

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MATHEUS RODRIGUES DE SOUSA**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E AMBIENTAL DE ÁREA DE RISCO EM CAÇAPAVA DO SUL**

**Caçapava do Sul  
2023**

**MATHEUS RODRIGUES DE SOUSA**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E AMBIENTAL DE ÁREA DE RISCO EM CAÇAPAVA DO SUL**

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: Diogo Peixoto Cordova

**Caçapava do Sul  
2023**

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).

S696m      Sousa, Matheus Rodrigues De  
              Mapeamento geotécnico e ambiental de área de risco em Caçapava  
do Sul / Matheus Rodrigues De Sousa.  
              75 p.

              Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.  
              "Orientação: José Waldomiro Jimenez Rojas".

              1. Desastres naturais. 2. Estabilidade de taludes. 3.  
Geofísica. 4. Geotecnia. 5. Zonas de Risco. I. Título.

MATHEUS RODRIGUES DE SOUSA

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E AMBIENTAL DE UMA ÁREA DE RISCO EM CAÇAPAVA DO  
SUL**

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:

23 de janeiro e 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. José W. Jiménez Rojas

Orientador

UNIPAMPA

---

Eng. Amb. Jessica Weiler

---

Téc. Msc. Lenon Melo Ilha

UNIPAMPA

---



Assinado eletronicamente por **JOSE WALDOMIRO JIMENEZ ROJAS**,  
**Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 26/01/2023, às 14:22, conforme  
horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA**, **Técnico de Laboratório**  
**Área**, em 31/01/2023, às 09:56, 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](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o  
código verificador **1038954** eo código CRC **A5945FAE**.

---

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é produto de muito esforço, anos de graduação longe de casa e principalmente do processo de ensino aprendizagem que obtive ao longo da minha vida e durante a graduação.

Começo agradecendo os que sempre estiveram ao meu lado me incentivando, aconselhando e apoiando não só na graduação como em todas as áreas de minha vida: minha família. Agradeço, então, meus pais, Sheila e Franciso, e minhas avós, Rosalina e Antônia, por tudo que fizeram e fazem por mim. Eles foram essenciais nesse percurso e fazem parte de cada conquista minha.

Agradeço aos amigos que fiz em Caçapava do Sul e minha irmã e colega de apartamento durante esses 6 anos, Natacha, por fazerem a graduação ser mais leve e que fizeram a diferença nesses anos que morei longe de casa.

Agradeço a oportunidade de ter feito um curso tão especial que me fez amadurecer e crescer profissionalmente.

Um agradecimento em especial ao Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. José Rojas pela orientação, parceria, paciência e ajudas durante o TCC, juntamente com Lenon e o Diogo e a todos os professores(as) que me ajudaram durante toda a graduação, a todos os técnicos(as), a todos os funcionários.

## RESUMO

O crescimento dos centros urbanos de forma irregular ocorre de forma acelerada. Então, ao observar a partir do ponto de vista geológico-geotécnico, percebe-se um possível problema, que pode ocasionar desastres naturais, como deslizamento de terras. Com isso, o mapeamento geológico-geotécnico possui grande relevância para a análise desta questão, visto que, por seu intermédio é possível encontrar meios de amenizar os danos causados pelo crescimento urbano desordenado em áreas de risco. Este trabalho tem como objetivos identificar e caracterizar uma área de risco no município de Caçapava do Sul/RS, através do mapeamento ambiental e geotécnico, sobretudo, analisando uma rua no bairro denominado de Vila Sul, região de possível risco para deslizamentos de terra. Para isso foi necessário a coleta de dados em campo, como: coleta de amostras de rochas, levantamento de perfis geofísicos para caracterização do contato solo, rocha alterada e rocha sã, além de quantificar as espessuras de cada camada. Dados de imagens de satélite, auxiliaram no desenvolvimento do trabalho para mapeamento e localização das áreas com as maiores variações topográficas, que possibilitou a geração de um modelo digital de terreno (MDT). Em relação a estabilidade geotécnica, foi obtido o FS pelo método Bishop para comparação com a NBR 11682. Com a integração dos dados obtidos, isto é, MDT, perfis geofísicos, foi criado um modelo de secção crítica definida para análise de estabilidade. Com o perfil o perfil geofísico foi possível caracterizar duas litologias, sendo o solo saturado e o granito. Como resultado final foi gerado um mapa de zona de risco geotécnicos e ambientais, os resultados apresentaram zonas de risco baixa (R1), moderada (R2) e alta (R3). O fator de segurança foi superior ao indicado na norma, solo saturado FS 3.998, solo não saturado FS 5.063. O Este trabalho também teve o intuito de 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.

Palavras-Chave: Desastres naturais; Estabilidade de taludes; Geofísica; Geotecnia; Zonas de risco.

## ABSTRACT

The growth of urban centers in an irregular manner is occurring at an accelerated rate. So, when observing from the geological-geotechnical point of view, a possible problem is perceived, which can cause natural disasters, such as landslides. Thus, geological-geotechnical mapping has great relevance for the analysis of this issue, since, through it, it is possible to find ways to mitigate the damage caused by disorderly urban growth in risk areas. Thus, this work aims to identify and characterize risk areas in the municipality of Caçapava do Sul/RS, through environmental and geotechnical mapping, above all, analyzing a street in the neighborhood called Vila Sul, a region of possible risk for landslides. For this, it was necessary to collect data in the field, such as: collection of rock samples, survey of geophysical profiles to characterize soil contact, altered rock and sound rock, in addition to quantifying the thickness of each layer. Satellite image data helped in the development of the work for mapping and locating areas with the greatest topographic variations, enabling the generation of a digital terrain model (MDT). Regarding the geotechnical stability, the FS was obtained by the Bishop method for comparison with the NBR 11682. With the integration of the obtained data, that is, MDT, geophysical profiles, a defined critical section model was created for stability analysis. With the geophysical profile it was possible to characterize two lithologies, the saturated soil and the granite. As a final result, a geotechnical and environmental risk zone map was generated, the results showed low (R1), moderate (R2) and high (R3) risk zones. The safety factor was higher than indicated in the standard, saturated soil FS 3.998, unsaturated soil FS 5.063. This work was also intended to help public bodies on the importance of planning and managing the use of land within urban centers and the measures to be taken to mitigate risk situations already established.

Keywords: Geotechnics; Geophysics; Natural disasters; Slope stability; Risk zones.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. ....	17
Figura 2: Mapa Geológico da Área de Estudo. ....	19
Figura 3: Exemplo de carta de suscetibilidade da macrometrópole paulista.....	22
Figura 4: Exemplo de carta de suscetibilidade a escorregamentos no município de Igrejinha (Escala 1:25.000).....	23
Figura 5: Exemplo de carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de Igrejinha/RS.....	24
Figura 6: Exemplo de carta de risco em áreas urbanas do município de Natal-RN.....	25
Figura 7 - Sulcos e Ravinas encontradas na área de estudo. ....	31
Figura 8: Sulcos e Ravinas encontradas na área de estudo.....	31
Figura 9: Fatores de Segurança. ....	36
Figura 10: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo. ....	39
Figura 11: Mapa de zoneamento com ambiental da área de estudo. ....	40
Figura 12: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo. ....	41
Figura 13: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo. ....	42
Figura 14: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo. ....	43
Figura 15: Fluxograma do presente estudo.....	44
Figura 16: Área de Estudo. ....	45
Figura 17: Casa em possível local de risco a deslizamentos. ....	47
Figura 18: Resistivímetro. ....	48
Figura 19: Posicionamento dos eletrodos.....	48
Figura 20: Mapa de declividade da área de estudo.....	51
Figura 21: Afloramento no local de estudo. ....	52
Figura 22: Amostra coletada. ....	52
Figura 23: Horizonte de solo A e B.....	53
Figura 24: Perfil Geofísico interpretado.....	54
Figura 25: Composição de imagens classificadas em diferentes graus de risco. ....	56
Figura 26: Mapa de Zoneamento da Área de Estudo. ....	57
Figura 27: Perfil geotécnico da área de estudo.....	59
Figura 28: Resultados do método Bishop para o solo não saturado.....	60
Figura 29: Resultados do método Bishop para o solo saturado.....	60

Figura 30: Fatores de Segurança. ....	61
---------------------------------------	----

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Tabela de Classificação Litológica Baseada na Resistividade. ....	34
Tabela 2: Interpretação geológica.....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis. ....	21
Quadro 2: Classificação dos Movimentos de Massa. ....	26
Quadro 3: Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos de escorregamentos. ....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*

APP - Áreas de Preservação Permanente

FS – Fator de Segurança

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

kPa – Quilopascal

kN/m<sup>3</sup> - Quilonewton por metro cúbico

MDT - Modelo Digital de Terreno

NBR - Norma Brasileira

PALSAR - *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*

RS - Rio Grande do Sul

SGCS - Suíte Gráfica Caçapava do Sul

SIG - Sistemas de Informação Geográficas

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>2 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Localização.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Aspectos fisiográficos (geomorfologia, pedologia e clima).....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Contexto Geológico.....</b>	<b>18</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Cartografia Geotécnica .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Classificação das Cartas Geotécnicas .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1 Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.2 Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 Cartas Geotécnicas de Risco em Áreas Urbanas.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Movimentos de Massa .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.1 Deslizamentos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1.1 Deslizamento Planar.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.1.2 Deslizamento Rotacional.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.1.3 Deslizamento em Cunha.....</b>	<b>28</b>

3.3.2 Fluxo de Detritos.....	28
3.3.3 Queda de Blocos.....	28
3.4 Erosão .....	29
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 .....	32
3.5 Geofísica Aplicada a Geotecnia .....	32
3.5.1 Método de Eletrorresistividade .....	33
3.5.2 Caminhamento Elétrico .....	34
3.6 Estabilidade de Taludes .....	34
3.7 Mapeamento em Áreas de Risco .....	36
3.8 Estudos Anteriores .....	38
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
4.1 Área de Estudo.....	45
4.2 Revisão Bibliográfica.....	46
4.3 Levantamento de Campo .....	46
4.4 Levantamento Geofísico e Processamento dos dados.....	49
4.5 Análise da Estabilidade Geotécnica .....	49
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>50</b>
5.1 Definição de Áreas de Risco no Perímetro Urbano .....	50

<b>5.2 Caracterização Litológica .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3 Perfil Geofísico e Interpretação dos Resultados .....</b>	<b>53</b>
<b>5.4 Zoneamento e Cadastro de Risco .....</b>	<b>55</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>



## 1 Introdução

Segundo Castro (1998), desastres naturais, são aqueles provocados por fenômenos e desequilíbrios da natureza e produzidos por fatores de origem externa que atuam independentemente da ação humana.

A expansão da urbanização tem causado diversos problemas ambientais e econômicos em todo o mundo, centros urbanos estão cada vez maiores e sem o planejamento urbano adequado, muitas das vezes a ocupação urbana ocorre de forma irregular, assim podendo ocasionar problemas relacionados a desastres naturais como: deslizamento de terra, inundações, etc. Com isso, o mapeamento geológico-geotécnico é uma excelente alternativa para a prevenção aos possíveis desastres naturais, junto de um constante monitoramento de áreas de risco no perímetro urbano.

De acordo com Oliveira (2010), os acidentes geológicos urbanos são resultado da deflagração e evolução de processos de alteração do meio físico, induzidos, potencializados ou acelerados pelo uso e ocupação do solo e que trazem como consequências prejuízos sociais, econômicos ou ambientais e até mesmo a perda de vidas humanas.

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 pressão na forma de ocupação urbana sobre áreas potenciais de risco (deslizamento, colapso, erosão, inundação e alagamento), que acabam evoluindo para acidentes geológicos urbanos.

O município de Caçapava do Sul apresenta uma geomorfologia sinuosa, por conta disto, diversas áreas urbanas se encontram em terrenos íngremes, com construção de casas em áreas que, supostamente, são inapropriadas para a ocupação, podem ocorrer eventuais desastres em um futuro.

Métodos geofísicos são amplamente utilizados em estudos de estabilidade de taludes, pois permitem identificar a espessura da camada de solo. Uma das principais vantagens da utilização de métodos geofísicos é a natureza não-invasiva dos métodos geofísicos

Neste contexto, o estudo geológico-geotécnico, com auxílio de outras ferramentas como a geofísica e análises do solo e rocha auxiliarão na descrição do meio físico que é

fundamental para monitorar e prevenir possíveis acidentes geológicos, além de auxiliar no planejamento e nas ações da administração pública, pois essas informações aumentam a compreensão do meio natural.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Mapear geotécnicamente e ambientalmente uma área de risco no sul da cidade de Caçapava do Sul, especificamente no bairro Vila Sul.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a. Realizar uma investigação geofísica na área de estudo com o método de eletrorresistividade;
- b. Realizar uma análise geotécnica das condições de estabilidade dos taludes;
- c. Caracterizar e mapear as zonas de risco ambientais e geotécnicas;
- d. Auxiliar os órgãos públicos e a população na prevenção de possíveis riscos relacionados a desastres naturais.

## **1.2 Justificativa**

Segundo levantamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), nas últimas décadas ocorreram aproximadamente 4000 mortes relacionadas aos deslizamentos de terras em áreas urbanas. No início do ano de 2022 já ocorreram diversos acidentes relacionados aos deslizamentos de terras em diferentes estados do Brasil, podendo citar Rio de Janeiro, na região serrana e Rio Grande do Sul, na região da serra gaúcha.

A Lei Federal nº 12.608/2012 obriga municípios a realizarem o mapeamento das áreas de risco, realizar sua devida identificação, além de tomar medidas para prevenção e mitigação dos eventuais desastres.

Já foram realizados outros trabalhos no município de Caçapava do Sul com o intuito de mapear geotecnicamente e ajudar na prevenção de desastres, podendo citar

Cunha (2022), Silva (2021), Pereira (2017), Barbosa et al (2016a, 2016b), Pereira (2016), Lucas (2015). O presente trabalho busca dar continuidade a esta temática.

Os produtos gerados pelo presente trabalho podem contribuir para um melhor planejamento urbano, diminuindo a ocorrência de possíveis desastres naturais.

