüentemente se aumenta a escala das fotos. Se uma fotografia for ampliada ou reduzida, a distância focal para esta fotografia será também mudada em proporção direta com o valor da ampliação ou redução (MARINOS; KARANTANELIS; VASSILAKIS; CHRISTARAS, 2020).

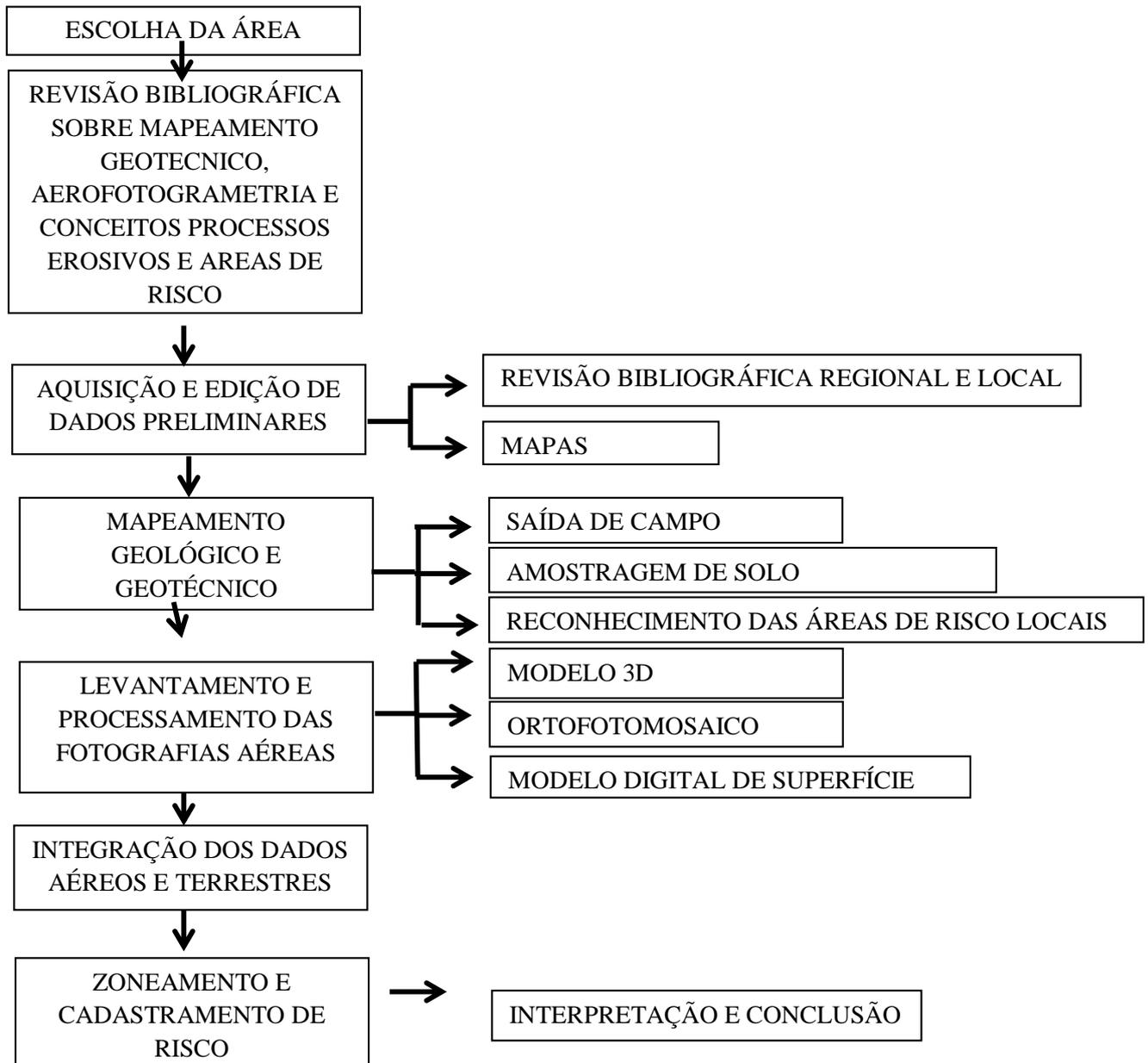
No decorrer da última década, os chamados RPAS estão sendo utilizados para as mais diversas aplicações, como análise de terreno 3D, monitoramento e gerenciamento de áreas de risco, de impactos ambientais, estabilidade de taludes, perigos de movimento de massa. A grande vantagem dessa ferramenta é a facilidade de aquisição de dados detalhados de alta resolução, seja em terrenos planos ou terrenos acidentados, o baixo custo da aquisição e do processamento e o desempenho efetivo dos resultados gráficos.

O termo RPAS, mais comum na literatura, abrange todos os veículos aéreos não tripulados, com capacidade de controlar a aeronave (MARINOS; KARANTANELIS; VASSILAKIS; CHRISTARAS, 2020). O princípio básico da utilização dos RPAS é a obtenção de imagens aéreas incorporadas com dados espaciais baseados no sistema global de coordenadas via satélite e uma unidade de medição inercial (IMU), sobre uma área para produzir uma nuvem de pontos 3D de altíssima resolução.

4. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho constituiu em três etapas, sendo elas: (a) etapa de gabinete, onde foi realizado o levantamento sobre as referências bibliográficas e estudo disponíveis sobre essa temática como mapas, teses, dissertações, artigos sobre processos erosivos, sobre aerofotogrametria, entre outros); (b) etapa de campo, na qual foi realizado o mapeamento geológico geotécnico e a coleta de amostras de solos, e o levantamento aerofotogramétrico; e (c) etapa de laboratório, na qual foram realizados os ensaios de caracterização física dos solos coletados e a construção dos modelos 3D, ortofotomosaico e modelo digital de terreno a partir das fotos tiradas no levantamento aéreo. O presente capítulo descreve e detalha as etapas necessárias para atingir os objetivos propostos neste estudo, sintetizado na Figura 20.

Figura 20: Fluxograma das etapas do presente trabalho.



Fonte: Autora (2022).

4.1 ETAPA DE GABINETE

A primeira etapa consistiu na escolha e delimitação da área de estudo, via *Google Earth Pro*. Após isso, o local foi analisado, conforme a disponibilidade de dados preexistentes, como mapas temáticos, laudos de sondagens e ensaios laboratoriais. Ainda na etapa de sensoriamento remoto, por se tratar de um estudo cujo tema é o mapeamento geológico geotécnico, torna-se fundamental a escolha de uma ferramenta computacional. Tendo em vista isso, o software de SIG gratuito escolhido para a geração dos mapas foi o *QGIS 3.16*, o qual conta com uma interface gráfica intuitiva, extensões de arquivo compatíveis com outras plataformas SIG, possui boas ferramentas de edição e análise, entre outras funcionalidades.

Ainda dentro desta primeira etapa, foi realizada a revisão bibliográfica sobre a temática da importância e metodologias do mapeamento geotécnico no planejamento urbano, classificação das cartas geotécnicas, caracterização e zoneamento dos possíveis riscos geológicos, conceitos sobre processos erosivos e seus mecanismos, metodologias para caracterizar a erodibilidade dos solos e sobre a temática da aerofotogrametria

Para tanto, alguns autores foram essenciais à pesquisa, como Acosta (2020), Oliveira (2012), Parizzi (2014), Diniz (1998), Zaine (2000), Rodrigues *et. Al.* (2009), Sobreira & Souza (2012), entre outros. Posteriormente à revisão bibliográfica, foram gerados mapas de localização e geológico da área de estudo, juntamente com a busca por trabalhos na mesma área ou nas proximidades da área escolhida.

Essa revisão bibliográfica somada ao planejamento das próximas etapas deste trabalho, permitiu que o objetivo do presente trabalho fosse cumprido, utilizando os dados adquiridos em campo, somado à análise integrada de imagens aéreas, as quais subsidiaram a classificação da área de estudo.

4.2 ETAPA CAMPO

Esta etapa é subdividida em duas frentes: a primeira é o mapeamento geológico e geotécnico terrestre e a segunda etapa é caracterizada pelo levantamento aéreo com o auxílio do RPAS.

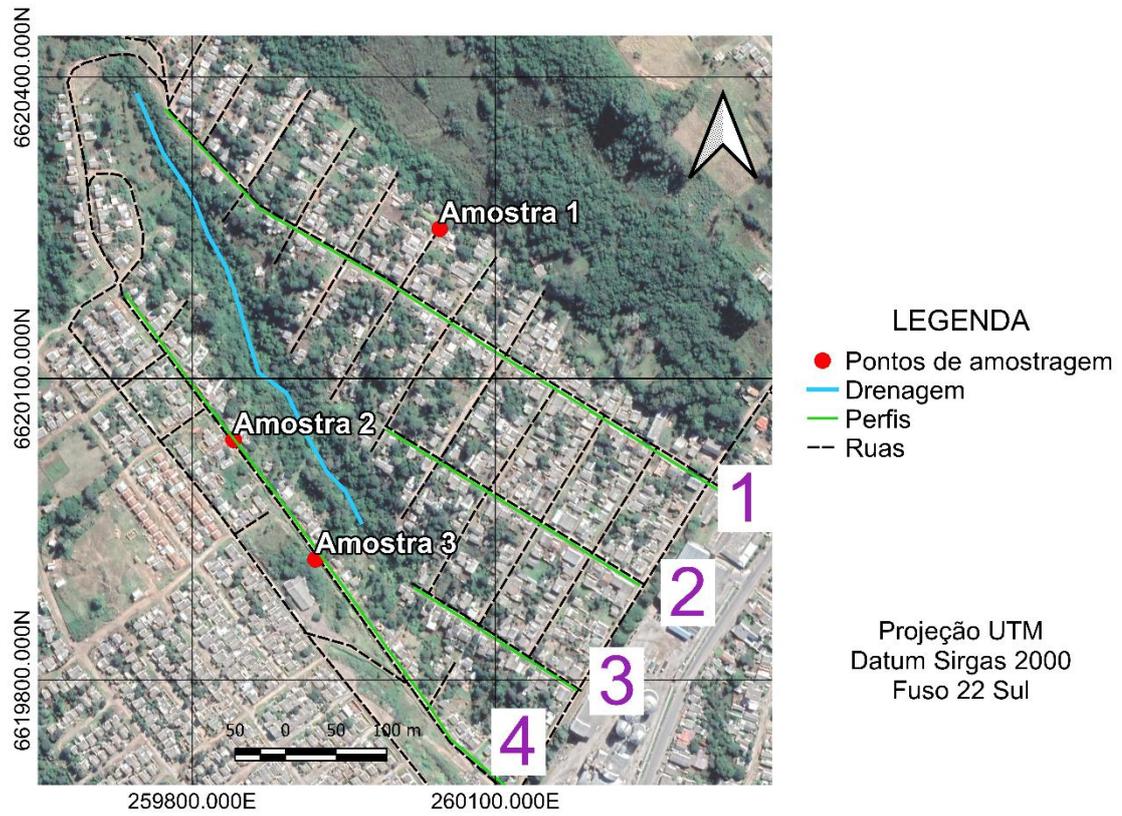
4.2.1 MAPEAMENTO TERRESTRE

Após a programação prévia das atividades feitas na etapa de gabinete, realizou-se o mapeamento geológico geotécnico com o intuito de levantar dados quantitativos e qualitativos da área de estudo. Com isso nessa etapa, foi verificado alguns aspectos como o reconhecimento da geologia local, solos, relevo, vegetação, os processos erosivos que ocorrem nessa região e os possíveis riscos eminentes locais.

Durante essa etapa, que durou dois dias, foram realizados o mapeamento através de perfis na direção NE – SW (figura 21), onde foram marcados pontos de aproximadamente 100 em 100 metros para assim reunir o maior nível de detalhe possível da área. A maioria dos pontos mapeados se caracterizaram por serem sulcos ou ravinas, ravinas com a presença da passagem do esgoto à céu aberto, algumas possíveis voçorocas e casas e muros apresentando rachaduras.

Essas casas com rachaduras foram verificadas em grandes quantidades no decorrer dos 4 perfis mapeados. As imagens dos locais considerados interessantes para a discussão deste trabalho estão no item Resultados.

Figura 21: Perfis mapeados dentro da área de estudo.



Fonte: Autora (2022).

Além disso, foram coletadas 3 amostras de solo deformadas em locais estratégicos (tabela 7) dos perfis para a determinação da análise granulométrica dos solos e dos limites de Atterberg (liquidez e plasticidade). Os locais escolhidos para a coleta, levaram em consideração, fatores qualitativos que mostravam indícios de processos erosivos. Com isso as amostras 2 e 3 foram coletadas em locais que foram detectados processos erosivos e a amostra 1 foi coletada em uma área próxima ao polígono de delimitação da área de estudo, sendo caracterizada como uma possível área de risco. Para a coleta, as amostras deformadas foram retiradas com o auxílio de pá e espátulas, após a limpeza superficial do perfil, e dispostas em potes plásticos (figura 22), com a finalidade da realização dos ensaios de caracterização física segundo a norma ABNT NBR 6457/86 (Amostra de solo – Preparação para ensaios de caracterização).

Tabela 7 - Amostras de solos coletadas e devidamente identificadas.

Amostra	Perfil	Coordenadas /UTM
1	1	Zona 22 J 260042mE 66202449mS Elevação: 385m
2	4	Zona 22 J 259841mE 6620039mS Elevação: 386m
3	4	Zona 22 J 259922mE 6619920mS Elevação: 399m

Fonte: Autora (2022).

Figura 22: Amostras de solos coletadas e devidamente identificadas.

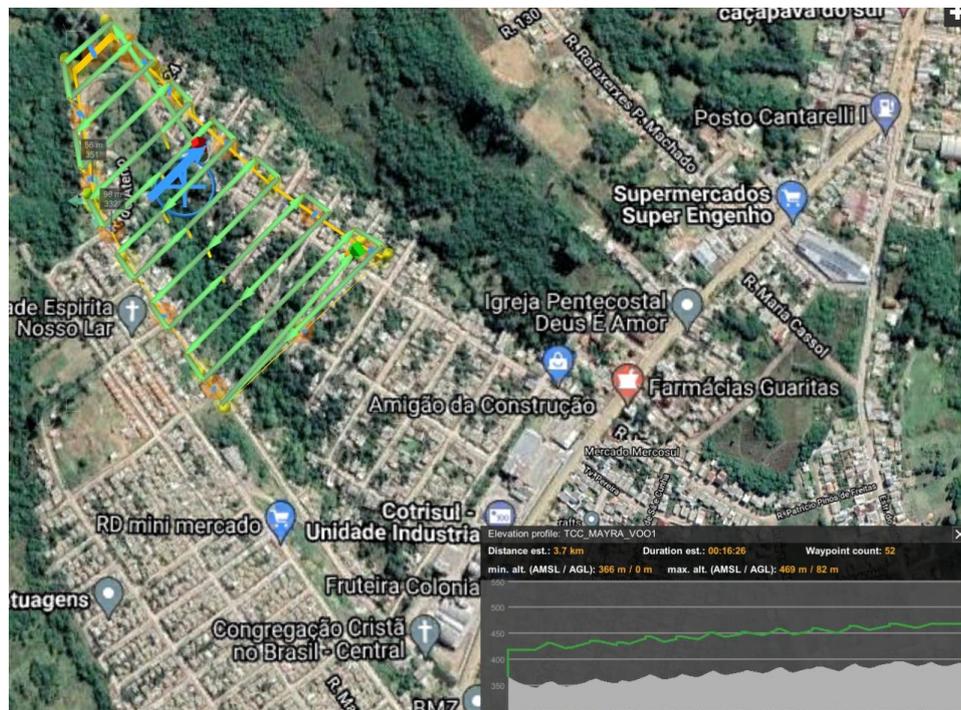
Fonte: Autora (2022).

4.2.2 MAPEAMENTO AÉREO

A etapa de mapeamento aéreo, foi realizada por volta das 10:00 am horário de Brasília, e durou apenas uma hora e quarenta minutos. Antes de ir a campo para a captação das fotografias, foi realizado um planejamento prévio dos voos através do software *Universal Ground Control System (UgCS)* versão 3.7. Foi definida então a realização de 3 voos (figuras 23,24 e 25). Além disso, foi necessário a verificação de todas as partes do RPAS modelo Phantom 4 Pro, marca DJI com câmera de 20 megapixels, o qual foi utilizado no procedimento.

