

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

CAMPUS LITORAL NORTE

CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

MILTON RIBEIRO JUNIOR

ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO DE
PICADA CAFÉ/RS

Picada Café

2022

MILTON RIBEIRO JUNIOR

ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO DE
PICADA CAFÉ/RS

Trabalho de Conclusão de Curso como
requisito parcial à obtenção do título de
Licenciado em Geografia do Campus Litoral
Norte - Polo de Picada Café da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Guilherme Garcia de Oliveira

Picada Café

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Ribeiro Junior, Milton
Estudo de Suscetibilidade de Deslizamentos no
Município de Picada Café/RS / Milton Ribeiro Junior.
-- 2023.
85 f.
Orientador: Guilherme Garcia de Oliveira.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus
Litoral Norte, Licenciatura em Geografia, Tramandaí,
BR-RS, 2023.

1. Movimentos de massa. 2. Desastres. 3.
Planejamento urbano. 4. Sistemas de Informações
Geográficas. I. Oliveira, Guilherme Garcia de, orient.
II. Título.

MILTON RIBEIRO JUNIOR

ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE DE DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO DE
PICADA CAFÉ/RS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Licenciado em Geografia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Guilherme Garcia de Oliveira

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ney Fett Júnior

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Ma. Renata Pacheco Quevedo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Dedico esse trabalho aos meus filhos,
Rafaela, Miguel, Lucas e Ester.

AGRADECIMENTOS

À professora Lucimar dos Santos Vieira, coordenadora do curso de Licenciatura em Geografia EaD da Ufrgs Litoral Norte pela preocupação e empenho na defesa de uma educação pública, gratuita e de qualidade.

Aos meus mestres Guilherme Garcia de Oliveira e Aline de Lima Rodrigues, exemplos de professores a serem seguidos.

À Professora Cristiane Backes Welter, secretária da Educação do Município de Picada Café pelas portas que estiveram sempre abertas durante meus trabalhos de formação à docência.

Aos professores da Escola Municipal de Ensino Fundamental 25 de Julho, Tafarel Schmidt, Márcia Klein, Marcos Kominkiewicz e Simone Brand que durante todo o meu estágio em docência I fizeram com que eu me sentisse como parte integrante do corpo docente.

Aos professores da Escola Estadual Décio Martins Costa, Edinéia Broenstrup e Frederico Neto, pela confiança, suporte e apoio no decorrer do meu estágio em docência II.

Finalmente, um especial agradecimento ao meu amor, Cíntia, que nos momentos de cansaço em que a vida familiar precisou dividir o tempo com o trabalho e com realização desta formação superior, soube com seu equilíbrio e serenidade me manter motivado.

EPÍGRAFE

O mundo é formado não apenas pelo que já existe,
mas pelo que pode efetivamente existir.

Milton Santos

RESUMO

Deslizamento de terra é um tipo de movimento gravitacional de massa que se torna mais frequente a cada ano devido a mudanças climáticas e avanço da urbanização em áreas de encosta. Trata-se de um processo geológico natural que molda a paisagem. Conhecer as condicionantes para a ocorrência de deslizamentos possibilita estabelecer relações de causa e efeito com o crescimento populacional urbano e assim evitar ou, ao menos, minimizar o número de atingidos por tais incidentes. O mapa de suscetibilidade visa informar as áreas propensas ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área. Este trabalho de conclusão do curso de licenciatura em geografia teve por objetivo mapear as áreas suscetíveis a deslizamentos no município de Picada Café/RS. Como metodologia este trabalho aplicou o Processo Analítico Hierárquico (AHP), escalonando os valores entre 0(baixa incidência) e 1(alta incidência). Para isso foram utilizados dados georreferenciados, com informações sobre uso do solo, declividade, clima, geologia e proximidades de rodovias com valores de importância variados e aplicados a modelagem de suscetibilidade a deslizamentos, com o uso do Sistema de Informações Geográficas-SIG/QGIS. O principal resultado é o mapeamento de suscetibilidade que servirá para a administração local utilizar como base para acompanhar sua dinâmica ao longo do tempo, evitando loteamentos e a ocupação desordenada do solo, sem critério. Além disso, estudos de suscetibilidade a deslizamentos auxiliam no desenvolvimento de aulas de geografia em escolas dos ensinos fundamental e médio, pois apresentam aspectos da formação do relevo, da vegetação, de fatores climáticos e da ocupação humana.

Palavras-chave: Movimentos de massa. Desastres. Planejamento urbano. Sistemas de Informações Geográficas.

ABSTRACT

Keywords: Mass Movements. Disasters. Urban planning. Geographic Information Systems.

Landslide is a type of gravitational mass movement that becomes more frequent every year due to climate change and advancing urbanization in hillside areas. It is a natural geological process that shapes the landscape. Knowing the conditions for the occurrence of landslides makes it possible to establish cause and effect relationships with urban population growth and thus avoid or, at least, minimize the number of people affected by such incidents. The susceptibility map presents the prone areas to a given hazardous phenomena. This Geography undergraduate thesis aimed to map the landslide susceptible areas in the Picada Café municipality, RS. As a methodology, this work applied the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, scaling the values between 0 (low incidence) and 1 (high incidence). For this, georeferenced data were used, with information on land use, slope, climate, geology and proximity to roads with varying importance values and applied to landslide susceptibility modeling, using the Geographic Information System-GIS/QGIS. The main result is the mapping of susceptibility that will serve as a basis for the local administration to follow its dynamics over time, avoiding subdivisions and disorderly occupation of the land, without criteria. In addition, studies of susceptibility to landslides help in the development of geography classes in primary and secondary schools, as it presents aspects of the formation of relief, vegetation, climatic factors and human occupation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1-SIMBOLOGIA DE DESLIZAMENTOS - CEMADEN.	18
FIGURA 2-DESLIZAMENTO EM LAGUNA BEACH, CALIFÓRNIA/EUA (2005).	19
FIGURA 3-DESLIZAMENTO EM PETRÓPOLIS/RJ, EM MARÇO DE 2022- FONTE: AGÊNCIA BRASIL/RJ.	19
FIGURA 4-DESLIZAMENTO EM RECIFE/PE EM MAIO 2022. - FONTE: METSUL METEOROLOGIA.	19
FIGURA 5-REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO DESLIZAMENTO TRANSLACIONAL DE TERRA.	20
FIGURA 6-REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO DESLIZAMENTO ROTACIONAL DE TERRA.	20
FIGURA 7-FORÇAS EM UM BLOCO DE SOLO EM DIFERENTES INCLINAÇÕES.	25
FIGURA 8-QUEDA DE BARREIRA BR 116 EM NOVA PETRÓPOLIS/RS.	30
FIGURA 9-DESLIZAMENTO NA RODOVIA BR-376 NO ESTADO DO PARANÁ.	31
FIGURA 10-RELAÇÃO ENTRE PERIGO E RISCO.	33
FIGURA 11-CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO (A) PRESENÇA ANTRÓPICA NAS ENCOSTAS; (B) AFLORAMENTO DE ROCHA DE ARENITO DA FORMAÇÃO BOTUCATU.	38
FIGURA 12-RECORTE DE TERRENO LOCALIZADO NA REGIÃO CENTRAL DE PICADA CAFÉ.	39
FIGURA 13-MUROS DE ARRIMO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE PICADA CAFÉ.	39
FIGURA 14-MÉTODO UTILIZADO NESTE TRABALHO.	42
FIGURA 15-FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO ESTUDO.	43
FIGURA 16-CATEGORIAS DE INFORMAÇÃO EM CAMADAS.	44
FIGURA 17-DESLIZAMENTO OCORRIDO EM PICADA CAFÉ EM AGOSTO DE 2013.	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1-CATEGORIAS HIERÁRQUICAS E CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO.	25
TABELA 2-CLASSIFICAÇÃO PARA O FATOR DECLIVIDADE, INCLUINDO OS RESPECTIVOS PESOS DE PERTINÊNCIA UTILIZADOS EM ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE TERRA NO MUNICÍPIO DE PARAIBUNA/SP.	26
TABELA 3-MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS DE PICADA CAFÉ (1981-2010).	36
TABELA 4-MATRIZ AHP DE COMPARAÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES.	45
TABELA 5-ÍNDICE DE ALEATORIEDADE (RI) CONFORME O NÚMERO DE FATORES (N) UTILIZADOS.	46
TABELA 6-ATRIBUIÇÃO DE PESOS PARA O FATOR DECLIVIDADE.	49
TABELA 7-ATRIBUIÇÃO DE PESOS PARA O FATOR DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL ACUMULADA.	51
TABELA 8-ATRIBUIÇÃO DE PESOS PARA O FATOR GEOLOGIA.	54
TABELA 9-ATRIBUIÇÃO DE PESOS PARA O FATOR USO E COBERTURA DA TERRA.	56
TABELA 10-ATRIBUIÇÃO DE PESOS PARA O FATOR PROXIMIDADE DE RODOVIAS.	59
TABELA 11-PESOS DOS FATORES UTILIZADOS NO CRUZAMENTO DOS MAPAS PARA A ELABORAÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS EM PICADA CAFÉ.	60
TABELA 12-DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE PICADA CAFÉ.	62
TABELA 13-RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO - BAIRRO ALTO DA COLINA.	65
TABELA 14-RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO - BAIRRO MORRO HANSEN.	66

TABELA 15-RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO - BAIRRO CENTRO	67
TABELA 16-RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO - BAIRRO JAMMERTHAL.....	72
TABELA 17-RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO - BAIRRO JOANETA	74
TABELA 18-RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO - BAIRRO SÃO JOÃO	74

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1-FATORES QUE INFLUENCIAM OS DESLIZAMENTOS.	28
QUADRO 2-ESCALA DE SAATY COM OS 9 PESOS FUNDAMENTAIS DE JULGAMENTO COMPARATIVO.	41
QUADRO 3-MATRIZ DE IMPORTÂNCIA RELATIVA AHP.	42

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-FATORES CONDICIONANTES DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA.	22
GRÁFICO 2-TEMPERATURAS MÉDIAS DE PICADA CAFÉ.....	36
GRÁFICO 3-ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE PICADA CAFÉ.	36
GRÁFICO 4-HISTOGRAMA COM FREQUÊNCIAS ALTIMÉTRICAS DE PICADA CAFÉ.....	48
GRÁFICO 5-DISTRIBUIÇÃO DAS DECLIVIDADES NO TERRITÓRIO DO MUNICÍPIO DE PICADA CAFÉ.	50
GRÁFICO 6-HISTOGRAMA DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL.	53
GRÁFICO 7-DISTRIBUIÇÃO GEOLÓGICA DE PICADA CAFÉ.	55
GRÁFICO 8-DISTRIBUIÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NO TERRITÓRIO DE PICADA CAFÉ.	58
GRÁFICO 9-DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE PICADA CAFÉ EM %.	62
GRÁFICO 10-ALTITUDES DOS PONTOS OBSERVADOS NO TRABALHO DE CAMPO	76
GRÁFICO 11-DECLIVIDADES DOS PONTOS OBSERVADOS NO TRABALHO DE CAMPO.....	77
GRÁFICO 12-RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE E DECLIVIDADE DO TRABALHO DE CAMPO	77
GRÁFICO 13-DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS OBSERVADOS EM RELAÇÃO A SUA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS.....	78
GRÁFICO 14- DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS OBSERVADOS EM RELAÇÃO A SUA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS.	78
GRÁFICO 15-RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E ALTITUDE DO TRABALHO DE CAMPO.	79
GRÁFICO 16-RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E SUSCETIBILIDADE DOS PONTOS OBSERVADOS NO TRABALHO DE CAMPO.	79

LISTA DE MAPAS

MAPA 1-MUNICÍPIOS DA REGIÃO SUL COM ÁREAS DE RISCOS PARA PROCESSOS HIDROLÓGICOS E GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS, MAPEADOS E GEORREFERENCIADOS.	21
MAPA 2-LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PICADA CAFÉ.....	35
MAPA 3-BACIA DO RIO CAÍ.....	37
MAPA 4-MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO DE PICADA CAFÉ.....	47
MAPA 5-MAPA DE DECLIVIDADES DE PICADA CAFÉ.	49
MAPA 6-PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DE PICADA CAFÉ.....	52
MAPA 7-MAPA DE GEOLOGIA DO MUNICÍPIO DE PICADA CAFÉ.....	54

MAPA 8-USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE PICADA CAFÉ.....	57
MAPA 9-PROXIMIDADE DE RODOVIAS.....	59
MAPA 10-SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS EM PICADA CAFÉ.....	61
MAPA 11-PERCURSO DO TRABALHO DE CAMPO.....	64
MAPA 12-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO ALTO DA COLINA. SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S.....	65
MAPA 13-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO MORRO HANSEN.....	66
MAPA 14-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO CENTRO.....	68
MAPA 15-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO CENTRO.....	69
MAPA 16-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO JAMMERTHAL.....	70
MAPA 17-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO JAMMERTHAL.....	71
MAPA 18-TRABALHO DE CAMPO NO BAIRRO JOANETA.....	73
MAPA 19-TRABALHO DE CAMPO BAIRRO NO SÃO JOÃO.....	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO TEÓRICA	17
3.1. Deslizamentos de Terra	17
3.2. Principais fatores condicionantes	22
3.3. Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos	31
4. METODOLOGIA	35
4.1. Área de estudo	35
4.2. Materiais e Métodos	40
5. RESULTADOS E ANÁLISES	47
6. CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

Em fevereiro de 2019, foram empreendidos os primeiros passos do autor em um projeto construtivo residencial de alvenaria em um terreno, em desnível, localizado no centro do município de Picada Café/RS. Essa construção está localizada a cerca de 300 m do Polo Universitário - Universidade Aberta do Brasil, do município de Picada Café, onde, concomitante com o início da obra, começaram as primeiras lições do curso de graduação em Licenciatura em Geografia, na modalidade remota à distância - EaD, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

No transcurso da construção residencial e do curso de graduação, muitos dos caminhos de ambos os projetos coincidiram, em especial, os estudos geológicos, geomorfológicos e de geoprocessamento, necessários para mitigar possíveis prejuízos futuros decorrentes dos efeitos da gravidade e do excesso de chuva em um terreno em desnível. De maneira empírica foi se desvendando um universo relacionado aos processos naturais que diariamente moldam a paisagem à nossa volta. Esses processos podem ocorrer de forma rápida, como os deslizamentos, por exemplo, que além de afetar bens patrimoniais, podem, em ocasiões extremas, ceifar muitas vidas. Entre os anos de 2019 e 2022 foi possível acompanhar muitos desses processos de movimentos gravitacionais de massa, e perceber como atuam na formação do relevo.

A literatura especializada aponta diversos fatores condicionantes que, quando negligenciados, podem favorecer a ocorrência de deslizamentos de terra. Entre estes fatores destacam-se aqueles de origem antrópica como a ocupação irregular das encostas e a construção de rodovias, além daqueles decorrentes de processos naturais de formação do relevo, como a declividade, a geologia, as características e tipos de solos, os índices pluviométricos e a vegetação.

Em locais suscetíveis a deslizamentos, um projeto de construção deve considerar a estabilização do solo, o que pode exigir a instalação de muros de arrimos e/ou de sistemas de escoamento da água das chuvas. São etapas importantes para garantir que as estruturas não sofram impactos com a saturação dos solos ou o escoamento superficial. Isto requer um alto investimento, não somente de tempo, mas também de recursos materiais e humanos que, por sua vez, elevam consideravelmente o custo da obra.

Conhecer as condicionantes para a ocorrência de deslizamentos possibilita estabelecer relações de causa e efeito com o crescimento populacional urbano e assim evitar ou, ao menos, minimizar o número de atingidos por tais incidentes. Estes eventos, por vezes, se tornam verdadeiras catástrofes, como os vivenciados em Ilha Grande e Angra dos Reis/RJ no verão de 2009/2010, nos estados de Pernambuco e Alagoas em 2010 e na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011, que além de ocasionarem severas perdas patrimoniais, também registraram milhares de vítimas entre mortos, desaparecidos e desabrigados (CEMADEN, 2019).

Desde meados de 2011, com a criação do Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), atualmente vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), implementaram-se no país alguns avanços no monitoramento e estudo das ameaças em áreas de risco de municípios brasileiros suscetíveis à ocorrência de desastres naturais, aumentando de 56 municípios monitorados analisados em 2011 para 959 municípios considerados prioritários em 2020.

Mesmo após mais de uma década de monitoramento de áreas de riscos pelo Cemaden, não foi possível evitar que catástrofes como a vivenciada na região serrana do Rio de Janeiro, entre fevereiro e março de 2022, na cidade de Petrópolis, quando mais de duas centenas de vidas foram perdidas e outras mil famílias perderam suas moradias, arrastadas por chuva e lama (MARQUES, 2022). Destacam-se ainda os episódios de Pernambuco no mês de maio do mesmo ano, que ocasionaram a morte de 122 pessoas (NOBREGA, 2022).

Aprender com essas experiências é de suma importância para se evitar tragédias semelhantes. Se é difícil prever quando e onde ocorrerão os grandes volumes de chuvas, que provocam desastres, pode-se, pelo menos, trabalhar, de forma preventiva, para se evitar a ocupação desordenada de áreas de risco, em encostas. Nesse sentido, o mapa de suscetibilidade pode auxiliar nas decisões do planejamento de ocupação espacial, por parte das prefeituras e comunidades, em futuros empreendimentos construtivos.

As características do relevo de Picada Café, acidentado, como morros, cujas altitudes vão de 55,25m, até 640m, aliadas à crescente urbanização na porção central da cidade, justificam a importância e a relevância do presente estudo. Diante desse cenário, este trabalho de conclusão de curso se concentrou no movimento de massa

classificado como deslizamento, considerando a sua elevada incidência no Brasil aliado ao alto poder danoso em áreas urbanas (OLIVEIRA et al, 2019).

Além de colaborar com as informações na elaboração de futuros estudos de mapeamento de riscos no município de Picada Café, espera-se, como resultado direto deste trabalho, que os conhecimentos nele obtidos possam ser aplicados em aulas de geografia que abordem temas de geoprocessamento, geologia, pedologia, urbanização, entre tantos outros possíveis, nesta área de estudo.

Este trabalho de conclusão de curso de licenciatura em geografia, está dividido em seis capítulos, cujo conteúdo é resumido a seguir:

No capítulo 1, Introdução, são apresentados os principais motivadores do estudo, sua relevância e expectativas.

O capítulo 2 sintetiza os objetivos do trabalho, dividido entre objetivo geral e os objetivos específicos.

O capítulo 3 dedica-se à revisão teórica dos conceitos de deslizamento de terra, apresenta seus fatores condicionantes a partir de outros estudos semelhantes e conceitua suscetibilidade, apresentando algumas diferenças com outros estudos, como os de áreas de perigo e de risco, além da importância da sua aplicação em deslizamentos de terra.

No capítulo 4 é apresentado a metodologia utilizada no presente trabalho, que parte da caracterização da área de estudo, passa pelos materiais e métodos, utilizados e termina com o detalhamento da base cartográfica utilizada em cada um dos fatores condicionantes: declividade, geologia, precipitação, proximidade de rodovias e uso e cobertura da terra. Destacam-se como métodos o uso de geoprocessamento para o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos de terra e a ponderação dos pesos de cada fator condicionante, com a utilização do método AHP.

O capítulo 5 apresenta os resultados encontrados no estudo, juntamente com a produção cartográfica de cada fator condicionante, consolidada pelo mapa de suscetibilidade a deslizamentos de terra do município de Picada Café.

Finalmente no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho, com destaque para a importância e relevância do estudo na atividade de docência em geografia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral mapear as áreas de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos no município de Picada Café, Rio Grande do Sul.