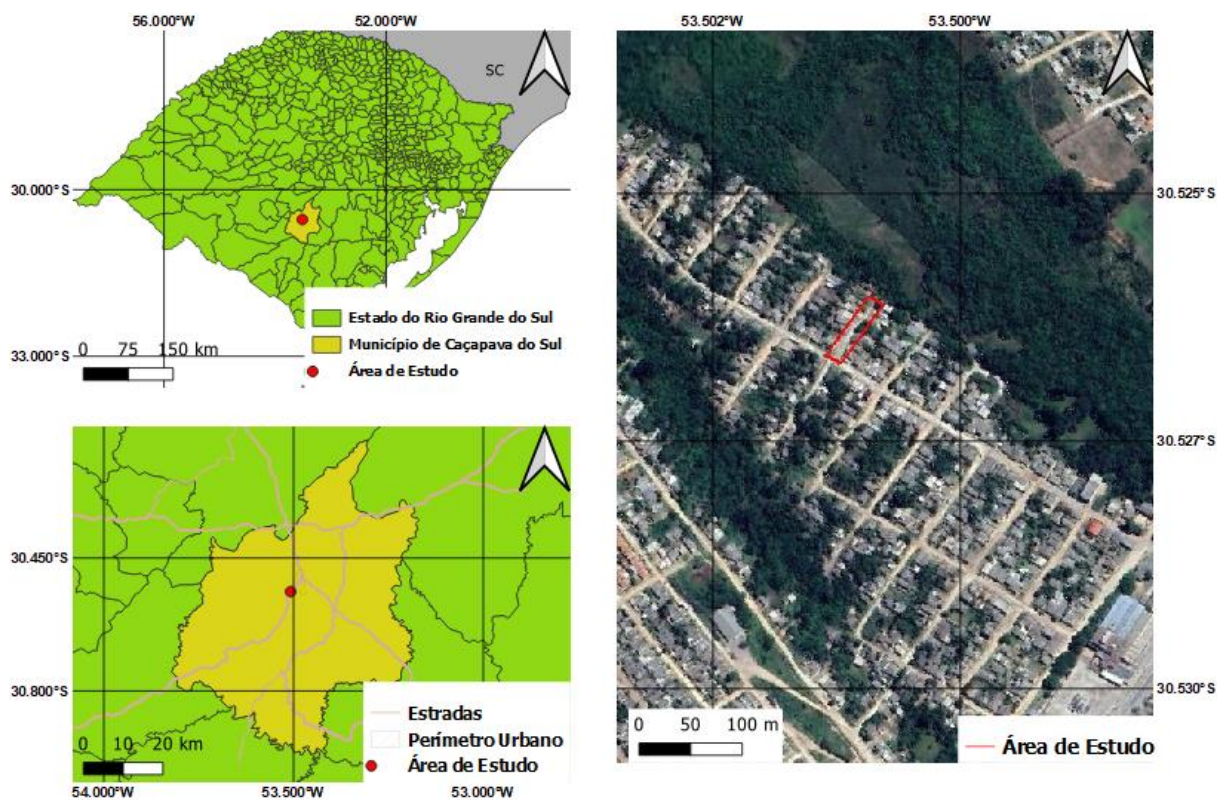
## 2 Área de Estudo

### 2.1 Localização

A área de estudo do presente trabalho, encontra-se no município de Caçapava do Sul, localizado a 260 km via BR 290, sentido sudoeste da capital gaúcha de Porto Alegre. Mais precisamente no bairro Vila Sul, na parte sul da área urbana de Caçapava do Sul, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010a e 2010b), o município está inserido na Mesorregião Sudeste Rio-Grandense e na Microrregião da Serra do Sudeste.

A área escolhida dentro do município é a região que engloba um dos maiores núcleos habitacionais do município, um destes é o bairro Vila Sul, tem acesso pela Avenida João Manuel de Lima e Silva, sentido Lavras do Sul, a área de estudo está localizada a oeste da avenida. Abaixo o mapa de localização da área de estudo (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

## **2.2 Aspectos fisiográficos (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).

Segundo Streck (2008), a província do Escudo Sul-Rio-Grandense tem ampla diversidade geológica, com predomínio de litologias pré-cambrianas. Caçapava do Sul se localiza na província pedogenética das Serras do Sudeste, há diversos tipos de solos, como o Neossolo Regolítico e Litólico, em maior quantidade, e o Luvissole, Planossolo, Chernossolo e Argissolo, em sua minoria.

Com uma altitude próxima dos 450 metros, Caçapava do Sul possui clima temperado e úmido com verão quente. Segundo (MORENO, 1961), O município de Caçapava do Sul apresenta uma temperatura média anual inferior a 18° C. No mês mais quente a temperatura é superior a 22°C e a do mês mais frio fica entre 3°C e 18°C.

A precipitação pluvial anual é de 1588 mm, sendo a deficiência hídrica anual de 3 mm, e o excesso hídrico anual de 562 mm (EMBRAPA,1999).

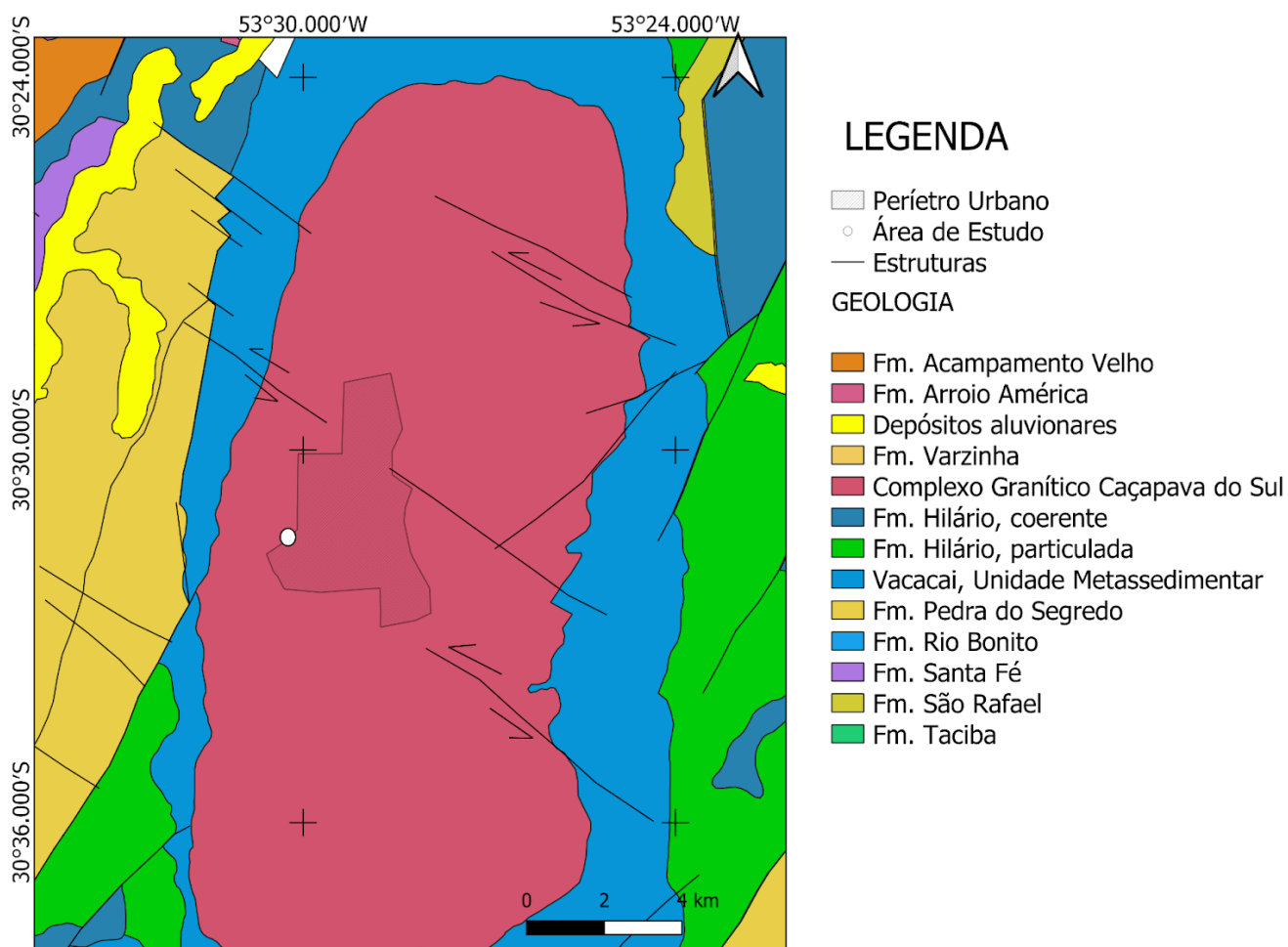
## **2.3 Contexto Geológico**

A área de estudo está inserida na unidade geológica conhecida como Suíte Granítica Caçapava do Sul (Figura 2).

A Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS), que apresenta idade de 540 Ma aproximadamente, possui uma extensão de 250 km e apresenta-se em forma de corpo elíptico com o eixo maior orientado na direção N-S. Estão sob condições intrusivas em metamorfitos de baixo grau. O complexo granítico (quartzo-dioritos a sienogranitos) é subdividido em três litofácies principais, às quais estão intimamente associadas, que são o i) biotita-granitóides, localizado na porção centro-sul; ii) os leucogranitóides localizado porção norte e os iii) granitóides transicionais. Principalmente os leucogranitóides apresentam microgranitos, pegmatitos e aplitos associados (Nardi & Bitencourt, 1989).

De modo geral rochas graníticas são rochas ígneas intrusivas e são constituídas essencialmente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. O granito Caçapava é caracterizado estruturalmente por inúmeras falhas e fraturas de diferentes escalas, que podem aumentar a erosão da rocha. Na figura 2 é possível identificar as diferentes classificações estruturais e litológicas da região.

Figura 2: Mapa Geológico da Área de Estudo.



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

### **3 Revisão Bibliográfica**

#### **3.1 Cartografia Geotécnica**

A Cartografia geotécnica começou a ser prática no Brasil a partir da década de 1970, se consolidando na década de 1980, com o desenvolvimento e aplicação de metodologias com vários objetivos, enfoques e escalas de trabalho, praticadas por universidades e instituições de pesquisa. Com o desenvolvimento de tecnologias de processamento eletrônico de dados cartográficos, que possibilitou a representação e o armazenamento de dados através de um ambiente computacional, ocorreu paralelamente o desenvolvimento dos sistemas de informação geográficas (SIG), tornando-se possível capturar, gerenciar, manipular e analisar uma grande quantidade de dados de fontes diversas, referenciados espacialmente, reestruturando-os e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento. (Sobreira e Souza, 2012).

#### **3.2 Classificação das Cartas Geotécnicas**

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Bitar et al. (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini et al. (1995) e Zaine (2000) classificam as cartas geotécnicas em cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. No quadro 1 são apresentados os níveis de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano.

Quadro 1: Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis.

<b>Produto</b>	<b>Escalas de Mapeamento</b>	<b>Processos Geodinâmicos passíveis de identificação</b>
<b>Cartas de Suscetibilidade</b>	1:25.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
<b>Carta de Aptidão à Urbanização</b>	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.
<b>Cartas de Riscos Geológicos</b>	1:2.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em 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, 2012.

### 3.2.1 Cartas Geotécnicas 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).

As cartas de suscetibilidade abrangem a área total do município, incluindo zonas urbanas e rurais, bem como eventuais áreas de unidades de conservação da natureza incidentes no território.

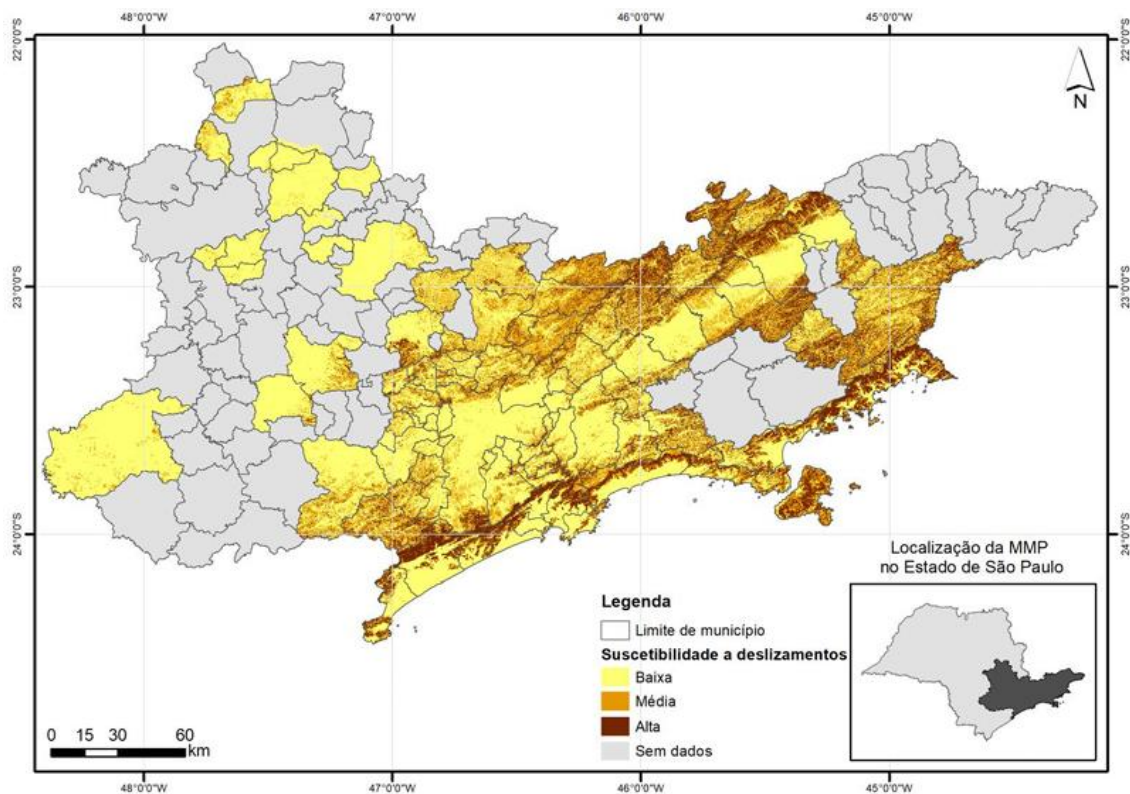
Assim, para cartografia de suscetibilidades a processos geológicos considera-se que escalas menores que 1:25.000 não possuem precisão gráfica para elaboração de modelos (digitais ou numéricos) e trazem um grau de incerteza maior quanto à delimitação das unidades e representação de processos pontuais, considerando que alguns



destes não podem ser caracterizados, como é o caso da queda e rolamento de blocos rochosos, entre outros (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

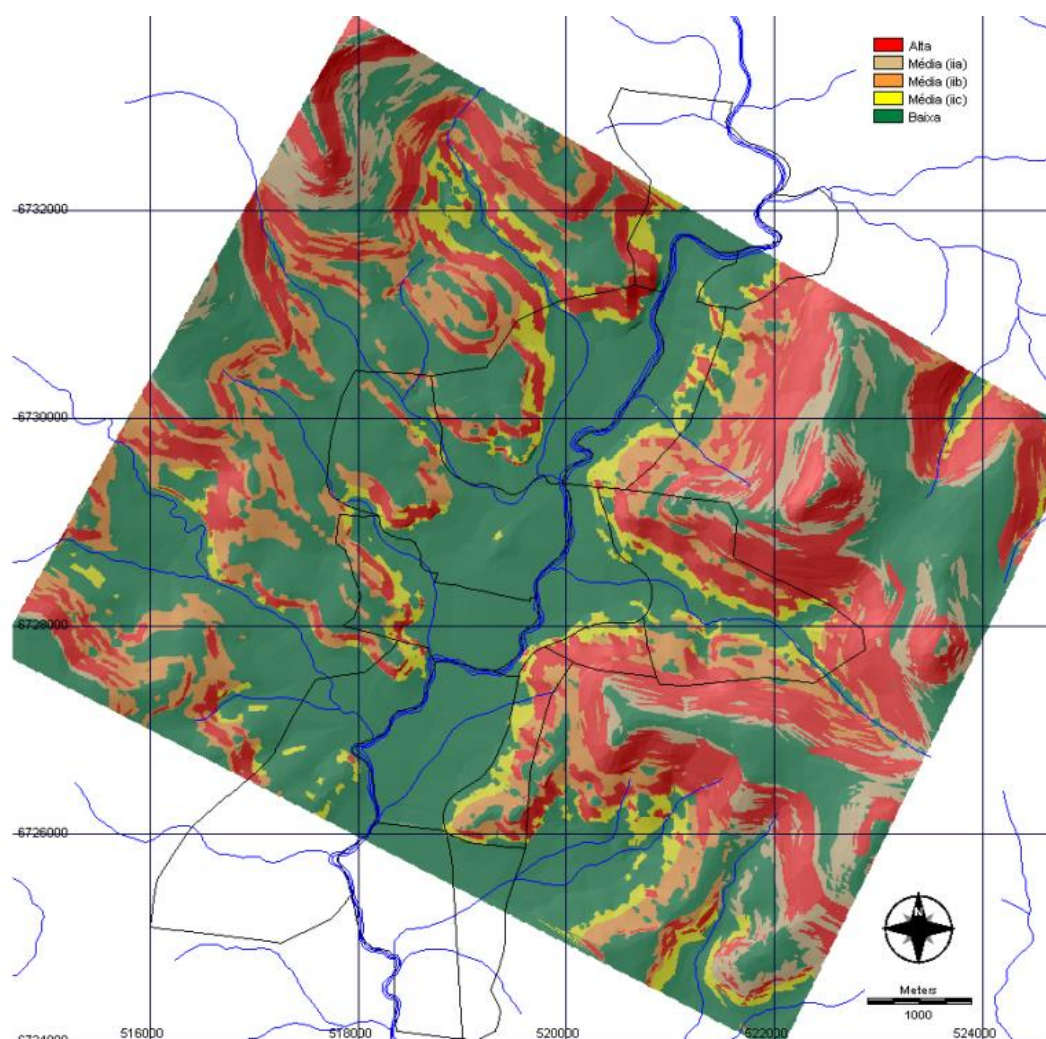
De acordo com Sobreira & Souza (2012), uma análise completa de suscetibilidade indica as áreas mais adequadas para a ocupação e outras com restrições, mas a escala de análise não permite o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana. A Figura 3 apresenta um exemplo de carta de suscetibilidade de processos geodinâmicos, contendo deslizamentos e processos correlatos da macrometrópole paulista. Também é possível visualizar na figura 4 uma carta e suscetibilidade a escorregamentos no município de Igrejinha (Escala 1:25.000), Rio Grande do Sul.