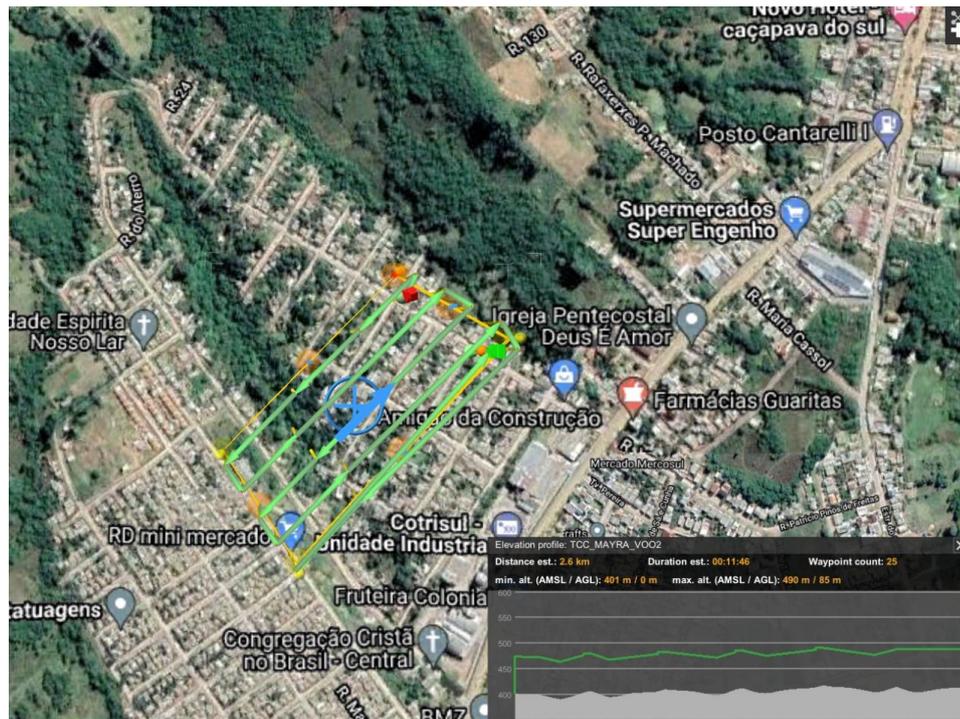
Em campo, utilizou-se um notebook e um smartphone, acoplado ao controle remoto para a visualização da câmera da aeronave, as quais foram utilizadas para a captura das fotografias (figura 26). Com o intuito de manter uma resolução espacial constante, as linhas de voos foram definidas, mantendo constante a distância entre o solo e a aeronave, propiciando homogeneização da resolução espacial que foi de 3 cm/pixel.

Figura 23: Primeiro plano de voo.



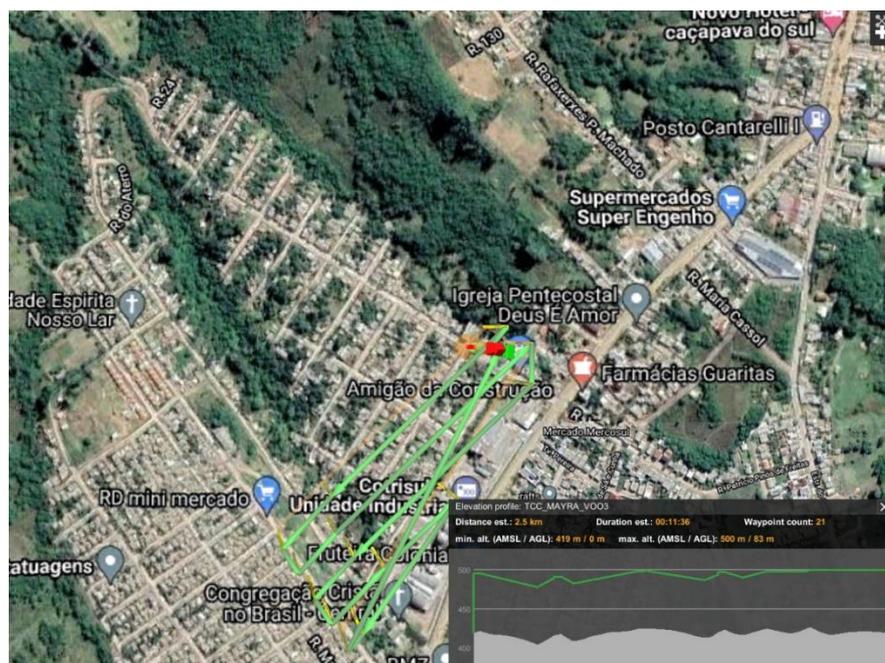
Fonte: Autora (2022).

Figura 24: Segundo plano de voo.



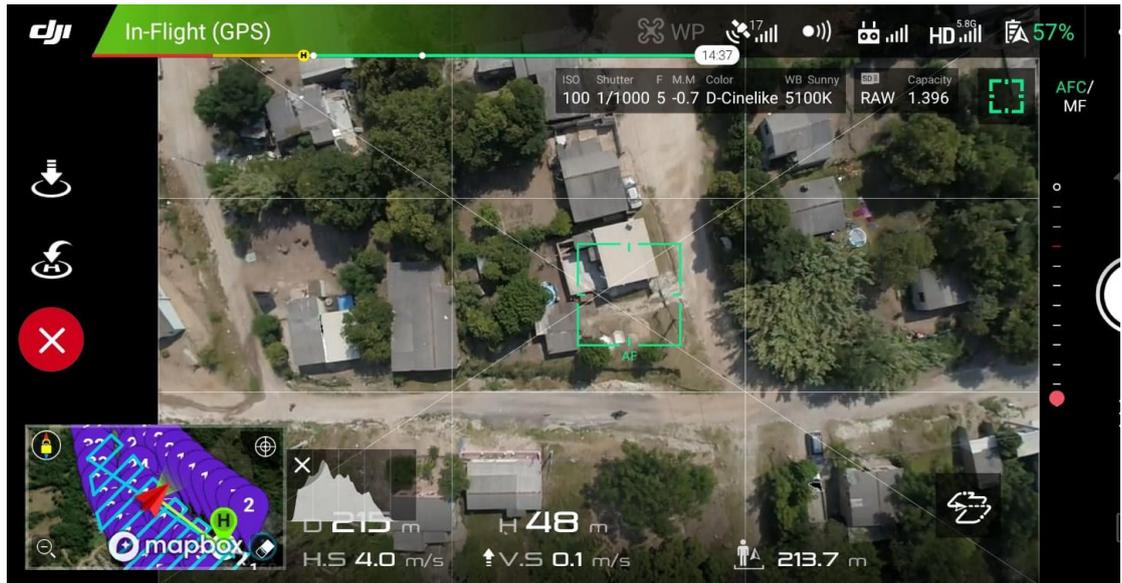
Fonte: Autora (2022).

Figura 25: Terceiro plano de voo.



Fonte: Autora (2022).

Figura 26: Tela observada no smartphone durante o procedimento de captura das imagens.



Fonte: Autora (2022).

4.3 ETAPA LABORATÓRIO

Nesta etapa foram realizados ensaios raio x dos solos, granulometria e sedimentação, limites de liquidez e limite de plasticidade. O raio x foi realizado no LATRAM da Universidade Federal do Pampa campus Caçapava do Sul, já os outros ensaios foram feitos no laboratório de sedimentologia da Universidade Federal de Santa Maria, baseados no trabalho de Bastos (1999). Além disso, nesta etapa, também foram gerados o modelo 3D, o ortofotomosaico, o modelo digital de superfície e os perfis topográficos, todos gerados no laboratório de Modelagem Geológica da Universidade Federal do Pampa campus Caçapava do Sul.

4.3.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

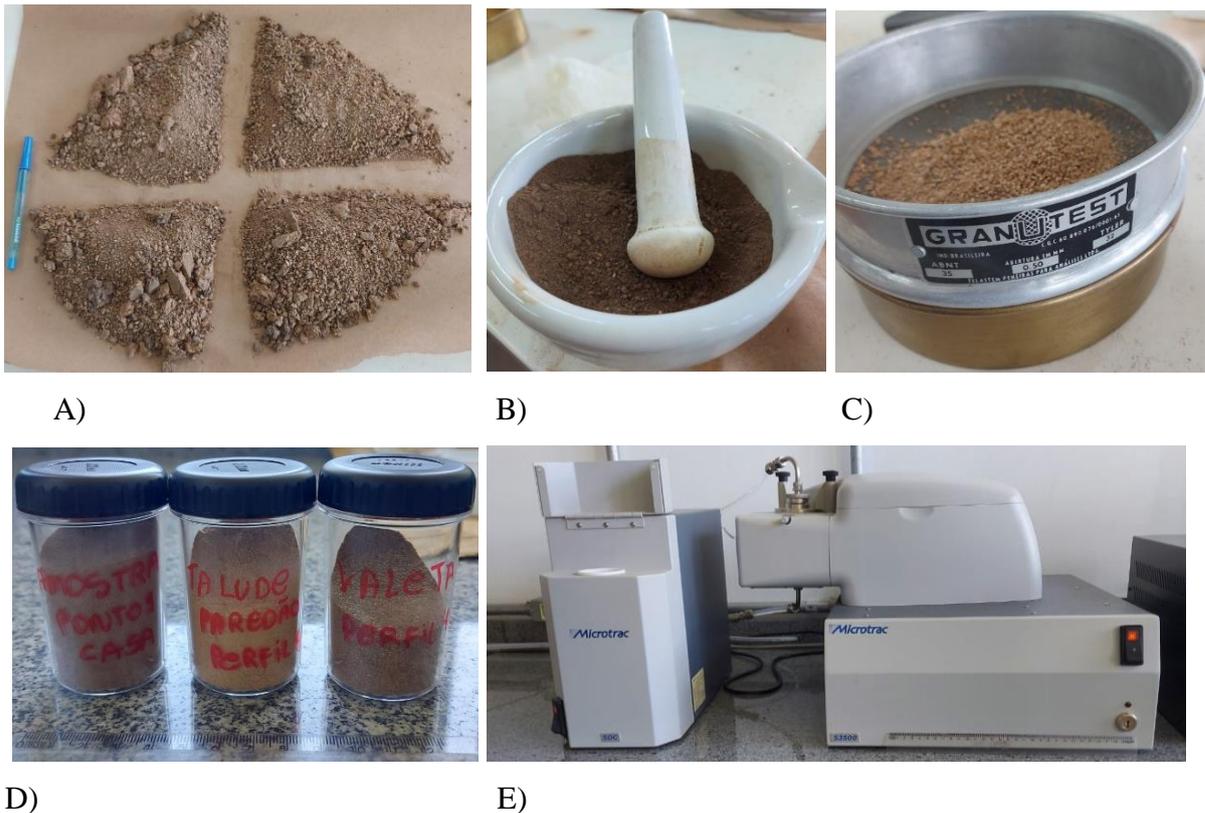
De acordo com Ceccato (2018), os ensaios de caracterização física regidos pelas normas ABNT 6502/95, 7181/16 e Suguio (1980) remetendo a análise granulométrica por peneiramento e sedimentação e os ensaios regidos pela ABNT NBR 6459/16 e ABNT NBR 7180/16 utilizados para a determinação dos limites de liquidez e plasticidade, respectivamente, são cruciais tanto para a avaliação da erodibilidade, quanto para a determinação de qualquer propriedade física e química que envolva solos e rochas. Todos esses ensaios foram realizados no laboratório de sedimentologia da UFSM.

4.3.1.1 ENSAIO DE GRANULOMETRIA A LASER DOS SOLOS

O ensaio de granulometria a laser é um procedimento de alta tecnologia, utilizado em laboratórios especializados em análise granulométrica para determinar os tamanhos de partículas de materiais e seu determinado intervalo de distribuição. Esse procedimento tem a capacidade de medir centenas de nanômetros a milímetros. A metodologia utilizada para a realização desse procedimento é conhecida como difração a laser, o qual estabelece o comprimento de onda de luz específico de um material como um dos parâmetros principais para calcular a distribuição de tamanhos de partícula.

Sendo assim, neste ensaio realizado no Laboratório de tratamento de Minérios, da UNIPAMPA, foi realizado esse procedimento com o auxílio do granulômetro a laser, da marca Microtrac, modelo S3500 SDC. Esse ensaio leu apenas as frações abaixo de 2mm, onde teve como resultado, gráficos mostrando a distribuição granulométrica de cada amostra e mais um arquivo txt com dados complementares. A figura 27 mostra como foram preparadas as amostras para esse ensaio e o equipamento utilizado.

Figura 27: Etapas de preparação do solo para o ensaio; (A) Quarteamento dos solos; (B) Destorroamento dos solos; (C) Peneiramento dos solos; (D) Porção peneirada utilizada no ensaio; (E) Equipamento utilizado.



Fonte: Autora (2022).

Com o auxílio de um computador, apto a realizar os comando necessário para o granulômetro fazer as medidas, na tabela 8 estão expostos o passo a passo realizado para analisar cada amostra.

Tabela 8: Procedimentos de comando realizados no software do equipamento para a realização da análise.

Passo	Procedimento
1	Measure -> Select instrumento -> S3500
2	Encher -> Fill
3	Lavar -> Rinse
4	Sop -> Setar parametros options
5	Flow
6	Set zero -> S/Z
7	Colocar amostra -> vermelho dentro do verde
8	Ultrassom -> Aguardar tempo (60s)
9	Run
10	Salvar -> Export All (txt)
11	Rinse
12	Para nova amostra, retomar para o 5º passo.
Obs: Se amostra em excesso, diluir.	

Fonte: Autora (2022).

4.3.1.2 ENSAIO DE GRANULOMETRIA E SEDIMENTAÇÃO

As análises granulométricas foram realizadas regidos pela ABNT NBR 6459/16 e ABNT NBR 7180/16 e consiste em duas etapas: sedimentação e peneiramento. O ensaio de sedimentação foi utilizado para determinar a distribuição granulométrica da fração fina do solo, através da velocidade de queda das partículas sólidas no meio líquido, tomando como base a lei de Stokes, e adquirindo como resultado uma curva granulométrica.

O procedimento foi iniciado através da secagem desse solo, em temperatura ambiente por uma semana, e em seguida elas foram encaminhadas para o laboratório de Sedimentologia da UFSM, onde as amostras foram destorroadas em um gral utilizando um pistilo de borracha. Após este processo, para o processo de sedimentação, o material foi passado em uma peneira

de 2 mm, recolhendo o material passante para o ensaio. Uma parte deste material, em torno de 50g, foi colocada em um béquer de peso conhecido, deixando secar na estufa por 24 horas, para determinar a sua umidade. Outra porção, entre 70 a 120 gramas foi colocada em uma solução com 47,9 gramas do defloculante de hexametáfosfato de sódio (figura 28) e 125 ml de água destilada, deixado em imersão por 24 horas.

A amostra de 50 gramas que estava na estufa foi pesada, definindo assim sua umidade higroscópica por diferença entre peso inicial e final. O material em imersão foi transferido para um dispersor de 5 a 10 minutos, posteriormente essa solução foi colocada em uma proveta de vidro, colocando-se água destilada até completar 1 litro. A solução foi agitada de forma manual por 1 minuto, iniciando a fase de pipetagem, a qual utilizou uma pipeta de 20 ml e um bulbo para auxiliar. Para cada pipetagem realizada, foi novamente agitada a solução. A figura 29 representa alguns dos procedimentos feitos durante esse ensaio.

Foram feitas um total de 7 pipetagens de tempo e profundidade estabelecidas (figura 30). Os materiais pipetados foram colocados em béqueres de 50 ml, de peso conhecido, e então colocados na estufa e deixados tempo suficiente para sua secagem completa.

O restante do material que ficou na proveta foi passado por um conjunto de peneira e o material retido em cada uma foi transferido para béquer e seco em estufa. Desta forma, com os pesos de cada material retido nos béqueres, junto à umidade higroscópica, foi utilizado a equação fundamentada na lei de Stokes para definir as frequências simples e acumuladas de cada fração granulométrica.

Figura 28: Béquer contendo 47,9 gramas do defloculante de hexametáfosfato de sódio.