2.2. Objetivos específicos

- revisar a literatura e classificar deslizamento como fenômeno natural de movimento de massa, identificando os principais fatores desencadeantes;
- elaborar um mapa de suscetibilidade a deslizamentos do município de Picada Café a partir do método AHP;
- validar as informações do mapa gerado com análise em campo e respectivos registros.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1. Deslizamentos de Terra

O termo deslizamento é usualmente utilizado, em reportagens jornalísticas, para representar o fenômeno caracterizado pela movimentação rápida de terra e detritos ao longo de uma encosta declivosa. Na classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) da Defesa Civil, encontramos o termo deslizamento, como pertencente ao grupo de desastres naturais de ordem geológica de movimento de massa, cuja definição é a seguinte:

Deslizamentos de solo e/ou rocha são movimentos rápidos de solo ou rocha, apresentando superfície de ruptura definida, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais desses movimentos são a presença de fissuras.
(BRASIL)

Como fenômenos naturais, os deslizamentos caracterizam-se pelo deslocamento de terra, sob a ação da gravidade, em um relevo declivoso podendo ser potencializado por fatores climáticos (excesso de chuvas) ou por ações antrópicas (ocupação irregular ou inadequada do solo), que, por vezes, ocasionam prejuízos materiais e, não raramente, perdas de vidas. (BRITO,2014).

Para Dias (2002), um movimento de massa para ser considerado deslizamento, precisa ser de curta duração, com clara distinção do plano de ruptura e do material que foi movimentado. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do estado de São Paulo em conjunto com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por meio das Notas Explicativas das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações nos apresenta uma definição conceitual do que seria um deslizamento:

Deslizamento (*landslide*): movimento caracterizado por velocidade alta, que se desenvolve comumente em encostas com declividade e amplitude média a alta e segundo superfície de ruptura planar (translacional), circular (rotacional) ou em cunha (acompanhando planos de fragilidade estrutural dos maciços terrosos ou rochosos). É geralmente deflagrado por eventos de chuvas de alta intensidade ou com elevados índices pluviométricos acumulados, condicionados por fatores predisponentes intrínsecos aos terrenos. O processo é também denominado escorregamento (IPT/CPRM, 2014).

A paisagem se molda a partir da ocorrência dos deslizamentos, em especial nas regiões com relevo acidentado que, em conjunto com os processos erosivos,

favorecem o recuo das encostas e a formação das rampas coluviais. (VANACOR, 2006) Percebe-se que os deslizamentos podem deslocar grandes volumes de terra ou de materiais inconsolidados como lama e detritos. Geralmente, esses fenômenos ocorrem quando a força da gravidade excede a força coesiva dos materiais da encosta, provocando a saturação do solo e do substrato rochoso em decorrência da combinação de altos índices pluviométricos concentrados em um ambiente geológico instável (GROTZINGER, 2014).

Em que pese esse fenômeno também receber na literatura científica a nomenclatura de escorregamento (RAMOS, 2017), este estudo se utiliza do termo deslizamento para representar um movimento de massa que desloca terra e detritos ao longo de uma encosta declivosa cuja área de abrangência encontra-se definida. A mesma designação é utilizada pelo Cemaden, que ao classificar os movimentos de massa, do tipo deslizamento, utiliza-se da simbologia representada pela figura 1 para a emissão de alertas.

Figura 1-Simbologia de deslizamentos - Cemaden.

Tipo	Simbologia
Deslizamentos	

Fonte: Cemaden

Registros de eventos dessa natureza têm tido uma recorrência cada vez maior em todo o planeta. Ao atingirem áreas ocupadas pelo homem, causam danos e perdas expressivas, sociais, ambientais e econômicas, para as comunidades atingidas e para o poder público (RAMOS, 2017). Segundo Oliveira (2019), os deslizamentos estão entre as principais causas de desastres naturais no Brasil. De acordo com estudos da Confederação Nacional dos Municípios (CNM) sobre danos e prejuízos causados por desastres no Brasil, somente os deslizamentos no ano de 2022 foram responsáveis por 495 mortes, com destaque para Petrópolis na região serrana do Rio de Janeiro com 233 vítimas fatais (CNM, 2022).

Para ilustrar o poder destruidor dos deslizamentos em áreas urbanas, selecionamos três casos, sendo um ocorrido no estado da Califórnia (EUA) em 1º de junho no ano de 2005 (figura 2), e outros dois casos, recentes, ocorridos em maio de

2022 no Brasil, nas cidades de Petrópolis/RJ (figura 3) e em março de 2022 na cidade de Recife/PE (figura 4)

Figura 2-Deslizamento em Laguna Beach, Califórnia/EUA (2005).



Fonte: Grotzinger, 2014. p.465.

Figura 3-Deslizamento em Petrópolis/RJ, em março de 2022- Fonte: Agência Brasil/RJ.¹

Figura 4-Deslizamento em Recife/PE em maio de 2022. - Fonte: MetSul Meteorologia.²



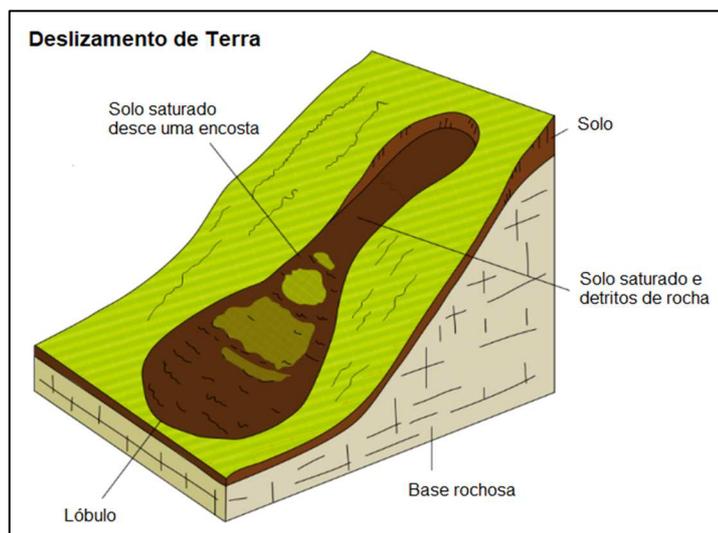
Os deslizamentos se diferenciam basicamente pela sua forma e material deslocado, podendo ser translacional ou rotacional, de terra ou de rocha. O deslizamento translacional ocorre em solos pouco espessos, que apresentam um plano de fraqueza definido, em relação à base rochosa. O deslizamento rotacional

¹ Platonow, V. Petrópolis registrou 250 deslizamentos em 24 horas por causa da chuva. Agência Brasil. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.etc.com.br/geral/noticia/2022-03/petropolis-registrou-250-deslizamentos-em-24-horas-por-cao-da-chuva>. Acesso em 01 de junho de 2022.

² Sias, Estael. Recife vive desastre histórico com 700 mm no mês e chuva seguirá. Metsul. Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://metsul.com/recife-vive-desastre-historico-com-700-mm-no-mes-e-chuva-seguira/>. Acesso em 01 de junho de 2022.

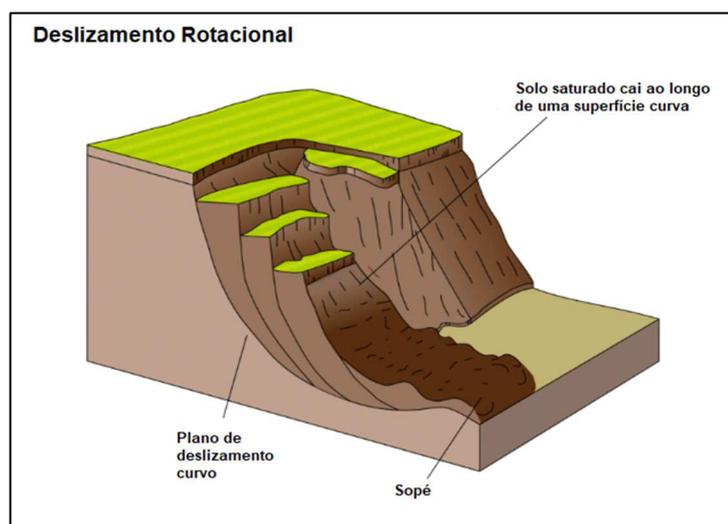
ocorre em solos espessos, homogêneos e com forte presença de rochas fraturadas (MONTROYA, 2013). As figuras 5 e 6 apresentam a representação gráfica dos deslizamentos translacional e rotacional de terra, respectivamente.

Figura 5-Representação gráfica do deslizamento translacional de terra.



Adaptado de Internet Geography 2022.

Figura 6-Representação gráfica do deslizamento rotacional de terra.



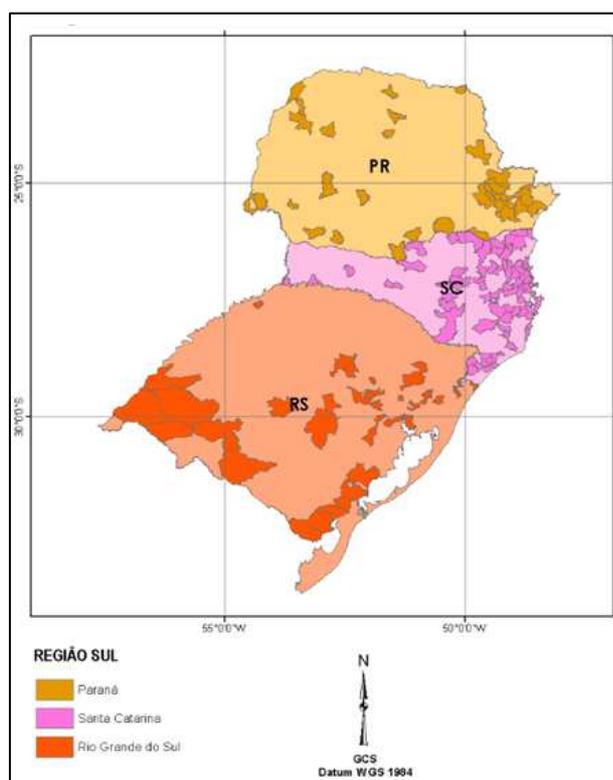
Adaptado de Internet Geography 2022.

Prever e antecipar, com precisão, onde, quando e como ocorreram os deslizamentos de terra, depende de um banco de dados de desastres ainda indisponível, por se tratar de um sistema com infinitos graus de liberdade. (CEMADEN, 2019) Para se aproximar desse objetivo são necessários esforços conjuntos de

diferentes agentes, incluindo os órgãos públicos de mapeamento de desastres, defesa civil, prefeituras, universidades, sociedade organizada, geólogos, geotécnicos, entre outros. No estágio atual, são comumente utilizados dados probabilísticos de ocorrência de desastres naturais, em locais com maior incidência e registros causadores de danos e vítimas.

No Brasil, esse trabalho de monitoramento é realizado em 959 municípios pelo Cemaden, com base em dados fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). No Estado do Rio Grande do Sul somente 39 dos 497 municípios são monitorados, representando 7,85% do total, sendo que o foco do monitoramento ocorre em áreas de risco decorrente de processos hidrológicos como enxurradas, inundações e alagamentos. Já o estado vizinho, Santa Catarina, com 295 municípios, possui 79 destes monitorados pelo Cemaden, representando 26,78% do total. O mapa 1 apresenta os municípios com áreas de riscos para processos hidrológicos e geológicos identificados, mapeados e georreferenciados, monitorados pelo Cemaden. Este cenário reforça o argumento da importância de se mapear as áreas suscetíveis a deslizamentos, já que este mapeamento representa o primeiro passo para a elaboração de mapas de perigo e risco.

Mapa 1-Municípios da região Sul com áreas de riscos para processos hidrológicos e geológicos identificados, mapeados e georreferenciados.

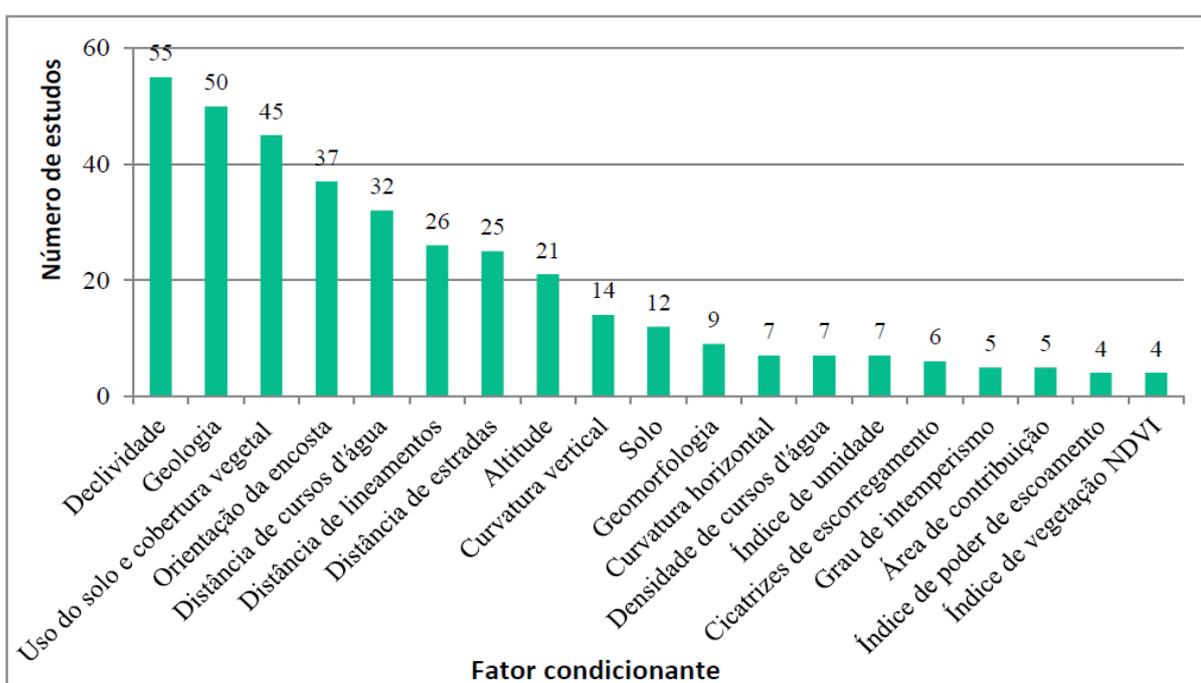


Fonte: Cemaden

3.2. Principais fatores condicionantes

Fatores condicionantes de deslizamentos são fatores estáticos e inerentes ao terreno. Brito (2014) com base na análise de 55 estudos de suscetibilidade a movimentos de massa, incluindo deslizamentos, publicados entre os anos de 2000 e 2013, apontou como fatores condicionantes mais utilizados no mapeamento, com o uso de sistemas de geoprocessamento, a declividade, a geologia, o uso do solo e cobertura vegetal, a orientação da encosta e a distância de cursos d'água e de estradas, conforme gráfico apresentado no gráfico 1.

Gráfico 1-Fatores condicionantes da suscetibilidade a movimentos de massa.



Fonte: Brito (2014).

Estudos como os de Miranda, Oliveira, Silva (2010) e Brito (2014) apontam que a fácil penetração da água da chuva nas camadas de solo próximas a superfície do terreno, em especial em áreas com discontinuidades em solos residuais ou de grande porosidade e plasticidade em solos depositados, são condições com maior predisposição a processos de instabilidade de encostas. Entre os principais fatores condicionantes destacam-se aqueles relacionados às propriedades dos solos, tais como a porosidade, a permeabilidade, a coesão, a granulometria e a textura, entre outros.

O solo tem um papel relevante no caminho seguido pelas águas das chuvas. Solos menos estruturados, característicos de terrenos arenosos, são mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos e, geralmente, se processam nos sulcos deixados por uma enxurrada. A essa forma de erosão são atribuídos os desmoronamentos de aterros de estradas e os bruscos desabamentos, resultantes da erosão subterrânea, que formam grandes galerias e culminam com desabamentos, muitos deles em áreas urbanas. (SILVA et al., 2015).

Brasil (2003) alerta que as áreas eminentes da ocorrência de deslizamento são precedidas por fendas e depressões no terreno, rachaduras nas paredes das casas, inclinações de troncos de árvores, de postes e de cercas, além do surgimento de minas d'água. Castro (2003), por sua vez, alerta que os deslizamentos no Brasil são provocados pela ocupação desordenada e pela saturação do solo das encostas, intensificados por chuvas sazonais intensas e concentradas. Para que ocorram deslizamentos são necessários considerar três fatores: a) o tipo de solo, sua constituição, granulométrica e nível de coesão; b) a declividade da encosta, cujo grau define o ângulo de repouso, em função do peso das camadas, da granulometria e do padrão de coesão; e c) a água de embebição, que constitui para aumentar o peso específico das camadas, reduzir o nível de coesão e o atrito, responsáveis pela consistência do solo e lubrificar as superfícies de deslizamento.

Estudos de Silveira (2014) e Dias (2002), indicam que construções em terrenos em declive, onde houve a retirada da vegetação nativa, favorecem a saturação do solo quando expostos a fluxos d'água intensos, criando um cenário propício a deslizamentos. A infiltração da água em um solo depende, basicamente, de cinco fatores: a) umidade do solo; b) granulometria do solo que condiciona a sua permeabilidade, sendo que quanto mais fino for o solo, menor será a sua capacidade de infiltração; c) ocupação da superfície, em especial aquelas provocadas pela ação humana, como retirada de vegetação e urbanização favorecem o escoamento superficial com a consequente diminuição da infiltração no solo; d) topografia que também favorecem o escoamento superficial em declives acentuados; e) depressões que acumulam a água das chuvas diminuindo a capacidade de escoamento superficial (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

As chuvas interferem diretamente na estabilidade das encostas, em especial em países com clima tropical, como o Brasil, onde ocorrem períodos de intensas e prolongadas precipitações. Esse excesso de água no solo, que supera sua

capacidade de infiltração, têm comportamentos diferentes de acordo com a sua posição na encosta. Quando localizada no topo, zona sem fluxo superficial, não há erosão do solo. Um pouco mais abaixo do topo, esse acúmulo é suficiente para dar início a um fluxo de água. Por sua vez, as áreas localizadas abaixo desse segundo estágio, são aquelas onde o fluxo torna-se canalizado, dando início aos processos erosivos. São nesses pontos que se encontram as áreas mais suscetíveis a deslizamentos (STEIN, 2021).

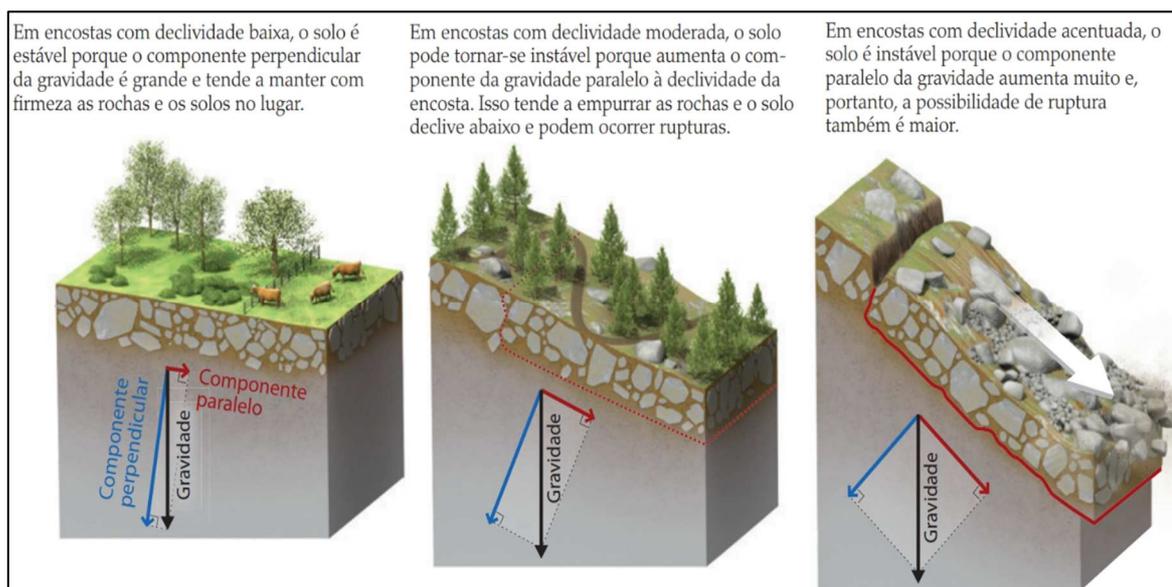
Para a efetividade de um estudo de suscetibilidade a deslizamentos, a precipitação pluvial deve ser considerada em conjunto com variáveis topográficas locais, como elevação, orientação e declividade (BRITO, 2014). Nesse caso uma concentração maior de chuva em um terreno côncavo preenchido por depósitos coluviais representam zonas de convergência de fluxos tanto superficiais quanto subsuperficiais e conseqüentemente maior suscetibilidade a deslizamentos de terra. (FERNANDES et al., 2001).