Figura 3: Exemplo de carta de suscetibilidade da macrometrópole paulista.



Fonte: MOURA, RODOLFO BAÊSSO; CANIL, KÁTIA; SULAIMAN, SAMIA NASCIMENTO (2019).

Figura 4: Exemplo de carta de suscetibilidade a escorregamentos no município de Igrejinha (Escala 1:25.000).



Fonte: Bressani (2014).

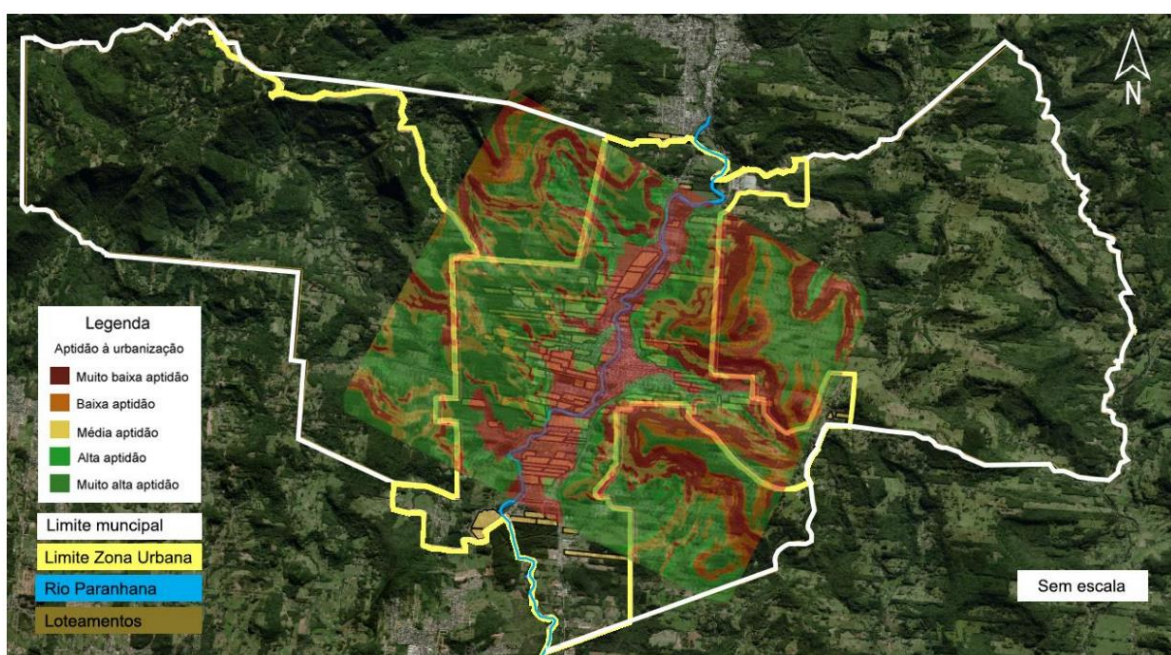
### 3.2.2 Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização

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).

As cartas de aptidão à urbanização abrangem áreas desocupadas ou com urbanização incipiente situadas dentro do perímetro urbano legal dos municípios, bem como no domínio da zona de expansão urbana prevista no Plano diretor municipal, incluindo recomendações para o parcelamento do solo.

As análises de aptidão à urbanização são muito mais precisas quando representadas na escala 1:5.000 e maiores, mas podem em alguns casos ter escalas de até 1:10.000. Neste nível, deve ser grande o rigor na representação dos limites das unidades e dos processos potenciais ou ocorrentes (SOBREIRA & SOUZA, 2012). A figura 5 apresenta uma carta geotécnicas de aptidão à urbanização no município de Igrejinha, Rio Grande do Sul.

Figura 5: Exemplo de carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de Igrejinha/RS.



Fonte: Laggazio (2020).

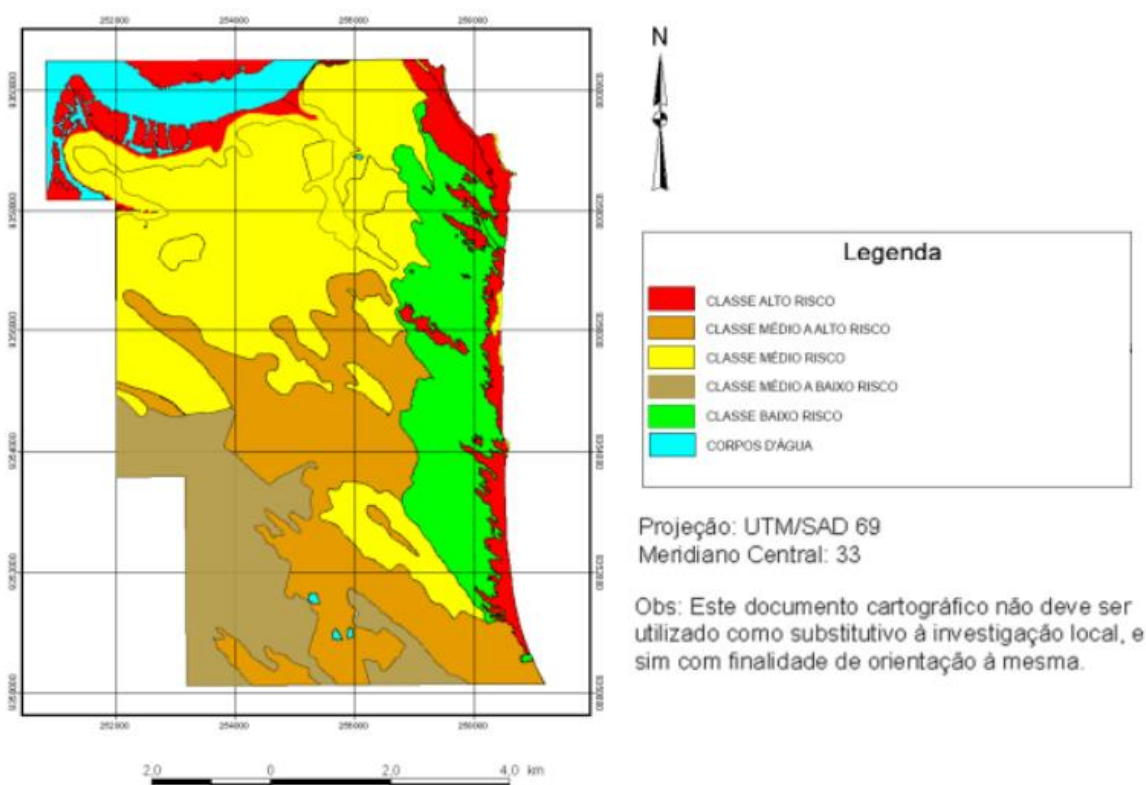
### 3.2.3 Cartas Geotécnicas de Risco em Áreas Urbanas

As cartas de risco (Figura 6) 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).



As cartas de risco em áreas urbanas abrangem as áreas urbanizadas do município, como os distritos, bairros ou setores residenciais em que se verifica alta incidência de assentamentos precários. No nível de detalhe, análise de riscos, a menor escala admissível é de 1:2.000, pois neste caso o estudo abrange pequenas áreas e deve-se trabalhar buscando soluções para as situações de risco num nível conceitual ou, se possível, de suporte a projetos (básico e executivo) (SOBREIRA & SOUZA, 2012). A figura 6 apresenta uma carta geotécnicas de risco em áreas urbanas no município de Natal-RN.

Figura 6: Exemplo de carta de risco em áreas urbanas do município de Natal-RN.



Fonte: Moreira (2014)

### 3.3 Movimentos de Massa

Segundo Tominaga (2012), movimentos de massa são movimento de solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente, sob a ação direta da gravidade. A contribuição de

outro meio, como água ou gelo, se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.

De acordo com Augusto Filho (1992), a qual descreve características, materiais envolvidos, velocidade e geometria dos movimentos de massa com ocorrência mais comum nas encostas do Brasil. A seguir no quadro 2 é apresentada as principais classificações com relação aos movimentos de massa.

Quadro 2: Classificação dos Movimentos de Massa.

<b>Processo</b>	<b>Geometria, Material e Dinâmica</b>
<b>Queda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sem planos de deslocamento</li> <li>● Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>● Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>● Material rochoso</li> <li>● Pequenos a médios volumes</li> <li>● Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão</li> </ul>
<b>Deslizamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>● Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>● Pequenos a grandes volumes de materiais</li> <li>● Geometria e materiais variáveis</li> <li>● Planares: solos pouco espessos; solos e rochas com plano de fraqueza</li> <li>● Rotacionais: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas</li> </ul>
<b>Fluxo de Detritos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Muitas superfícies de deslizamento</li> <li>● Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>● Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>● Velocidades médias a altas</li> <li>● Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>● Grandes volumes de material</li> <li>● Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

Fonte: AUGUSTO FILHO, 1992.

### 3.3.1 Deslizamentos

São movimentos rápidos, com volumes definidos, deflagrados em porções inclinadas do terreno. Neles há deslocamento descendente de solo, rocha e/ou material orgânico sob a ação da gravidade (TOMINAGA, 2012b). Considerando os tipos de movimento de massa conhecidos, os deslizamentos são os mais frequentes no Brasil, principalmente em regiões de relevo acidentado. Normalmente, após sua deflagração, esses processos são facilmente reconhecidos pela população em geral, que, comumente, os denomina desbarrancamento ou queda de barreira (TOMINAGA, 2012b), um

deslizamento ocorre quando a força gravitacional é maior que o atrito interno das partículas que compõem o terreno.

Dentre as causas naturais, destaca-se o papel da infiltração da água, o que explica a incidência preponderante de deslizamentos durante as chuvas (GERSCOVICH, 2012; TOMINAGA, 2012b). As influências antrópicas mais comuns estão relacionadas à execução de taludes de corte com geometria inadequada, construção deficiente de aterros, lançamento de entulho e lixo nas encostas e taludes, remoção da cobertura vegetal, lançamento de águas pluviais e/ou servidas e vazamentos nas redes de esgoto e abastecimento (GERSCOVICH, 2012).

Tendo em vista a geometria e as características dos materiais instabilizados, os deslizamentos são subdivididos em três tipos: planar, rotacional e em cunha.

#### **3.3.1.1 Deslizamento Planar**

Constitui o tipo de deslizamento mais frequente no Brasil. Normalmente, desenvolve-se durante ou logo após intensos episódios de chuva. Caracteriza-se por curta duração e rápido deslocamento de materiais, os quais se movimentam segundo planos de fraqueza associados às heterogeneidades geológicas, geotécnicas ou hidrológicas do maciço. Os materiais transportados são constituídos por rocha, solo ou solo e rocha (GERSCOVICH, 2012; TOMINAGA, 2012b).

Os deslizamentos planares ocorrem, predominantemente, em solos pouco desenvolvidos em vertentes com altas declividades e podem atingir centenas ou até milhares de metros. Seu poder de destruição é normalmente grande, com variações em função do volume e material deslocado (TOMINAGA, 2012b).

#### **3.3.1.2 Deslizamento Rotacional**

São movimentos mais lentos que os planares e ocorrem de maneira contínua ou intermitente, segundo uma ou mais superfícies de ruptura curvas, com concavidade voltada para cima.

O fenômeno é comum em regiões montanhosas tropicais (GERSCOVICH, 2012), ocorrendo em encostas com espessos pacotes homogêneos de solo, rochas sedimentares

ou maciços rochosos intensamente fraturados. Caso o movimento ocorra de maneira súbita, pode causar uma catástrofe (TOMINAGA, 2012b). Há grandes danos quando esses fenômenos ocorrem em zonas densamente habitadas, comprometendo diversas estruturas.

### **3.3.1.3 Deslizamento em Cunha**

Deslizamento em cunha é condicionada por estruturas planares de maciços rochosos, apresentando sua direção de movimento ao longo da linha de intersecção das superfícies de ruptura (INFANTI JUNIOR; FORNASARI FILHO, 1998).

### **3.3.2 Fluxo de Detritos**

São eventos caracterizados por rápido deslocamento (m/s) de massa fluida de alta viscosidade, composta, principalmente, por solo, rocha, vegetação, detritos de origem antrópica e água (AUGUSTO FILHO, 1992; TOMINAGA, 2012a).

O processo se inicia em áreas de relevo montanhoso, durante intensos episódios pluviométricos, a partir do carreamento de sedimentos provenientes de deslizamentos recentes e/ou da remobilização de antigos depósitos sedimentares acumulados ao longo dos canais de drenagem. Ao atingir as porções mais aplainadas do relevo, ocorre redução da velocidade de transporte e, conseqüentemente, há deposição do material transportado sob a forma de leques aluviais.

### **3.3.3 Queda de Blocos**

Segundo Yilmaz, Yildirim e Keskin (2008), a queda de blocos é o movimento de massa em que um ou mais blocos desconexos do maciço rochoso caem ao longo de um declive por queda livre, saltação ou rolamento. Brunsden e Prior (1984) definem a queda de blocos rochosos como todo movimento de material por meio de queda livre abrupta em encostas muito íngremes e precipícios, em que o material é despreendido sob a forma de blocos. Um bloco de rocha que já tenha sido transportado pode ser remobilizado; esse tipo de movimentação secundária é observado em depósitos de tálus.

### **3.4 Erosão**

De acordo com 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. De maneira geral podemos descrever a erosão como um processo de desgaste, transporte e sedimentação do solo, dos subsolos e das rochas como efeito da ação dos agentes erosivos, tais como a água, os ventos e os seres vivos.