Fonte: Autora (2022).

Figura 29: (A) Destorroamento dos solos; (B) Peneiramento dos solos; (C) Agua destilada; (D) Processo de agitação da solução.



A)



B)



C)



D)

Fonte: Autora (2022).

Figura 30: Processo de sedimentação em que os solos foram submetidos.



Fonte: Autora (2022).

4.3.1.3 ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ

Para a realização do ensaio de limite de liquidez, baseado na norma ABNT NBR 6459/16, foi necessário a calibração prévia do equipamento Casagrande, pelo técnico responsável pelo laboratório. Este ensaio consistiu na colocação de uma pequena porção de solo, já peneirado e já destorroado, em um recipiente de porcelana. Após isso se adicionou água destilada até que fosse obtida uma pasta homogênea e semifluida. Em seguida, o conteúdo foi inserido no equipamento de Casagrande (Figura 31) e seguiram-se as demais recomendações da norma. No fim do ensaio, os valores foram plotados em um gráfico, onde o valor atribuído do LL é dado através da umidade correspondente a 25 golpes.

Figura 31: Equipamento Casagrande preenchido com a pasta homogênea e semifluida.



Fonte: Autora (2022).

4.3.1.4 ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE

O ensaio de limite de plasticidade foi realizado com base na ABNT NBR 7180 (1984), na qual determina que para a realização deste ensaio, é necessário o acréscimo de água destilada na amostra de solo até que fosse obtida uma pasta homogênea. Em seguida, deve-se pegar uma lâmina de vidro fosco poroso e colocá-la em cima de onde será realizado o ensaio. Após isso, foram feitas pequenas bolas da pasta com as mãos e rolou-se as mesmas sobre a lâmina de vidro até que se consiga moldar o material com base no molde de metal de dimensões 3mm de diâmetro por 10cm de comprimento, para que assim, fosse obtido um cilindro semelhante ao do molde. Seguiu-se com a rolagem do material no vidro afim de que ele perdesse quase toda sua umidade (figura 32). O restante do material fissurado foi colocado na placa de petri e seco na estufa (Figura 32a).

Figura 32: Amostra do material fissurada após a perda da sua umidade.



Fonte: Autora (2022).

4.4 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS FOTOGRAFIA AÉREAS

As imagens aéreas foram captadas em formato RAW, com o auxílio de um RPAS, da marca DJI, modelo Phantom 4 PRO, equipado com o software Universal Ground Control System (UgCS). Com este software, foi possível programar rotas de voo, altura de voo, espaçamento entre as linhas de voo e intervalo de aquisição de fotos. A altura de voo foi corrigida utilizando o modelo digital de elevação derivado do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), diretamente pelo software UgCS.

Os modelos digitais de superfície (MDS) são construídos com base no imageamento aéreas e são similares ao MDE (modelos digitais de elevação). A diferença entre MDE e MDS, é que o MDS é criado sem a retirada da cobertura vegetal. Ao todo foram capturadas 539 fotografias que cobriram toda a região de estudo, as quais foram utilizadas para construir um MDS de média resolução.

O processamento das aerofotografias foi realizado primeiramente no software *Adobe lightroom Classic*, onde foi criado um novo catálogo através da importação das fotos, a fim de corrigir o brilho, sombras e contraste (Figura 33). Após tratadas (Figura 34), as fotos foram

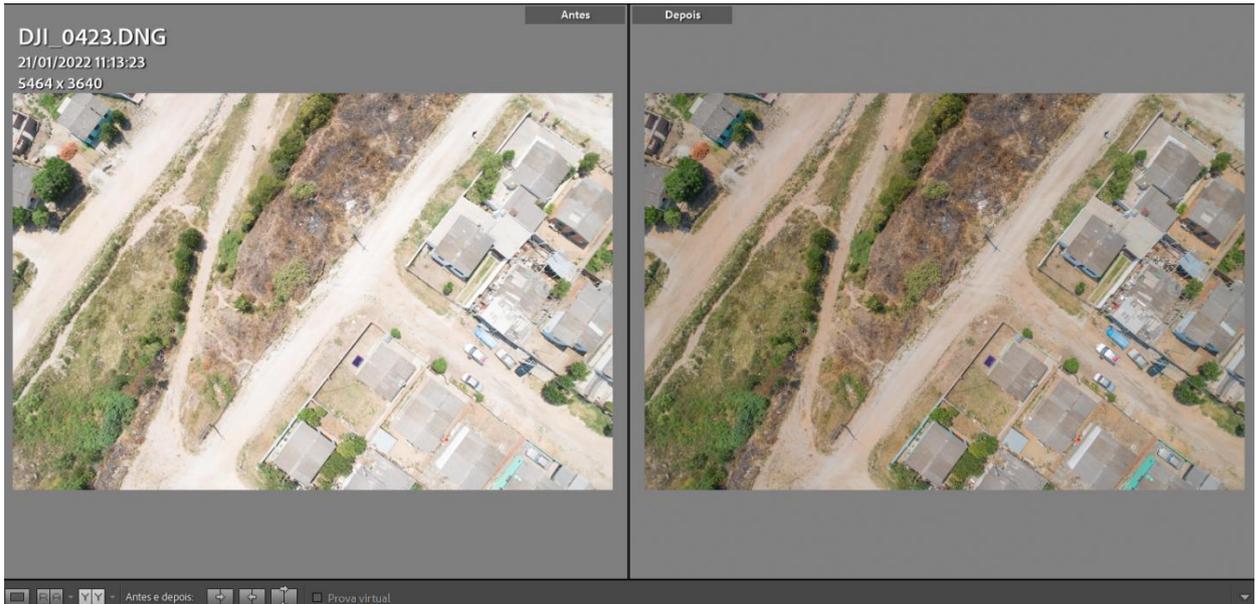
importadas no software Agisoft Metashape Pro 1.5.2, para dar seguimento às seguintes etapas: (i) avaliação e edição, (ii) alinhamento, (iii) geração da nuvem densa, (iv) construção da malha triangulada, (v) texturização da malha, (vi) construção do MDS, e (vii) construção do ortofotomosaico.

Figura 33: Parâmetros utilizados para editar as imagens.



Fonte: Autora (2022).

Figura 34: Antes (esquerda) e depois (direita) das imagens tratadas.

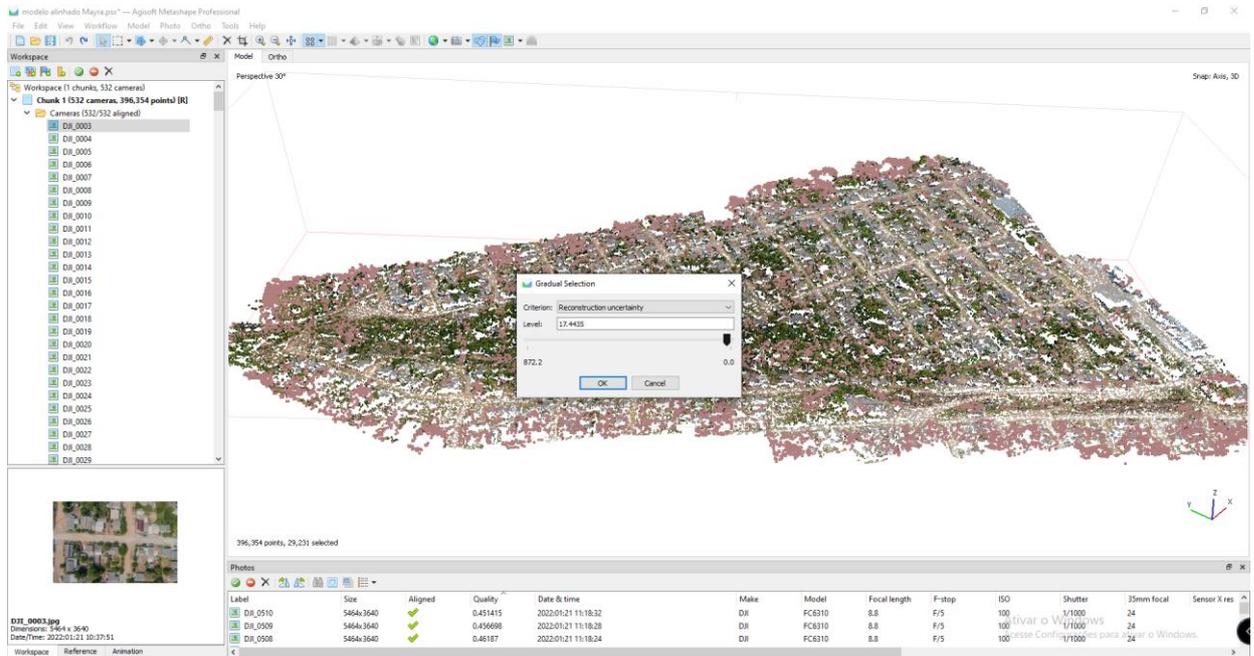


Fonte: Autora (2022).

Na etapa de avaliação e edição é feita a análise de parâmetros de orientação e qualidade das fotografias. Neste procedimento é realizada a remoção manual das fotografias que não imagearam claramente o alvo de estudo, depois é feita a conversão das coordenadas das fotografias para o sistema de coordenadas UTM zona 22 J com Datum WGS 1984. Por último, verifica-se a qualidade das imagens de modo que fotografias com qualidade inferior a 0,7 serão desabilitadas manualmente.

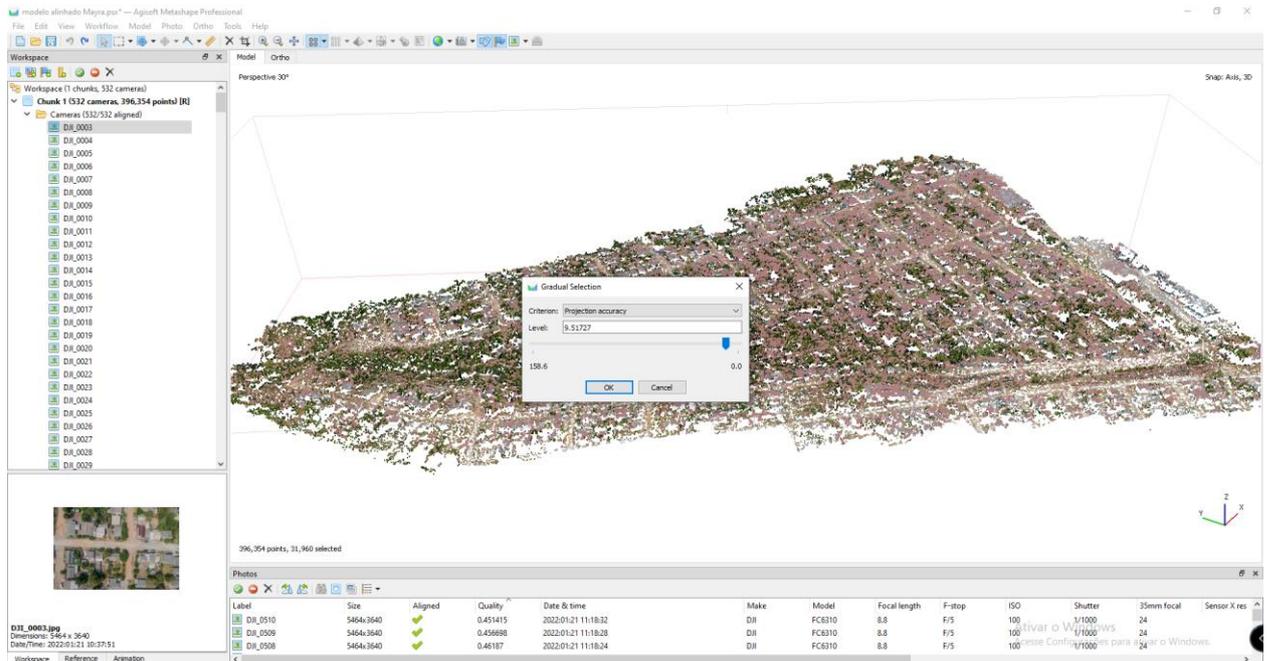
O alinhamento das fotografias é feito por meio do reconhecimento dos pontos nas diferentes imagens sobrepostas, para assim reconhecer os parâmetros da posição e orientação das fotos, gerando como resultado deste processo uma nuvem esparsa de pontos. No final deste procedimento, é feito o reconhecimento das fotografias que foram alinhadas e após isso houve a remoção dos pontos da nuvem esparsa com alto erro de projeção e alta incerteza na reconstrução, removendo 10% dos pontos. Para isso, foram trabalhados os parâmetros: “Reconstruction Uncertainty” e “Projection Accuracy” (figura 35 e 36). Para finalizar, foi feita uma otimização do alinhamento das câmeras (Figura 37).

Figura 35: Parâmetro “Reconstruction Uncertainty” de refinamento do procedimento de alinhamento das fotografias.



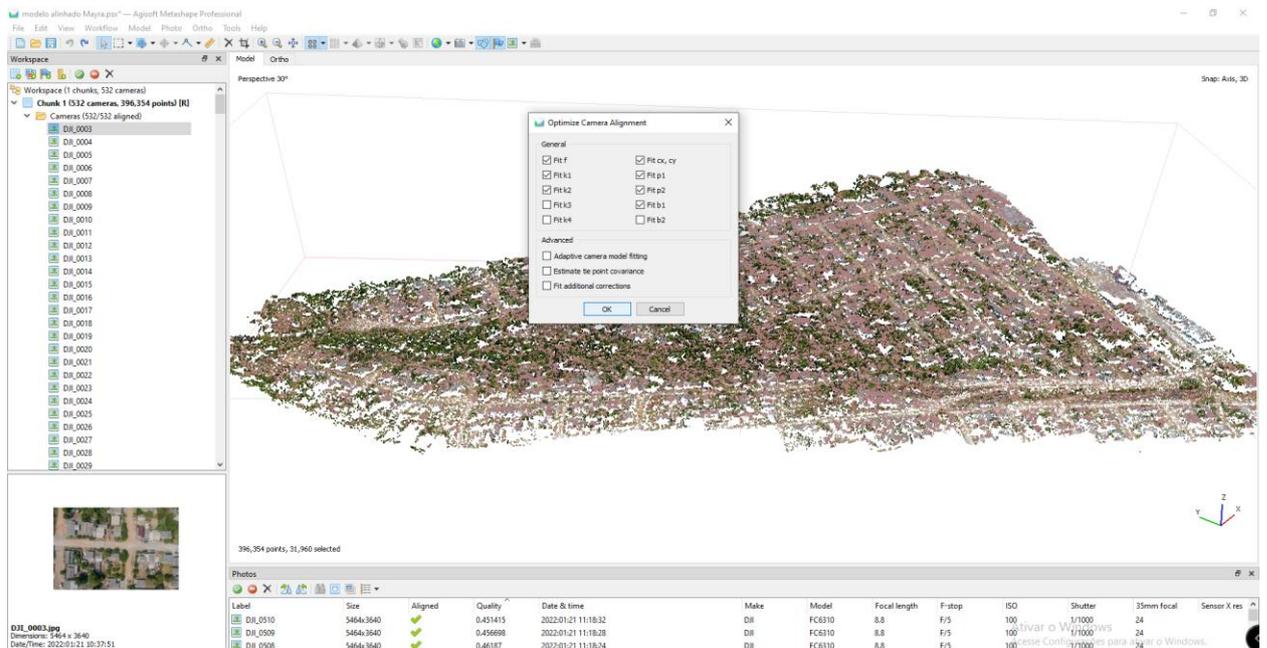
Fonte: Autora (2022).

Figura 36: Parâmetro “Projection Accuracy” de refinamento do procedimento de alinhamento das fotografias.



Fonte: Autora (2022).

Figura 37: Parâmetros de otimização do alinhamento das câmeras.