No presente estudo optou-se pela correlação entre a precipitação e declividade, juntamente com fatores de uso e cobertura da terra, proximidade de rodovias e geologia.

➤ Declividade

Diversos estudos analisaram a declividade preferencial para a ocorrência de deslizamentos, sendo este o fator de fundamental relevância em mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos. Grotzinger (2014), ao analisar a instabilidade das encostas para fins construtivos, estabelece um fator de segurança que é representado pela equação entre força de cisalhamento e tensão de cisalhamento. A figura 7 apresenta a relação entre a declividade e a possibilidade de ruptura das encostas, sendo que quanto maior a declividade, maior a probabilidade da ocorrência de deslizamentos.

Figura 7-Forças em um bloco de solo em diferentes inclinações.



Fonte: Grotzinger, 2014, p.485.

Ross (1994), ao analisar a fragilidade dos ambientes naturais, dividiu a declividade do terreno em cinco classes, listadas a seguir, na tabela 1.

Tabela 1-Categorias hierárquicas e classes de declividade do terreno.

	Classes de declividade (em graus)	Classe de fragilidade
1	<4	Muito fraca
2	De 4 a 7	Fraca
3	De 7 a 12	Média
4	De 12 a 17	Forte
5	>17	Muito forte

Adaptado de Ross (1994).

Stabile (2013), ao realizar estudo sobre os fatores condicionantes de estabilidades das encostas nos municípios paulistas de Cunha, Guararema, São Luiz da Paraitinga e Ubatuba, apontou uma tendência a uma maior probabilidade de deslizamentos em terrenos com declives entre 20° e 40°, com baixa incidência em terrenos com declives inferiores a 15° e uma tendência de diminuição de incidência em declives superiores a 40°. Estudo de suscetibilidade a deslizamento de Canavesi (2013) realizado no município de Paraibuna/SP, utilizou a seguinte classificação da tabela 2 para o fator declividade, incluindo ainda, os respectivos pesos de pertinência.

Tabela 2-Classificação para o fator declividade, incluindo os respectivos pesos de pertinência utilizados em estudo de suscetibilidade a deslizamentos de terra no município de Paraibuna/SP.

Declividade (em graus)	Morfologia	Peso
Maior que 45	Montanhoso	1,0
20 a 45	Forte ondulado	0,8
8 a 20	Ondulado	0,5
3 a 8	Suave Ondulado	0,3
0 a 3	Plano	0,2

Adaptado de Canavesi (2013).

Coutinho (2016), destaca uma maior probabilidade de deslizamentos em declive entre 25° e 45° e propõe a seguinte classificação:

- Baixa entre 0 e 15°
- Média entre 15 e 25°
- Muito Alta entre 25 e 45°
- Alta entre 45 e 90°

Oliveira et al. (2019), ao realizarem estudos sobre modelos de suscetibilidade a deslizamentos na bacia do Rio Fão, no estado do Rio Grande do Sul, identificaram uma tendência maior a ocorrências de deslizamentos em terrenos com declividade entre 17° e 37°, ao passo que terrenos com declividade até 14° foi nula a ocorrência de deslizamentos.

Riffel et al. (2021), ao realizar estudos sobre a relação entre o ponto de ruptura e o padrão morfométrico em deslizamentos na bacia hidrográfica do Rio Rolante/RS, identificou que a maioria dos pontos de ruptura ocorreram em taludes com declividade mediana, entre 20° e 35° após a ocorrência de precipitações intensas. Maccari et al. (2022), ao analisar a suscetibilidade a deslizamentos no município de Ascurra/SC, apontou uma maior probabilidade de deslizamentos em terrenos com declives entre 10° e 40°.

Oliveira et al. (2019), apresentam que os deslizamentos de terra são mais prováveis de ocorrer em formas de relevo com encostas convergentes e côncavas, devido à concentração de escoamento nesta unidade de relevo. Porções côncavas do relevo constitui a condição geomorfológica mais favorável para a ocorrência de deslizamentos, segundo Pinheiro (2000). Essa formação se assemelha com aquela encontrada na região urbana do município de Picada Café, onde a planície, por onde

passam os leitos do Rio Cadeia e dos Arroios Macaquinho e Isabel, sofreu intervenções antrópicas (moradias, indústrias, comércio, agricultura e pecuária).

➤ Geologia

Em relação aos aspectos geológicos condicionantes para a ocorrência de deslizamentos, destacamos aqueles relacionados a geodinâmica terrestre externa como o intemperismo, a erosão hídrica. O intemperismo compreende o conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos que, atuando sobre as rochas, provocam a sua desintegração e decomposição, enquanto a erosão hídrica, considerada a mais impactante na modelagem das paisagens brasileiras, o material resultante da decomposição das rochas é desagregado e movimentado para outras áreas (BRASIL, 2003).

Precipitações intensas e prolongadas são consideradas fatores desencadeantes de deslizamentos quando são concentradas em áreas com relevo predisponente, cujo substrato rochoso apresenta descontinuidades estruturais, como falhas, fraturas, juntas, planos de estratificação, xistosidade e diaclases aliados a uma litologia com graus de coesão, resistência e permeabilidade que influenciam diretamente na drenagem, textura e resistência da rocha aos processos de intemperismo (BRITO, 2014). Solos com forte tendência arenosa, com baixa plasticidade, pH ácido e baixa matéria orgânica, são os condicionantes físicos e químicos, propícios à ocorrência de deslizamentos, quando expostos a grande concentração de chuvas (LIMA, 2006).

Camadas pouco profundas de solos sedimentares sobrepostas em rochas maciças impermeáveis constituem o ambiente mais favorável à instabilidade de encostas (BRITO, 2014). Por outro lado, os solos arenosos, em especial a areia grossa, possuem baixo risco de deslizamento de terra se comparados com os solos com textura mais argilosa (SILVEIRA, VETTORAZZI e VALENTE, 2014).

Por sua vez, Grotzinger (2014) aponta três fatores primários que influenciam os deslizamentos: a natureza do material da encosta, a quantidade de água contida nos materiais e a declividade das encostas. No quadro 1 é apresentado um resumo da combinação destes fatores na estabilidade das encostas:

Quadro 1-Fatores que influenciam os deslizamentos.

Natureza do material da encosta	Conteúdo de água	Declividade da encosta	Estabilidade da encosta
Não Consolidado			
Areia ou silte arenosos soltos	Seco	Ângulo de repouso	Alta
	Úmido		Moderada
Mistura inconsolidada de areia, silte, solo e fragmentos de rocha	Seco	Moderada	Alta
	Úmido		Baixa
	Seco	Íngreme	Alta
	Úmido		Baixa
Consolidado			
Rocha diaclasada e deformada	Seco ou úmido	Moderada a íngreme	Moderada
Rocha maciça	Seco ou úmido	Moderada	Alta
	Seco ou úmido	Íngreme	Moderada

Adaptado de Grotzinger (2014).

➤ Vegetação

A presença de vegetação, em especial as raízes de árvores nativas, favorecem a estabilidade do solo (BRITO, 2014). Quando removidas, podem desencadear ou acelerar processos erosivos nas vertentes e encostas, deslocando pela força da gravidade, camadas de solo, blocos e rochas para o sopé das vertentes, quando expostos a índices pluviométricos de grande magnitude. Segundo Miranda, Oliveira e Silva (2010), manter a vegetação é benéfico pois intercepta uma parcela da água das chuvas, retornando para a atmosfera por meio da evaporação, sem atingir o solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Greenway (1989 apud Brito, 2014), aponta controvérsias em relação a presença de vegetação para a estabilização das encostas, porém destaca os principais fatores favoráveis:

- absorção e evaporação reduzindo a água disponível para a infiltração;
- redução da energia das gotas de chuva e conseqüentemente da erosão;
- grande irregularidade no fluxo de água, reduzindo a sua velocidade;
- retirada de umidade, a qual é perdida na atmosfera por transpiração;
- maior armazenamento e maior volume de água armazenada;
- redução da poro-pressão e aumento da sucção e conseqüentemente da resistência do solo;
- restrição de movimento de solo, reduzindo a erodibilidade;
- aumento da resistência ao cisalhamento através da formação de uma matriz de raízes;
- raízes que penetram em grandes profundidades, provocam a ancoragem em um estrato firme e o suporte da camada de solo acima das árvores no talude, por arqueamento e contraventamento;
- caules e folhas cobrem a superfície do solo, então o impacto do trânsito é absorvido, protegendo a superfície contra danos;
- as folhas caem no solo, cobrindo-o e protegendo contra a erosão.

Para Silveira, Vettorazzi e Valente (2014), a cobertura vegetal é fundamental na estabilização das encostas, pois o sistema radicular preenche poros solo, retardando o processo de infiltração de água pluvial. Brito (2014) reforça a ideia de que é melhor ter essa cobertura desde que apresente variabilidade de extratos vegetais de diferentes formas, profundidades, diâmetros, comprimento, resistência e densidade de raízes, em especial as árvores nativas.

➤ Rodovias

Rodovias localizadas em terrenos declivosos são fatores antrópicos que merecem a atenção para estudos de suscetibilidade de deslizamentos. Montoya (2013) alerta da importância de considerar a proximidade de rodovias, em especial em países que privilegiam o transporte rodoviário e possuem o relevo acidentado, como ocorre no Brasil. Desconsiderar este fator pode ocasionar graves problemas de instabilidade de taludes, não só pela capacidade de ocasionar transtornos como a

interrupção de vias, mas também, e principalmente, pela possibilidade de ocasionar danos materiais e perdas de vidas humanas. (MONTROYA, 2013).

Projetos inadequados de sistemas de drenagem, aliados a desestabilização mecânica do solo, devido à saturação e sobrecarga, intensificados por altos índices pluviométricos, são problemas típicos relacionados com estradas de encostas em países em desenvolvimento (BRENNING et al., 2015). Estes locais são geralmente associados à instabilidade decorrente de ações antrópicas, pois, para a sua construção, são realizados recortes no terreno, que aumentam as tensões de cisalhamento (SOTHE et al., 2017). Brenning (2015), ao analisar a suscetibilidade a deslizamentos nas proximidades de rodovias da região das montanhas andinas no sul do Equador, identificou que a maioria das ocorrências são identificadas a uma distância de 25 m da estrada.

Alguns movimentos de massa de baixa intensidade, como as quedas de blocos e as quedas de barreira, são corriqueiras em rodovias de encostas da região da Serra Geral, no estado do Rio Grande do Sul. A figura 8 exemplifica tais eventos e foi presenciado pelo autor, em agosto de 2022, quando trafegava pela rodovia federal BR-116, localizada no sul do Brasil, entre os municípios de Picada Café e Nova Petrópolis. Esse evento bloqueou a principal ligação entre as duas cidades, exigindo desvios por estradas vicinais, sem asfaltamento e aumentando o percurso e o tempo de deslocamento.

Figura 8-Queda de barreira BR 116 em Nova Petrópolis/RS.



Foto: Milton Ribeiro Junior

Em outra esteira, eventos de deslizamentos, de grande proporção, vem ganhando espaço no noticiário nacional, recentemente. Na data de 28 de novembro

de 2022, houve o registro, no estado do Paraná, de um deslizamento de terra ocorrido na rodovia BR-376, arrastando 15 carros e 6 caminhões, atingindo 14 pessoas e vitimando dois caminhoneiros. Esta tragédia decorreu de fortes chuvas que caíram na região entre os dias 26 e 30 de novembro de 2022, estimadas em 159,2mm. A figura 9 apresenta um retrato da abrangência do fenômeno. Nela é possível visualizar parte dos veículos soterrados em meio aos escombros.³

Figura 9-Deslizamento na rodovia BR-376 no estado do Paraná.



Foto: CBMSC/ Jornal Estado de Minas

3.3. Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos

O conceito de suscetibilidade está diretamente relacionado com a propensão à ocorrência de fenômenos adversos, independentemente da sua previsibilidade (IPT/CPRM, 2014). Trata-se da predisposição de um terreno, de ser afetado por um deslizamento, considerando as suas características próprias. Entre essas características destacam-se a cobertura de solo, declividade, usos do solo, origem geológica, entre outros. Terreno em declive, com forte presença de materiais não coesivos, que favorecem o aumento da poropressão, quando expostos a altos

³ Reportagem do jornal o Estado de Minas, veiculada na data de 30 de nov. 2022, às 13:14. Disponível em:<

https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2022/11/30/interna_nacional,1427658/parana-deslizamento-na-br-376-deixa-ao-menos-30-desaparecidos.shtml> Acesso em 05 de Nov de 2022.

volumes pluviométricos, podem suscitar a ocorrência de deslizamentos. (MONTROYA, 2013)

Em uma análise de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos são considerados somente os fatores predisponentes intrínsecos à natureza dos terrenos sem considerar outros aspectos como resiliência, ou seja, a capacidade dos integrantes de uma comunidade atingida de se reorganizar e se recuperar plenamente dos efeitos. Para que isso seja possível, outros fatores, relacionados à ocupação antrópica devem ser incorporados ao estudo (IPT/CPRM, 2014).

O mapeamento da suscetibilidade constitui o primeiro levantamento realizado em uma possível área de risco, que é complementado pelos mapas de vulnerabilidade, perigo e risco. Para diferenciar cada um dos levantamentos, serão utilizados os conceitos definidos por IPT/CPRM (2014):

Suscetibilidade: propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área;

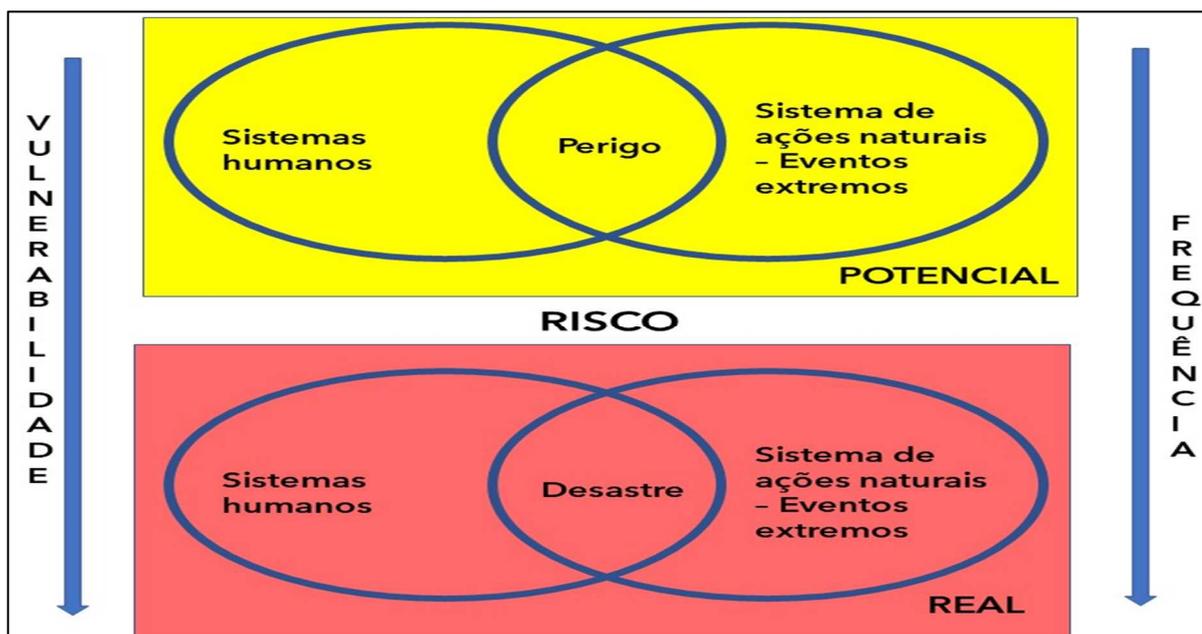
Vulnerabilidade: grau de perdas e danos associados aos elementos expostos (0 a 1); quanto maior o grau, maior a vulnerabilidade;

Perigo: condição com potencial para a geração de perdas e danos num dado período; periculosidade ou perigosidade;

Risco: uma medida da ameaça e das consequências (financeiras, bens, vidas) que esta poderá causar num dado intervalo de tempo.

Percebe-se, pelos conceitos acima, que dependendo do tipo de abordagem, ele pode ser classificado de diferentes formas. Com essa visão, Marcelino (2008) distingue os conceitos de perigo, desastre e risco. O autor considera que o perigo se constitui numa situação potencial de danos a pessoas e bens, sendo que o desastre seria a materialização desse perigo, ocasionando severos e extensos danos, enquanto o risco se traduz pela capacidade de medir até que ponto um perigo pode se tornar um desastre, considerando, antecipadamente, a vulnerabilidade ou a fragilidade do ambiente socialmente construído. A figura 10 demonstra a relação, potencial e real, existente entre o perigo e o risco, considerando o grau de vulnerabilidade local e a frequência de eventos.

Figura 10-Relação entre perigo e risco.



Adaptado de Marcelino (2008).

Castro (2003), ao analisar os desastres naturais decorrentes de processos geológicos da dinâmica das encostas, destaca aqueles relacionados com sedimentação (movimentos gravitacionais de massa ou processo de transporte de massas) como os de maior incidência no Brasil e que anualmente produzem intensos danos materiais e ambientais, assim como, significativos prejuízos sociais e econômicos.

Segundo registros da CNM, entre os anos de 2013 e 2022, os desastres naturais no Brasil causaram um prejuízo de R\$ 341,3 bilhões e afetaram mais de 347 milhões de pessoas. Esses desastres decorrentes em sua maioria por mudanças climáticas e ações antrópicas causam a paralisação de serviços essenciais como o abastecimento de água e energia elétrica, além de provocar mortes, ferimentos, doenças entre outros efeitos à população afetada (CNM, 2022).

Visando reduzir o risco de desastres no Brasil, foi aprovada a Lei 12.608 de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC). Esta lei prevê em seu art.2º que é dever do poder público, com a colaboração de entidades privadas e da sociedade em geral, adotar medidas necessárias à redução dos riscos de desastres. Tais medidas devem ser preventivas e mitigadoras da situação de risco e independe da sua incerteza. O mesmo regramento explicita ainda, no seu artigo 5º,

que constitui um dos objetivos da PNPDEC promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência.

Nesse sentido, além de cumprir com diretrizes legais, o mapeamento de suscetibilidade é uma ferramenta que auxilia na redução de risco de desastres pois, permite identificar, de maneira eficaz e com baixo custo (RAMOS, 2017), qual a facilidade relativa que um talude tem de ser afetado por um deslizamento. A análise por meio de um mapeamento de suscetibilidade constitui, portanto, o primeiro passo para o adequado planejamento urbano e de uso do solo, e é um pré-requisito para futuros estudos de avaliação de riscos a deslizamentos em certa localidade (BRITO, 2014).

Estudos de suscetibilidade a deslizamentos foram temas de diversos trabalhos em localidades brasileiras, entre eles destacamos: (BRITO, 2014) em Porto Alegre/RS, (CANAVESI et al.2013) em Paraibuna/SP e (DIAS; HERRMANN, 2002) em Florianópolis/SC. Estes trabalhos tiveram em comum o emprego de ferramentas de geoprocessamento, com a utilização de variáveis físicas e ambientais como a declividade, a geologia, a geomorfologia, a distâncias de lineamentos, o uso do solo e a cobertura vegetal.

Oliveira et al.(2019) ao analisar a suscetibilidade a deslizamentos na bacia do rio Fão/RS, se valeu de imagens de resolução espacial de 30 m do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da USGS/NASA 2013. Foram utilizados atributos preditivos, como a orientação a inclinação do relevo, declividade, topografia, fator LS, índice de umidade topográfica (TWI) e proximidade das redes de drenagem, entre outros. Este estudo merece destaque pela proposta de um modelo genérico que pudesse ser aplicado em diferentes localidades, com o uso de mapas em escala global, na escala de 1:250.000.