A erosão natural é aquela que envolve um processo lento e gradativo, propriamente constitutivo das diversas formas de relevo existentes, como a formação de vales por onde passam os rios. Já a erosão acelerada é aquela que envolve, geralmente, as atividades humanas e que costuma resultar na rápida destruição ou danificação dos solos, segundo 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.

As principais causas dos processos de erosão acelerada estão no desmatamento e posterior uso do solo para atividades agrícolas e pastoris, também contribuem diretamente para o surgimento de agravantes dos processos de erosão acelerada atividades econômicas como: a construção civil, mineração.

Segundo Bastos (2000) o foco da geologia está relacionado nos estudos concentrados no diagnóstico ambiental da erosão, nas condicionantes geológicas e geomorfológicas à erosão regional e o relato de obras para controle da erosão.

#### **3.4.1 Classificação dos Processos Erosivos**

Os processos erosivos podem ser classificados em grupos de acordo com seus agentes erosivos, são eles: erosão hídrica, a erosão eólica, a erosão glacial e a erosão organogênica. A seguir será descrito processos erosivos relacionadas a erosão hídrica, como: erosão superficial ou laminar; erosão interna e erosão linear (sulco, ravina, voçoroca).



Segundo (PITTELKOW, 2013), os processos erosivos provocados pela ação das chuvas se desenvolvem 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.

#### **3.4.1.1 Erosão Superficial ou Laminar**

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 Magalhães (2001).

De acordo com (CAMAPUM et al. 2006), a erosão superficial ou laminar 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 aspetos naturais, porém, a ação antrópica modifica o estado do solo, intensificando o processo erosivo.

#### **3.4.1.2 Erosão em Sulcos ou Ravinas**

Segundo Camapum de Carvalho et al (2006), 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.

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 7 e 8 podemos ver exemplos de sulcos e ravinas, encontradas na área de estudo.

Figura 7 - Sulcos e Ravinas encontradas na área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

Figura 8: Sulcos e Ravinas encontradas na área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

### **3.4.1.3 Voçorocas**

De acordo com EMBRAPA (2006) voçorocas são crateras no relevo provocadas por uma combinação de fatores e, também, o sinal mais evidente de extrema degradação do solo, com consequência direta no problema de assoreamento dos cursos de água.

Segundo 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.

## **3.5 Geofísica Aplicada a Geotecnia**

Nas últimas décadas a geofísica aplicada vem desempenhando um importante papel nos projetos de engenharia, prospecção de bens minerais e em estudos ambientais.

Segundo Orellana (1972) geofísica é a “ciência que se ocupa do estudo das estruturas do interior da Terra e da localização de materiais delimitados pelos contrastes de alguma de suas propriedades físicas com as do meio circundante, usando, para esta finalidade, medidas tomadas na superfície da terra ou da água, no interior de furos de sondagens ou em levantamentos aéreos”.

Entre alguns exemplos de projetos nos quais a geofísica pode efetivamente contribuir, podem ser citados: locação de poços para captação de água subterrânea, identificação de zonas de fraturamento em maciços rochosos, determinação da profundidade do topo rochoso.

São muitas as vantagens da utilização dos métodos geofísicos em projetos de geotecnia e meio ambiente, quando comparados aos clássicos métodos de investigação de subsuperfície. Uma das mais importantes é a própria natureza não-invasiva dos métodos geofísicos (DE SOUZA, 2013).

XAVIER (2012); LUCAS (2015); PEREIRA (2017); SILVA (2021), demonstram que os métodos geoeletricos são os que mais se destacam para encostas que apresentem riscos de deslizamento. Dentre os diferentes métodos elétricos destacam-se: Polarização Induzida, Potencial Espontâneo – SP e o Método de Eletroresistividade. Para o objetivo proposto, o método de eletroresistividade é o que se demonstra mais efetivo.

### 3.5.1 Método de Eletrorresistividade

Pertencente ao grupo dos métodos geoeletricos, a eletrorresistividade – ER, é um método geofísico cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais que, juntamente com a constante dielétrica e a permeabilidade magnética, expressam fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas.

Os diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico, apresentam como uma de suas propriedades fundamentais o parâmetro físico resistividade elétrica, o qual reflete algumas de suas características servindo para caracterizar seus estados, em termos de lteração, fraturamento, saturação, etc., e até identificá-los litologicamente, sem necessidade de escavações físicas.

A eletrorresistividade pode alcançar grandes profundidades de investigação, dependendo do espaçamento utilizado entre os eletrodos e da potência do equipamento de medida DE SOUZA (2012).

Reynolds (1997) determina alguns valores base para a interpretação geológica a partir das respostas de eletrorresistividade de cada material. Os materiais apresentam propriedades físicas diferentes e com isso apresentam diferentes respostas à eletrorresistividade, que é medida na unidade (ohm.m). A tabela 1 apresenta a classificação litológica baseada na resistividade.

Tabela 1: Tabela de Classificação Litológica Baseada na Resistividade.

TIPO LITOLÓGICO	RESISTIVIDADE ( $\Omega.M$ )
Zona não saturada	100 a 30.000
Zona saturada	20 a 200
Basalto	10 a $1,3 \times 10^7$
Diabásio	200 a $5 \times 10^7$
Calcário	50 a $1 \times 10^7$
Gnaisse	3.000 a 5.000
Granito	5.000 a $1 \times 10^6$
Quartzo	$< 1 \times 10^6$

Fonte: Reynolds (1997)

### 3.5.2 Caminhamento Elétrico

A técnica de caminhamento elétrico está baseada na realização de medidas de resistividade aparente ao longo de uma linha, com o objetivo de investigar variações em um ou mais níveis em profundidade Sherrif (1989). O presente trabalho utilizara o arranjo dipolo-dipolo.

O arranjo dipolo-dipolo tem como característica a utilização de intervalo idêntica entre dipolos de recepção (MN) e dipolos de emissão (AB), sendo o deslocamento central de ambos os dipolos ao longo da linha.

### 3.6 Estabilidade de Taludes

A análise de estabilidade dos taludes naturais ou artificiais é fundamental para definição de segurança, sendo estas, cruciais para o mapeamento geotécnico em áreas de risco. O cálculo da estabilidade leva em questão três forças: peso próprio, presença de água e resistência ao cisalhamento. Fernandes e Silva Filho (1998) dizem que os métodos de estabilidade de taludes partem da premissa de equilíbrio entre forças que atuam na base de uma superfície de escorregamento pré-determinada, esta superfície pode ser circular se possuir o mesmo material e não apresentar um plano preferencial para

descontinuidade, ou não circular caso sua fundação for rochosa possibilitando a existência de planos de fraqueza da rocha.

O método mais vantajoso para a análise da estabilidade dos taludes é o Método Analítico por quantificar o grau de segurança, definida pelo Coeficiente ou Fator de Segurança (FS) (PIMENTA JUNIOR, 2005; SILVA, 2016). Dentre os métodos determinísticos destacam-se os métodos Bishop (para rupturas circulares considerando como sendo nulo o somatório correspondente as forças horizontais atuantes na lamela) e o método Jambu (para qualquer superfície de ruptura) (Fernandes & Silva Filho, 1998).

O Método de BISHOP (1955), baseado no método das fatias, foi o primeiro método menos rigoroso capaz de analisar superfícies potenciais de ruptura com forma circular. A hipótese de análise considera: Não existem forças cisalhantes entre as fatias; As forças entre as fatias são horizontais; A superfície de ruptura é circular.

O método de Janbu avalia o fator de segurança para qualquer tipo de superfície de ruptura, satisfazendo as equações de equilíbrio de forças verticais e horizontais.

Entretanto, despreza os esforços cisalhantes entre as fatias. A hipótese de análise considera: Qualquer forma de superfície de ruptura; Método do equilíbrio das forças; As forças laterais assumidas são horizontais para todas as lamelas.

O FS é definido a partir da resistência ao cisalhamento do solo ( $\tau_f$ ) sobre a tensão cisalhante atuante ( $\tau_{mob}$ ). Para valores de FS maiores do que 1, tem-se a estabilidade, isto é, forças resistentes são maiores que as forças desestabilizadoras, enquanto valores de FS menores do que 1 sinalizam uma instabilidade cuja forças resistentes são menores do que forças desestabilizadoras.

A norma técnica NBR 11682 determina os valores de FS para a classificação dos níveis de segurança contra danos a vidas e a materiais (ABNT, 2009) (Figura 9).

Figura 9: Fatores de Segurança.

		Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
		Alto	Médio	Baixo
Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Alto	1,5	1,5	1,4
	Médio	1,5	1,4	1,3
	Baixo	1,4	1,3	1,2
* No caso de variabilidade nos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores devem ser majorados em 10%.				
** No caso de estabilidade de blocos rochosos, devem ser usados parâmetros parciais em função da incerteza desses parâmetros. O método de cálculo deve considerar um fator mínimo de 1,1.				
*** Essa tabela não se aplica a rastejos, voçorocas, ravinas ou queda e rolamento de blocos.				

Fonte: ABNT (2009).

### 3.7 Mapeamento em Áreas de Risco

De acordo com Brasil (2007), áreas de risco são a área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

A elaboração de mapas de áreas de risco é essencial para a gestão e prevenção de desastres naturais. Segundo Andretta (2013), a tabela 4 são os critérios definidos para o grau de probabilidade de ocorrência de processos de instabilização no mapeamento das áreas de risco no bairro Gilberto Mestrinho, na cidade de Manaus, AM. Os critérios de classificação utilizados, foi à metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT (1980) para a determinação da potencialidade de ocorrência de acidentes.

O quadro 3 apresenta os critérios adotados pelo IPT (1980) e utilizados neste trabalho.

Quadro 3: Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos de escorregamentos.

Grau de Probabilidade	Descrição
R1 Baixo	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade nas encostas e margens de drenagens, porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.) Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso
R4 Muito Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.

Fonte: Andretta (2013).

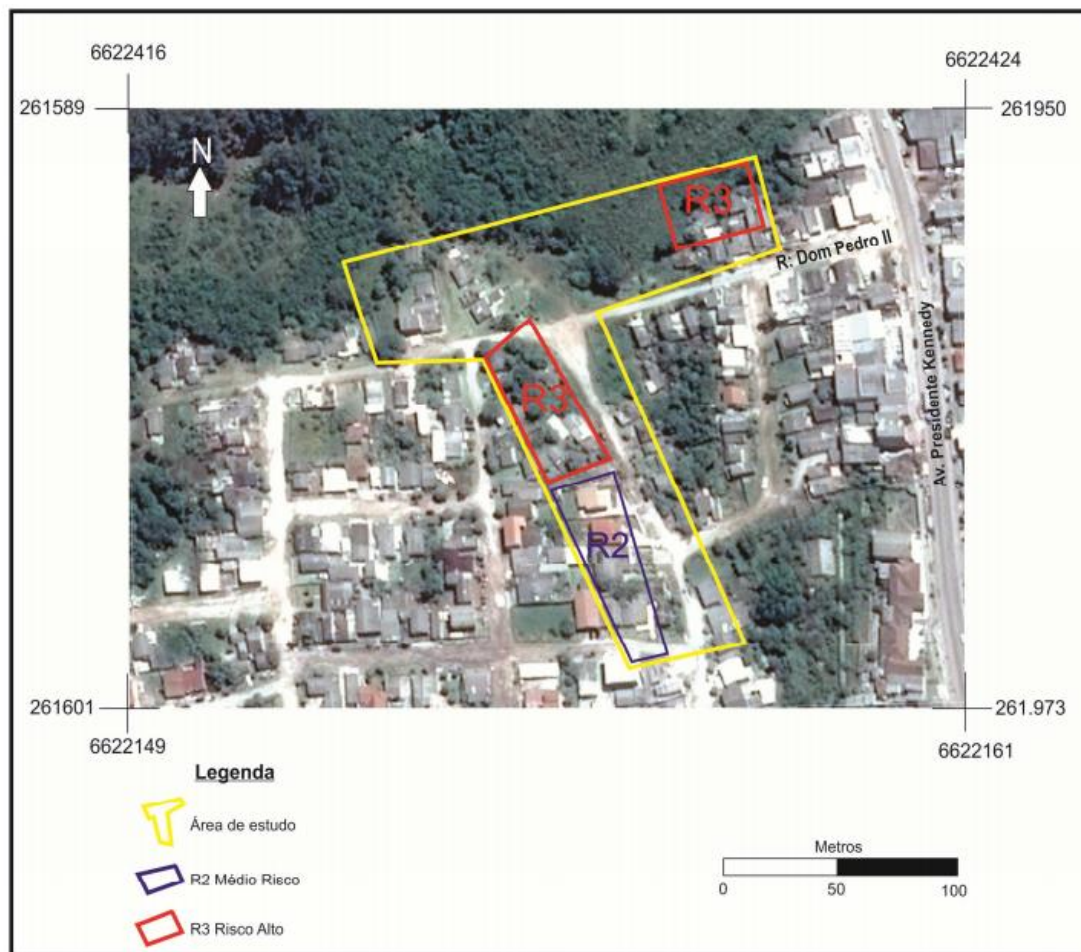


### 3.8 Estudos Anteriores

Foram realizados alguns estudos no município de Caçapava do Sul ao decorrer dos anos, com o objetivo da caracterização geológico-geotécnica em áreas de perímetro urbano. A seguir será abordado de modo sucinto os pontos principais de cada trabalho.

Lucas (2015), realizou um trabalho em uma área que está inserida em uma zona de encosta, caracterizando uma área de risco, porção central do município de Caçapava do Sul, uma área que mostrasse uma grande variação topográfica, onde, análises geofísicas (eletrorresistividade pelo caminhamento elétrico) permitiram identificar o contato entre a rocha e o solo, além de caracterizar as dimensões da zona saturada e os planos preferenciais de escorregamento. Após a compilação dos dados de geofísica e análise geotécnica realizados in situ, realizou-se a classificação da área com base nos critérios estabelecidos por Brasil (2007) (Figura 10). A autora salienta para a necessidade de mais estudos geológicos-geotécnicos em áreas que apresentem riscos de deslizamento, como forma de prevenção de acidentes com danos socioeconômicos.

Figura 10: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo.