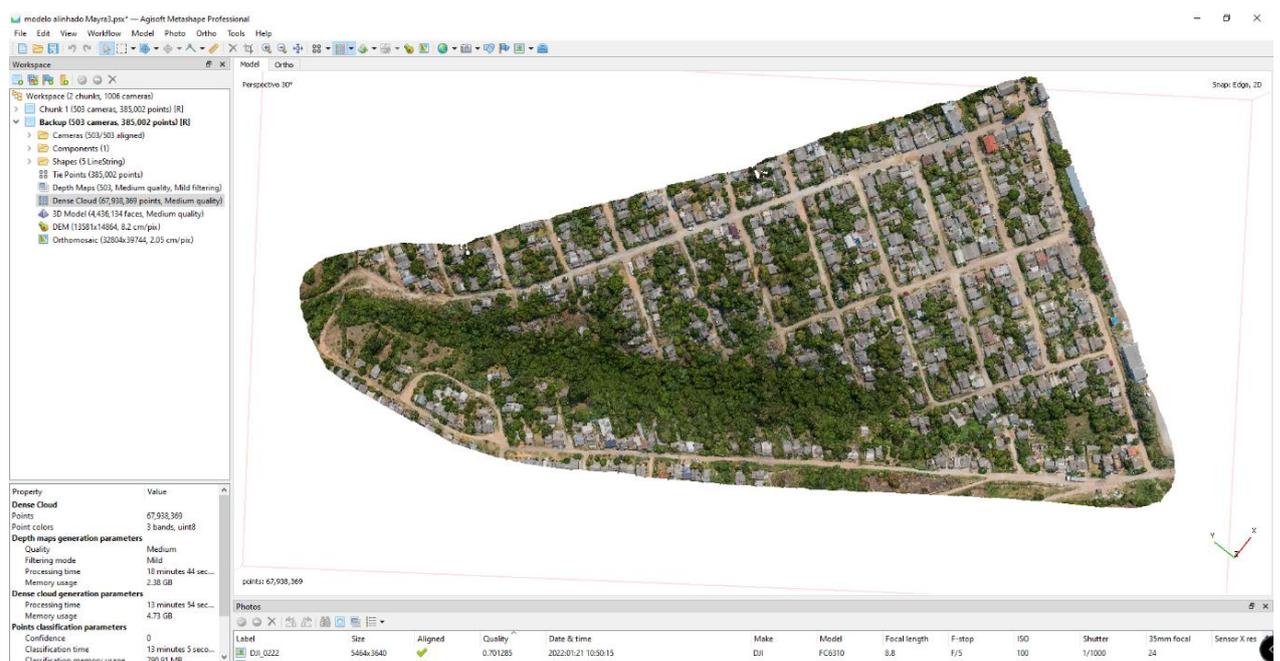


Fonte: Autora (2022).

A próxima etapa foi a construção da nuvem densa de pontos, através do posicionamento das fotografias alinhadas. Após a construção da nuvem densa de pontos pode ser construído a

malha (mesh) e o modelo digital de superfície (MDS). A malha é composta por triângulos irregulares, construída a partir dos pontos que compõem a nuvem densa de pontos, os quais são unidos por triangulação. Podem também ser aplicados filtros para remoção de pontos discrepantes que tendem a suavizar e remover o ruído da nuvem. Por fim, a malha foi texturizada, resultando no modelo texturizado, o qual reconstruiu a textura sobre a mesh triangulada (figura 38). A partir dos produtos 3D, são derivados os produtos 2D, como o ortofotomosaico e o MDS.

Figura 38: Modelo texturizado.



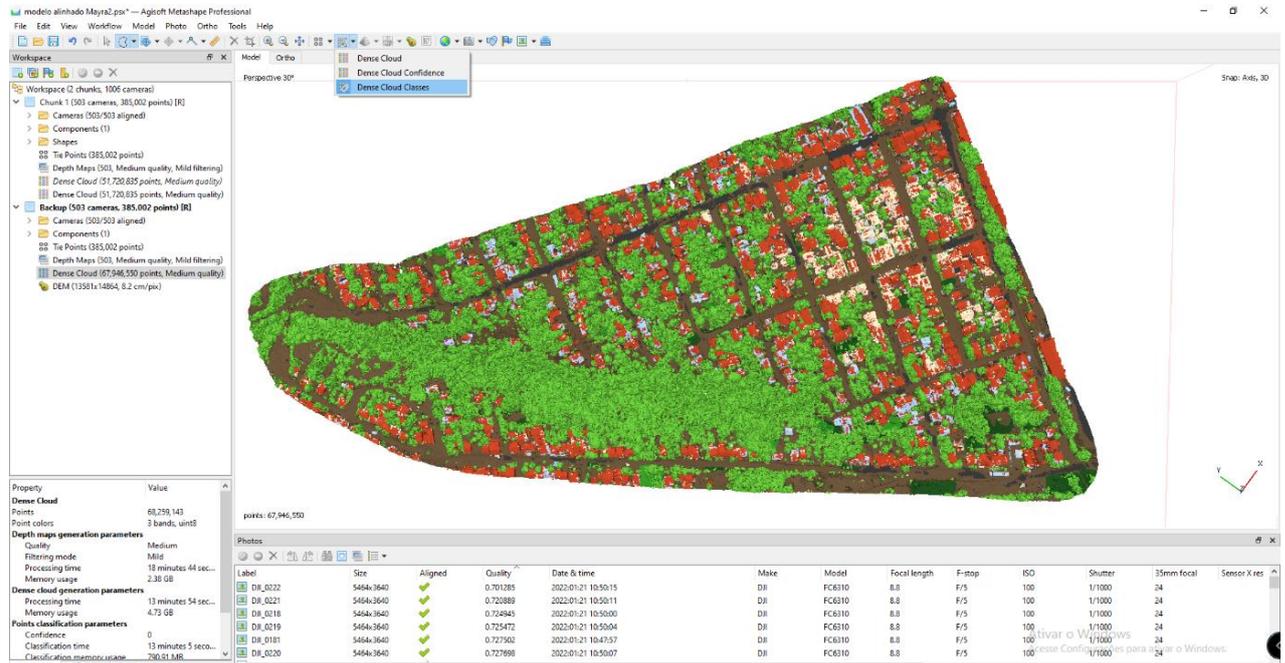
Fonte: Autora (2022).

4.4.1 GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O modelo digital de elevação representa as altitudes da superfície topográfica em uma escala de cores. Para obtenção do MDE, através do software Agisoft Metashape, utilizou-se a nuvem densa de pontos, a qual foi classificada por intermédio da ferramenta *Classify Ground Points*, para que edificações, vegetação e carros fossem desconsideradas na geração do MDE. A primeira tentativa de classificação foi feita de forma automática (figura 39), porém não foram encontrados parâmetros que fizessem uma classificação satisfatória. Com isso, os pontos

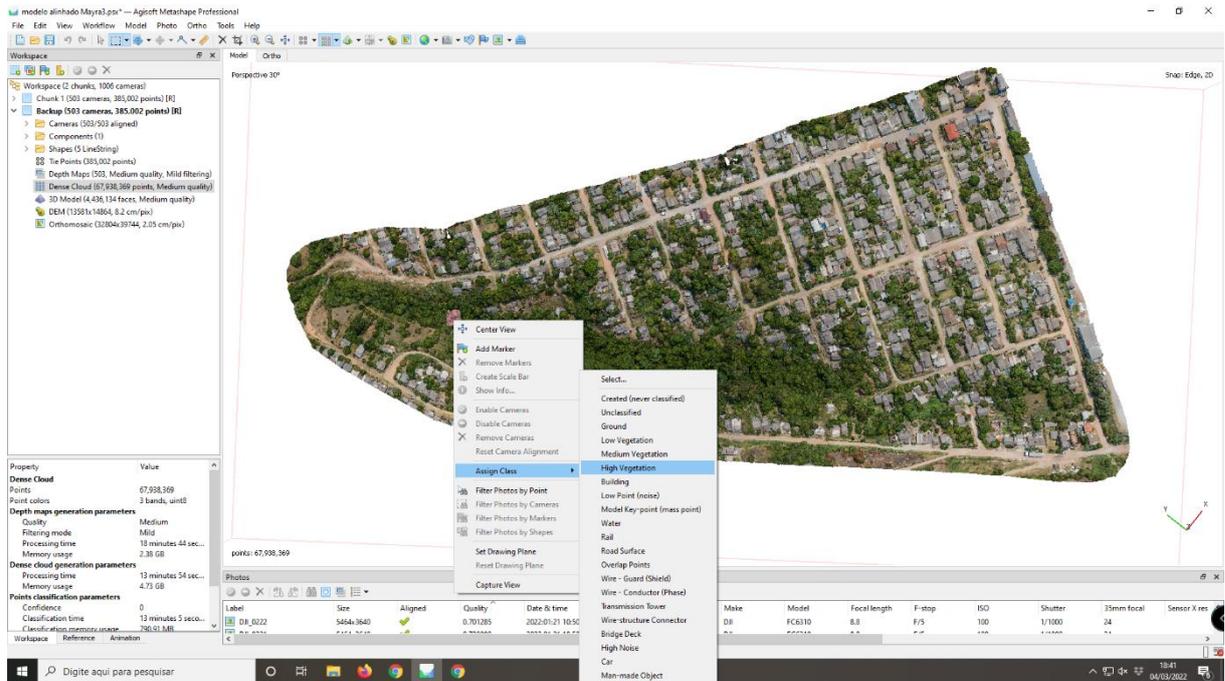
previamente classificados foram manualmente revisados através da ferramenta *Manual Classification of Dense Point Cloud* (Figura 40).

Figura 39: Classificação automática das classes do *Agisoft Metashape*.



Fonte: Autora (2022).

Figura 40: Classificação da nuvem densa de pontos de forma manual.



Fonte: Autora (2022).

Os pontos classificados, representados na Figura 41 com a cor marrom, correspondem aos pontos relativos à superfície do terreno (Figura 42). Já os pontos representados na cor branca, correspondem aos pontos desconsiderados, sendo estes, edificações, árvores, veículos, entre outros. Após esse procedimento, foi necessário a importação dos pontos classificados no *ArcGIS*, em formato planilha (txt). Foi digitalizado e importado o curso d'água, relativo a drenagem que ocorre na SW da área de estudo. Com essas informações, foi utilizada a ferramenta *topo to raster* (Figura 43) para gerar o modelo digital de elevação, o qual é corrigido para a hidrologia.

Figura 41: Ponto classificados como a superfície do terreno.



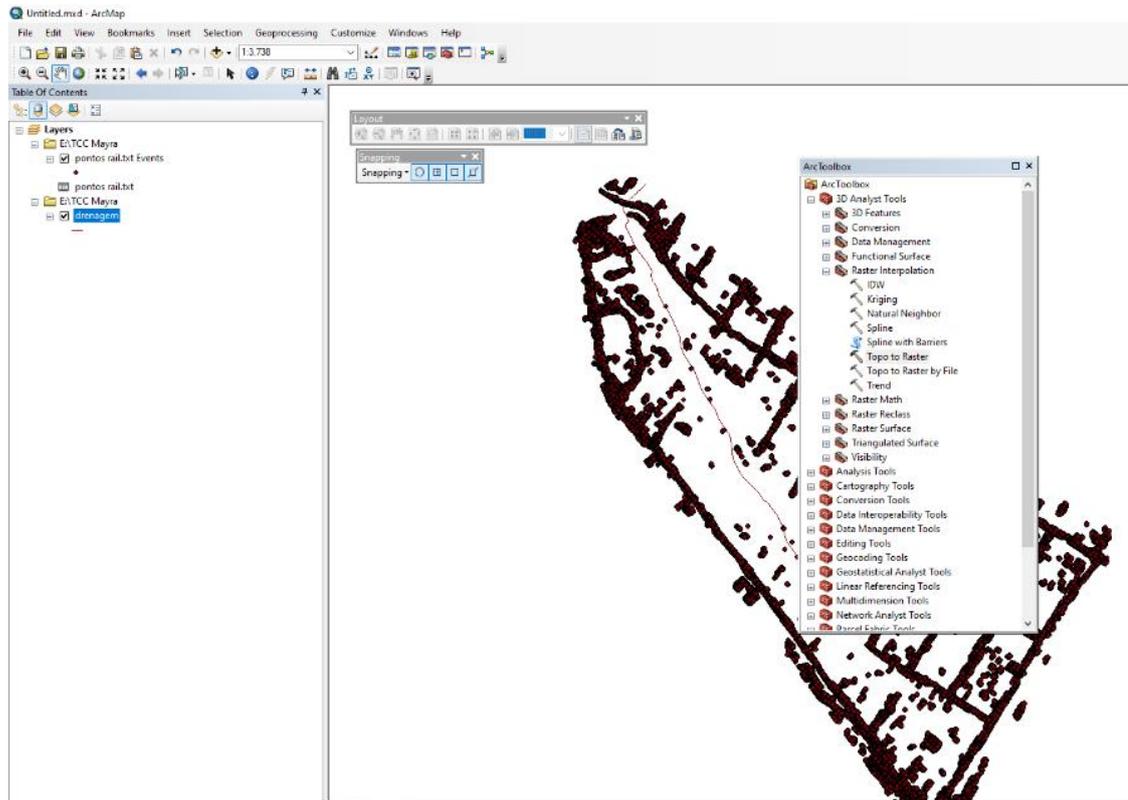
Fonte: Autora (2022).

Figura 42: Classificação final referente aos pontos do terreno.



Fonte: Autora (2022).

Figura 43: Ferramenta *topo to raster* no ArcGis para a geração do modelo digital de elevação.



Fonte: Autora (2022).

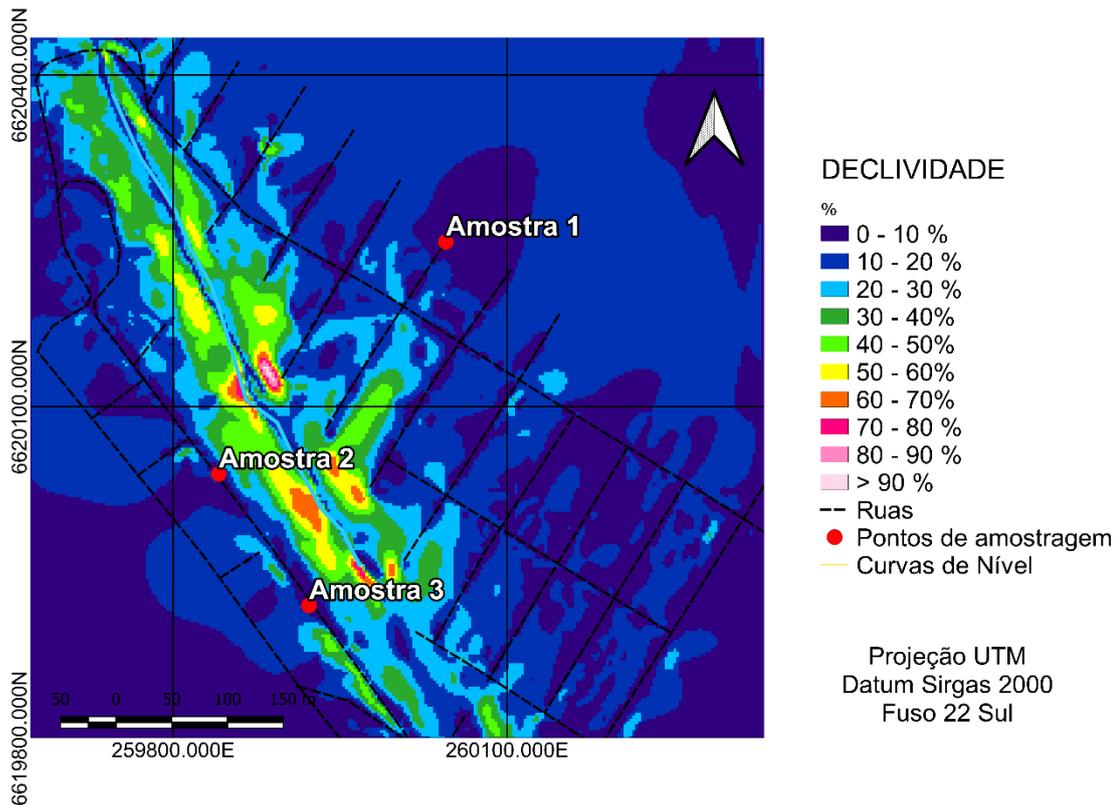
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados todos os resultados gerados no decorrer deste trabalho, baseado nas metodologias e conceitos vistos nos tópicos 3 e 4, a fim de discutir sobre o que foi encontrado na área.