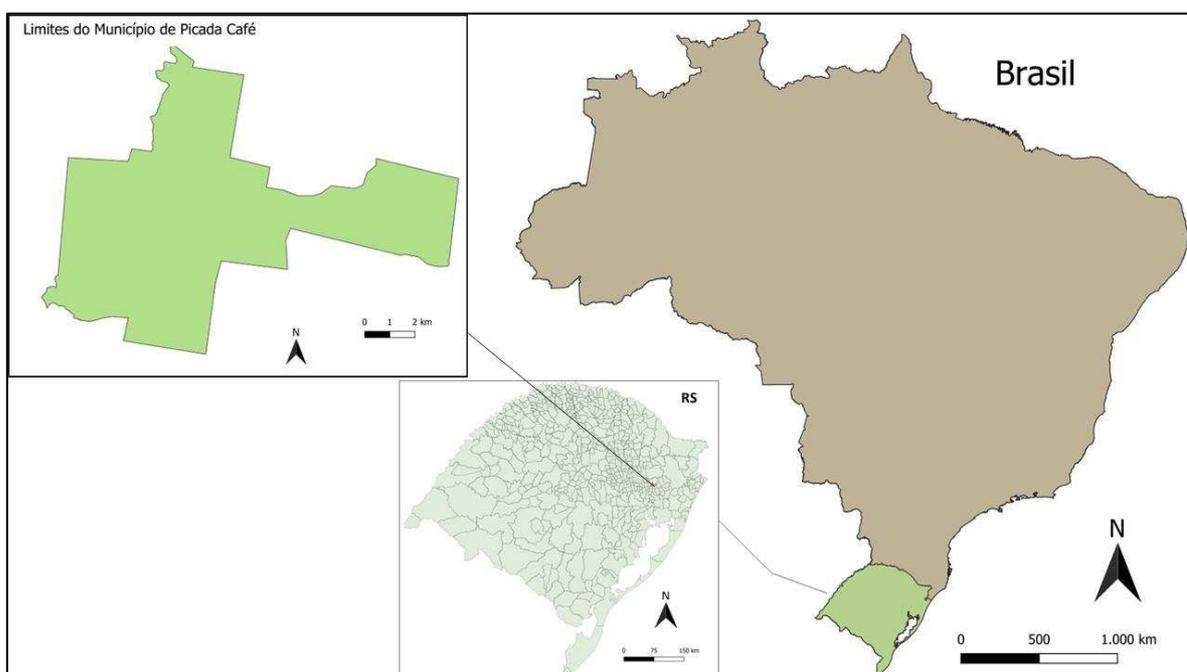
Os resultados destes trabalhos indicam que a aplicação de geoprocessamento em estudos de suscetibilidade é uma maneira efetiva, ágil e acessível de se identificar áreas que mereçam maior atenção em relação às dinâmicas do solo, “reduzindo os esforços nas etapas de gestão de riscos, possibilitando ao gestor priorizar os mapeamentos mais detalhados nas áreas com maior suscetibilidade” (BRITO, 2014).

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

Conhecida como a cidade dos lírios, o município de Picada Café está localizado na mesorregião Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, no extremo sul do Brasil (mapa 2). Com área de 83,80 km², foi criado por meio da Lei Ordinária Estadual nº 9546 de 20 de março de 1992, emancipou-se de Nova Petrópolis.

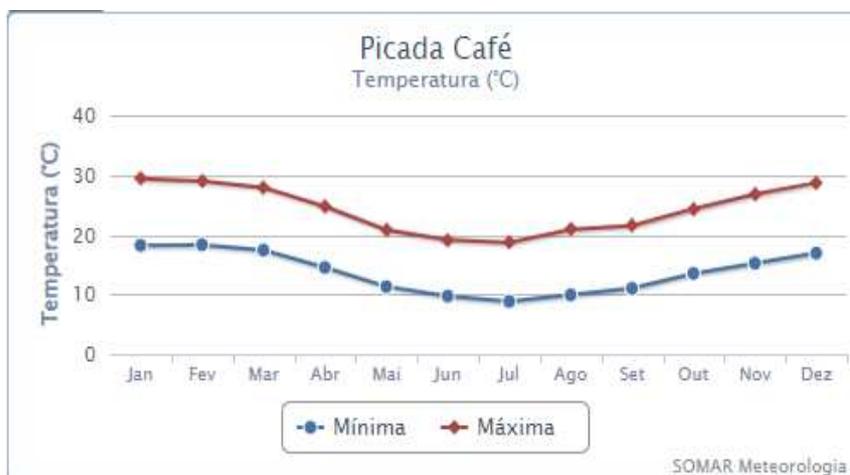
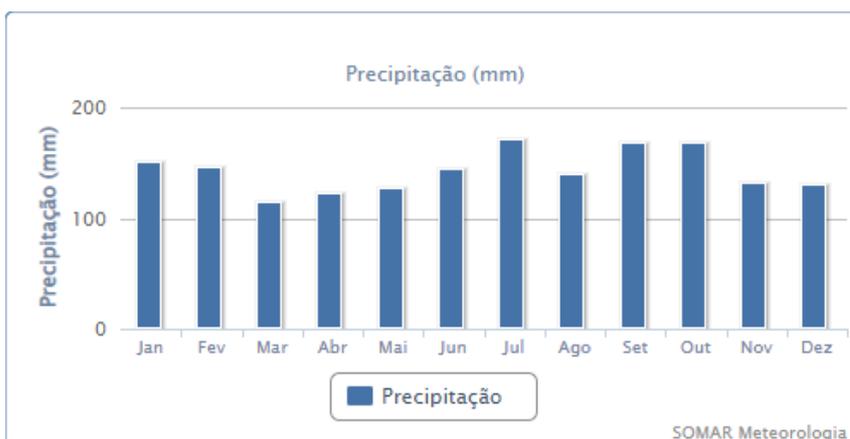
Mapa 2-Localização do município de Picada Café.



Elaborado pelo autor a partir de dados vetoriais do IBGE.

Distante aproximadamente 80 km de Porto Alegre, Picada Café faz divisa ao norte com Nova Petrópolis, ao sul com Morro Reuter e Presidente Lucena, ao leste com Santa Maria do Herval e ao oeste com o município de Linha Nova.

O clima é temperado, subtropical úmido, mesotérmico brando (IBGE, 2002) com médias entre 13,75° e 24,32° C, e chuvas regularmente distribuídas ao longo do ano, tendo precipitação média mensal em torno de 142 mm, com o mês de julho com maior média acumulada de chuva (170,8 mm) enquanto o mês de março é o mais seco (114 mm), (IRGA, 2022), conforme dados apresentados nos gráficos 2 e 3 e na tabela 3.

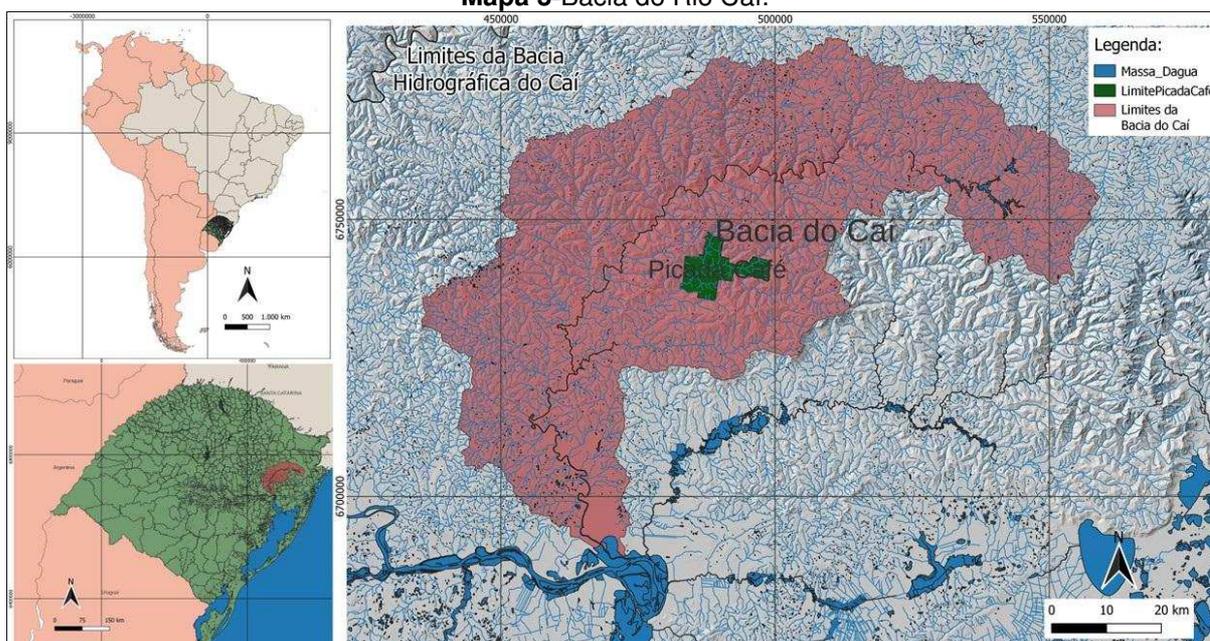
Gráfico 2-Temperaturas Médias de Picada Café.**Gráfico 3-Índices de Precipitação Média de Picada Café.****Tabela 3-Médias Climatológicas de Picada Café (1981-2010).**

Mês	Temp Min.	Temp Max.	Chuva
Jan	18.2 °C	29.4 °C	151.1 mm
Fev	18.3 °C	29 °C	145.4 mm
Mar	17.4 °C	27.9 °C	114 mm
Abr	14.5 °C	24.7 °C	121.3 mm
Mai	11.3 °C	20.8 °C	127.4 mm
Jun	9.7 °C	19.1 °C	144.7 mm
Jul	8.8 °C	18.7 °C	170.8 mm
Ago	9.9 °C	20.9 °C	139.5 mm
Set	11 °C	21.5 °C	167.6 mm
Out	13.5 °C	24.3 °C	167.5 mm
Nov	15.2 °C	26.8 °C	131.1 mm
Dez	16.9 °C	28.7 °C	130.3 mm

Fonte: Irga (2022)

Pertencente à bacia do Rio Caí (mapa 3) o rio Cadeia é o principal rio do município de Picada Café, com suas nascentes em Santa Maria do Herval até Morro Reuter e recebendo as águas Arroio Tapera, também conhecido como Macaquinhos, no bairro de Jammerthal, dos Arroios Terra, Sander e dos Bugres, no bairro de Joaneta; dos arroios Isabela e Tigre no Kaffeck e Centro; do arroio Pedras Brancas no bairro Esperança; do arroio Picada Holanda, no bairro de mesmo nome e do arroio dos Ratos no bairro de Lichtenthal.

Mapa 3-Bacia do Rio Caí.



Elaborado pelo autor a partir de dados vetoriais da SEMA/RS.

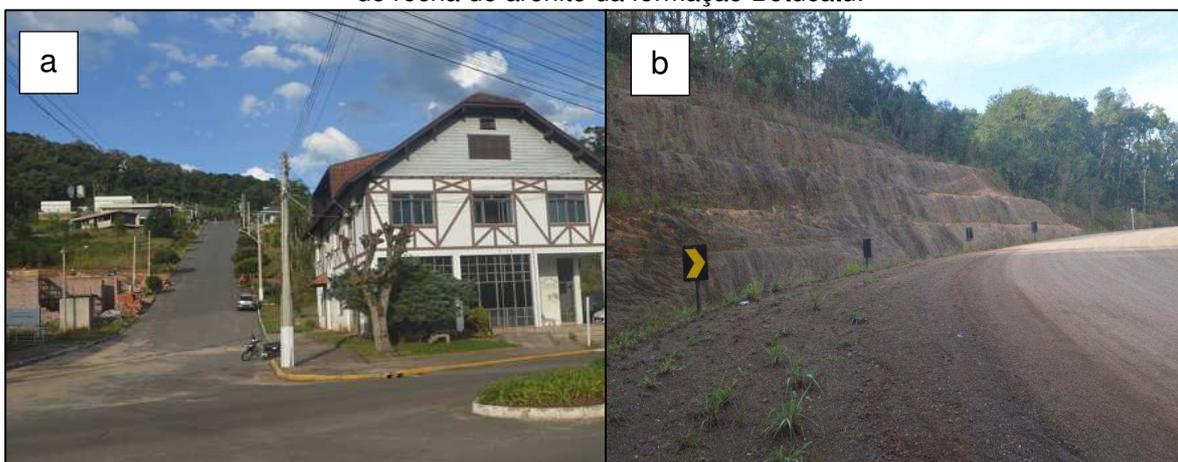
Picada Café está localizada na encosta sul da Serra Geral brasileira, na bacia do Paraná (CPRM, 2006) e possui terreno acidentado, com superfícies elevadas por camada magmáticas de derrame basáltico com altitudes que vão de 55,6m a 640m. Segundo a classificação do Mapa exploratório de solos do estado do Rio Grande do Sul, o município está localizado, integralmente, na Associação Complexa de Solos Litólicos eutróficos A. (IBGE, 2002). A litologia local é caracterizada pela presença de Chernossolos Argilúvico Órtico (MTo) na faixa central, com altitudes próximas à 100m, onde predomina a formação Botucatu; de Neossolos Litólico Chernossólico (RLm) na metade norte, que se estende até a divisa com Nova Petrópolis e de Nitossolos Vermelhos Eutróficos (NVef), na metade sul, até a divisa com o município de Morro Reuter. No extremo norte e no extremo leste encontram-se ainda vestígios de Nitossolos Brunos Alumínicos (EMBRAPA, 2018).

Pinheiro (2000), ao analisar os aspectos litológicos, em nível macro, da Serra Geral, predominante na topografia da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, onde se localiza a cidade de Picada Café, destaca na parte superior dos derrames vulcânicos a incidência de rochedos de basaltos, andesitos e rochas ácidas, enquanto em sua base encontramos camadas de arenito Botucatu de origem eólica com vários graus de cimentação. Ramos (2017), ao mapear áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos no Brasil, apontou o município, juntamente com outras cidades da região nordeste do Rio Grande do Sul, como área sujeita à ocorrência desse fenômeno, conforme trecho a seguir:

O Rio Grande do Sul, com uma área de 606,29 km² ou 0,22% da área total do estado, é o segundo mais afetado da região. Os municípios mapeados com os maiores setores urbanos suscetíveis a escorregamentos localizam-se nas porções leste e nordeste do estado, destacando-se, entre outros, Nova Petrópolis, Gramado, Picada Café, Rolante e Santa Maria do Herval (RAMOS, 2017).

As principais áreas edificadas (Centro, Bela Vista, Joaneta, Kaffeck, Esperança e São João) estão localizadas na região de depressão, com altitudes entre 55,6m e 131m, onde predomina a Formação Botucatu. Nas encostas, a cobertura vegetal nativa, domina a paisagem, embora venha ao longo dos anos, sendo gradativamente substituída por estradas e casas, onde os moradores podem usufruir da vista dos vales, proporcionada pelos terrenos mais elevados (figura 11(a)). Na construção das estradas, o terreno acidentado das encostas precisou ser moldado com recortes que permitissem a circulação dos veículos. Basta andar por essas ruas para perceber a presença das rochas de arenito da formação Botucatu que formam a base da região (figura 11(b)).

Figura 11-Caracterização do Local de estudo (a) Presença antrópica nas encostas; (b) Afloramento de rocha de arenito da formação Botucatu.



Fotos: Milton Ribeiro Junior

Ao realizar esses recortes, os sedimentos de arenito se misturam com o horizonte superficial A, chermozênico argilúvico, depositados na base dos morros, criando assim uma camada de alguns poucos metros que servem para dar sustentação às vias urbanas. A figura 12 apresenta um recorte de aproximadamente 7m de profundidade realizado em um terreno, localizado a uma distância de 300m do afloramento de arenito Botucatu da figura anterior, na região central do município de Picada Café. Percebe-se uma base consolidada da formação Botucatu coberta por uma camada de sedimentos decorrentes dos trabalhos de terraplanagem realizados na pavimentação da avenida.

Figura 12-Recorte de terreno localizado na região central de Picada Café.



Foto: Milton Ribeiro Junior

Em decorrência direta dos recortes nos morros para a construção de vias, algumas residências, ao serem construídas, precisaram de um trabalho extra de sustentação e suporte do terreno, com o uso de muros de arrimo ou estruturas reforçadas de concreto (figura 13(a) e 13(b)).

Figura 13-Muros de arrimo na área urbana do município de Picada Café.



Fotos: Milton Ribeiro Junior.

Preocupada em ordenar adequadamente o crescimento urbano da cidade, o município de Picada Café possui uma legislação específica sobre o parcelamento do solo, a Lei nº 650 de 08 de novembro de 2000⁴ que prevê em seu art. 4º:

“Art. 4 O parcelamento do solo nas zonas urbanas ou de expansão urbana não será permitida:

(...)

IV - em áreas com inclinação igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo, em caso de conveniência, determinada pela autoridade competente.

Parágrafo único. Em caso de resolução, com fundamento neste inciso, além das exigências do artigo 11 desta Lei, poderão ser solicitados muros de arrimo, calçamento e outras providências necessárias.

V - em áreas cujas condições geológicas não aconselham a edificação”

Com base nesta lei podemos inferir que para o estudo de áreas suscetíveis a deslizamentos na área urbana do município se faz obrigatório uma análise de declividade e uma análise geológica.

4.2. Materiais e Métodos

A geração de mapas de suscetibilidade pode ser feita por meio de três métodos distintos: o determinístico, o estatístico e o heurístico. O primeiro método, determinístico, exige estudos detalhados de modelos físicos como solo, geologia e hidrografia. O método estatístico, por sua vez, exige inventário histórico de deslizamentos ocorridos na área de estudo. Assim o estudo de suscetibilidade com o uso do método heurístico ou empírico torna-se uma opção adequada quando não se tem dados detalhados nem inventários extensos (BRITO et al, 2017).

Como metodologia, foram utilizados dados georreferenciados, com informações sobre uso e cobertura da terra, declividade, precipitação média anual, geologia e proximidade de rodovias com valores de importância variados e aplicados a modelagem de suscetibilidade a deslizamentos da lógica de Média Ponderada AHP, obtendo assim pesos dos fatores.

⁴ Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/parcelamento-do-solo-picada-cafe-rs?o=tcers>

Escolhidos os fatores determinantes e o método de análise, resta definir a forma como os dados coletados serão manipulados, tratados e divulgados. Nesse momento entram as ferramentas computacionais de geoprocessamento, conhecidas como Sistema de Informações Geográficas (SIG) que, segundo Schmidt (2016), possuem a capacidade de realizarem análises complexas, integrando dados de diferentes fontes e gerando produtos cartográficos (mapas) que representam a superfície terrestre. No presente estudo, optou-se, pelo tratamento e processamento dos dados, no programa SIG QGIS, pela facilidade de obtenção, gratuidade e por ter sido o software utilizado nas práticas das disciplinas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Na ponderação dos pesos dos diferentes fatores, utilizou-se o Processo Analítico Hierárquico, acrônimo do termo em língua Inglesa *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Desenvolvido na década de 1970, por Thomas Saaty, o AHP auxilia na tomada de decisão complexa, onde cada fator recebe um peso que expressa a intensidade predominante sobre outro em relação à tomada de decisão (SILVA, 2009).

Seguindo a escala de Saaty (quadro 2), os fatores são organizados hierarquicamente e comparados entre si, e um valor de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, formando uma matriz de comparação em frações entre 1/9 e 9. De acordo com a escala, aqueles fatores de maior importância relativa, recebem as maiores notas, sendo que o valor 9, representa a máxima relevância ou importância absoluta, quando comparado com os demais fatores.

Quadro 2-Escala de Saaty com os 9 pesos fundamentais de julgamento comparativo.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Equiparada	Contribuição equiparada para o objetivo
3	Importância Moderada	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro.
5	Importância Forte	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro.
7	Importância Muito Forte	Um objetivo muito fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática.
9	Importância Absoluta	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos.