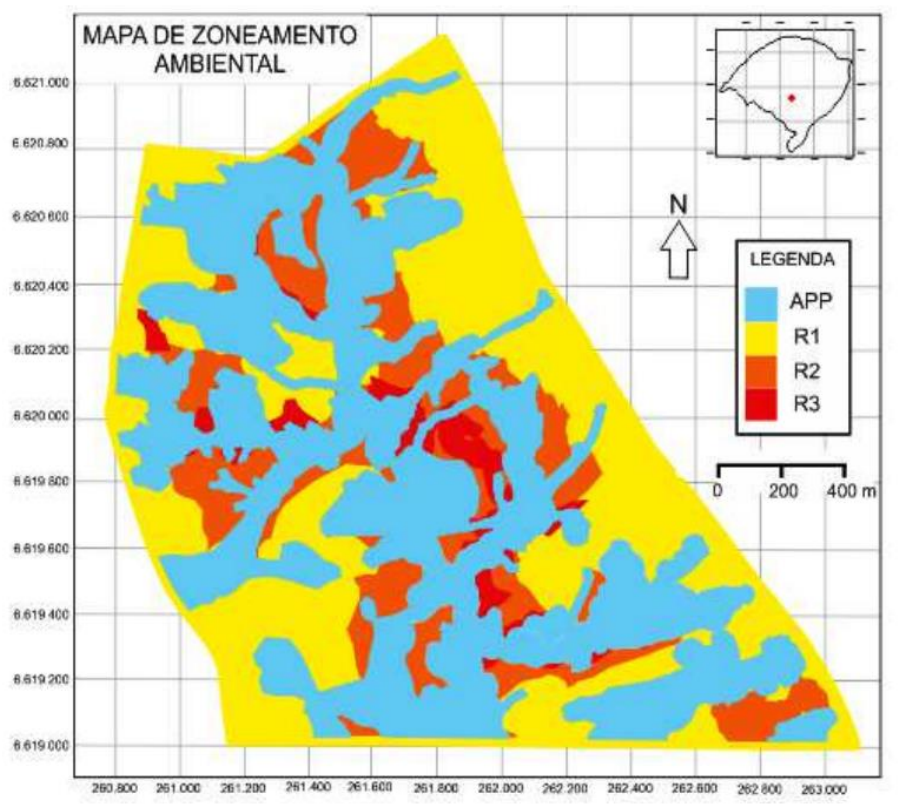


Fonte: Lucas (2015).

Barbosa et al (2016a) elaborou um estudo geológico-geotécnico e ambiental em uma área de interesse para a expansão urbana do município de Caçapava do Sul, devido ao elevado crescimento urbano que vem ocorrendo na cidade. A área de estudo foi categorizada em índices de risco à ocorrência de impactos ambientais ou acidentes geológico-geotécnicos.

Como produto elaborou-se um mapa de zoneamento ambiental (Figura 11). Após a análise dos parâmetros do meio físico não foram identificados dados desfavoráveis à ocupação urbana. Porém destaca-se a importância da preservação das APPs - Áreas de Preservação Permanente, que contemplam boa parte da área estudada.

Figura 11: Mapa de zoneamento com ambiental da área de estudo.

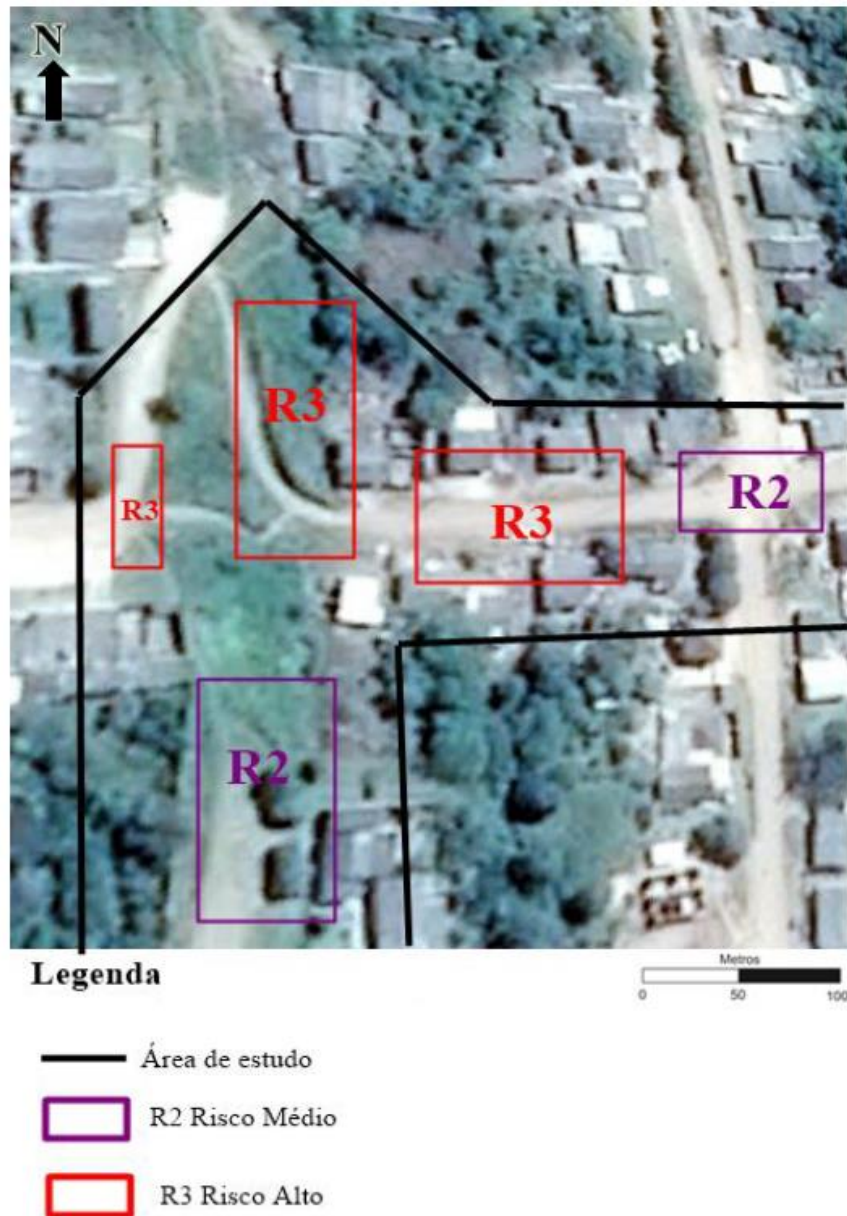


Fonte: Pereira Barbosa et al. (2016a).

Pereira (2017) realizou um estudo na região nordeste do município de Caçapava do Sul, na rua Barão de Caçapava, esquina com rua Afonso Fabrício, encontrando-se dentro do perímetro urbano, numa região de encosta.

Através de métodos geofísicos (eletrorresistividade) permitiu saber a espessura da camada de solo, os contatos existentes entre solo e rocha, as zonas de fraturas e alterações, zonas saturadas e possíveis zonas que podem ocorrer escorregamentos de massas e combinado a análise geotécnica, a autora concluiu neste estudo, que a área avaliada é classificada como risco médio e risco alto de escorregamento e solapamento e gerou um mapa de zoneamento conforme apresentado na Figura 12. Sugeriu-se para trabalhos futuros a realização de ensaios de permeabilidade; Análise laboratorial do solo; Produção de documento orientador e específico para Caçapava do Sul – RS; Aplicação de distintos métodos geofísicos, com intuito de averiguar se os resultados coincidem ou se completam.

Figura 12: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo.



Fonte: Pereira (2017).

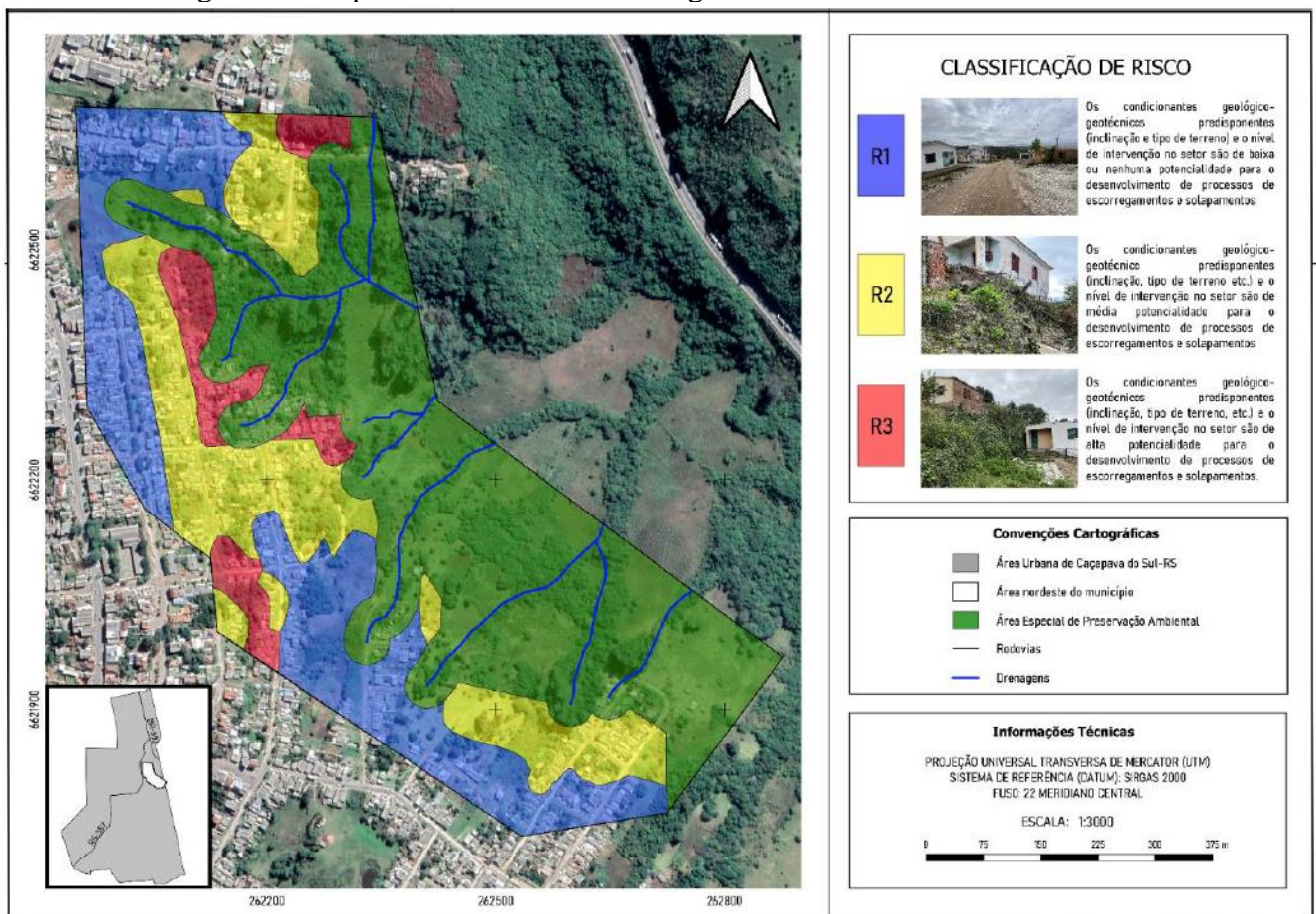
Silva (2021) realizou o estudo na região nordeste do município de Caçapava do Sul, com continuação na análise geológico-geotécnica na identificação de áreas de risco geotécnico.

Através de levantamentos aéreos, levantamentos geofísicos e levantamentos geotécnicos o autor gerou como produto final de seu estudo um mapa de zoneamento de risco, apresentado na Figura 13, no qual englobou trabalhos anteriores de Barbosa et al



(2016a, 2016b), Pereira (2017). Concluindo que a área de estudo apresenta um risco moderado a alto para movimentos de massa, necessitando de um monitoramento contínuo, o mapa de zoneamento apontou para dezenas de casas que estão em áreas de risco alto para deslizamentos (R3) e a identificação de diversas moradias situadas em APPs e/ou em áreas de risco de deslizamento.

Figura 13: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo.



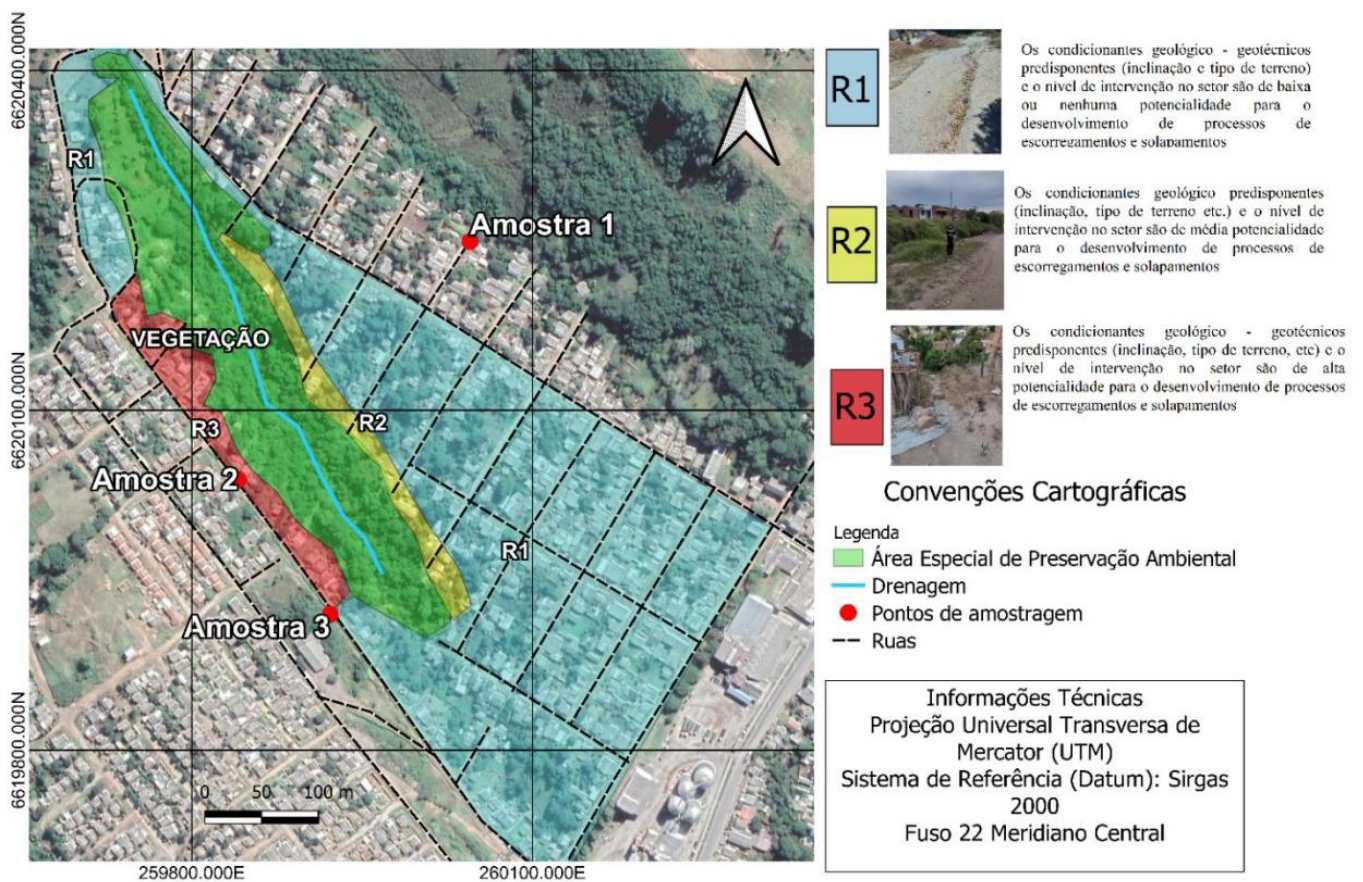
Fonte: Silva (2021).

Cunha (2022) realizou novos estudos com foco na análise geológica-geotécnica, dessa vez na região sudoeste do município de Caçapava do Sul, no bairro Vila Sul. Foram realizados ensaios de laboratório como: granulometria a laser dos solos; granulometria e sedimentação; limite de liquidez; limite de plasticidade.

Com esses ensaios foi possível classificar o solo como arenosos siltosos. Através de levantamentos aéreos, levantamos geotécnicas, ao mesmo tempo que, ensaios de laboratório foram gerados produtos finais como o mapa do zoneamento das áreas de risco

observado na figura 14, o mapa apontou para uma área de alto risco para deslizamentos (R3), também foi possível identificar diversas residências situadas em APPs. A autora sugere 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.