5.1 DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE RISCO NO PERÍMETRO URBANO

Para uma análise prévia de áreas de risco presentes no município, utilizou-se os produtos gerados através do levantamento aéreo, como o modelo 3D, o MSD gerados no *ARCgis* e os produtos gerados no software *Move*, como o *Slope Percent* e as curvas de nível. O mapa de declividade foi gerado através do software, o qual possibilitou a visualização de áreas que necessitam de um olhar mais detalhado. Percebe-se que a maior parte da área apresenta uma declividade variando de 10 a 30 %. Contudo, nas regiões caracterizadas com áreas de preservação permanente (APPs) e como possíveis locais de risco, a variação ocorre de 40 a mais que 90 % . Toda a região mapeada apresentou declividades planas a onduladas, sendo a porção central da área de estudo caracterizada predominantemente como Forte Ondulado Montanhoso (variando de 30 a 80%), de acordo com a classificação Embrapa (1979). Portanto, essa área pode ser classificada previamente como sendo uma área de risco, sendo assim a região utilizada como o foco do trabalho, necessitando um mapeamento detalhado.

Figura 44: Mapa de Declividade do Terreno.

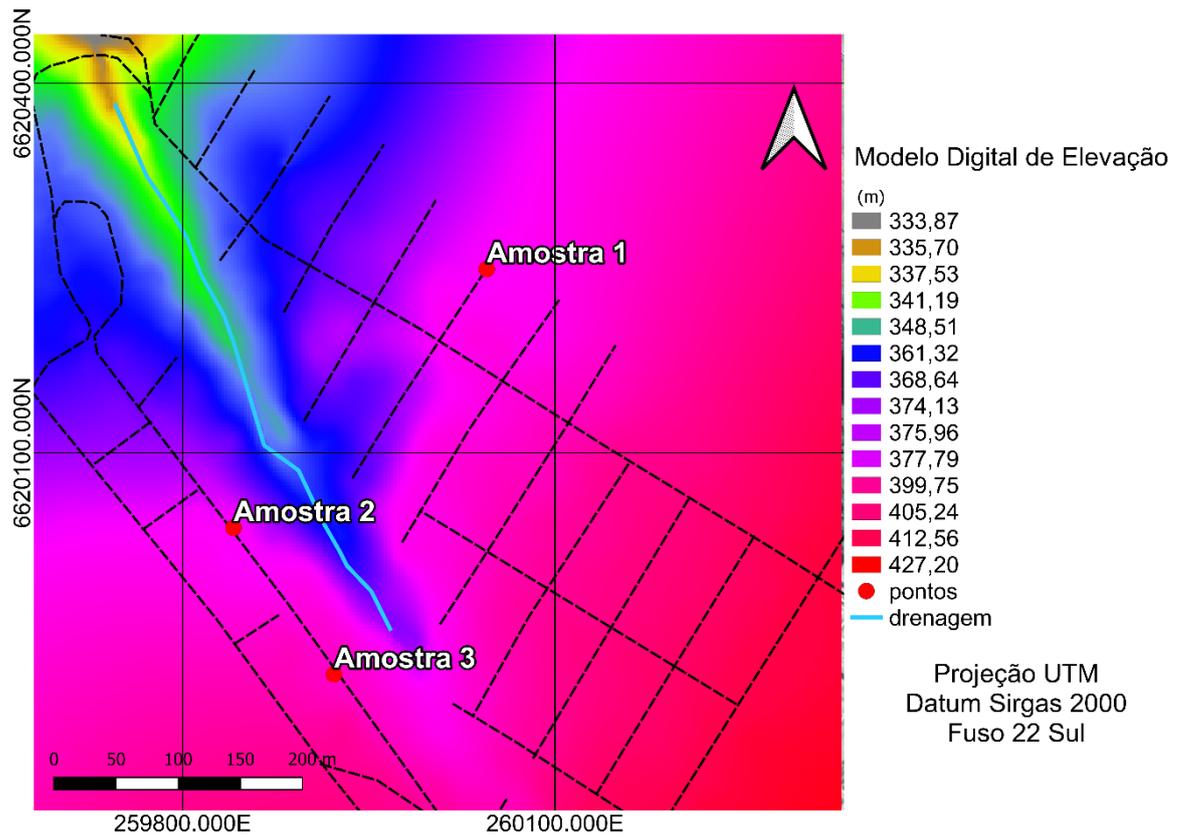


Fonte: Autora (2022).

5.2 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Através do levantamento de áreas de risco descrito acima, escolheu-se a região a ser feito o levantamento aéreo, a fim de obter-se imagens de alta resolução espacial – 3cm/pixel – que, após o processamento das imagens possibilitou a elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE), conforme observado na Figura 45. O MDE foi classificado de acordo a altitude em metros, onde é possível observar uma variação decrescente no terreno partindo de 427,2m para 333,83m sentido SE-NW

Figura 45: Modelo digital de Elevação da área de estudo.



Fonte: Autora (2022).

5.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A presença de rochas aflorantes na área de estudo é pouco presente. A Figura 46 mostra dois dos afloramentos encontrados e descritos no local.

Figura 46: Dois dos afloramentos encontrados e descritos no local.



Fonte: Autora (2022).

As rochas encontradas e descritas variaram entre rochas com baixo grau de alteração e rochas muito alteradas. As rochas pouco alteradas apresentam coloração vermelha, e foram classificadas como granito. É uma rocha equigranular de textura fina a média, tendo como minerais essenciais: Feldspato alcalino subédrico a anédrico (60%), Quartzo subédrico (20%), Plagioclásio anédrico (15%) e Biotita subédrica (5%). Já a rocha alterada, devido ao alto grau de alteração não foi possível descrevê-la, pois já se encontra como um saprólito.

A cobertura de boa parte da área é predominantemente por solo de coloração marrom claro com grãos de tamanho areia e argila, angulosos a sub-angulosos. A textura arenosa associada a mineralogia semelhante a encontrada na rocha *in situ* presente na região indica um solo residual de alteração do granito, que através dos parâmetros físico-químicos, pode-se classificar os solos como solos arenosos siltoso, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). A Figura 47 mostra afloramentos dos solos expostos, característicos dessa área.

Figura 47: Perfil de solo exposto no qual foi retirado uma das amostras para análise.



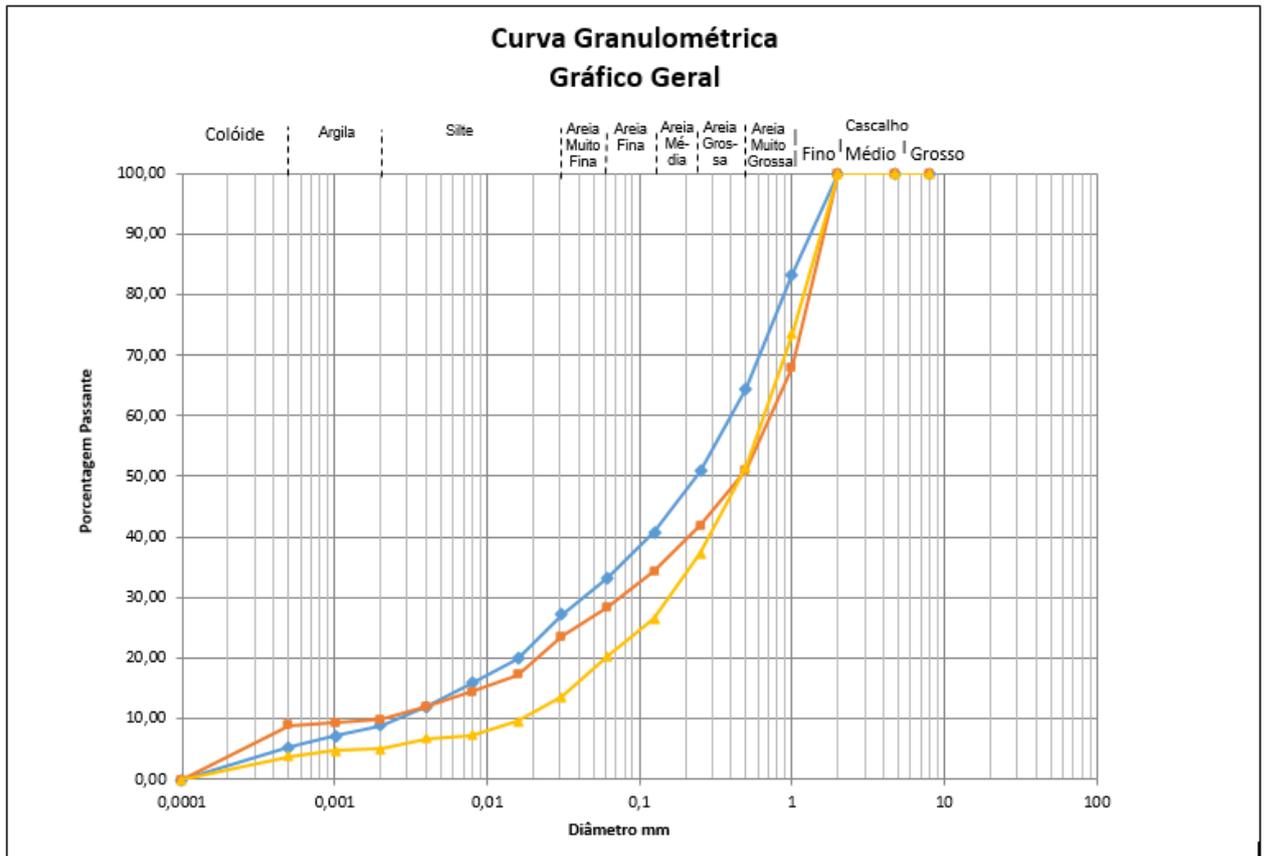
Fonte: Autora (2022).

5.4 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Conforme apresentado na metodologia, com a finalidade de conhecer o solo da área de estudo, os ensaios de caracterização geotécnica foram realizados a partir das amostras deformadas coletadas de três pontos diferentes.

Os ensaios de caracterização granulométrica foram realizados por peneiramento e sedimentação com a utilização de hexametáfosfato de sódio e por granulômetro a laser. A Figura 48 apresenta as curvas granulométricas obtidas pelas três amostras.

Figura 48: Curvas granulométricas referente às 3 amostras de solos.

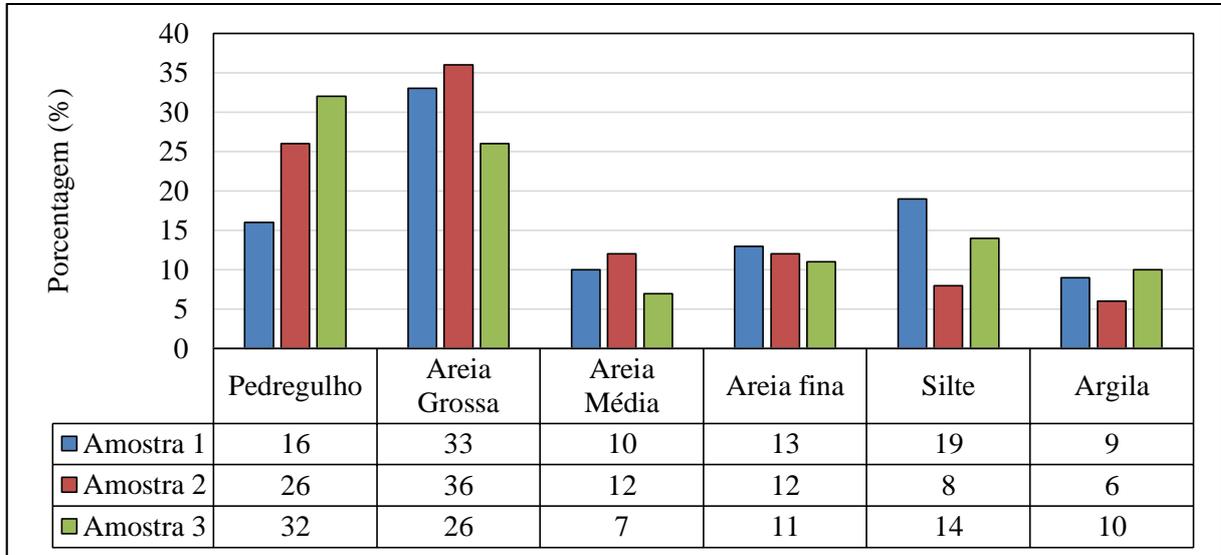


Fonte: Autora (2022).

De acordo com as curvas granulométricas o solo estudado apresenta curva característica de um solo bem graduado, ou seja, solos que tem várias frações de diâmetros diferentes misturados (com tamanho de grãos variando desde pedregulhos até argila). A figura 49 apresenta um gráfico de barras com as porcentagens de cada fração tabeladas, tal metodologia foi utilizada com a finalidade de facilitar a visualização da distribuição granulométrica ao longo da curva. No geral, as três amostras apresentam solos com tamanho de grãos variando desde pedregulhos até argila. A fração pedregulho ($\Phi < 4,8$ mm) corresponde a mais de 15% da composição do solo. A fração predominante corresponde a areia com percentual variando entre

44 e 60%, enquanto a fração silte varia de 8 a 19%, com maior concentração na Amostra 1. Já a fração argila, varia entre 6 e 10%.

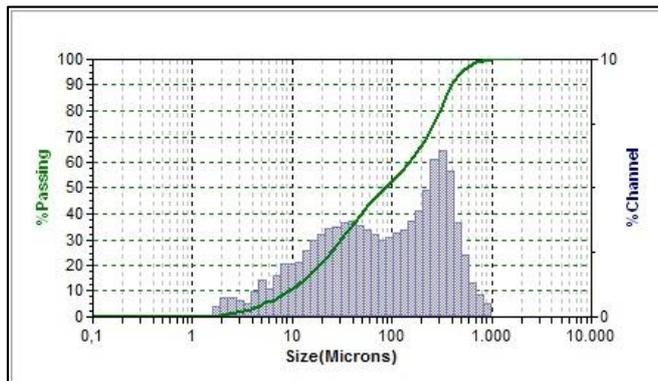
Figura 49 – Valores da porcentagem das frações granulométricas com defloculante



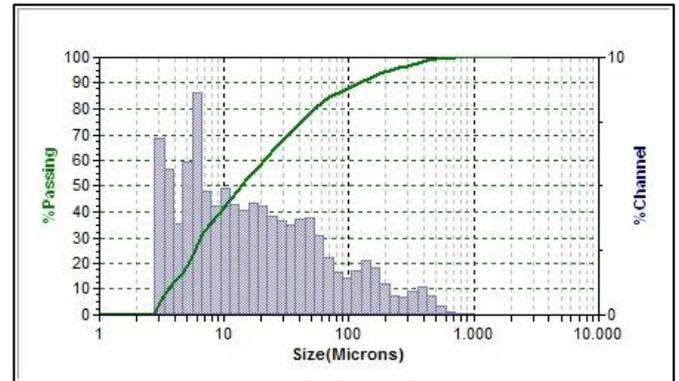
Fonte: Autora (2022).

Ainda, podemos comparar os resultados obtidos pela curva granulométrica resultante do ensaio manual de granulometria e sedimentação, com os resultados obtidos através do granulômetro a laser (Figuras 50).

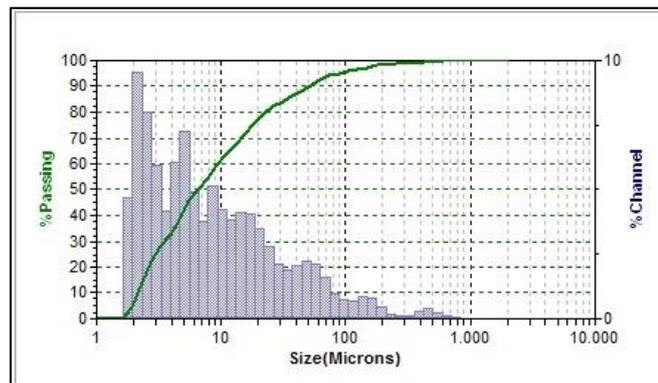
Figura 50: Curva granulométrica resultante do ensaio feito pelo granulômetro a laser.