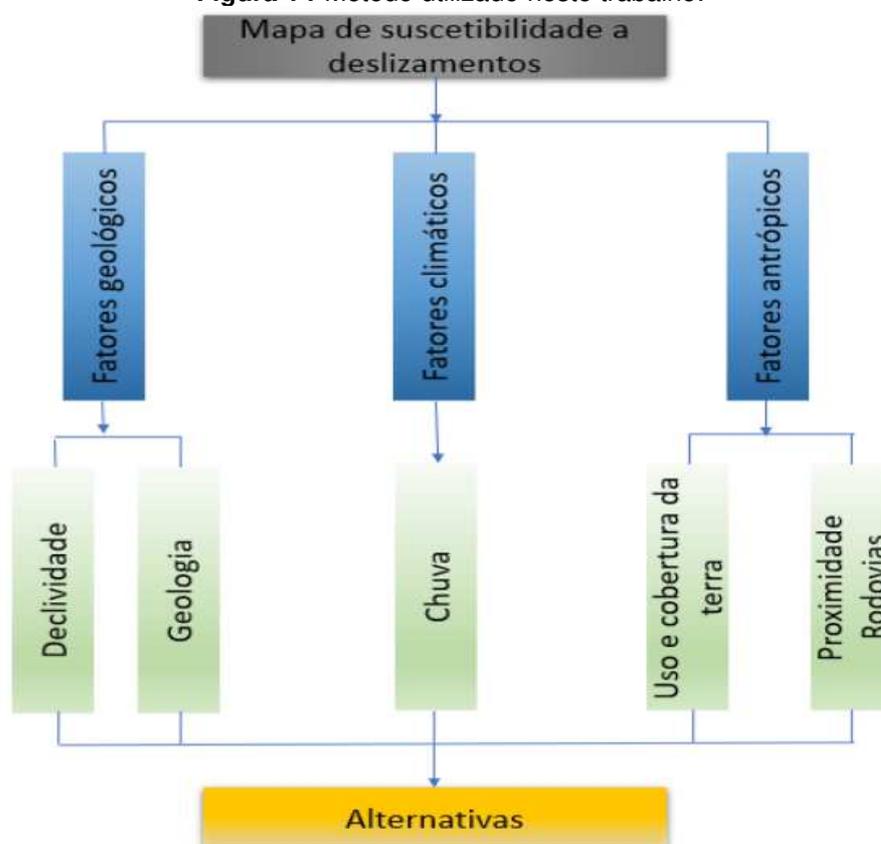
Fonte: Pinese Júnior e Rodrigues (2012).

Neste trabalho, foram definidos de forma empírica, graus de importância para cada um dos cinco fatores, e comparados em pares. De acordo com os pesos de importância relativa da escala Saaty, ao fator declividade foi atribuído grau de importância muito forte, ao fator geologia atribuiu-se importância forte, importâncias equiparadas foram atribuídas aos fatores Uso e Cobertura e Proximidade de Rodovias (1), e, finalmente, o fator precipitação recebeu o menor grau de importância em comparação aos demais fatores. O quadro 3, a seguir, apresenta a matriz de importância relativa AHP, operacionalizado em uma planilha eletrônica Excel da Microsoft. Na sequência, a figura 14 apresenta a representação gráfica do método utilizado neste estudo.

Quadro 3-Matriz de importância relativa AHP.

Fator	DECLIVES	CHUVA	GEOLOGIA	RODO	USOS
DECLIVES	1	9	3	7	7
CHUVA	0,11111111	1	0,25	0,5	0,5
GEOLOGIA	0,33333333	4	1	5	5
RODO	0,1428571	2	0,2	1	1
USOS	0,1428571	2	0,2	1	1

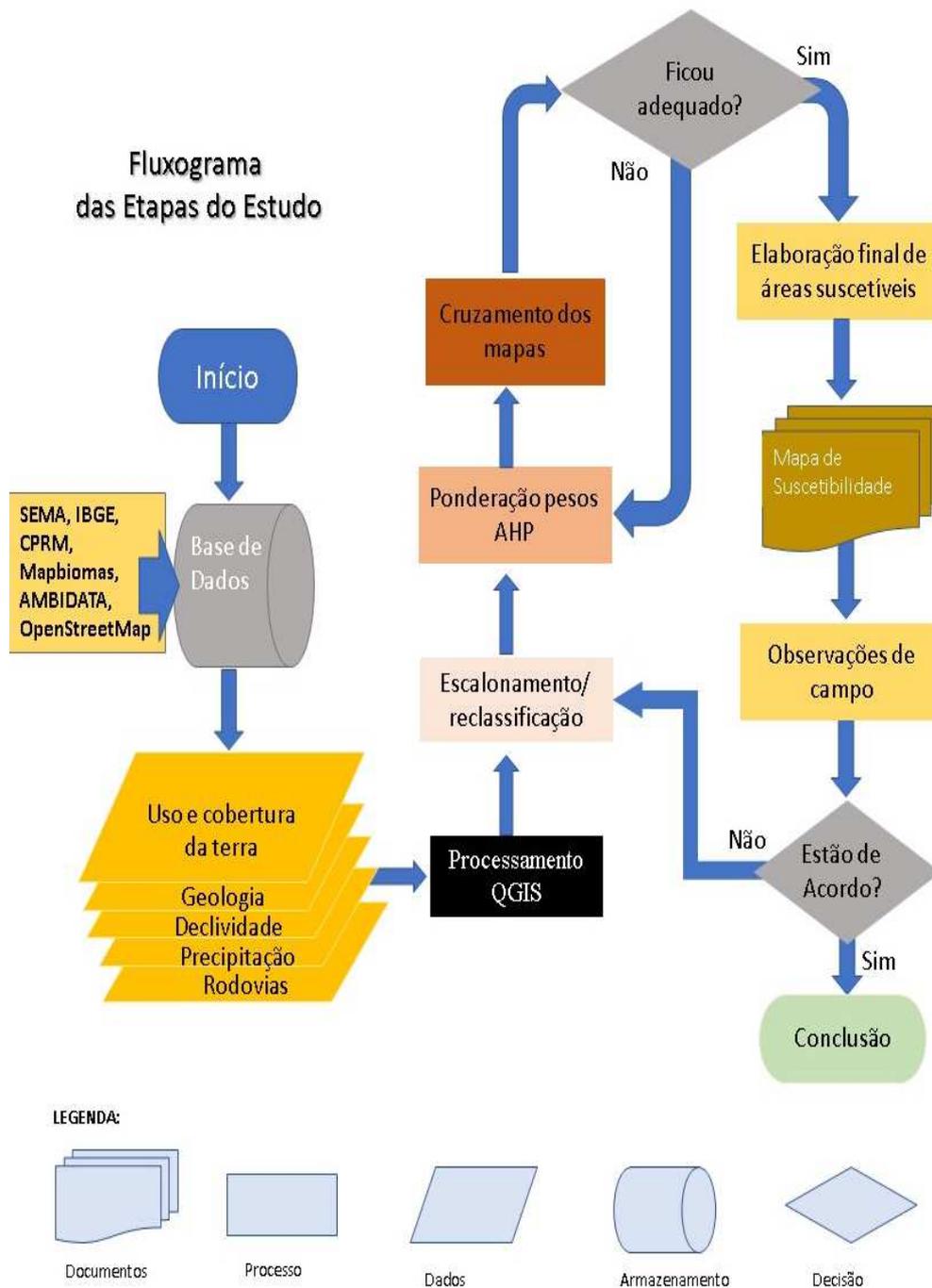
Figura 14-Método utilizado neste trabalho.



Adaptado de BAHRAMI (2021).

O presente estudo utilizou dados obtidos em sítios da Internet de institutos e órgãos governamentais, públicos e especializados em cada objeto de análise. A seguir temos o fluxograma (figura 15) das etapas de processamento, elaboração de mapas, classificação e conferência das informações.

Figura 15-Fluxograma das etapas do estudo.



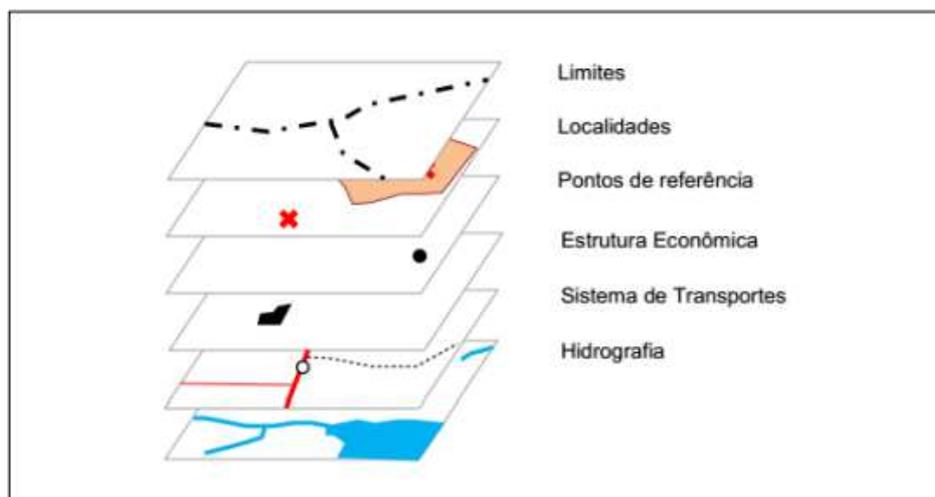
Autor: Milton Ribeiro Junior

➤ Base Cartográfica

Na elaboração dos mapas que incluem os limites territoriais municipais, foi utilizada a Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA/RS). Trata-se de um conjunto de dados geoespaciais de referência, que contempla as componentes planimétricas estruturadas em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada do território. A base cartográfica foi desenvolvida na escala de 1:25.000. Na composição da base, foram utilizadas imagens *RapidEye*, do tipo *Ortho* – Nível 3ª do período entre 2011 e 2014.

O conjunto de dados sobre os limites territoriais, a hidrografia, a estrutura socioeconômica e o sistema de transporte foram elaborados ao longo de quatro anos, com imagens de satélites. A seguir, na figura 16, tem-se a representação gráfica das camadas, sendo que na base temos as camadas dos elementos naturais, passando pela infraestrutura até as camadas de maior abstração, como os limites (SEMA-RS).

Figura 16-Categorias de informação em camadas.



Fonte: SEMA/RS (2022).

Para o traçado dos limites municipais de Picada Café e seus municípios adjacentes, foi utilizado o mapa com dados da divisão político-administrativa da Malha Municipal Digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), específico do Estado do Rio Grande do Sul, do ano de 2021, no formato *shapefile* (SHP), referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (atualmente SIRGAS 2000), sistema projetado de coordenadas e cujas linhas divisórias possuem detalhamento compatível com a escala de 1:250.000. Na sequência os mapas foram reprojutados para o Sistema de Referência de Coordenadas usada no Projeto: Sirgas 2000/UTM zona 22S.

➤ Processamento dos dados

O software escolhido no processamento dos dados foi o programa QGIS versão 3.24.0-Tisler de 03 de dezembro de 2021, desenvolvido para Windows 10, versão 2009. Este software foi o mesmo utilizado no decorrer do curso de Licenciatura em Geografia, nas cadeiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto, que permitiu ao autor, possui familiaridade com o seu uso para cruzamento e obtenção de temas.

O método utilizado para o escalonamento e a reclassificação de mapas foi o empírico complementado pelo método AHP que auxiliou na ponderação dos fatores, conforme sua relevância como desencadeante de deslizamentos, sendo eles a declividade, a geologia, o uso e cobertura da terra, a proximidade de rodovias e a precipitação, tendo por base os mapas do programa QGIS, obtidos a partir das respectivas bases de dados: Exército DSG, IBGE, Mapbiomas, OSM e Ambdata/INPE.

Neste estudo, atribuiu-se aos fatores de topografia (declividade) e de geologia os maiores pesos de importância em relação aos demais fatores, recebendo notas 7(muito forte) e 5 (forte), respectivamente. Por sua vez, o fator de precipitação recebeu o menor peso de importância, enquanto para uso e cobertura da terra e proximidade de estradas foram atribuídos graus de importância moderada, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4-Matriz AHP de comparação dos fatores condicionantes.

Fator	Declividade	Precipitação	Geologia	Próx. Rodovias	Uso e Cobertura da terra
Declividade	1	9	3	7	7
Precipitação	0,11111111	1	0,25	0,5	0,5
Geologia	0,3333333	4	1	5	5
Próx. Rodovias	0,1428571	2	0,2	1	2
Uso e cobertura da terra	0,1428571	2	0,2	1	1

Autor: Milton Ribeiro Junior

Para a conferência da confiabilidade dos valores encontrados foi calculado o grau de consistência (*Consistency Ratio – CR*). Este cálculo visa identificar a probabilidade dos valores escolhidos na montagem da matriz forem gerados ao acaso, sendo que quanto mais próximo de zero for o valor de CR, maior a coerência dos pesos adotados (BRITO, 2014). O cálculo do grau de consistência é realizado por meio da equação: $CR = CI/RI < 0,1 = 10\%$, onde CR = grau de consistência, CI = índice de consistência e RI = índice de aleatoriedade.

Segundo Brito (2014), o cálculo do índice de consistência CI é obtido por meio da divisão de cada elemento da matriz pela soma dos valores da respectiva coluna, obtendo assim a matriz de comparação par a par normalizada. O somatório dos valores de cada linha da matriz normalizada é dividido pelo número de fatores, chegando assim ao peso aproximado de cada fator. O índice de aleatoriedade RI é obtido a partir do número de fatores utilizados, conforme tabela 5.

Tabela 5–Índice de aleatoriedade (RI) conforme o número de fatores (n) utilizados.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

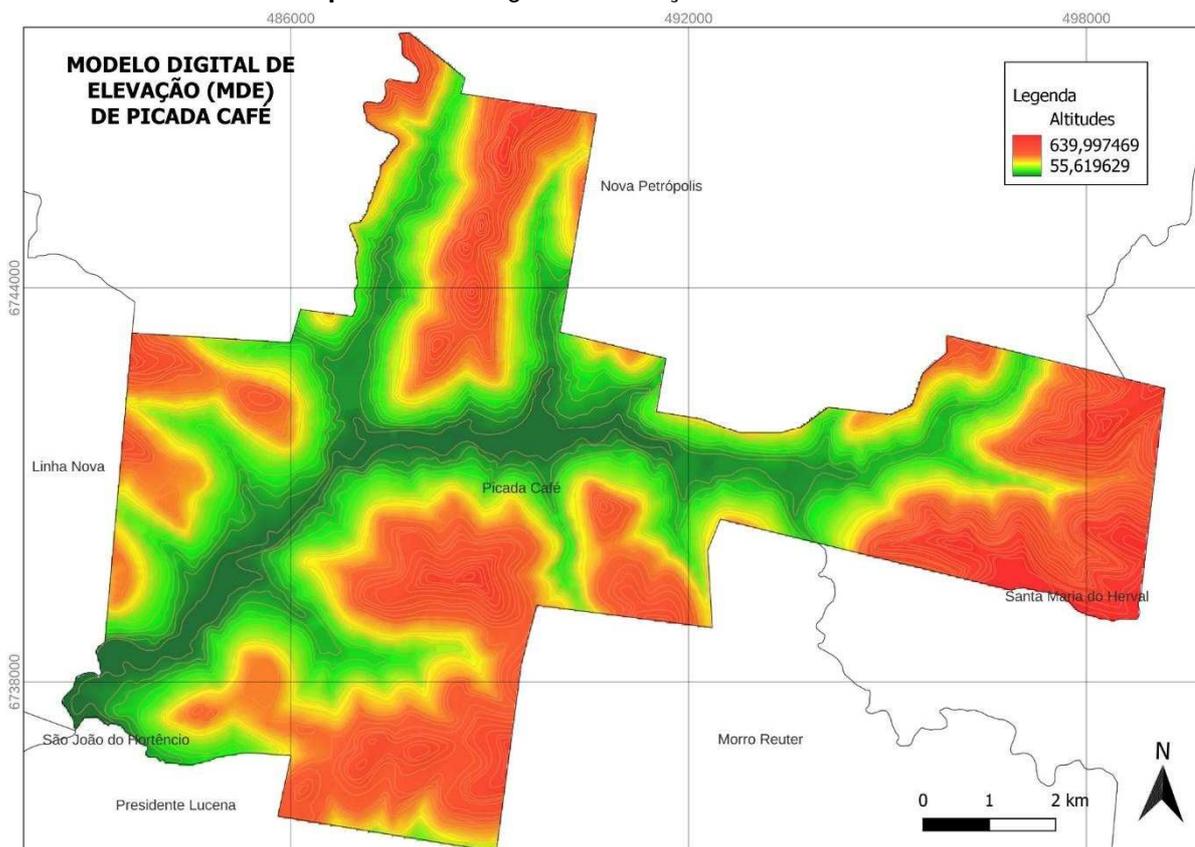
Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

5. RESULTADOS E ANÁLISES

➤ Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação (MDE) que representa as altitudes da superfície topográfica do município de Picada Café, foi obtido a partir do cruzamento de mapas da Fundação Estadual de Proteção Meio Ambiente (FEPAM) e do IBGE (mapa 4). Constitui-se como o primeiro instrumento de análise e identificação da área de estudo pois destaca os elementos geográficos que moldam a paisagem como a cobertura vegetal, o uso e cobertura da terra, as áreas urbanizadas e rodovias, entre outros.

Mapa 4-Modelo digital de Elevação de Picada Café.

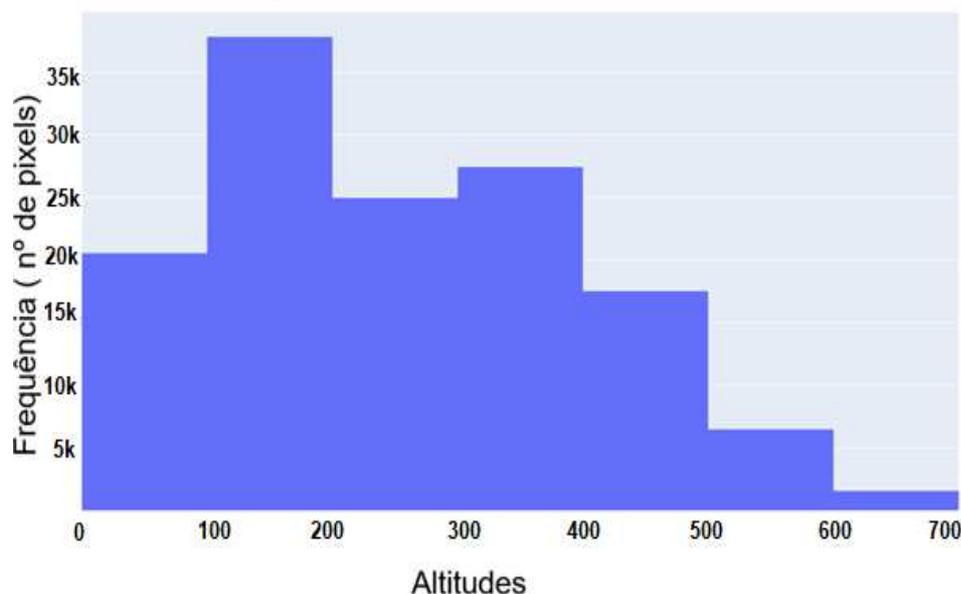


Autor: Milton Ribeiro Junior

A partir da elaboração do MDE extraiu-se o histograma contendo as informações das frequências altimétricas de Picada Café, conforme gráfico 4. Em relação às estatísticas de Picada Café, da leitura do mapa altimétrico, se verifica que a mediana das altitudes do município é de aproximadamente 236,88 m, sendo que a

elevação mínima é de 55,25 m, a elevação máxima é de 640 m e conseqüentemente a variação entre a elevação mínima e máxima é de 584,75 m.