Figura 14: Mapa de zoneamento com os graus de risco da área de estudo.



Fonte: Cunha (2022).

## 4 Materiais e Métodos

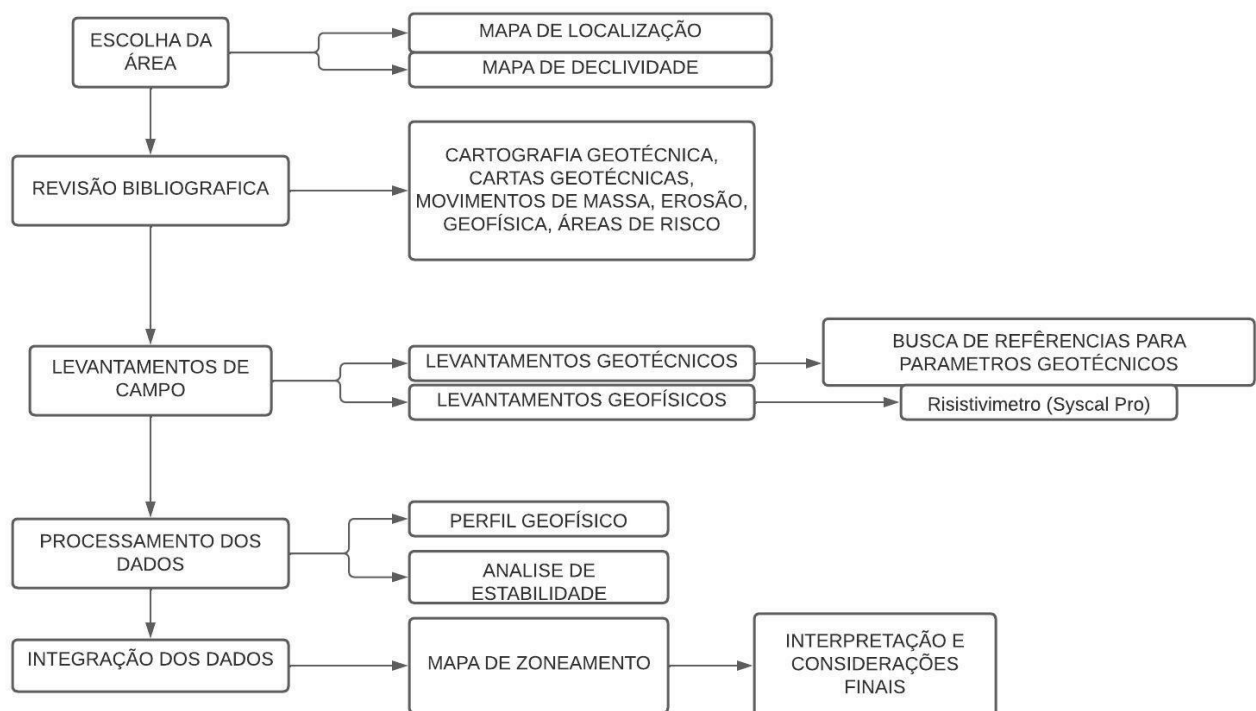
O capítulo a seguir apresenta e caracteriza as etapas necessárias para atingir os objetivos propostos neste estudo, a metodologia desenvolvida neste trabalho constituiu em três etapas.

A primeira etapa foi constituída de pesquisas bibliográficas a respeito do mapeamento geológico-geotécnico para compreender a metodologia e definir os objetivos a serem alcançados.

A segunda etapa foi a de campo, a qual foram realizados o mapeamento geológico-geotécnico e o perfil geofísico. Na terceira etapa, foi realizada as construções dos perfis e análise pós campo a fim de concluir os objetivos proposto para o trabalho.

O fluxograma, apresentado pela figura 15, demonstra de forma mais efetiva a metodologia proposta.

Figura 15: Fluxograma do presente estudo.



Fonte: Autor (2022).



#### 4.1 Área de Estudo

Primeiramente ocorreu a etapa de sensoriamento remoto, utilizando os dados obtidos no trabalho realizado por Cunha (2022) para auxiliar na escolha e delimitação da área de estudo, foi utilizado o software Google Earth Pro, um programa de computador, que apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas e GIS 3D, entre outros.

Por fim, foi realizada uma verificação preliminar dos dados topográficos, bem como análise inicial do talude.

Após isso, foi utilizado o software de SIG, QGIS 3.14.1 para a geração dos mapas, QGIS é um software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Ao final, foi realizada uma visita para um reconhecimento da área de estudo (Figura 16).

Figura 16: Área de Estudo.



Fonte: Autor (2022).



## **4.2 Revisão Bibliográfica**

A próxima etapa constituiu-se da revisão bibliográfica, na qual foi realizada uma análise documental em livros, artigos e mapas, para um efetivo embasamento teórico.

Alguns autores foram essenciais para a pesquisa sobre mapeamento geotécnico em áreas urbanas e classificação de áreas de risco, como Augusto Filho (1992), Zaine (2000), Sobreira & Souza (2012), Andretta (2013).

Na aplicação da geofísica na geotecnia foram consultados autores como Reynolds (1997), De Souza (2012), Xavier (2012). Posteriormente foi realizada a busca por trabalhos na mesma área ou nas proximidades da área escolhida.

## **4.3 Levantamento de Campo**

Na etapa de campo foi realizado o levantamento geotécnico, coletando dados quantitativos e qualitativos em campo, reconhecendo a geologia local, solo, foi coletada uma amostra de rocha no afloramento para posteriormente serem descritas.

Para as etapas descritas no levantamento de campo, foi utilizado bússola para obter medidas estruturais, martelo, câmera fotográfica e sacos plásticos para armazenar as amostras coletadas.

Por fim, foi elaborado um checklist, com observações necessárias para a avaliação de possíveis áreas com potencial de risco, conforme metodologia proposta por Brasil (2007).

A figura 17 apresenta uma residência em uma possível área de risco.

Figura 17: Casa em possível local de risco a deslizamentos.



Fonte: Autor (2022).

Após o levantamento geotécnico, ocorreu o levantamento geofísico, possibilitando um melhor entendimento do subsolo da área de estudo.

O método utilizado foi o de eletrorresistividade e a técnica de campo utilizada foi o caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo. Nesta etapa foi utilizado do equipamento Syscal (disponível na UNIPAMPA) figura 18, para o planejamento da operação foi utilizado o software *Electro Pro* onde foi configurado o tipo de levantamento, número de eletrodos a serem utilizados e o espaçamento entre eles. Optou-se pela utilização de 30 eletrodos com o espaçamento médio de 2m gerando perfis de 50m de comprimento com profundidade média de 9 metros.

A figura 19 apresenta o local e o momento em que estão sendo cravadas os eletrodos.



Figura 18: Resistivímetro.



Fonte: Autor (2022).

Figura 19: Posicionamento dos eletrodos.



Fonte: Autor (2022).

#### 4.4 Levantamento Geofísico e Processamento dos dados

Após a coleta dos dados em campo, foi realizado o upload dos dados através do software *Prosys II* da empresa *IRIS Instruments*, foi extraído na extensão “.dat”.

As medidas de resistividade coletadas em campo representam valores aparentes e não os verdadeiros valores do material. Portanto, foi necessário fazer a inversão dos dados, isto é, a mudança iterativa de parâmetros para se obter o melhor ajuste.

Para a inversão dos dados e geração dos perfis geoeletricos utilizou-se o software *RES 2D INV* da empresa *GEOTOMO SOFTWARE*, através dele foi possível realizar a inversão do dado bruto permitindo a geração dos perfis geoeletricos mostrando a relação entre distância e profundidade para a resistividade em cada uma das seções.

#### 4.5 Análise da Estabilidade Geotécnica

Nesta etapa foi utilizado o software *HYRCAN*. Cabe destacar que o *HYRCAN* é um programa gratuito de análise de estabilidade de taludes. O programa permite avaliar o fator de segurança ou probabilidade de falha, de superfícies de falha circulares em solo ou taludes rochosos.

Os dados obtidos dos levantamentos geofísicos permitiram a caracterização geológica da área, e com o intuito de mensurar o fator de segurança na direção de mergulho do talude (direção diagonal ao perfil gerado).

Por fim, por meio do software *Hyrscan* determinou-se os fatores de segurança (FS) do talude analisado, admitindo uma superfície de ruptura do tipo circular, tendo como métodos de equilíbrio Bishop.

Para a análise dos Fatores de segurança (FS) utilizou-se a norma ABNT NBR 11682 (2009).

## 5 Resultados e Discussões

### 5.1 Definição de Áreas de Risco no Perímetro Urbano

Para uma análise prévia de áreas de risco presentes no município, utilizou-se das imagens do satélite Alos palsar, com 12 m de resolução e o software Qgis para a geração do mapa de declividade do terreno, apresentado pela figura 23.

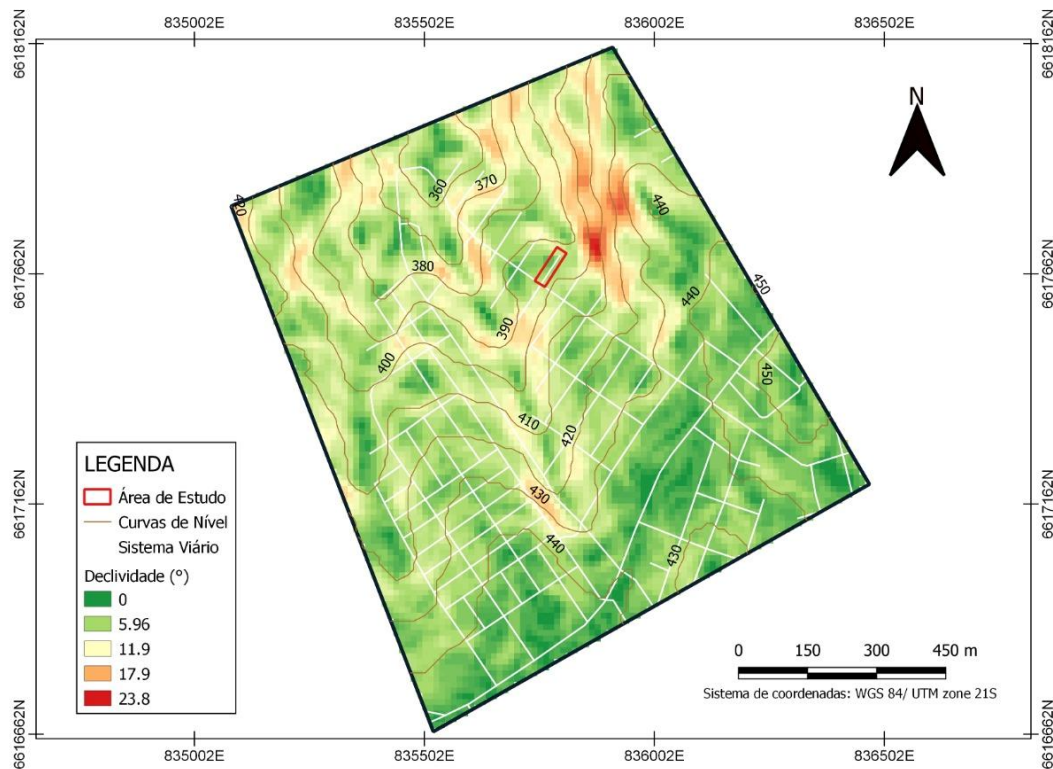
As classes de declividade dos terrenos foram distribuídas da seguinte forma: relevo plano ( $0 - 3^\circ$ ), suave ondulado ( $3 - 8^\circ$ ), ondulado ( $8 - 20^\circ$ ), forte ondulado ( $20 - 45^\circ$ ), montanhoso ( $45 - 75^\circ$ ), e escarpado ( $>75^\circ$ ) conforme (EMBRAPA, 1999).

De acordo com a bibliografia a área mapeada apresenta declividade suave ondulada a ondulada, demonstrando ser áreas estáveis quanto a deslizamentos. Entretanto é necessário fazer um mapeamento detalhado (geofísica, estabilidade de talude) para confirmar se a área é suscetível ou não a deslizamentos.

A área de estudo apresentou uma declividade de  $5^\circ$  a  $12^\circ$  aproximadamente, conforme pode ser visualizado junto a Figura 23.

É possível observar, a partir da figura 20, que o local com maiores problemas de declividade está próximo da área de estudo, porém por questões de segurança e acesso ao local, optamos, neste momento, em analisar apenas o local em que está inserida a rua e as residências.

Figura 20: Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

## 5.2 Caracterização Litológica

A partir da saída de campo foi possível reconhecer a litologia encontrada na área de estudo. Foi possível observar rocha de moderado grau de alteração com coloração rosa na facie fresca e marrom escuro na facie alterada, com rocha equigranular de textura fina a média, tendo como minerais essenciais: Feldspato alcalino subédrico a anédrico (50%), Quartzo subédrico (30%), Plagioclásio anédrico (10%), mica (10%).

Com as características apresentadas a rocha pode ser classificada como um sienogranito, de acordo com Nardi e Bitencourt (1989).

As figuras 21 e 22 apresentam imagem do afloramento descrito no local e da amostra coletada, respectivamente.



Figura 21: Afloramento no local de estudo.



Fonte: Autor (2022).

Figura 22: Amostra coletada.



Fonte: Autor (2022).



Foi observada a presença de rocha de coloração marrom claro com elevado grau de alteração (saprólito). O estado de alteração da rocha impossibilitou a descrição mineralógica, porém, partes do saprólito menos alteradas indicam tratar-se do mesmo granito já descrito.

A Figura 23 demonstra o saprólito encontrado na área. A cobertura de boa parte da área é predominantemente por solo de coloração marrom claro com grãos de tamanho areia a argila. A textura arenosa associada a mineralogia semelhante a encontrada na rocha *in situ* presente na região indica um solo residual de alteração do sienogranito.

É possível observar dois horizontes de solo, Horizonte A mais acima da figura 23 sendo para solo orgânico e horizonte B mais abaixo na figura 26 para solo residual.

Figura 23: Horizonte de solo A e B.



Fonte: Autor (2022).