A) Amostra 1



B) Amostra 2



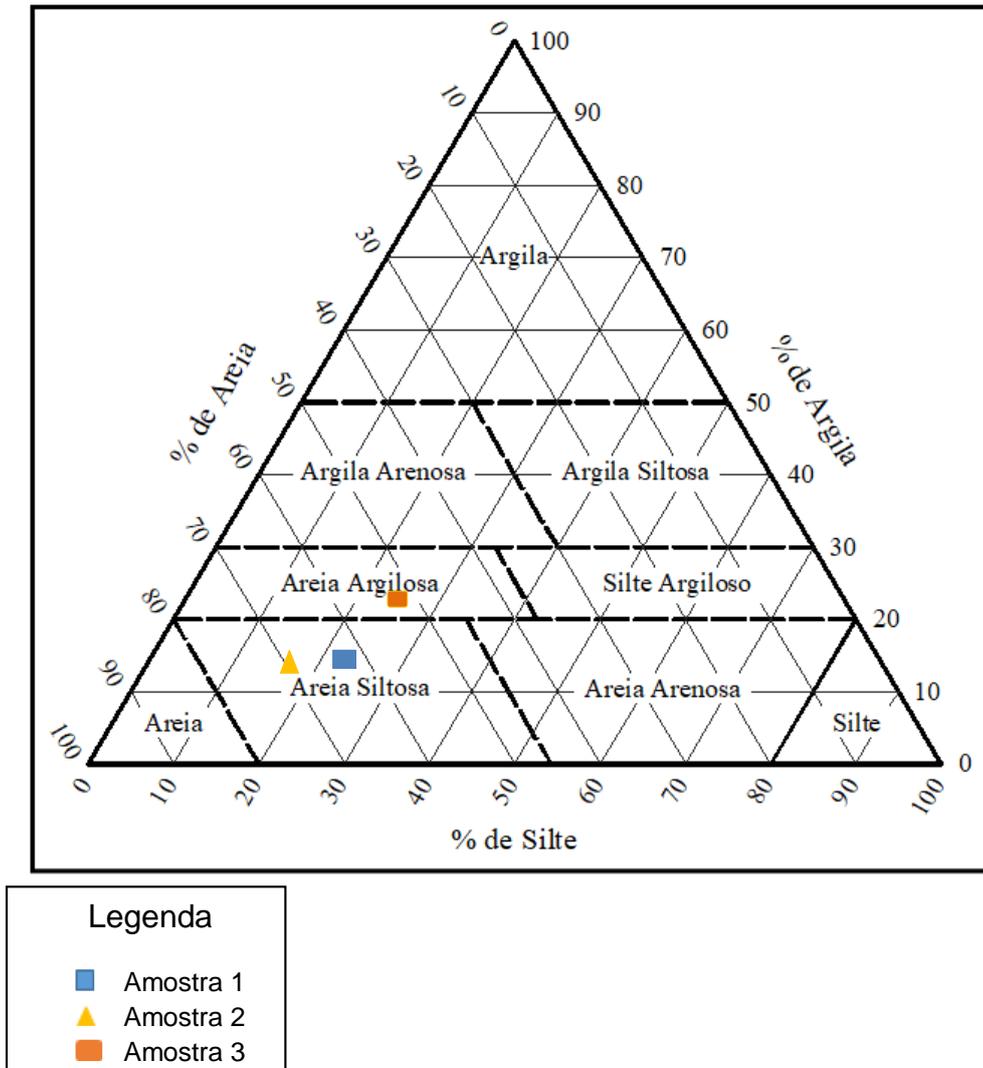
C) Amostra 3

Fonte: Autora (2022).

Ao considerar os resultados com o granulômetro a laser (Figura 50), a fração pedregulho ($\Phi > 2$ mm ou 2.000 microns) não foi obtida. No entanto, a areia é a fração predominante, enquanto as frações silte e argila são pouco presentes nas três amostras analisadas. Tal resultado foi condizente as curvas obtidas com o auxílio de defloculante. Salienta-se que ambos os resultados dos ensaios de distribuição granulométrica conferem com o comportamento esperado de um solo de origem granítica, com predomínio de fração areia em relação as frações silte e argila.

Conforme classificação trilinear, que leva em consideração somente a granulometria, as amostras 1 e 2, são classificadas como solo arenoso siltoso, enquanto a amostra 3, o solo pode ser classificado como arenoso argiloso. A Figura 51 apresenta o diagrama trilinear com a marcação das 3 amostras correspondente à sua classificação.

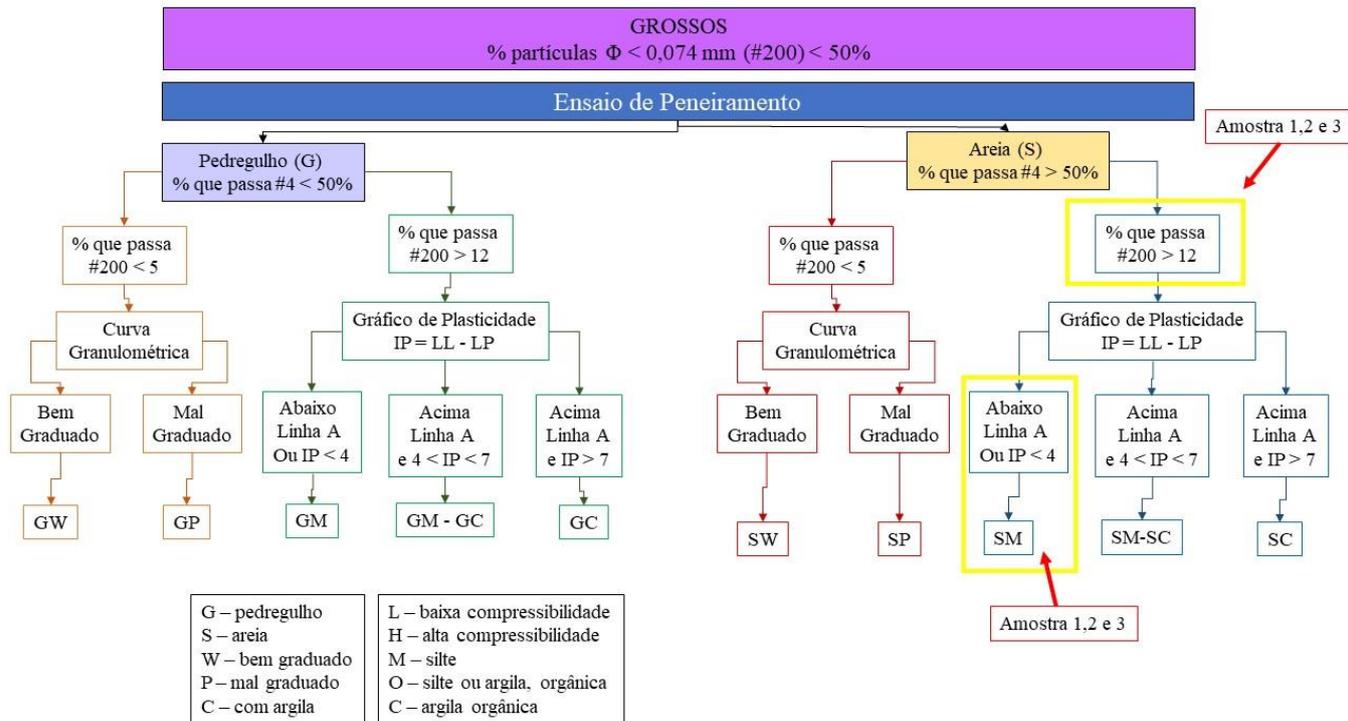
Figura 51: Diagrama trilinear de classificação do solo.



Fonte: Autora (2022).

No item 5.4, através da curva granulométrica, se pode classificar os solos baseados no diagrama trilinear o qual mostrou que a partir dos limites de Atterberg, foi possível classificar o solo, conforme ilustra a Figura 52. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), que se baseia na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, a partir de resultados de ensaios de granulometria e índice de Atterberg. As três amostras de solos apresentaram comportamento de solo SM (areia siltosa) (Figura 52).

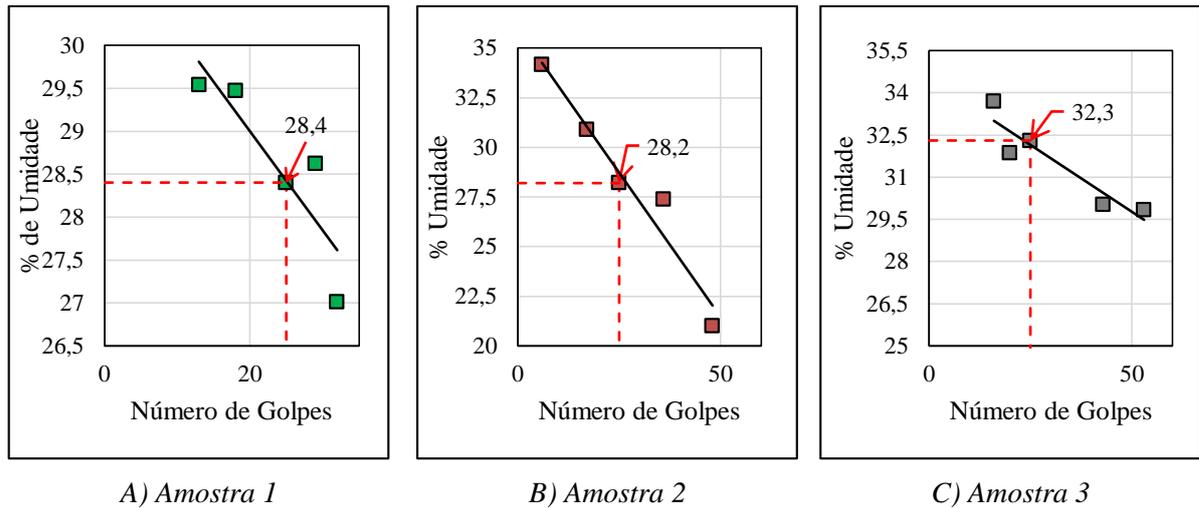
Figura 52: Fluxograma de classificação unificada dos solos.



Fonte: Autora (2022).

Já a Figura 53, apresenta os resultados dos limites de liquidez, obtidos do ensaio com o equipamento Casagrande.

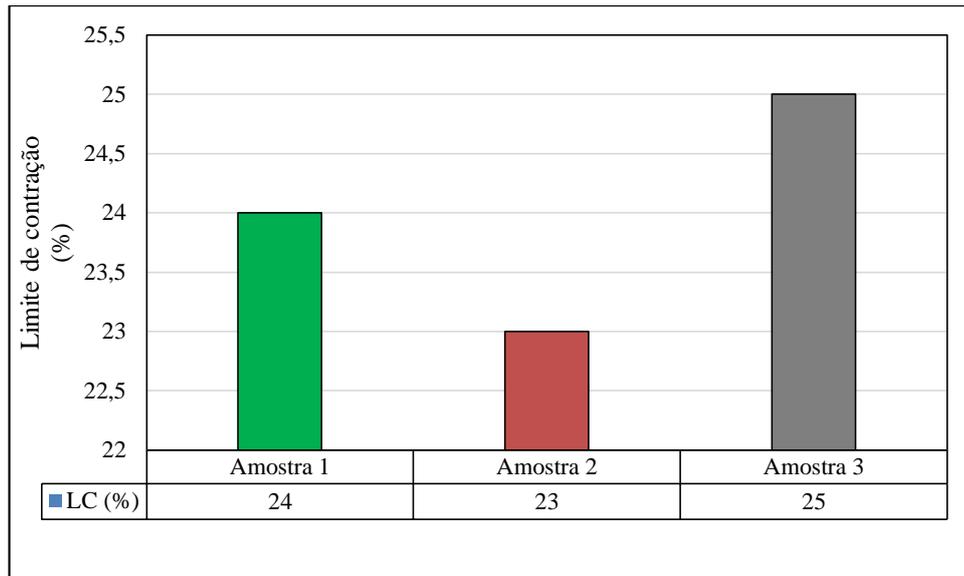
Figura 53: Resultado do limite de liquidez.



Fonte: Autora (2022).

Conforme apresentado a Figura 53, os valores de limite de liquidez variam de 28,2 a 32,3%, apresentando uma pequena amplitude de variabilidade ao longo das amostras, condizente com a análise granulométrica, ou seja, quanto maior a concentração de fração areia (Amostra 1 e 2), menor o teor de umidade. Além disso, os resultados do ensaio de limite de plasticidade deram que as três amostras analisadas apresentam comportamento não plástico, o que pode ser justificado em virtude de ser um solo com elevada porcentagem de fração areia. Tendo em vista isso, não se pode calcular o índice de plasticidade das amostras, e conseqüentemente não foi possível classificá-la de acordo com os Limites de Atterberg.

Foram realizados também, os cálculos referentes ao limite de contração (LC), o qual é o teor de umidade onde ocorre a transição entre o estado de consistência sólida e semi-sólida. É convencionalmente, o teor máximo de umidade a partir do qual uma redução dessa umidade não ocasiona diminuição do volume do solo, o resultado é expresso em porcentagem (inteira), conforme apresentado na Figura 54.

Figura 54: Resultado do Limite de contração.

Fonte: Autora (2022).

Conforme apresentado na Figura 54, o limite de contração varia de 23 a 25%, sendo que, quanto maior a porcentagem de fração areia (amostra 1 e 2), menor é o valor obtido para o limite de contração. Portanto, o ensaio de LL e LC foram condizentes com a análise granulométrica, bem como, ao tipo de solo encontrado no solo (origem granítica).

5.4.1. CLASSIFICAÇÃO DA ERODIBILIDADE

A avaliação de um solo em relação a erodibilidade pode ser realizada de modo indireto por intermédio da análise granulométrica, utilizando a porcentagem de solo retida nas frações areia, silte e argila e, aplicando nas equações, conforme proposto por Bouyoucos (1935) e Manning et al. (2002) (Tabela 9).

Tabela 9: Resultados obtidos através dos cálculos utilizando as equações propostas por Bouyoucos (1935) e Manningel et al. (2002).

Autor	Equação	Amostra	Resultado
Bouyoucos (1935)	$E = \frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}}$	1	8,33 %
		2	11,33 %
		3	5,8 %
Manningel et al. (2002)	$K = \frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{100}$	1	0,083 t.ha.h/ha.MJ.mm
		2	0,113 t.ha.h/ha.MJ.mm.
		3	0,058 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Fonte: Autora (2022).

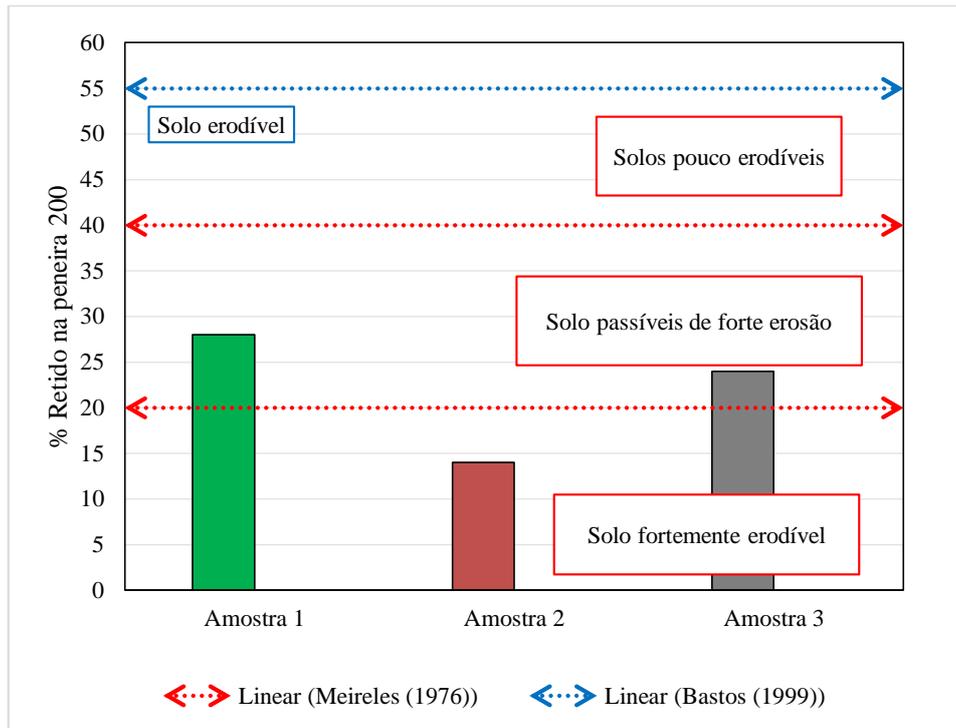
Conforme apresentado na Tabela 9, independente da equação utilizada no cálculo, a amostra 2 apresentou valores superiores em comparação as demais amostras, mostrando ser um solo com comportamento mais erodível. Por conseguinte, ambos os autores utilizam uma faixa de intervalo para classificar os valores de erodibilidade do solo (K), sendo elas:

- Valores entre 0,01 e 0,03 - baixo;
- Valores entre 0,03 e 0,06 médio;
- Valores acima de 0,06 - alto.