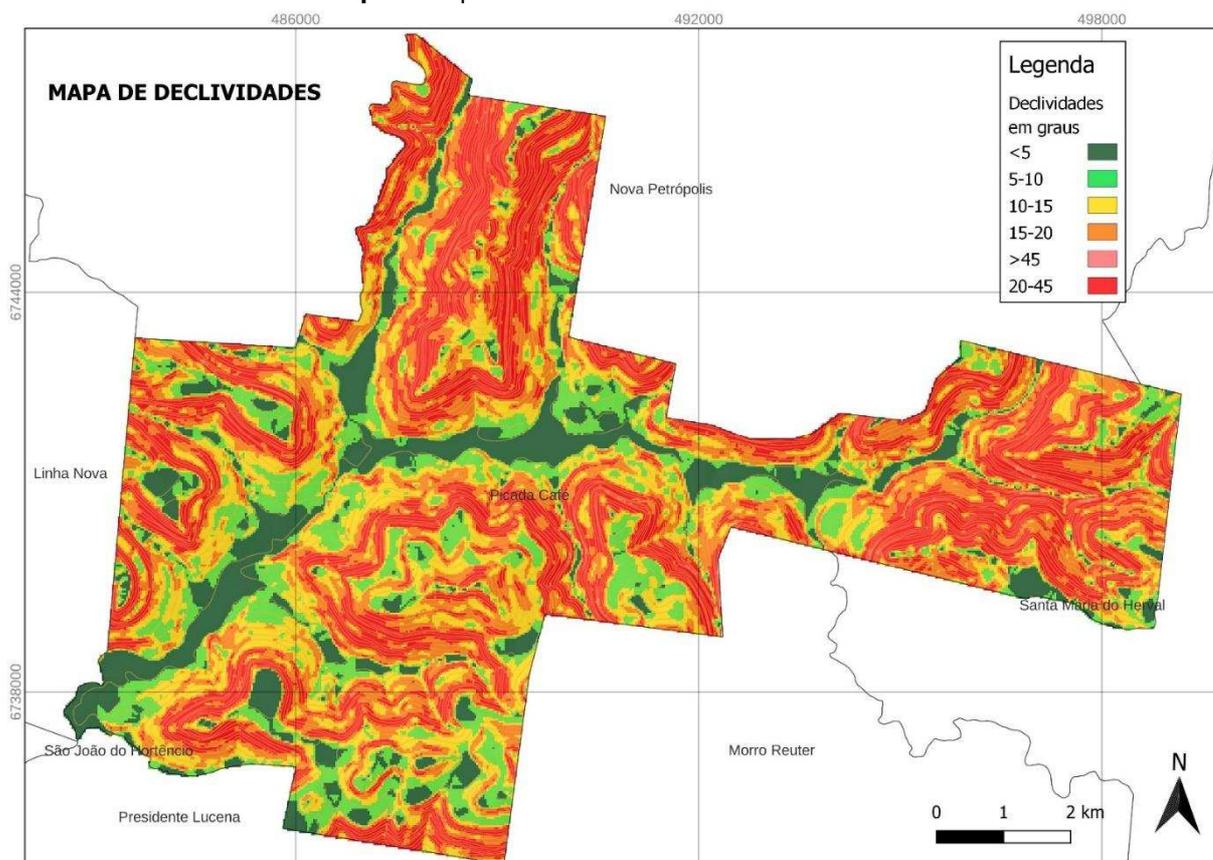
Gráfico 4-Histograma com frequências altimétricas de Picada Café.



➤ **Mapa de Declividade**

Na elaboração da camada *raster*, de declividade, foi realizada a conversão das camadas vetoriais em camadas rasterizadas com valor fixo de presença de feição em 1 e na ausência de feição em 0, e resolução de horizontal/largura 10 e vertical/altura 10. A padronização das classes de declividade constitui um fator condicionante, no mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos, o qual, juntamente com fatores como a geologia e da geomorfologia, o uso e cobertura da terra e a proximidade de rodovias irão caracterizar cada localidade ou região.

O mapa 5 apresenta o mapa de declividades, elaborado com base no mapa de MDE. As declividades mínimas e máximas encontradas no território do município de Picada Café são respectivamente 0º e 49,6º.

Mapa 5-Mapa de declividades de Picada Café.

Autor: Milton Ribeiro Junior

Para este mapeamento, procurou-se estudos realizados no Brasil, em especial da região de influência da Serra Geral, por se entender, ter maior probabilidade de se encontrar fatores geológicos, litológicos e geomorfológicos mais próximos da realidade encontrada no município de Picada Café. Com base nas referências definiu-se os seguintes valores e escalas em relação ao fator declividade do terreno, demonstrados na tabela 6.

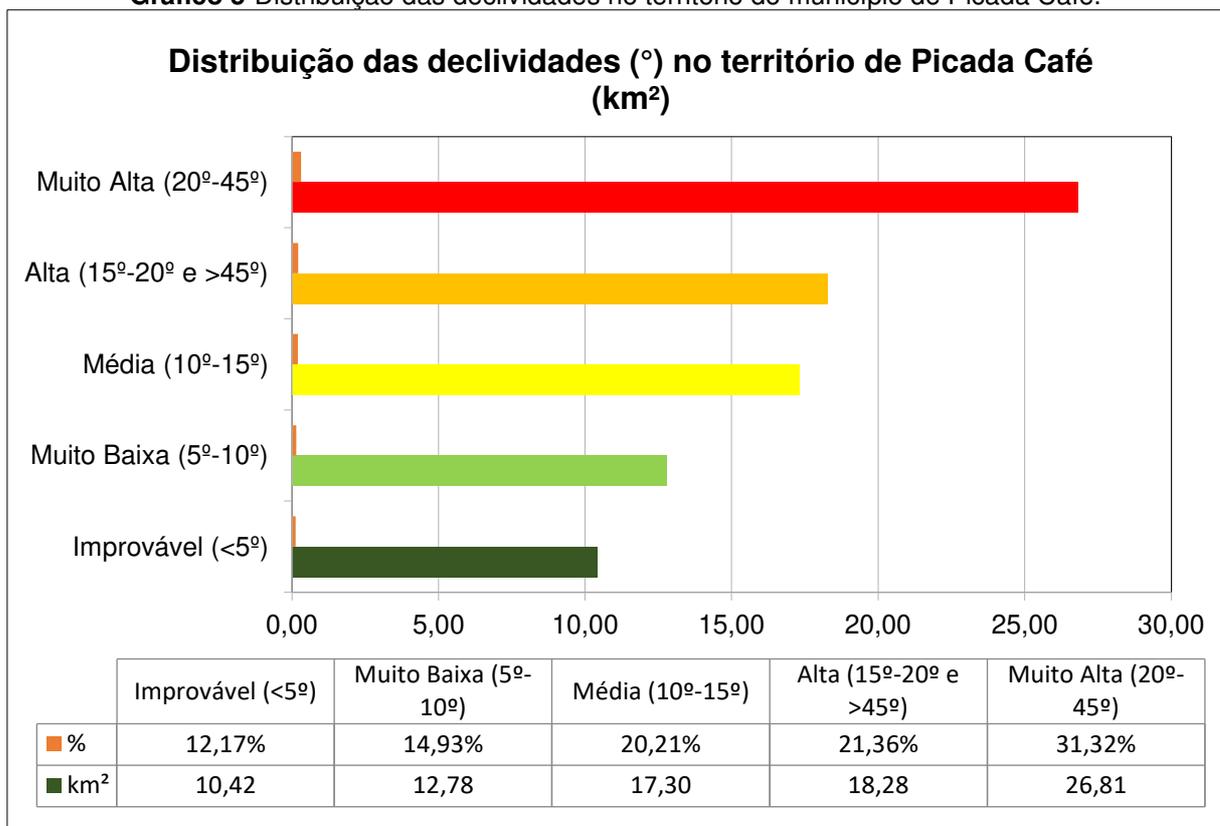
Tabela 6-Atribuição de pesos para o fator declividade.

Declividade (º)	Suscetibilidade a deslizamentos	Peso
<5	Improvável	0
5-10	Muito Baixa	0,2
10-15	Média	0,4
15-20	Alta	0,7
20-45	Muito Alta	1
>45	Alta	0,8

Autor: Milton Ribeiro Junior

As classes de representatividade do fator declividade foi elaborado de forma empírica a partir das análises apresentadas na revisão teórica, obtendo seis categorias, sendo a primeira representando as declividades entre 0° e 5°, a segunda entre 5° e 10°, a terceira entre 10° e 15°, a quarta entre 15° e 20°, a quinta entre 20° e 45° e finalmente a classificação dos valores de declividade maiores que 45°, representando, respectivamente, as classes improvável, muito baixa, média, alta, muito alta e alta, conforme apresentadas no gráfico 5.

Gráfico 5-Distribuição das declividades no território do município de Picada Café.



Autor: Milton Ribeiro Junior

Da leitura do gráfico, se extrai que 52,69% do território de Picada Café possui declividades maiores que 15°. Tais características do relevo evidenciam que o município possui uma considerável parcela do seu território, altamente suscetível à ocorrência de deslizamentos de terra, se considerarmos, isoladamente, o fator topográfico.

➤ Mapa de Precipitação

O mapa de precipitação média anual foi elaborado com base nas variáveis ambientais climáticas para modelagem do projeto AmbData do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados climáticos foram obtidos a partir do WorldClim - Global Climate Data. O Worldclim é uma base de dados climáticos globais que fornece layers em diferentes resoluções referentes ao clima atual, e para cenários climáticos passados e futuro.

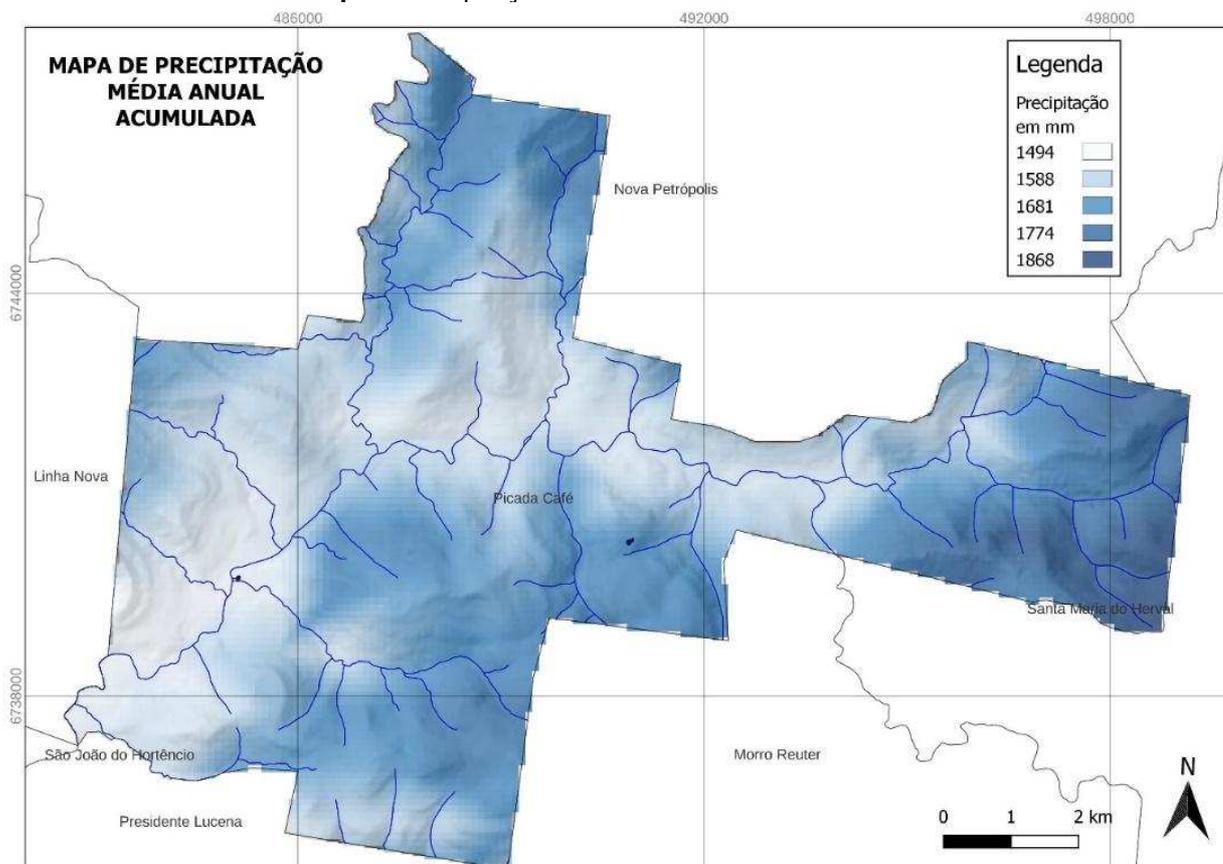
As grades de clima recortadas correspondem a dados de observação, representativos de 1950 a 2000 e foram interpolados para a resolução de 30 arcos-segundos (~1 km). Após a extração do mapa da base de dados do Ambdata/INPE, no formato raster, foi realizada a reprojeção para o sistema de coordenadas SRC SIRGAS 2000 zona UTM 22 Sul, assim como o recorte pela camada de máscara dos limites do município de Picada Café.

Após a reprojeção da camada, foi realizada a renderização e a reclassificação dos dados, dividindo em valores correspondentes às faixas de precipitações médias anuais. A tabela 7 apresenta o resultado da reclassificação com os valores estabelecidos para cada uma das classes, em que quanto maior a precipitação média anual acumulada maior a suscetibilidade a deslizamentos e quanto menor a precipitação acumulada, menor a suscetibilidade. O mapa 6 apresenta o mapa de precipitação média anual do município de Picada Café, elaborado com base nos dados do Ambdata/INPE de 1950 a 2000

Tabela 7-Atribuição de pesos para o fator de precipitação média anual acumulada.

Precipitação média anual acumulada	Suscetibilidade a deslizamentos	Peso
1486 mm – 1500 mm	Média	0,6
1500mm – 1600mm	Média Alta	0,7
1600mm – 1700mm	Média Alta	0,8
1700mm – 1800mm	Alta	0,9
>1800mm	Muito Alta	1

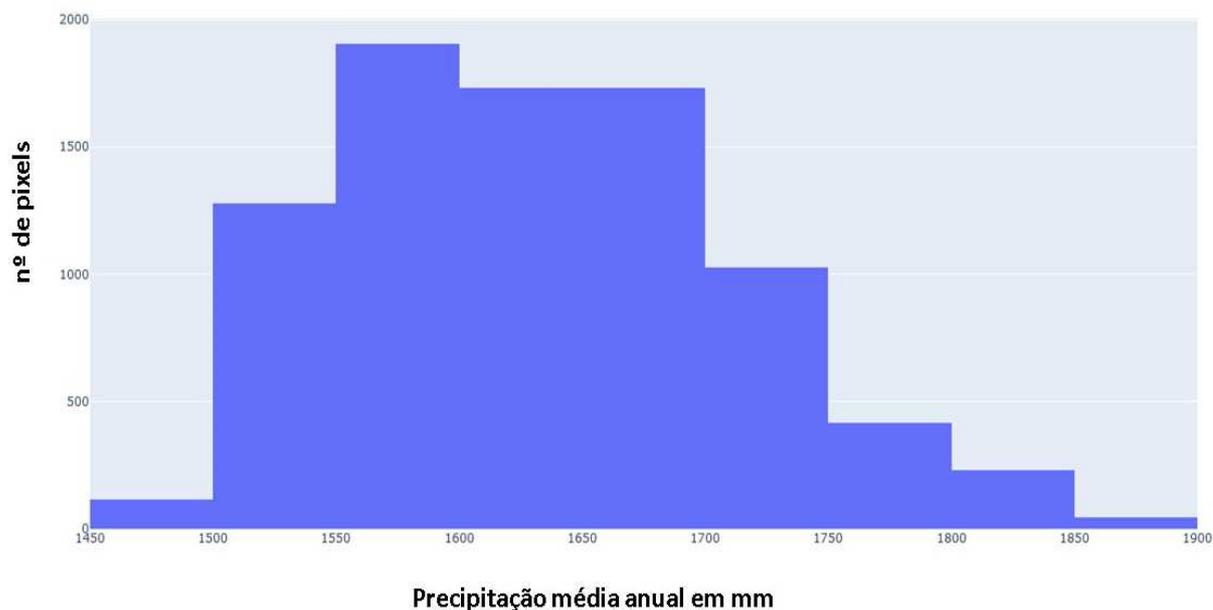
Autor: Milton Ribeiro Junior

Mapa 6-Precipitação média anual de Picada Café.

Autor: Milton Ribeiro Junior

O mapa de precipitação apresenta como menores valores de concentrações de chuva anual acumulada no município de Picada Café, 1494,22 mm, registradas entre 1950 e 2000 nas áreas com altitudes mais baixas (entre 50 m e 100 m), enquanto, em áreas com altitudes mais elevadas, como os topos dos morros (entre 400 m e 600 m), concentram os maiores índices pluviométricos, alcançando valores próximos de 1866,84 mm.

O histograma de precipitação média anual (figura 30), elaborado a partir dos dados pluviométricos registrados pelo Ambdata entre 1950 e 2000, apresenta os maiores índices de precipitação histórica na faixa entre 1500 mm e 1700 mm, com pouca incidência de chuvas concentradas com índices acima de 1850 mm ao ano.

Gráfico 6-Histograma de precipitação média anual.

Fonte: Ambdata/INPE

➤ **Mapa de Geologia**

Na elaboração dos mapas de Geologia, foram utilizados os dados de mapeamento na escala 1:250.000 em formato vetorial *shapefile*. (IBGE, 2018). Os mapas temáticos estão em formato vetorial e escala compatível com 1:250.000, adaptados a uma base cartográfica de referência, composta pelas massas d'água continentais e os limites territoriais do país. Este mapeamento teve como base a interpretação visual de imagens de sensores orbitais atualizadas, juntamente com a incorporação de elementos de mapeamento realizados por outras instituições e a coleta de informações através de expedições de campo e levantamento bibliográfico.

Na sequência foi realizada a reprojeção para o sistema de coordenadas SRC SIRGAS 2000 zona UTM 22 Sul, assim como o recorte pela camada de máscara dos limites do município de Picada Café e a rasterização da camada, convertido do formato *shapefile* para o formato *raster*. Após a rasterização da camada, foi realizada a renderização e a reclassificação dos dados, dividindo em valores únicos correspondentes às três tipologias geológicas predominantes, encontradas no

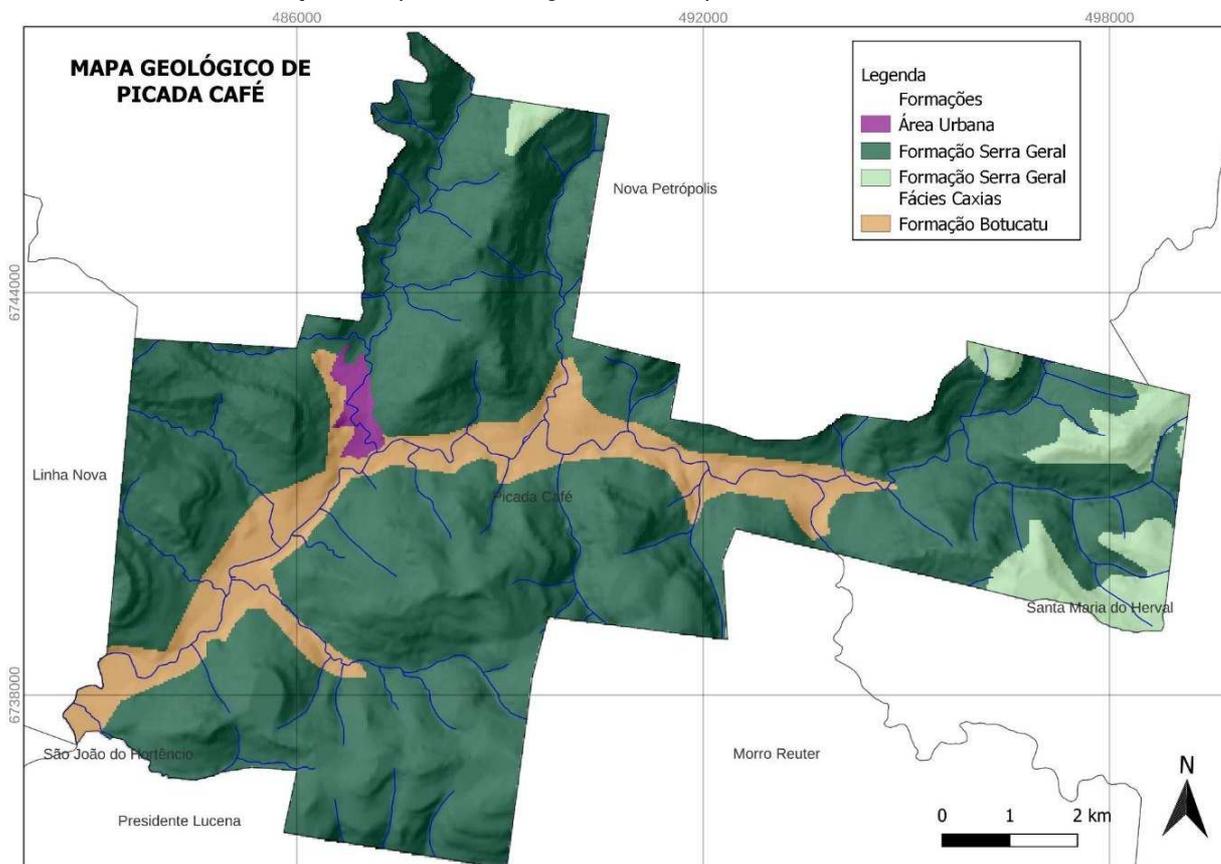
município de Picada Café, sendo elas a Formação Botucatu, a Formação Serra Geral e a Formação Serra Geral – Fácies Caxias.