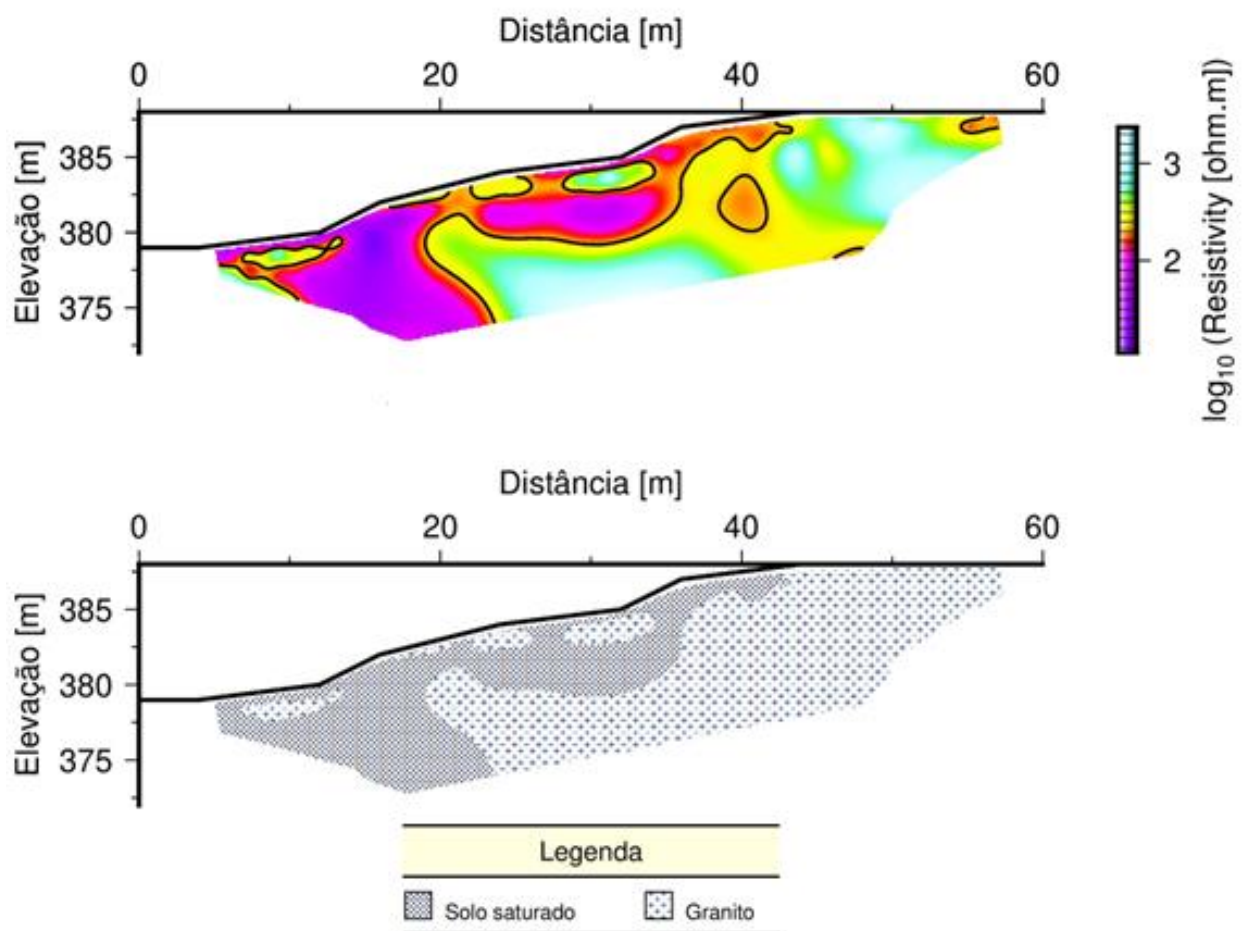
### 5.3 Perfil Geofísico e Interpretação dos Resultados

A figura 24 apresenta a seção geoeletrica modelada e junto a ela apresentamos, também, o perfil interpretado.



É importante destacar que a engenharia geotécnica busca objetividade na obtenção de dados para projetos e execuções de soluções de engenharia. A geofísica interpreta, aliada a trabalhos de campo resultam em uma menor campanha de ensaios diretos (SPT, CPT, entre outros), tendo como benefícios a redução de custo e tempo.

Figura 24: Perfil Geofísico interpretado.



Fonte: Autor (2022).

A partir da imagem apresentada e dos resultados obtidos, o perfil apresenta a predominância de solo saturado e granito.

Os valores de resistividade apresentados pelas seções variam de 13.9 a 1178 ohm.m. Baseado na categorização geológica feita em campo e de acordo com a bibliografia Reynolds (1997), a porção de coloração roxa e vermelha é classificada como

solo saturado (com e sem presença de água), a porção de coloração azul é classificada como rocha sã, coloração amarela sendo rocha alterada.

Com estes dados foi possível fazer a interpretação geológica utilizando os valores citados na tabela 2.

Tabela 2: Interpretação geológica.

TIPO LITOLOGICO	RESISTIVIDADE LOG10 (OHM.M)
ROCHA SÃ	>3
ROCHA ALTERADA	2 a 3
SOLO	1 a 2
SOLO COM PRESENÇA DE ÁGUA	<1

Fonte: Autor (2022).

#### 5.4 Zoneamento e Cadastro de Risco

De acordo com os parâmetros determinados pelo Ministério das Cidades em parceria com o IPT foi possível realizar 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 instabilização (BRASIL, 2007).

Na sequência deste trabalho é apresentada uma composição de imagens em que é possível verificar os diferentes graus de risco estabelecidos na região de estudo.

Na figura 25A e 25B são duas perspectiva de um mesmo ponto, um com visão para sul e outro com visão para o norte, na figura 25A uma pequena parte (no início da figura) é classificada como grau R1 apresentando baixas variações topográficas e bem poucas evidências de instabilidade, ao fundo é classificada como grau R2 com pequenas evidências de instabilidade em taludes, a figura 25B é classificada no início como grau R2 com pequenas evidências de instabilidade em taludes e ao fundo como grau R1 apresentando baixas variações topográficas e bem poucas evidências de instabilidade.

As figuras 25C e 25D foram classificadas como possíveis grau R3, apresentam maior variação topográfica, onde essas regiões possibilitam a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas dentro de um ciclo chuvoso.

Figura 25: Composição de imagens classificadas em diferentes graus de risco.



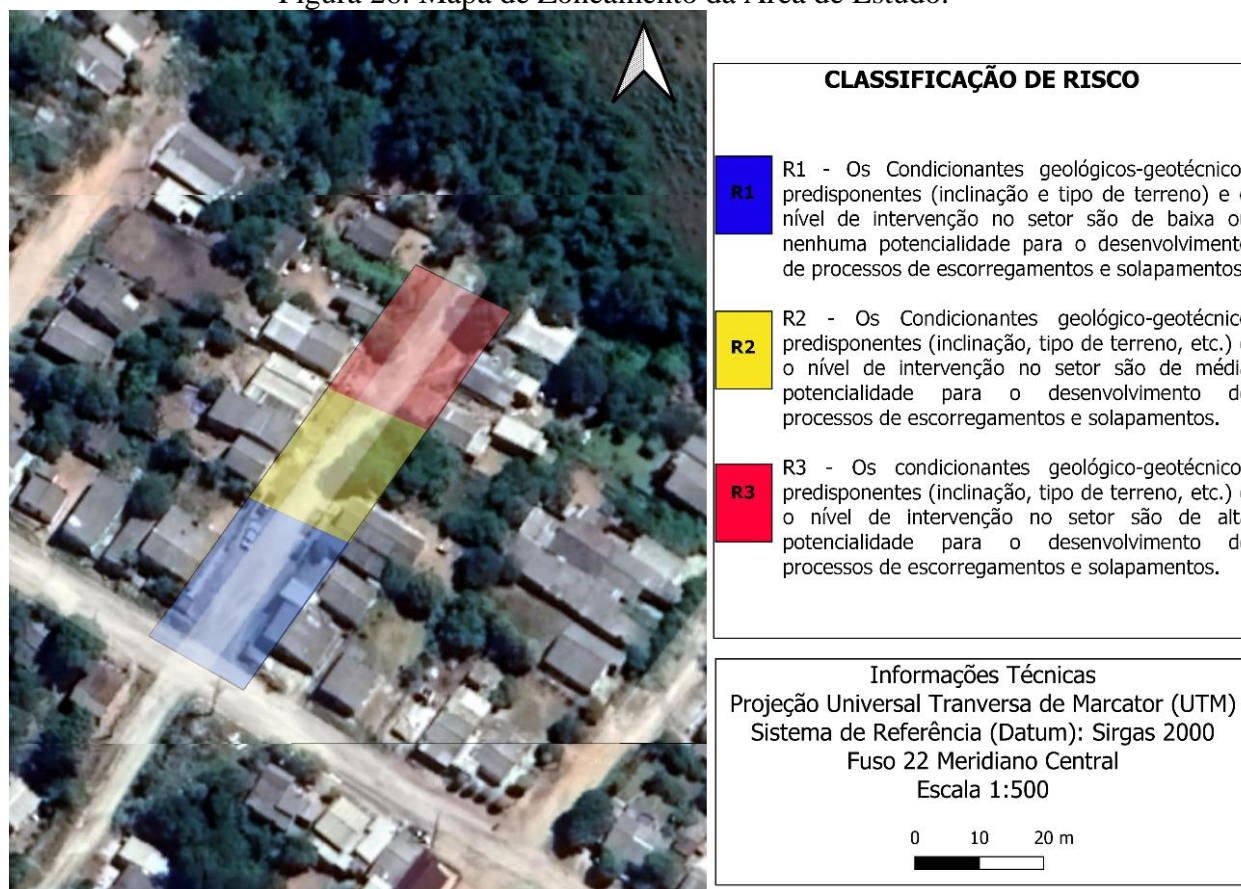
Fonte: Autor (2022).

A figura 26 apresenta um dos produtos finais do trabalho, o Mapa de Zoneamento da Área de Estudo, onde as cores azul, amarelo e vermelho representam a situação de risco em baixo, médio e alto, respectivamente.

Para a geração do mapa, utilizou-se as informações e uma análise qualitativa realizada visualmente em campo, ao mapa de declividade, a análise de estabilidade de taludes, levantamento geofísico, juntamente com todas as outras informações coletadas ao longo desta pesquisa.



Figura 26: Mapa de Zoneamento da Área de Estudo.



Fonte: Autor (2022).

Com base na figura 29, nota-se que o início da rua (coloração azul), tem uma extensão de aproximadamente 30 metros e foi classificada como R1, por apresentar pouca variação topográfica e uma declividade de aproximadamente  $6^\circ$ , sendo assim classificada como de baixo de risco.

A parte central (coloração amarela), tem uma extensão de aproximadamente 23 metros e foi classificada como R2, por apresentar uma variação topográfica maior que a porção em azul, também foi observado processos erosos no solo.

O final da rua (coloração vermelha), tem uma extensão de aproximadamente 25 metros e foi classificado como R3, possui uma declividade maior de aproximadamente  $12^\circ$ , no final da rua é possível observar um riacho e também uma casa em processo de desmoronamento, assim a área foi classificada como de alto risco.

## 5.5 Estabilidade Geotécnica

Diante dos resultados apresentados anteriormente e das observações obtidas em campo, verifica-se, visualmente que no topo do perfil, área na cota, aproximada, 390m o perfil se mostra estável, com edificações construídas diretamente no granito. No entanto, esta estabilidade muda conforme aumenta a declividade.

No pé do talude, ao fim do arruamento, existe uma drenagem natural, que apresenta risco às edificações existentes.

Com o levantamento Geofísico realizado dois materiais foram apresentando, um o solo residual de granito e o outro a rocha granítica. Para este estudo, utilizamos a classificação Geotécnica realizada por Cunha (2022), a qual classificou o mesmo solo e a partir dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg, sendo que as três amostras, analisadas pela autora, apresentaram comportamento de solo SM (areia siltosa).

Foram adotados valores de referência, encontrados na bibliografia para a caracterização mecânica do material,

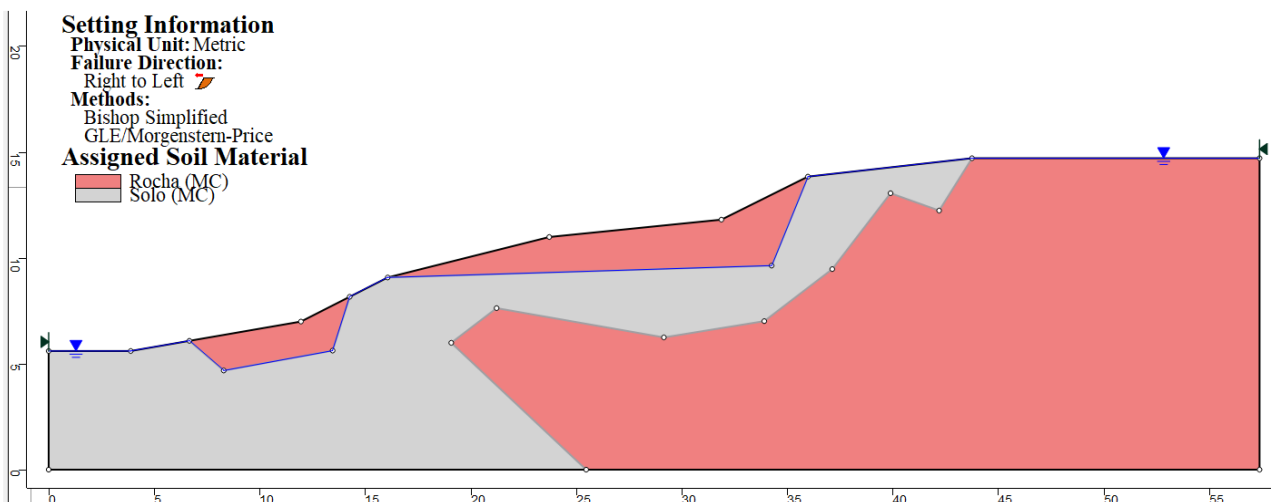
O trabalho realizado por MIRANDA (2021), realizou ensaios em uma barragem próxima à região de estudo. O solo estudado também tem origem granítica, e também foi classificado como areia siltosa.

Diante destes estudos, optou-se em utilizar os dados geotécnicos do solo obtidos por MIRANDA (2021), os quais são: coesão:  $c' = 2$  kPa; ângulo de atrito:  $\varphi' = 38^\circ$  e peso específico de  $15 \text{ kN/m}^3$ .

Para a rocha, devido a falta de ensaios do material, foram adotados valores de referência em bibliografia especializada, tendo sido optado pelos seguintes valores: coesão:  $c' = 500$  kPa; ângulo de atrito:  $\varphi' = 38^\circ$  e peso específico de  $26 \text{ kN/m}^3$ .

A Figura 27 apresenta o perfil geotécnico gerado a partir da topografia e da geofísica realizada no solo de estudo.

Figura 27: Perfil geotécnico da área de estudo.

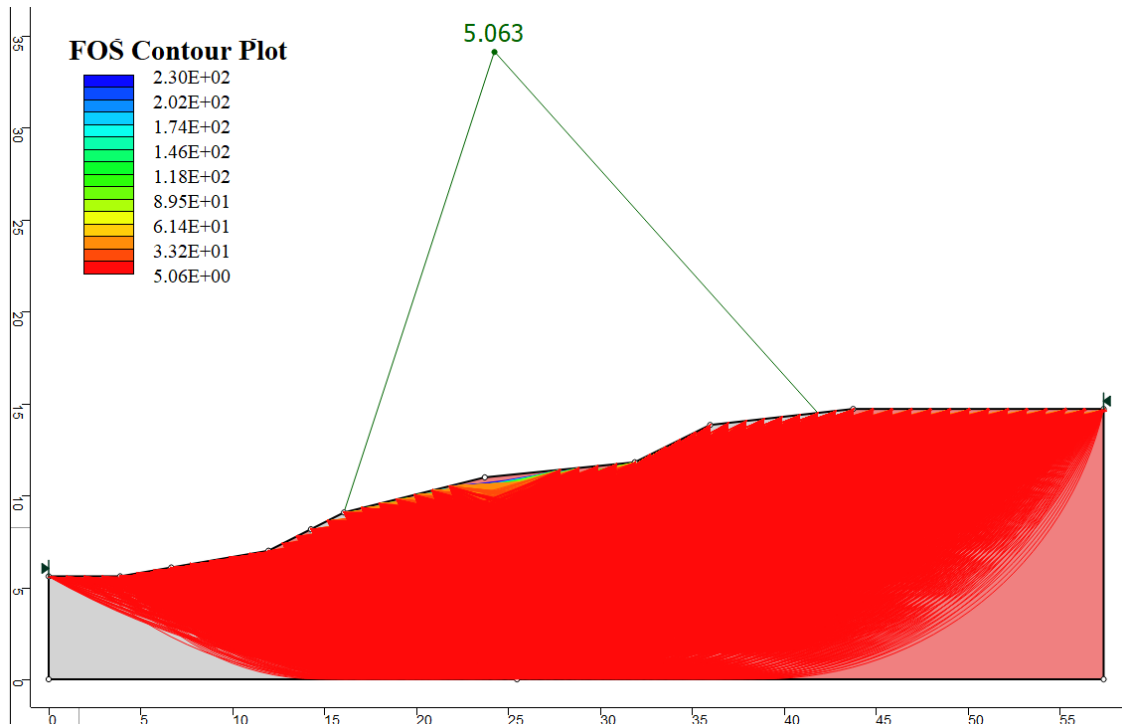


Fonte: Autor (2022).