Logo as amostras 1 e 2 foram classificadas como um alto fator de erodibilidade, sendo a segunda amostra a maior de todas, e a terceira amostra se enquadrou no intervalo caracterizado como fator médio de erodibilidade.

Meireles (1976) e Bastos (1999) também propuseram, por intermédio da análise da curva granulométrica, determinar o potencial de erodibilidade com base na porcentagem passante na peneira 200. A Figura 55 apresenta os valores obtidos com base nesta análise para as três amostras de solos analisadas com os limites estabelecido por cada autor.

Figura 55 – Valores obtidos com base na porcentagem passante na peneira 200.



Fonte: Autora (2022).

Conforme apresentado na Figura 55, em relação aos limites estabelecidos por Meireles (1976) apenas o solo da Amostra 2 (areia siltosa) mostrou ser um solo fortemente erodível, com 14% do seu material passante na peneira 200. Por sua vez, os solos das amostras 1 e 3, foram classificados como solo passíveis de forte erosão, com 28% e 24%, respectivamente, de material passante na peneira 200. No entanto, de acordo com Bastos (1999) os três solos coletados na área de estudos apresentam comportamento de um solo erodível, pois a porcentagem de material passante na peneira 200 foi inferior a 55%, limite estabelecido pelo autor.

Em síntese, a avaliação indireta de erodibilidade realizada nesta etapa da pesquisa, sugere que as três amostras de solos coletadas da área de estudo, apresentam características que permitem classificá-las como solos passíveis de sofrerem processos erosíveis. Tal resultado é condizente com observado em campo, pois a presença de sulcos (Figura 56 A), ravinas (Figura 56 B) e voçorocas (Figura 56 C), foram identificados, portanto, está análise enfatiza a importância de estudos geológico-geotécnico em áreas urbanas.

Figura 56 – Feições erosivas observadas na área de estudo



Fonte: Autora (2022).

5.5 ZONEAMENTO E CADASTRO DO RISCO

Segundo BRAGA (2016) o zoneamento e o cadastro do risco, permite a hierarquização da gravidade das situações e, conseqüentemente, possibilita a priorização no reconhecimento dos problemas na área. Tendo em vista isso, foi possível classificar algumas áreas que apresentaram indícios de risco, de acordo com a classificação do zoneamento e do cadastro (figura 57), estabelecida por Braga (2016).

A maioria das áreas classificadas, se enquadraram no quesito Médio Risco (MR), onde há a probabilidade de ocorrência de fenômenos geológicos geotécnicos, preferencialmente localizados, envolvendo pequenos volumes de material mobilizado e com um menor poder destrutivo. Já no cadastramento do risco, pode-se classificar a maioria das áreas como Risco 2 (R2), onde há uma situação de potencial instabilidade, porém de menor gravidade, na qual se recomenda vigilância da evolução dessa instabilidade.

Figura 57: Áreas classificadas com MR e R2 dentro da área de estudo.



A) R2



B) R2



C) R2



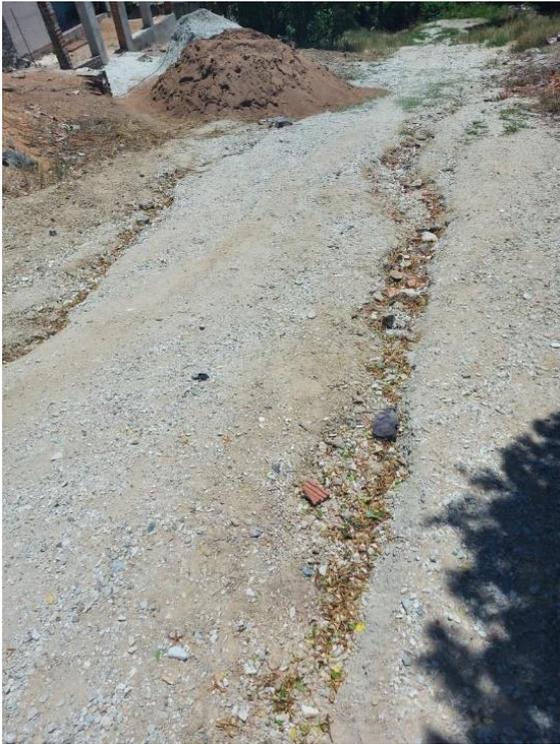
D) R2

Por outro lado, levando em consideração os parâmetros determinados pelo Ministério das Cidades em parceria com o IPT foi possível realizar mais uma análise qualitativa das condicionantes geológicas e classificar a área de estudo de acordo com o seu grau de probabilidade de ocorrências de processos de instabilidade (BRASIL, 2007).

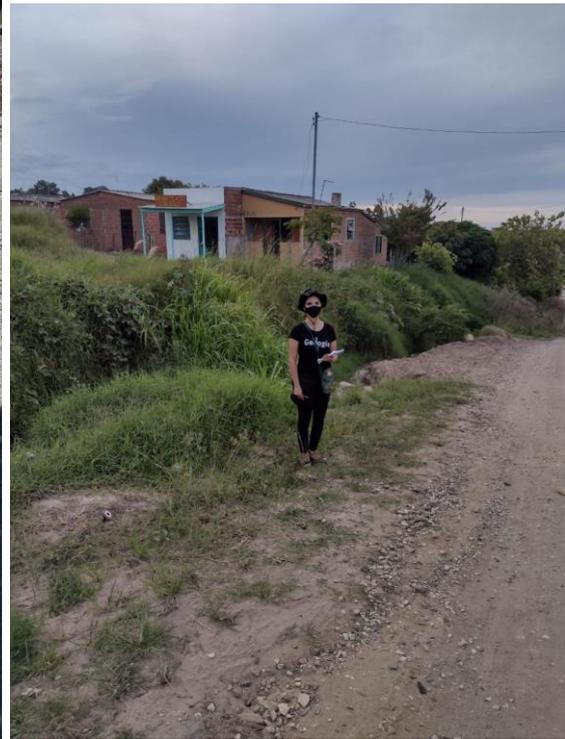
Baseado nesses parâmetros, pode-se definir uma nova classificação para cada área, onde áreas classificadas como R1 apresentaram baixas variações topográficas e bem poucas evidências de instabilidade (Figura 58A). Boa parte da região foi classificada como grau R2 (Figura 58B), com pequenas evidências de instabilidade em taludes. Por fim, foram identificadas 2 regiões classificadas como possíveis grau R3, onde essas regiões possibilitam a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas dentro de um ciclo chuvoso (Figura 58C e D).

Além disso, no decorrer dos 4 perfis mapeados, pode-se perceber a presença de rachaduras centimétricas nas moradias (Figura 59). Abaixo, estão as mesmas imagens utilizadas na classificação proposta por Braga (2016), contudo agora classificadas de acordo com os parâmetros determinados pelo Ministério das Cidades em parceria com o IPT.

Figura 58: Áreas classificadas com R1, R2 e R3 dentro da área de estudo.



A) R1



B) R2



D) R3



D) R3

Figura 59: Rachaduras presentes nas moradias dos habitantes da área de estudo.

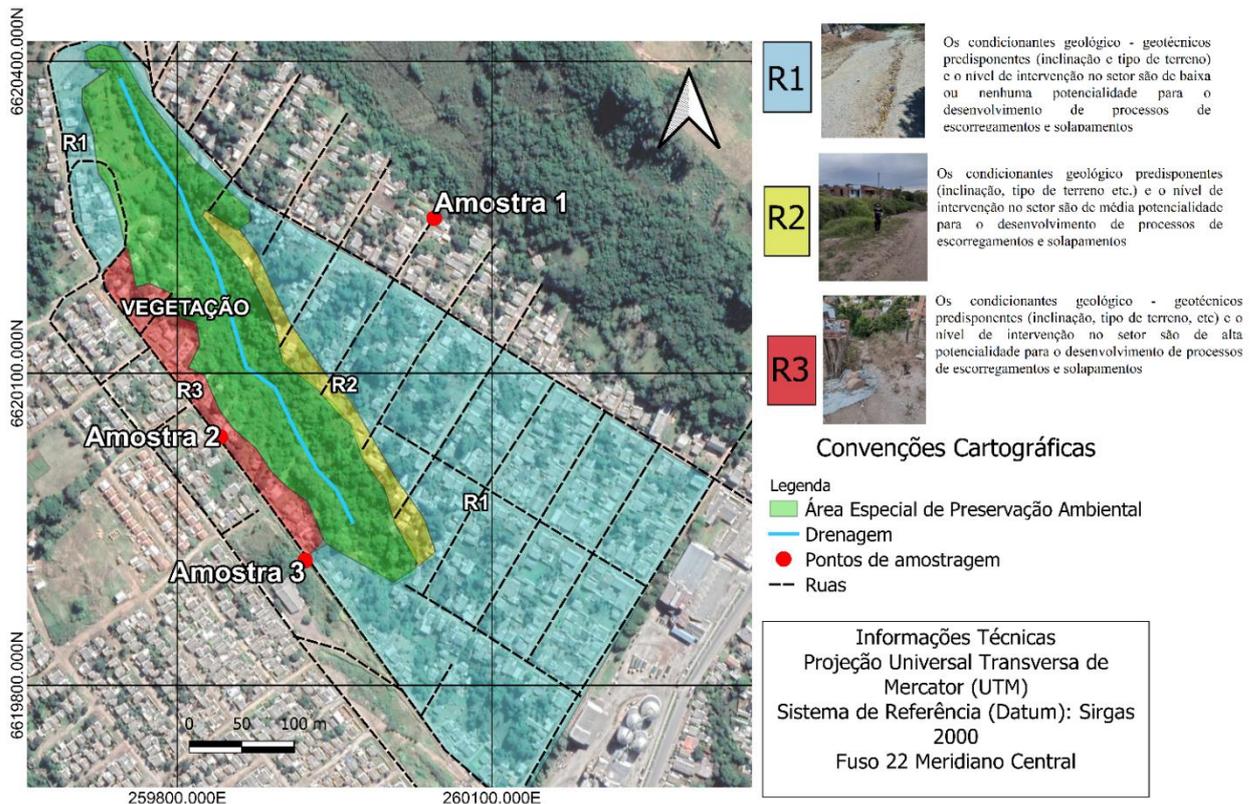


Fonte: Autora (2022).

5.5.1 MAPA DO ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

Com base nos parâmetros de classificação determinados pelo Ministério das Cidades em parceria com o IPT, foi possível categorizar o grau dos possíveis riscos verificados em campo e pelo levantamento aéreo dentro da área de estudo. As cores azul, amarelo e vermelho representam a situação de risco em baixo, médio e alto, respectivamente (Figura 60). Para a geração do mapa, utilizou-se as informações e uma análise qualitativa realizada visualmente em campo, somada à análise e classificação dos solos e ao mapa de declividade e o MDE, juntamente com toda as outras informações coletadas ao longo desta pesquisa.

Figura 60: Mapa do zoneamento de risco.



Fonte: Autora (2022).

Com base na figura 60, nota-se que a maior parte da área estudo foi classificada como R1 (risco 1), no entanto, nota-se na porção mais a este da área, risco R2 e R3, que necessita de maiores cuidados pelo órgão público. Além disso, no estudo realizado por Silva (2021), na área urbana do município, com enfoque na região noroeste, também foi observado pelo autor a presença de risco 2 e 3. Portanto, estudar e mapear o município com base em estudos geológicos e geotécnico é de suma importância para o desenvolvimento urbano do município.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Bairro Vila Sul é uma região com algumas evidências de ser uma área de fragilidade ambiental, pois, percebe-se que a variação da declividade e da altitude da área, contribuem para o processo erosivo, aumentando a velocidade com que a água escoe sobre as ruas de terra. Além disso, esses fatores associados principalmente à falta de um sistema de drenagem adequada favorecem a aceleração do processo de degradação dos solos, resultando no surgimento de diversas feições erosivas vistas e analisadas no decorrer de todo o mapeamento da área, principalmente localizadas nas extremidades das ruas de terra.

Com base nas feições erosivas analisadas, pode-se afirmar que o processo erosivo presente na área de estudo são influenciados pelo fluxo superficial concentrado, caracterizando a primeira fase de desenvolvimento de uma erosão linear, na qual se desenvolve rapidamente durante as épocas de chuvas intensas devido à concentração do escoamento superficial (principalmente nas laterais das ruas). Através dos métodos de avaliação indireta da erodibilidade dos solos, baseado no ensaio de granulometria e limites de Atterberg, podemos concluir que:

- Os ensaios de caracterização física dos solos demonstraram que as 3 amostras coletadas são consideravelmente arenosos, onde a maior parte das frações granulométricas se encontram no intervalo das areias;

- Através dos resultados obtidos na análise granulométrica e com o auxílio do diagrama trilinear e do fluxograma de classificação do SUCS, pode-se classificar o solos como arenosos siltosos;

- No ensaio de limites, os valores de LL variaram de 28 a 32 %. As amostras foram classificadas como não plásticas.

- Com o levantamento aéreo realizado com o auxílio do RPAS, foi possível gerar o ortofotomosaico, o modelo digital de elevação, e informações como a declividade do terreno, além de ter sido muito útil para a ajudar na criação do mapa de zoneamento do risco.

- Com base nos levantamentos realizados, juntamente dos ensaios, processamentos e interpretações, pode-se gerar o mapa de zoneamento e cadastro do risco.

- O mapa de zoneamento apontou para uma área considerada de alto risco para deslizamentos (R3), na qual várias casas que estão situadas. Uma análise domiciliar poderia

auxiliar para determinação ainda mais efetiva na categorização nas áreas, uma vez que somente alguns moradores foram consultados durante as saídas de campo.

- Também foram identificadas várias residências situadas em APPs. Portanto fica a cargo do poder público concretizar a função social e proporcionar alternativas habitacionais para a população de vulnerabilidade socioeconômica que ocupa os espaços de forma irregular e realizar monitoramentos contínuos para a aferição de estabilidade na região.

- A definição da Área de Preservação Permanente (APP) apresentada levou em consideração o polígono indicado pelo plano diretor, sendo acrescentado somente o entorno de drenagens, que de acordo com o artigo 4 da Lei nº 12.651 de 2012 é considerado APP as faixas marginais de cursos d'água. Na carta analisada, as áreas de preservação permanente, estão apresentadas como Áreas Especiais de Preservação Ambiental. Para cursos d'água com largura menor que 10 metros, é considerado área de preservação permanente faixas marginais de 30 metros (BRASIL, 2012).

Por fim, conclui-se que a metodologia proposta se mostrou eficaz e o trabalho atingiu os objetivos almejados. Com isso, espera-se que o presente trabalho possa auxiliar na tomada de decisões no planejamento e desenvolvimento urbano do Bairro Vila Sul em Caçapava do Sul-RS, sendo este, um material que somado ao Plano Diretor se faz importante para que aspectos ambientais e estruturais sejam vistos como primordiais para a ocupação humana de forma regular e adequada na região do estudo. E também, sugere-se que sejam realizados mais trabalhos com esse viés de mapeamento, e monitoramento das possíveis áreas de risco, nos quais vão auxiliar na ação preventiva contra os possíveis riscos da região.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1968. 6p.
- _____. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p.
- _____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984a.13p.
- _____. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1968. 6p. Origem: MB-30.
- _____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c. 3p.,
- AHMED, M. R. C.; FATORES QUE INFLUENCIAM A ERODIBILIDADE NOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ SOB UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO; UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF; Dissertação de mestrado, 2009; Acesso em 19/02/2022; Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/CLARISSA-REGINA-MASIERO-AHMED1.pdf>
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. Boletim do Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 7: 45-80.
- ACOSTA, O. C. I - **Investigação aplicada à gestão de risco geológico-geotécnico, para fins de planejamento urbano. Caso piloto: "erosão na cidade de São Carlos"** - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, São Carlos, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13761/OSORIO_Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 12 Jul 2021.
- ÁVILA, L. O. Erosão na Microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS. 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- BAIRRO PROMORAR COMPLETA 35 ANOS; **Jornal Farrapo**; Caçapava do Sul; 31 de Julho de 2019; Acesso em 13 Ago 2021; Disponível em <http://farrapo.com.br/noticias/2/23283/v-deo-bairro-promorar-completa-35-anos.html>
- BITENCOURT, MF **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Geologia e relações com o corpo granítico**. Simplório. Sul-Bras. Geologia, I, P. Alegre, p. 37-48. 1983.
- BASTOS, C. A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- Bastos, C.A.B. (2000) Avaliação Geotécnica da erodibilidade dos solos. II Simpósio da Prática de Engenharia Geotécnica da região Sul, GEOSUL, p. 203-211.
- BASTOS, L. et al. Manual para elaboração de projetos e relatórios de pesquisa, teses, dissertações e monografias. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BRASIL; Constituição Federal de 1988; Art. 182 da Lei nº 13.311, de 11 de julho de 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: MCidades; IPT, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC [...]. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 abr. 2012.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 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 [...]. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 maio 2012.