Finalmente, o mapa geológico em formato *raster* após reclassificado e escalonado em valores entre zero (menor probabilidade de deslizamentos) e um (maior probabilidade de deslizamentos), conforme tabela 8, a seguir. Neste escalonamento, foi considerada a Formação Serra Geral (incluindo Fácies Caxias) como a formação geológica mais propensa a deslizamentos quando comparada com a Formação Botucatu. O resultado deste processamento está representado no Mapa 7.

Tabela 8-Atribuição de pesos para o fator geologia.

Formação	Peso
Botucatu	0,7
Serra Geral	1,0
Serra Geral – Fácies Caxias	1,0

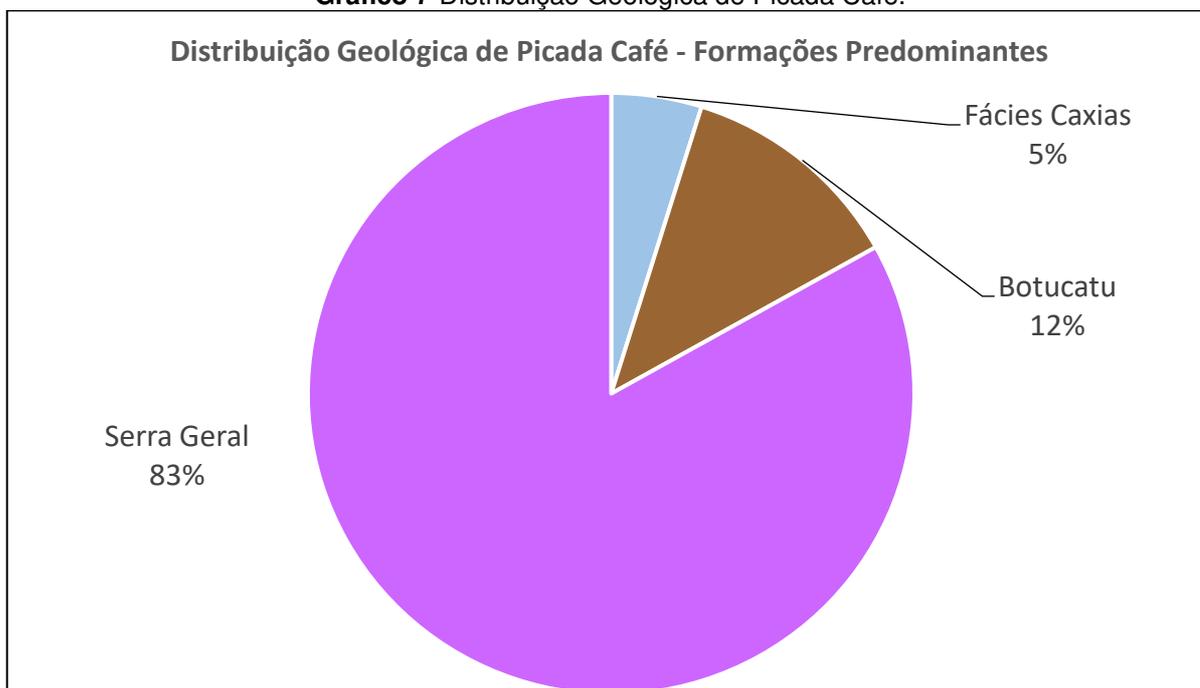
Mapa 7-Mapa de Geologia do Município de Picada Café.



Autor: Milton Ribeiro Junior

O mapa de geologia do município de Picada Café apresenta que nas áreas com relevo com altitudes entre 50 m e 100 m localizam-se os afloramentos do arenito da formação Botucatu, enquanto nas áreas com altitudes mais elevadas, acima de 300 m, onde sobressai a formação Serra Geral, destacam-se os afloramentos de basalto, conforme gráfico 7.

Gráfico 7-Distribuição Geológica de Picada Café.



Autor: Milton Ribeiro Junior

Em um primeiro momento há cerca de 151 milhões de anos formou-se a base do terreno da cidade por meio da solidificação do deserto Botucatu, o que permitiu a formação dos cursos de água nas altitudes mais baixas, próximas a 55m, favorecendo assim o desenvolvimento da área urbana, na região central da cidade.

Na sequência com a formação da Serra Geral originada de processos geológicos iniciados a cerca de 137 milhões de anos, deu ao município de Picada Café outras formas de relevo, tornando-o acidentado e elevando suas altitudes até 639m.

Essa variação geológica ao mesmo tempo que trouxe mais beleza ao espaço trouxe também maior dinamismo, por meio dos processos geológicos, como os deslizamentos de terra, desencadeados pela força da gravidade e potencializados pela força das águas da chuva.

➤ Mapa de uso e cobertura da terra

O mapa de uso e cobertura da terra teve como base os dados do projeto MapBiomias, versão 7 (MOTTA e CORTINHAS, 2021), produzidos a partir da classificação "pixel a pixel de imagens dos satélites *Landsat*, com processamento em nuvem. A coleção 7 adota os limites de biomas do IBGE em escala 1:250.000 em formato *shapefile* disponível em plugin diretamente no programa QGIS e inclui dados anuais de cobertura e uso da terra para o período de 1985 a 2021.

Após a extração do mapa da base de dados no formato *shapefile*, foi realizada a reprojeção para o sistema de coordenadas SRC SIRGAS 2000 zona UTM 22 Sul, assim como o recorte pela camada de máscara dos limites do município de Picada Café e a rasterização da camada, convertendo do formato *shapefile* para o formato *raster*.

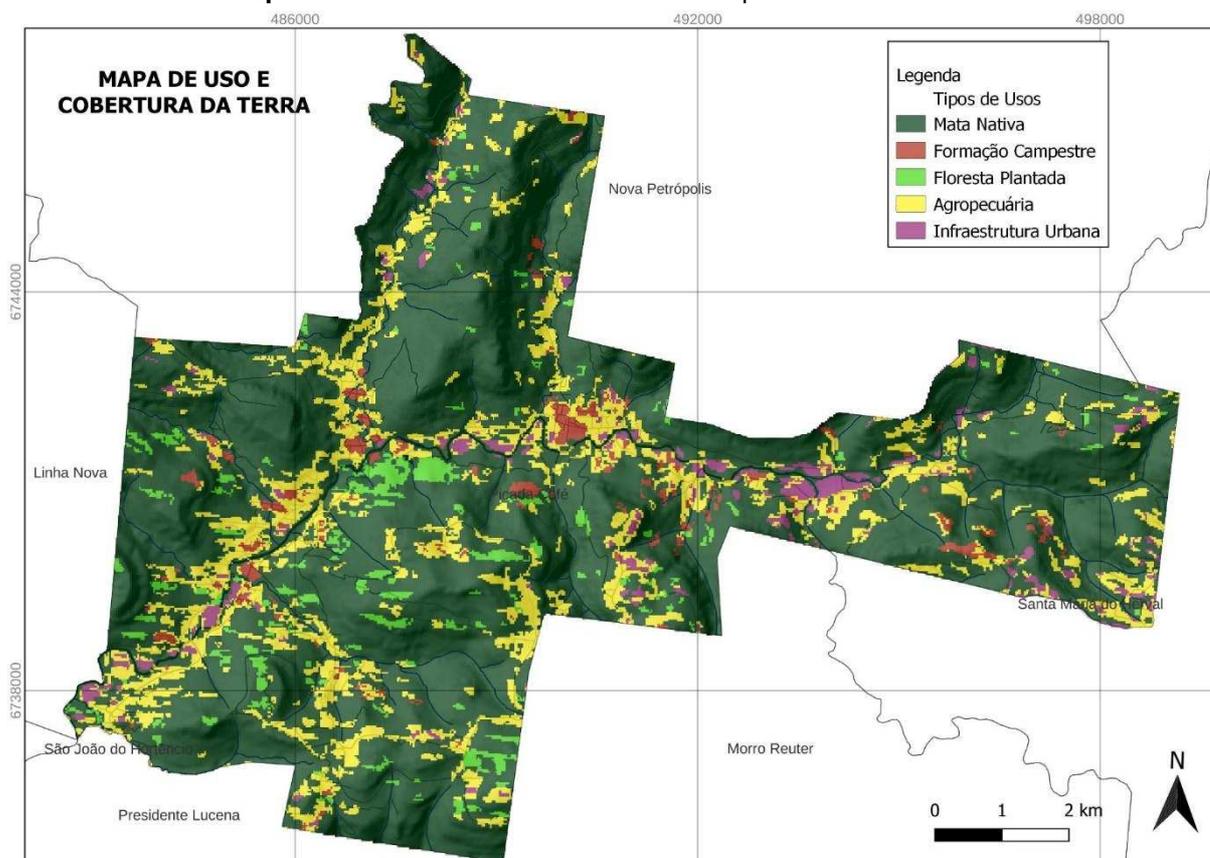
Após a rasterização da camada, foi realizada a renderização e a reclassificação dos dados, dividindo em valores correspondentes aos diferentes tipos de uso e cobertura da terra. A Tabela 9 nos apresenta o resultado da reclassificação com os valores estabelecidos para cada uma das classes, sendo que menor a cobertura vegetal natural encontrada maior a suscetibilidade a deslizamentos e quanto maior a cobertura menor a suscetibilidade. O mapa 8 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra.

Tabela 9-Atribuição de pesos para o fator Uso e Cobertura da Terra.

Uso e Cobertura da Terra	Suscetibilidade a deslizamentos	Peso
Floresta	Baixa	0,3
Silvicultura	Média	0,6
Infraestrutura Urbana	Muito Alta	1
Formação Campestre	Média	0,4
Agropecuária	Alta	0,8

Autor: Milton Ribeiro Junior

Mapa 8-Uso e cobertura da terra do município de Picada Café.



Autor: Milton Ribeiro Junior

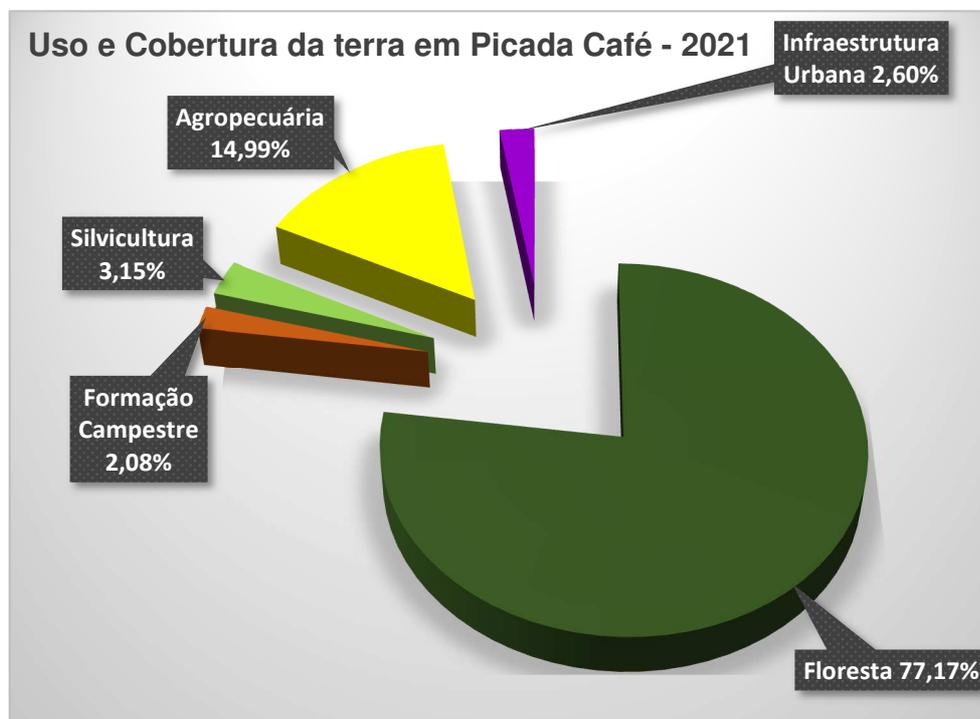
O mapa de uso e cobertura da terra, elaborado a partir da base de dados do Mapbiomas, destaca os dois principais centros urbanos da cidade de Picada Café: Centro e Joaneta, além do uso na agricultura e pecuária em terrenos com altitudes mais baixas (entre 50 m e 100 m) e nas proximidades dos cursos d'água.

O próprio espaço urbano, moldado com os recortes nos morros para a construção de rodovias, favorece, em certa maneira, a ocorrência de deslizamentos. Em um primeiro momento são antecedidos por outros movimentos de massa que ocorrem com pequena magnitude, como as quedas de blocos ou quedas de barreiras que causam danos localizados em pontos específicos ao longo das rodovias e estradas. Em sua maioria, sem maiores incidentes ou transtornos materiais ou perdas de vida, porém servem de alerta para a dinâmica do solo que ocorre, na maioria dos casos de forma imperceptível, mas se relegado pode agravar e colocar em risco toda uma comunidade.

O mapa apresenta ainda que no município de Picada Café a área de floresta tem representatividade, com cerca de 77,17% da área total, enquanto a área de mosaico de agricultura e pecuária ocupa 14,99%, a silvicultura 3,15%, a formação campestre (2,08%) e a infraestrutura urbana ocupa 2,60% da área total do município,

de cerca de 85,17km². O gráfico 8 ilustra a distribuição dos diferentes usos da terra no território do município de Picada Café.

Gráfico 8-Distribuição do uso e cobertura da Terra no Território de Picada Café.



Autor: Milton Ribeiro Junior

➤ **Mapa de Proximidade de Rodovias**

Na elaboração do mapa de proximidade de rodovias, as variáveis foram calculadas a partir da menor distância euclidiana entre cada linha de estradas. A base de dados utilizada foi a do projeto OpenStreetMap (OSM) que consiste em um conjunto de dados abertos, georreferenciados e editáveis. Essa fonte de dados está disponível no programa QGIS com um plugin, versão 1.4 de Motta (2021). Esta base é composta por dados editados e atualizados pelos próprios usuários, membros da comunidade OSM no Brasil e no mundo.

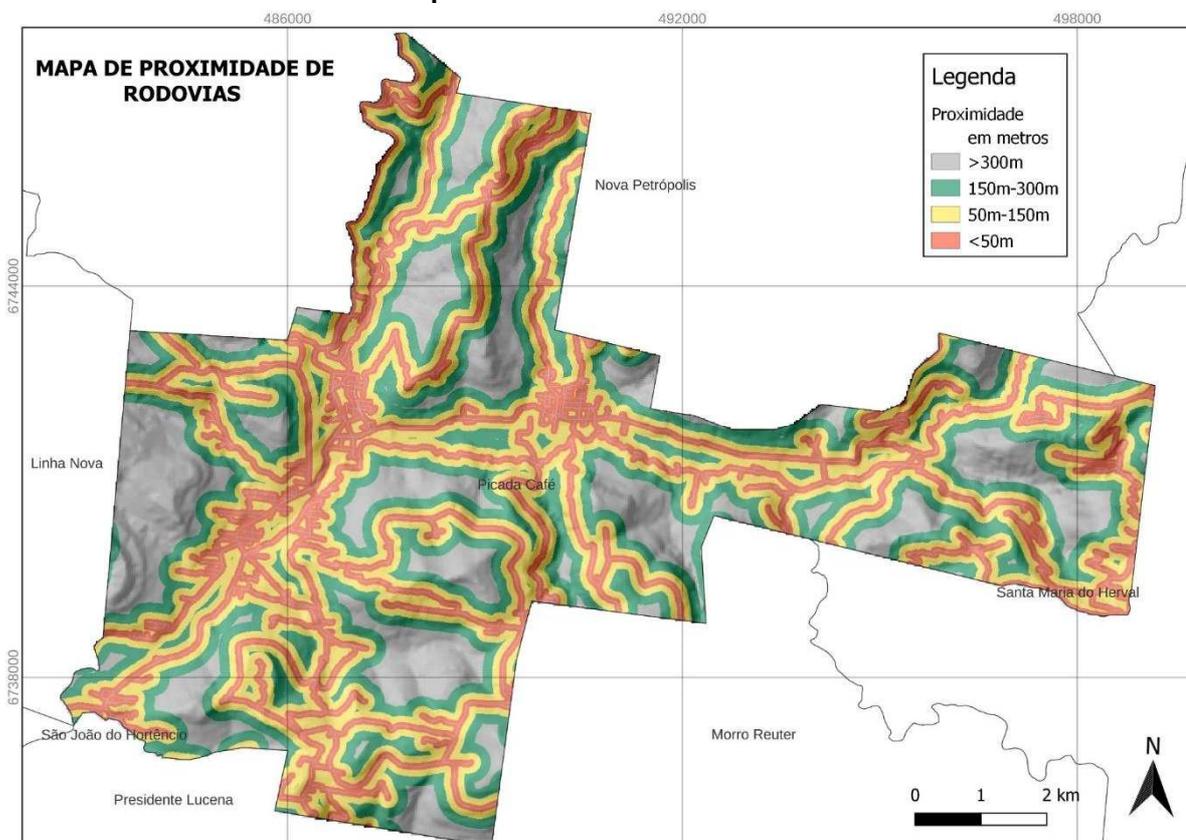
Após a extração do mapa da base de dados do OSM, no formato *shapefile*, foi realizada a reprojeção para o sistema de coordenadas SRC SIRGAS 2000 zona UTM 22 Sul, assim como o recorte pela camada de máscara dos limites do município de Picada Café e a rasterização da camada, convertido do formato *shapefile* para o formato *raster*.

Após a rasterização da camada, foi realizada a renderização e a reclassificação dos dados, dividindo em valores correspondentes às faixas de distâncias euclidianas em relação à rodovia, sendo a primeira classe até 50m de distância, a segunda classe entre 50m e 150m de distância e a terceira classe com os valores acima de 150m de distância das rodovias. A tabela 10 mostra o resultado da reclassificação com os valores estabelecidos para cada uma das classes, sendo que, quanto mais próximo da rodovia, maior a suscetibilidade a deslizamentos e quanto mais distante menor a suscetibilidade. A consolidação do mapa de proximidade de rodovias é apresentada no mapa 9.

Tabela 10-Atribuição de pesos para o fator proximidade de rodovias.

Distância da rodovia	Suscetibilidade a deslizamentos	Peso
<50m	Alta	1
Entre 50m e 150m	Média	0,7
>150m	Baixa	0,4

Mapa 9-Proximidade de Rodovias.



Autor: Milton Ribeiro Junior

➤ Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos

A partir da aplicação das equações propostas por Saaty (1980), obtivemos o grau de consistência de **0,04**, valor que confirma a consistência dos valores obtidos do julgamento do especialista. Realizada a conferência, se pode definir os pesos de relevância de cada fator usado para o cruzamento dos mapas com o uso da técnica AHP, os quais foram dispostos na tabela 11.

Tabela 11-Pesos dos fatores utilizados no cruzamento dos mapas para a elaboração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos em Picada Café.