A partir da geometria do problema, foram realizadas duas análises, a primeira considerando o solo natural, sem a saturação do solo e a segunda considerando o solo saturado.

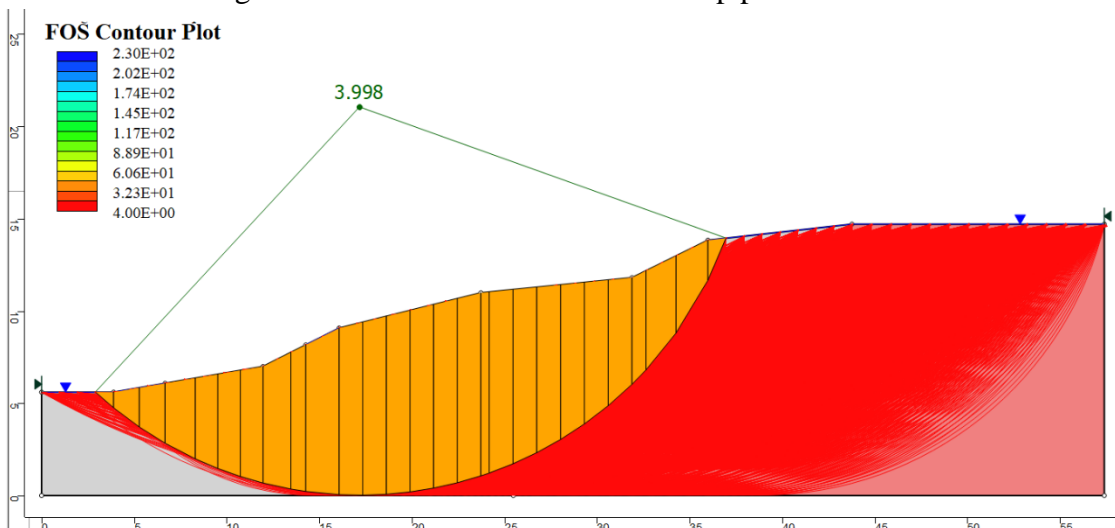
A Figura 28 e 29 apresentam os resultados das análises através do método Bishop Simplificado para solo não saturado e saturado, respectivamente. O fator de segurança obtido para o solo não saturado foi de 5.063, já para o solo saturado de 3.998.

Figura 28: Resultados do método Bishop para o solo não saturado.



Fonte: Autor (2022).

Figura 29: Resultados do método Bishop para o solo saturado.



Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados obtidos e comparados com os dados apresentados pela NBR 11682 (ABNT, 2009), conforme apresentado na imagem 30, é possível afirmar que

o local em estudo encontra-se com um fator de segurança superior ao estimado na Norma Técnica, garantido que o local encontra-se seguro, quanto ao método utilizado.

Figura 30: Fatores de Segurança.

Nível de segurança contra perda de vidas humanas Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Nota 1: No caso de grande variabilidade dos resultados de ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semi-probabilístico indicado no Anexo D da referida norma.

Nota 2: No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros  $\gamma$ ,  $c$  e  $\phi$ , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1.1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

Nota 3: Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Fonte: ABNT (2009).



## 6 Considerações Finais

Diante dos objetivos propostos, da metodologia utilizada e dos resultados obtidos, traçamos as seguintes considerações finais, limitações e sugestões pra trabalhos futuros:

- A região onde foi realizado o estudo, é um local com alguns indícios de vulnerabilidade ambiental, nota-se principalmente a declividade da região como um dos principais fatores para este indício. Com os levantamentos e interpretações realizadas pode-se concluir que boa parte do local estudado apresenta um risco moderado a alto para movimentos de massa.
- Os levantamentos geofísicos apresentaram resultados moderadamente bons, com erros RMS de 4,7%. Estes erros são relativamente baixos. Com o perfil geolétrico modelado, foi possível realizar o perfil geolétrico interpretado, com este perfil foi possível caracterizar duas principais litologias, sendo o solo saturado e o granito.
- Este trabalho, em relação aos trabalhos anteriores que envolveram geofísica, relacionados a áreas de risco, teve a apresentação do perfil geofísico interpretado, o qual dentro da Geotecnia torna-se de grande importância, pois permite uma análise da estabilidade de forma mais realista.
- A análise de estabilidade realizada no software Hyrcan demonstrou valores acima dos exigidos pela norma NBR 11682 (ABNT, 2009), considerando os maiores riscos possíveis. Porém, deve-se levar em consideração o fato de que muitas variáveis (peso específico, coesão e ângulo de atrito) utilizadas para o cálculo em questão partiram de valores médios encontrados na literatura. Sendo assim, recomenda um maior aprofundamento nos ensaios e na caracterização da resistência dos materiais.
- O mapa de zoneamento apontou para 1/3 da área investigada sendo classificada de alto risco (R3). Uma análise nas edificações do local poderia auxiliar para determinação ainda mais efetiva na categorização nas áreas. Foi possível observar alguns processos erosivos na beira da rua.
- A metodologia proposta se mostrou eficaz e o trabalho atingiu os objetivos estipulados, os quais destacavam a análise geotécnica, geofísica e identificação da área de risco.

- Espera-se que o presente trabalho possa auxiliar na tomada de decisões no planejamento e desenvolvimento no 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 na região de estudo.
- Uma das limitações do trabalho foi a questão de segurança, pois no local, durante a pesquisa, houve questões relacionada a segurança pública, impedindo que uma parte do trabalho fosse alcançado.
- Sugere-se que sejam realizados mais trabalhos em outras ruas do bairro com esse viés de mapeamento detalhado, realizar ensaios de permeabilidade, coleta e análise de solo em laboratório, monitoramento das possíveis áreas de risco, os quais vão auxiliar na ação preventiva contra os possíveis riscos da região.
- Por fim, sugere-se que haja um reconhecimento maior da área, incluindo vegetação e solo e análise das condições da drenagem, para que o local tenha um estudo ambiental completo.

## Referências

ACOSTA, Ileana Carolina Osorio. **Investigação aplicada à gestão de risco geológico-geotécnico, para fins de planejamento urbano. Caso piloto:" Erosão na cidade de São Carlos"**. 2020.

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. Dissertação de mestrado, 2009. Acesso em 18/10/2022; Disponível em: [https://uenf.br/posgraduacao/engenhariacivil/wpcontent/uploads/sites/3/2015/09/CLARISSA-REGINA\\_MASIEROAHMED1.pdf](https://uenf.br/posgraduacao/engenhariacivil/wpcontent/uploads/sites/3/2015/09/CLARISSA-REGINA_MASIEROAHMED1.pdf)

ALHEIROS, Margareth M. **Módulo 2: Políticas públicas em prevenção de riscos socioambientais**. Curso de Capacitação. p. 21.

ANDRETTA, Elton Rodrigo et al. **Mapeamento das áreas de risco no bairro Gilberto Mestrinho, zona leste de Manaus-AM**. 2013.

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas-COBRAE. Anais. 1992. p. 721-733.

BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; GEHLING, W. **Avaliação geotécnica da erodibilidade dos solos**. Simpósio de prática de engenharia geotécnica da região sul, v. 2, p. 203-211, 2000.

BITAR, O. Y.; CERRI, L. E. S.; NAKAZAWA, V. A. **Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil**. In: Simpósio Latino Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 2, 1992, Pereira. Atas... Pereira, v. 1, 1992, p. 35-41.

CUNHA, Mayra Kauany Rodrigues. **Mapeamento geológico-geotécnico para fins de análise de risco e planejamento urbano no município de Caçapava do Sul-RS.** 2022.

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 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 jul. 2001.

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.

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

BRESSANI, L.A. **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha, RS: relatório final.** Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres no Rio Grande do Sul; coordenação geral Luiz A. Bressani. – Porto Alegre: UFRGS, CEPED-RS, 2014. 1 v. ISBN 978-85-63843-11-1.

BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B., Eds. **Solpe Instability.** Chichester: John Wiley, 1984. p.602.

CAÇAPAVA DO SUL; Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul; Dados do Município; Caçapava do Sul 2022. Disponível em: <https://cacapavadosul.rs.gov.br/pagina/id/3/?Dados-domunicipio.html> acesso em 18 de maio de 2022

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, 2006. p. 39-91.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. 1998.

Cerri, L.E.S. 1990. **Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras**. In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia, 6, Salvador, Anais p.309-317.

CUNHA, Mayra Kauany Rodrigues. **Mapeamento geológico-geotécnico para fins de análise de risco e planejamento urbano no município de Caçapava do Sul-RS**. 2022.

DA, Fernando ; XAVIER, Fontoura. **Geofísica Elétrica aplicada a Geotecnia para investigação de estabilidade de taludes**.

LUIZ, Antonio; PEREIRA DE SOUZA; COARACY, Otávio; *et al.* **Métodos geofísicos em geotecnia e geologia ambiental**. 2013.

DO BRASIL, CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO. **Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa**. 2018.

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

FERNANDES, M. O.; SILVA FILHO, F. C. **Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Felenius, Bishop e Janbu**. Revista Tecnologia, [S. L.], n. 19, p. 91- 98, 1998.

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.congresse.me/condessus/resumos/11129.pdf> Acesso em 5 junho 2022.

FRATTINI, P. Et al. **Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches**. *Geomorphology*, v. 94, n. 3-4, p. 419-437, 2008.

GANDOLFI, Nilson; ZUQUETTE, Lázaro V. **Cartografia geotécnica**. Oficina de Textos, 2004.

GERSCOVICH, D. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 166p.

GRAMANI, M.F. **A corrida de massa no córrego Guarda Mão, município de Itaoca (SP): impacto e observações de campo**. In: Congresso brasileiro de geologia de engenharia e ambiental, 15., 2015. Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves, 2015. 1 CD-ROM.

IBGE; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010 ; Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cacapava-do-sul/panorama> Acesso em 18 Maio 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

JUSTUS, Jarbas de Oliveira et al. **Geomorfologia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais, v. 33, p. 313-404, 1986.

KOBIYAMA, Masato et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LAGGAZIO, Helena Pohren. **Utilização de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização: estudo de caso do município de Igrejinha/RS.** 2020.

LOPES, Carina Graciniana. **Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do complexo passo feio–terreno São Gabriel, Caçapava do Sul-RS.** 2012.

LUCAS, Anna et al. **Estudo e mapeamento de uma área de risco no município de Caçapava do Sul/RS.** Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 2, 2015.

MIRANDA, Gabriela Macedo et al. **Aplicação do método geofísico de eletrorresistividade e de ensaios geotécnicos para análise de integridade e estabilidade de uma barragem de terra.** 2021.

MOURA, RODOLFO BAÊSSO; CANIL, KÁTIA; SULAIMAN, SAMIA NASCIMENTO. **Vulnerabilidade social, suscetibilidade e riscos de deslizamentos: Um estudo sobre a Macrometrópole Paulista.** Encontro Nacional da ANPEGE, v. 13, 2019.

MOREIRA, Melquisedec Medeiros et al. **Carta Geotécnica do Município de Natal-RN: Áreas de Risco de Deslizamentos e Inundações.** In: XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/VII Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia/VI Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/VI Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, Goiânia. 2014.

MARQUES, Júlia; DOLZAN, Marico; FAVERO, Paulo; E MENGU, Priscila; Terra, 2022. **Brasil tem quase 4 mil mortes por deslizamentos de terra.** Terra, 2022.

Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/brasil-tem-quase-4-mil-mortes-por-deslizamentos-de-terra,43b8e0c71f1d32c1a69b88fbcc4b0ede40xtezym.html>  
acesso em 18 de maio de 2022.

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 19 Jun 2022.

NARDI, Lauro Valentim Stoll; BITENCOURT, Maria de Fátima. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, v. 19, n. 2, p. 153-169, 1989.

OLIVEIRA, LM de. **Acidentes geológicos urbanos**. MINEROPAR–Serviço Geológico do Paraná. Curitiba, v. 78, 2010.

ORELLANA, E. **Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua: Madrid**. España, Editorial Paraninfo, 1972.

PEILA, D.; RONCO, C. **Technical note: design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline**. Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 9, p. 1291-1298, 2009.

PEREIRA, Samara; ROJAS, José Waldomiro Jiménez. **Estudo e mapeamento de uma área de escorregamento no município de Caçapava do Sul, RS**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 8, n. 2, 2016.

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.

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



PIMENTA JUNIOR, I. **Caracterização geotécnica e análise de estabilidade de taludes de mineração em solos da Mina de Capão Xavier**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

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.

PRANDINI, Fernando L. Et al. **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente; condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana**. São Paulo: IPT, 1980.

REYNOLDS, J. M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Wiley & Sons, 1997. p.796.

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.

RIBEIRO, Rafael Silva. **Simulação do processo de queda de blocos em encostas com aplicação da mecânica do contato e do método dos elementos discretos**. 2013. 265 f. Tese (Doutorado em Ciências (Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

RUFFATO, Roger. **Chuva causa alagamentos e deslizamentos de terra na Serra do RS**. G1, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2022/03/24/chuva-causa-alagamentos-e-deslizamentos-de-terra-na-serra-do-rs.ghtml> Acesso em: 18 maio de 2022.

SILVA, Gabriel Smith Nunes da et al. **Mapeamento geotécnico na região nordeste da área urbana de Caçapava do Sul/RS**. 2021.

SILVA, Vanessa Coutinho. **Métodos analíticos para avaliar a contribuição de estacas para o fator de segurança de taludes**. 2013.

SOBREIRA, Frederico Garcia; SOUZA, LA de. **Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2006.

STRECK, Edemar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, 2008.

TOMINAGA, L.K. **Análise e mapeamento de risco**. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Do (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2. Ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012a. Cap. 9, p. 147-160.

\_\_\_\_\_. **Análise e mapeamento de risco**. São Paulo: Instituto Geológico, 2012a. Cap. 9, p. 147-160.

\_\_\_\_\_. **Desastres naturais: por que ocorrem?** São Paulo: Instituto Geológico, 2012c. Cap. 1, p. 11-23.

\_\_\_\_\_. **Escorregamentos**. São Paulo: Instituto Geológico, 2012b. Cap. 2, p. 25-38.

VARNES, D.J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO, 1984.

YILMAZ, I.; YILDIRIM, M.; KESKIN, I. **A method for mapping the spatial distribution of rockfall computer program analyses results using arcgis software**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 67, n. 4, p. 547-554, 2008.

ZAINE, José Eduardo. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 2000. p.149.