BRAGA, E; **Análise de área de risco geológico em terreno tecnôgenico de encosta no Jardim Fortaleza, Município de Guarulhos (SP)**; Centro de Pós graduação e pesquisa; Programa de Mestrado em análise geoambiental (2016); Acesso em 13 Ago 2021; Disponível em: <http://tede.ung.br/bitstream/123456789/660/1/ELIZABETH+BRAGA+-+2016.pdf>

BRAUN, W.A.G. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. Revista Brasileira de Geografia. nº4. p. 501 – 642, 1961.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: Livroceres, p. 372, 1985.

Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. Conservação do Solo. 5.ed. São Paulo. 355p, 2005.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. erosividade da chuva na Serra do Tepequém Conservação do solo. São Paulo: Ícone. 4º Ed. demonstraram que o impacto das gotas no solo 1999. 355p.

BIGARELLA, J. J. et al Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Florianópolis – UFSC – volume 3. 2003.

BOUYOUCOS, G. W. (1935). The clay ratio as a criterion as susceptibility of soils to erosion. J. Amer.Soc. Agron., Madison, Wisc., 1935, 27:738-741.

BORBA, A. W.(2006); **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã”**; Tese de Doutorado UFRGS; Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7906> ; Acesso em 18 Set 2021.

CAÇAPAVA DO SUL. Lei nº 2.004, de 05 de setembro de 2006. Dispõe sobre o desenvolvimento de Caçapava do Sul, institui o Plano Diretor de desenvolvimento do município e dá outras providências. Caçapava do Sul: Gabinete do Prefeito Municipal, 2006. 62 p.

CAÇAPAVA DO SUL; Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul; **Dados do Município**; Caçapava do Sul 2021. Disponível em:<https://cacapavadosul.rs.gov.br/pagina/id/3/?dados-do-municipio.html> acesso em 20 Set 2021.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO. M. T. S. (Org.). Processos erosivos no centro-oeste brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, p. 39-91, 2006.

CARRIVICK, J.L.; Smith, M.W. & Quincey, D.J. 2016. **Structure from Motion in the Geosciences**. Londres, Wiley-Blackwell, 197p.

CASAGRANDE, P; MOURA, A. M.; PARIZZI, M.; SENA, I. S. 2019; **ÍNDICE DE RISCO GEOLÓGICO UTILIZADO COMO APOIO AO PLANEJAMENTO URBANO E TERRITORIAL: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA, MG**; Revista Brasileira de Geomorfologia v. 21, nº 1 (2020); Acesso em 22 Set 2021; Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-8-Mapa-Indice-de-Risco-Geologico_fig4_338719931; p14

CECCATO, D, H; **PROCESSO EROSIVO: ESTUDO DE CASO DA ESTRADA DE ACESSO A CASCATA DO SALSO – CAÇAPAVA DO SUL, RS**; Trabalho de conclusão de curso; Universidade Federal do Pampa; 2018.

CECCATO, D, H; FELTRIN, M, R. ; NUMMER, V, A. ; Wollman, S, F. ; Parâmetros físicos como indicadores da erodibilidade de solos; Universidade Federal de Santa Maria.; X Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul; GEORS; 2019.

CHEMALE JR., F. 2000. **Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense. Geologia do Rio Grande do Sul**. Ed. Holz, M.; De Ros, L.F., Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, p.13-52.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2009. Mapa geodiversidade do Rio Grande do Sul. SGM TM, CPRM, Brasília.

DINIZ; N. C - **Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão**; Universidade de Brasília; Acesso em 13 Ago 2021; Disponível em: <https://www.abge.org.br/downloads/revistas/cartografia.pdf>

DURLO, D. T 2016 ; **Investigação de estruturas rúpteis em uma porção do complexo granítico Caçapava do Sul e áreas adjacentes**; Trabalho de conclusão de curso; UNIPAMPA; Acesso em 20 Set 2021; Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/1365/1/Investiga%C3%A7%C3%A3o%20de%20estruturas%20r%C3%BApteis%20em%20uma%20por%C3%A7%C3%A3o%20do%20Complexo%20Gran%C3%ADtico%20Ca%C3%A7apava%20do%20Sul%20e%20%C3%A1reas%20adjacentes.pdf>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999.

FACIO, J.A. Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FERNANDES, J.A. Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentin, RS. 2011. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FERREIRA, M.V.S; ROJAS, J.W.J; PEREIRA, M. M. M; MAGALHÃES, R. L.; VARGAS, R.R.; **SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL – RS**; Disponível em: <https://eventos.congresso.me/condessus/resumos/11129.pdf>; Acesso em 23 Set 2021.

FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. G. E. M.; ABREU, J. J.; HIGASHI, R. A. R. 2017; **METODOLOGIA UTILIZADA NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS NOS ESTADOS DE SANTA CATARINA E PARANÁ**; I congresso de geografia física 2017; acesso em 21 Set 2021; Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2560>

FRAGASSI, P.F.M. Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG). Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GALETI, P.A. Práticas de controle à erosão. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.

GUERRA, A.J.T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Org.). A questão ambiental-diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 191-218, 2003.

GUERRA, A.J.T.; VITTE, A.C. (Org.). Reflexões sobre a geografia física do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GRAY, D.H; LEISER, AT. Biotecimical Slope Protection and Erosion Control. Krieger Publishing Company, Malabar, 1989. Florida.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE, Jr., F.; PHILIPP, R.P. 2007. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. In: Frantz, J.C., Ianuzzi, R. (eds.), 50 anos de Geologia no Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS-PETROBRÁS, p.97-123

HEILBRON, Monica; PEDROSA-SOARES, Antônio Carlos; NETO, Mário Campos; SILVA, Luiz Carlos da; TROUW, Rudolph Allard; JANASI, Valdecir de Assis. **Província Mantiqueira. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**; Disponível em: <https://segesc.paginas.ufsc.br/files/2012/05/LivroAlmeida1.pdf>; p. 203-235, 2004.

IBGE; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFIA E ESTATÍSTICA 2010 ; Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cacapava-do-sul/panorama>; Acesso em 16 Set 2021.

INFANTI JR, N., FORNASARI FILHO, N. (1998) Processos de dinâmica superficial. In: ABGE. Geologia de Engenharia. São Paulo. p.131-152.

IPT. Manual de ocupação de encostas. CUNHA, M. A. (Coord). São Paulo: IPT, n. 1831,p. 216, 1991.

JUSTUS, J.O., MACHADO, M.L.A. & FRANCO, M.S.M. 1986. **Geomorfologia. In: Levantamento de Recursos Naturais**, v. 33, Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 e SI.22. Rio de Janeiro, SEPLAN - IBGE, pp. 313-404.

LEÃO, R.P. 2016; **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de Nova Lima - MG**; Dissertação de Mestrado; Acesso em 21 Set 2021; Disponível em:

https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6534/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_CartaSuscetibilidadeMovimentos.pdf

LEITE, L. V. 2015; **Mapa geotecnico de sustentabilidade a escorregamento no bairro Agronomia em Porto Alegre-RS**; Instituto de Geociencias; UFRGS; acesso em 21 Set 2021; Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/132014/000982632.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LUCAS, A. M. C. Estudo geofísico e geotécnico em uma área de risco no município de Caçapava do Sul, RS. 2015. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2015

LLOPIS TRILLO, G. Control de la erosion y obras de desagüe, Manual de Estabilizacion y Revegetacion de Taludes. Entorno Grafco S. L., Madrid, 1999.

MAGALHÃES, R.A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO), Goiânia- Pag.1- 7, 2001.

MANNINGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda do solos do Estado de São Paulo. Acta Scientiarum. Maringá, 2002, v. 24, n. 5, p. 1335-1340.

MARINOS, V – KARANTANELIS, E; VASSILAKIS, E; CHRISTARAS, B; **Object Based Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Site-Specific Landslide Assessment**; Remote Sensing Laboratory, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, 15784 Zografou, Greece (2020); Acesso em 19 Jul 2021; Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/11/1711>

MEIRELES, J.M.F. Erosão de taludes de estradas. In: JORNADAS LUSOBRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2., 1976, Rio de Janeiro/RJ – São Paulo – SP. Anais. Rio de Janeiro/RJ- São Paulo, 1967.p.204-211.

MORENO, J.A. Clima do Rio grande do Sul - Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236/3310>; acesso em 20 Set 2021.

NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, v. 19, p. 153-169, 1989

OLIVEIRA, LUÍS MARCELO DE. **Acidentes Geológicos Urbanos**. MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná. Curitiba, 2010 (1ª Edição), 80 p. Disponível em: https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/Acidentes_Geologicos_Urbanos_2010.pdf. Acesso em 12 Jul 2021.

OLIVEIRA I.C.E. 2001. **Estatuto da Cidade: para compreender**. Rio de Janeiro, Ed. IBAM/DUMA, 11p

PARIZZI, M. G - **Desastres naturais e induzidos e o risco urbano** - Departamento de Geologia – IGC/UFMG – 2014; Disponível em: [file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/11705-Article%20Text-31022-1-10-20181207%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/11705-Article%20Text-31022-1-10-20181207%20(1).pdf). Acesso em 12 Jul 2021.

PEREIRA, S. M. Desastres naturais: estudo e mapeamento de uma área de escorregamento no município de Caçapava do Sul, RS. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2017.

PEREIRA BARBOSA, L. et al. Análise da Estabilidade de talude utilizando dados geofísicos em uma área no município de Caçapava do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: SBGEO, 2016a.

PEREIRA BARBOSA, L. et al. Mapeamento geotécnico e ambiental aplicado ao crescimento urbano na cidade de Caçapava do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte, 2016b.

PITTELKOW, G.C Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria (CISM). Dissertação Mestrado. Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2013.

PICADA, R.S. 1971. **Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-riograndense.** Anais, Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, SBG, 25, São Paulo, 1: 167-191.

Processos erosivos nas encostas; O presente Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema foi elaborado em consonância com a metodologia estabelecida pelo CORHI; Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6997/processos_erosivos_nas_encostas.html

PORCHER, Carlos Alfredo; LOPES, Ricardo da Cunha. Cachoeira do Sul: folha SH. 22- YA. 2000.

PLANO DIRETOR; Município de Caçapava do Sul (2015); **Estudo de Zoneamento**; Acesso em 11 Mar 2022; https://cacapavadosul.rs.gov.br/uploads/norma/29437/estudo_de_zoneamento_2015.pdf

RIBEIRO, Maurício. **Geossuturas do Escudo do Rio Grande do Sul.** XXXI Congresso Brasileiro de Geologia; Acesso em 22 Set 2021; Disponível em: [file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Ribeiro%201980%20-%20Geossuturas%20do%20Escudo%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Ribeiro%201980%20-%20Geossuturas%20do%20Escudo%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul%20(1).pdf); Anais, p. 2709-2717, 1980.

RIBEIRO, M; FANTINEL, L. M. 1978; **Associações petrotectônicas do escudo sul rio grandense; I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do escudo Sul Riograndense;** Disponível em: [file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Ribeiro%20&%20Fantinel%201978%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Ribeiro%20&%20Fantinel%201978%20(1).pdf) Acesso 22 Set 2021.

RIBEIRO, M. 1970; Geologia da folha do Bom Jardim; Boletim nº247; Ministerio de minas e energia; Disponível em: <file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/1970-Maur%C3%ADcio-Ribeiro-Geologia-da-Folha-Bom-Jardim.pdf>; Acesso em 22 Set 2021.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, P. M. ;TESSARI, R.I. **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. Boletim 127, Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro. 1966.

RODRIGUES, V. L & FILHO; A.O - **Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP)**; Revista Brasileira de Geociências (2009); Acesso em 13 Ago 2021; Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/viewFile/7625/7052#:~:text=Resumidamente%2C%20o%20valor%20do%20mapeamento,para%20a%C3%A7%C3%B5es%20preventivas%20de%20defesa>

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 587, 1998

SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. S. Em Solos em Pedologia; Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A., eds.; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: São Paulo, 1998.

SALOMÃO, F.X.T., Iwasa, O.Y. (1995). Erosão e ocupação rural e urbana. In: ABGE. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. p.31-57.

SANTOS, M.P.P.: CASTRO, E. Soil Erosion in Roads. Memória N°.282. 1966. INEC. Lisboa.

SANTOS, A.R.2012; Cartas geotécnicas e cartas de risco; Distinções no significados, na elaboração e no uso; Apresentação de slides; Disponível em: https://segesc.paginas.ufsc.br/files/2012/11/cartas_geotecnicas_alvaro_Isegesc.pdf; Acesso em 20 Set 2021.

SILVA, G. S. N; MAPEAMENTO GEOTÉCNICO NA REGIÃO NORDESTE DA ÁREA URBANA DE CAÇAPAVA DO SUL/RS; Trabalho de conclusão de curso; UNIPAMPA; Caçapava do Sul, 2021.

SIMÕES, M. S. 2012; PETROLOGIA DO COMPLEXO MÁFICO-ULTRAMÁFICO MATA GRANDE, SÃO SEPÉ, RS; Trabalho de conclusão de curso; UFRGS; Acesso em 20 Set 2021; Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/134939/000871087.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. **Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 79-97, 2012. Disponível em: <<https://www.abge.org.br/volume-2-n-1>>. Acesso em: 14 ago 2021

STANCHI, S., FREPPAZ, M., AND ZANINI, E. The influence of Alpine soil properties on shallow movement hazards, investigated through factor analysis. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.. 2012. 12. 1845-1854. doi: 10.5194/nhess-12-1845-2012.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2 ed. Porto Alegre: Emater/RS, p. 222, 2008.

SOUZA, L. A; SOBREIRA; F. G. 2014; PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS NO PLANEJAMENTO URBANO; Acesso em 21 Set 2021; Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/8324/1/ARTIGO_ProcedimentoElaboracao%20de%20Cartas.pdf

TAVANI, S.; Corradeti, A. & Billi, A. 2016. **High Precision Analysis of An Embryonic Extensional Fault-Related Fold Using 3D Orthorectified Virtual Outcrops: The Viewpoint Importance in Structural Geology.** Journal of Structural Geology, 86: 200-210.

TEIXEIRA, P. C., MISRA, R. K. Erosion and sediment characteristics of cultivated forest soils as affected by the mechanical stability of aggregates. Catena. v.30, p. 199-134, 1997.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R; **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** 1.ed. São Paulo; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo; Instituto Geológico (2009). 197p

TOMASI, L.F ENSAIO DE INDERBITZEN PARA AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS E ROCHAS: APLICAÇÃO NAS REGIÕES DE 104 SANTA MARIA, SÃO FRANCISCO DE ASSIS E PORTO ALEGRE/RS. Conclusão de curso. Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

WISCHMEIER, W.H., Smith, D.D. (1965) Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountain: Guide for selections of practices for soil and water conservation. Washington: Department of Agriculture. 47p (USDA. Agriculture handbook, 282).

ZAINE, J. E. - **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP);** Instituto de Geociências; Tese de Doutorado (2000); Acesso em 13 de Ago 2021; Disponível em: file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/zaine_je_dr_rcla.pdf

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico : fundamentos e guia para elaboração. V. 1.** (Mestrado em geotecnia), – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1993.