Fator	Peso
Declividade	0,54
Precipitação	0,05
Geologia	0,26
Proximidade de Rodovias	0,07
Uso e Cobertura da terra	0,07

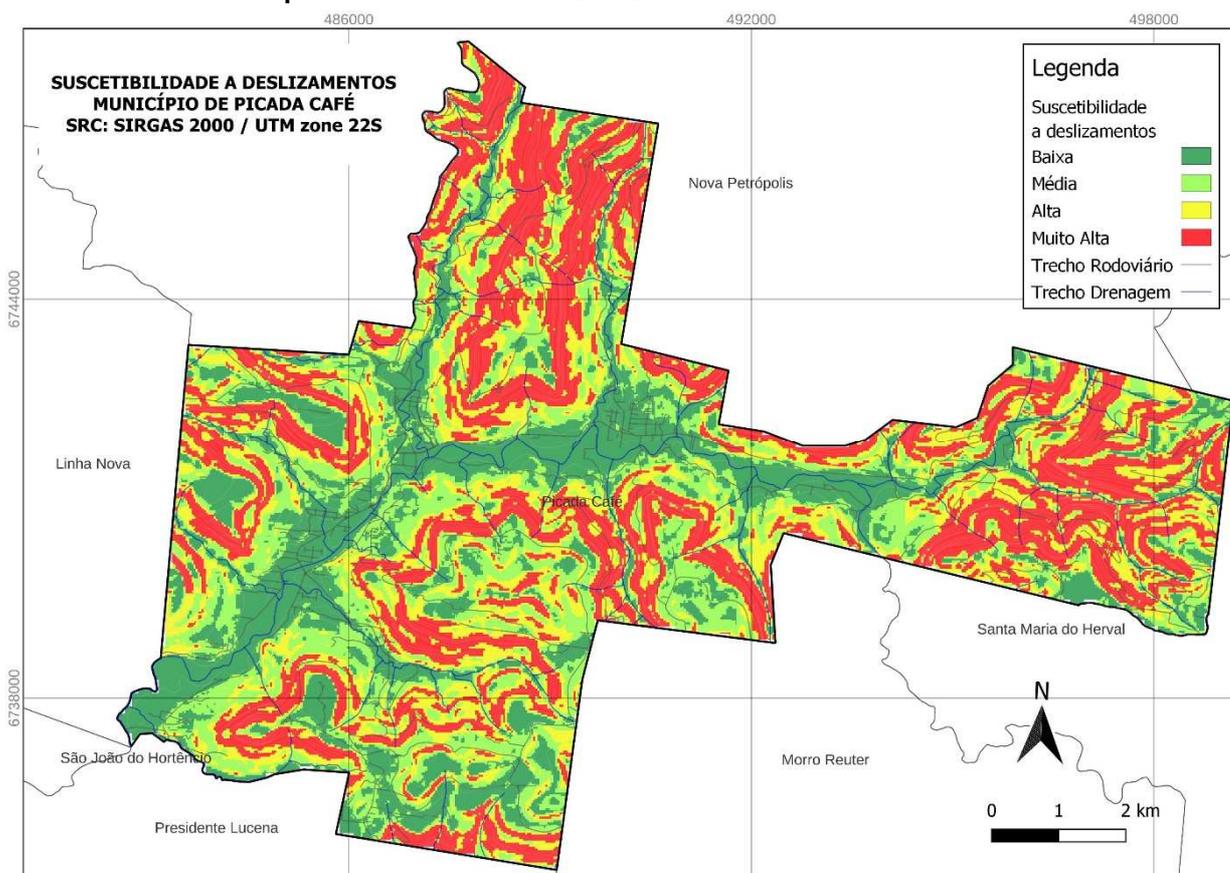
Autor: Milton Ribeiro Junior

Nessa etapa as variáveis foram normalizadas em camadas *raster*, com valores no intervalo de 0 a 1, e calculadas com o uso da ferramenta *Raster Calculator*, do programa QGIS, resultando no produto dos pesos de cada fator, conforme apresentado na equação a seguir.

$$\text{Suscetibilidade} = 0,54 * \text{Declividade} + 0,05 * \text{Precipitação} + 0,26 * \text{Geologia} + 0,07 * \text{Proximidade de Rodovias} + 0,07 * \text{Uso e Cobertura da Terra}$$

Após a definição dos pesos dos fatores, declividade, geologia, uso e cobertura da terra, proximidades de rodovias e precipitação média anual acumulada com a aplicação do processo AHP, extraiu-se um mapa que consolida as informações anteriores e que apresenta as áreas suscetíveis a deslizamentos no município de Picada Café (mapa 10).

Mapa 10-Suscetibilidade a Deslizamentos em Picada Café.



Autor: Milton Ribeiro Junior

Na definição das classes de suscetibilidade, optou-se pela distribuição em quatro classes, com o uso da interpolação pelo método discreto, no modo quartil. Como resultado foi obtido um mapa de suscetibilidade com intervalo que variam entre 0,233 (valor mínimo) e 0,99 (valor máximo). Os valores de mínimo e máximo diferem do esperado, (0 para mínimo e 1 para máximo) devido ao arranjo na composição dos fatores, onde nenhum ponto foi considerado desprezível para a ocorrência de deslizamentos, assim como nenhum ponto foi considerado 100% suscetível a deslizamentos de terra em Picada Café. A seguir é apresentado os valores que separam cada classe da suscetibilidade a deslizamentos:

- Baixa: valores entre 0,233 e 0,459
- Média: valores entre 0,459 e 0,694
- Alta: valores entre 0,694 e 0,856
- Muito Alta para os valores >0,856

A tabela 12 apresenta a distribuição de cada classe em relação à área total do município de Picada Café.

Tabela 12-Distribuição das classes de suscetibilidade a deslizamentos de Picada Café.

Classes de		
Suscetibilidade	Área (km ²)	Percentual (%)
Baixa	21,32	25,31%
Média	23,65	28,07%
Alta	19,83	23,54%
Muito Alta	19,44	23,08%
Total	84,24	100%

Autor: Milton Ribeiro Junior

Analisando o gráfico da distribuição de classes de suscetibilidade a deslizamentos de Picada Café, em números percentuais, em relação ao território do município, percebe-se que cerca de 46,62% do total, está localizada em pontos com alta ou muito alta suscetibilidade a deslizamentos (valores maiores que 0,6940) conforme demonstrado no gráfico 9.

Gráfico 9-Distribuição das classes de suscetibilidade a deslizamentos de Picada Café em %.



Autor: Milton Ribeiro Junior

➤ Validação do mapeamento

Para a validação, do mapeamento de suscetibilidade, foram realizadas pesquisas em sítios da Internet de históricos de deslizamentos ocorridos na área de estudo juntamente com um trabalho de campo. Na pesquisa realizada na Internet, sobre notícias de deslizamentos que ocorreram, na cidade de Picada Café, em anos recentes, foi encontrada uma postagem, na página do Facebook, do Corpo de Bombeiros Voluntários do município. Trata-se de um relato, de deslizamento, sem vítimas, que ocorreu na data de 25 de agosto de 2013, nas proximidades das ruas Balduíno Metz e Aloísio Klauck.⁵, (figura 17).

Figura 17-Deslizamento ocorrido em Picada Café em agosto de 2013.

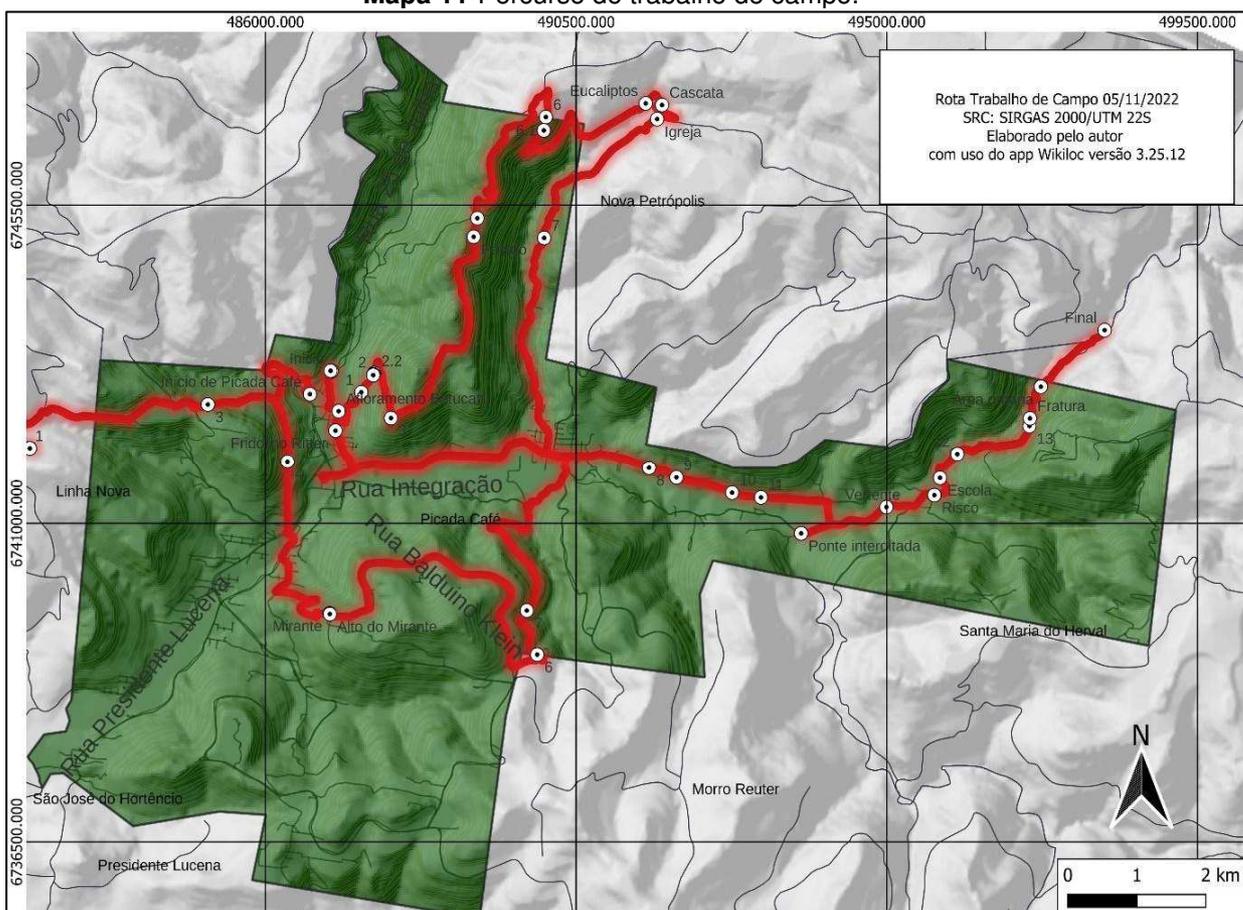


Fonte: Bombeiros Voluntários de Picada Café.

Por meio do trabalho de campo, foi realizado um levantamento visual de históricos de ocorrências e cicatrizes no relevo do município de Picada Café que confirmassem as informações dos cruzamentos dos mapas. Foram percorridos aproximadamente 80km, pelas vias vicinais da cidade, conforme trajeto representado pelo mapa 11.

⁵ Disponível em: <https://www.facebook.com/CorpoDeBombeirosVoluntariosDePicadaCafeRS/photos/a-defesa-civil-de-picada-caf%C3%A9-isolou-preventivamente-as-ruas-balduino-metz-e-alo/451007915013989/>. Acesso em 04/12/2022.

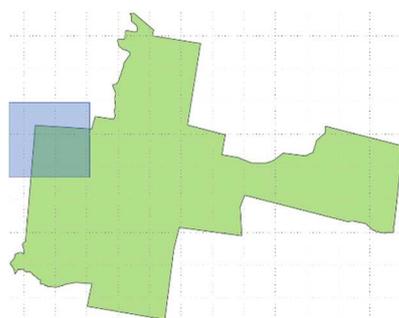
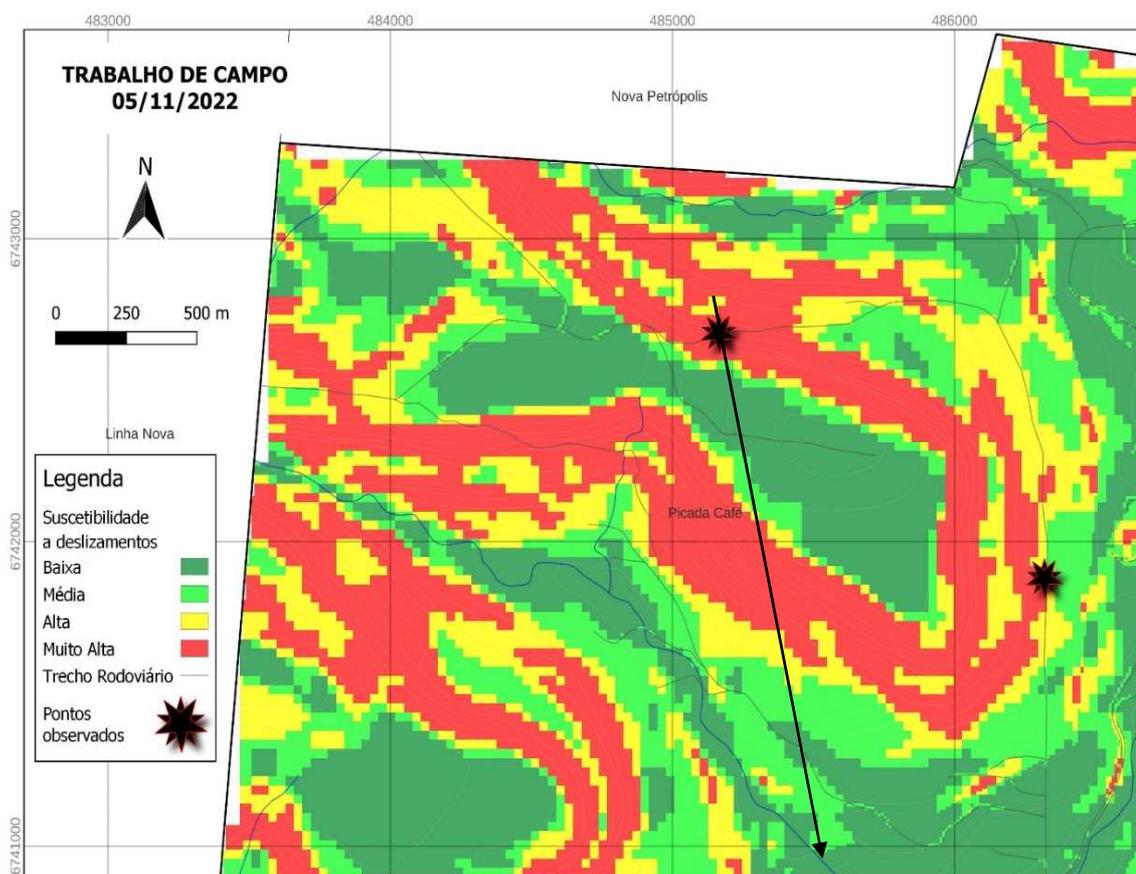
Mapa 11-Percurso do trabalho de campo.



Autor: Milton Ribeiro Junior

➤ Trabalho de Campo no Bairro Alto da Colina

O trabalho de campo realizado no dia 05 de novembro de 2022, teve início pelo bairro Alto da Colina (mapa 12). Os resultados demonstram que o local observado está, em uma área apontada no mapa, como de muito alta suscetibilidade a deslizamentos (0,926). A declividade neste ponto é de 20,03°, em uma altitude de 287,25 m. O seu uso e cobertura, está registrado na base do MapBiomas, como sendo de floresta nativa, o que pode ser comprovado pela foto. Sua precipitação média anual, está registrada na base de dados do Ambdata/INPE, como sendo de 1592 mm anuais. Geologicamente, os registros do IBGE apontam a área como pertencente à Formação Serra Geral, além de estar localizada às margens de uma rodovia. A tabela 13 apresenta os resultados do trabalho de campo no bairro Alto da Colina.



Mapa 12-Trabalho de Campo no bairro Alto da Colina. SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Autor: Milton Ribeiro Junior

Tabela 13-Resultados do Trabalho de Campo - Bairro Alto da Colina

Ponto	Suscetibilidade	Declividade	Altitude	Geologia	Uso da terra	Precipitação
a	0,926	29,88	287,25	Serra Geral	Floresta	1592

➤ Trabalho de Campo no Bairro Morro Hansen

O bairro Morro Hansen está localizado ao norte do município de Picada Café. O ponto observado, em destaque no mapa 13. A tabela 14 apresenta os resultados do trabalho de campo no bairro Morro Hansen.

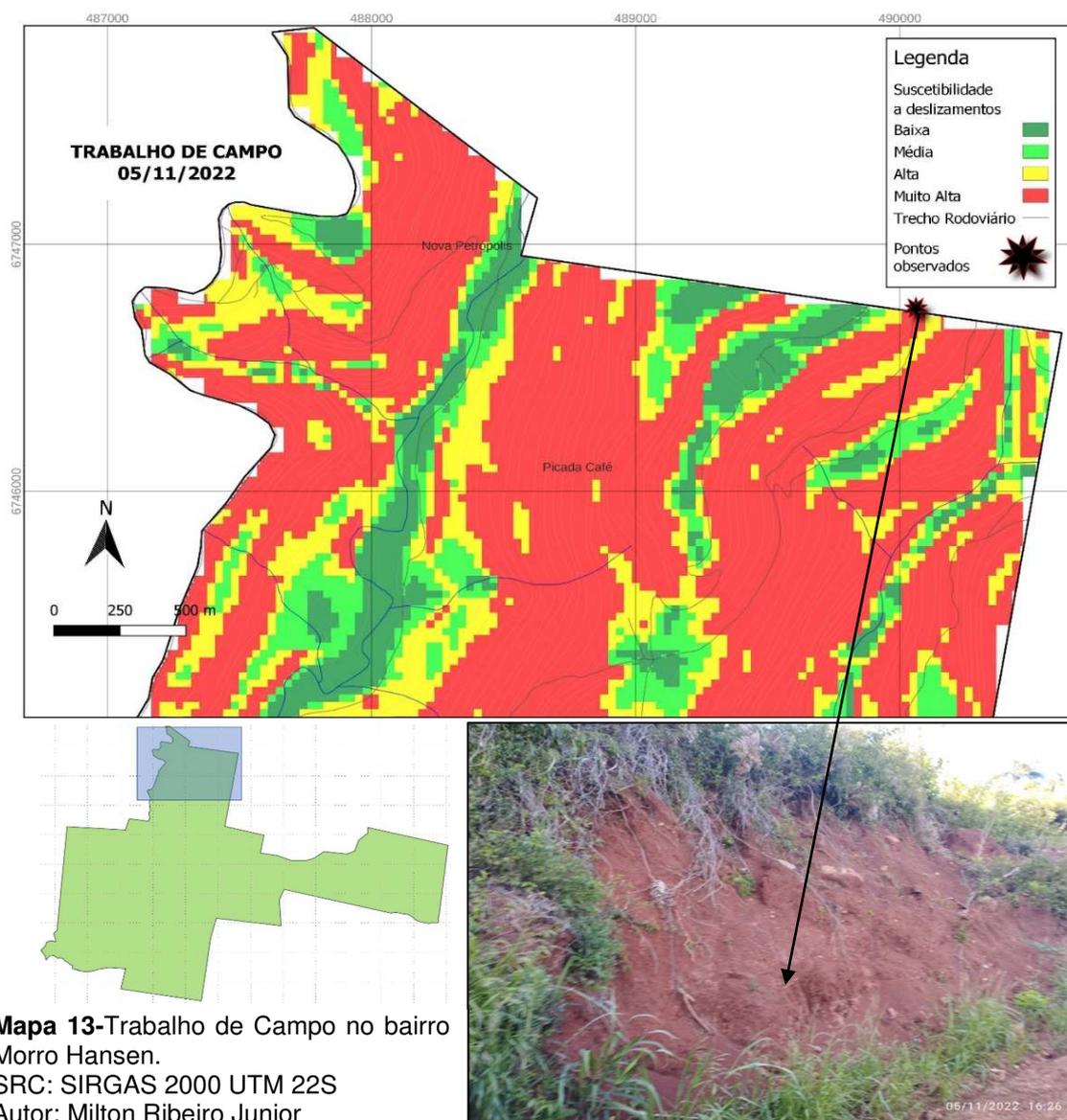


Tabela 14-Resultados do Trabalho de Campo - Bairro Morro Hansen

Pontos	Suscetibilidade	Declividade	Altitude	Geologia	Uso da terra	Precipitação
a	0,809	15,07	451,92	Serra Geral	Agropecuária	1703

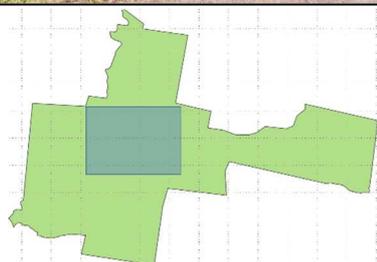
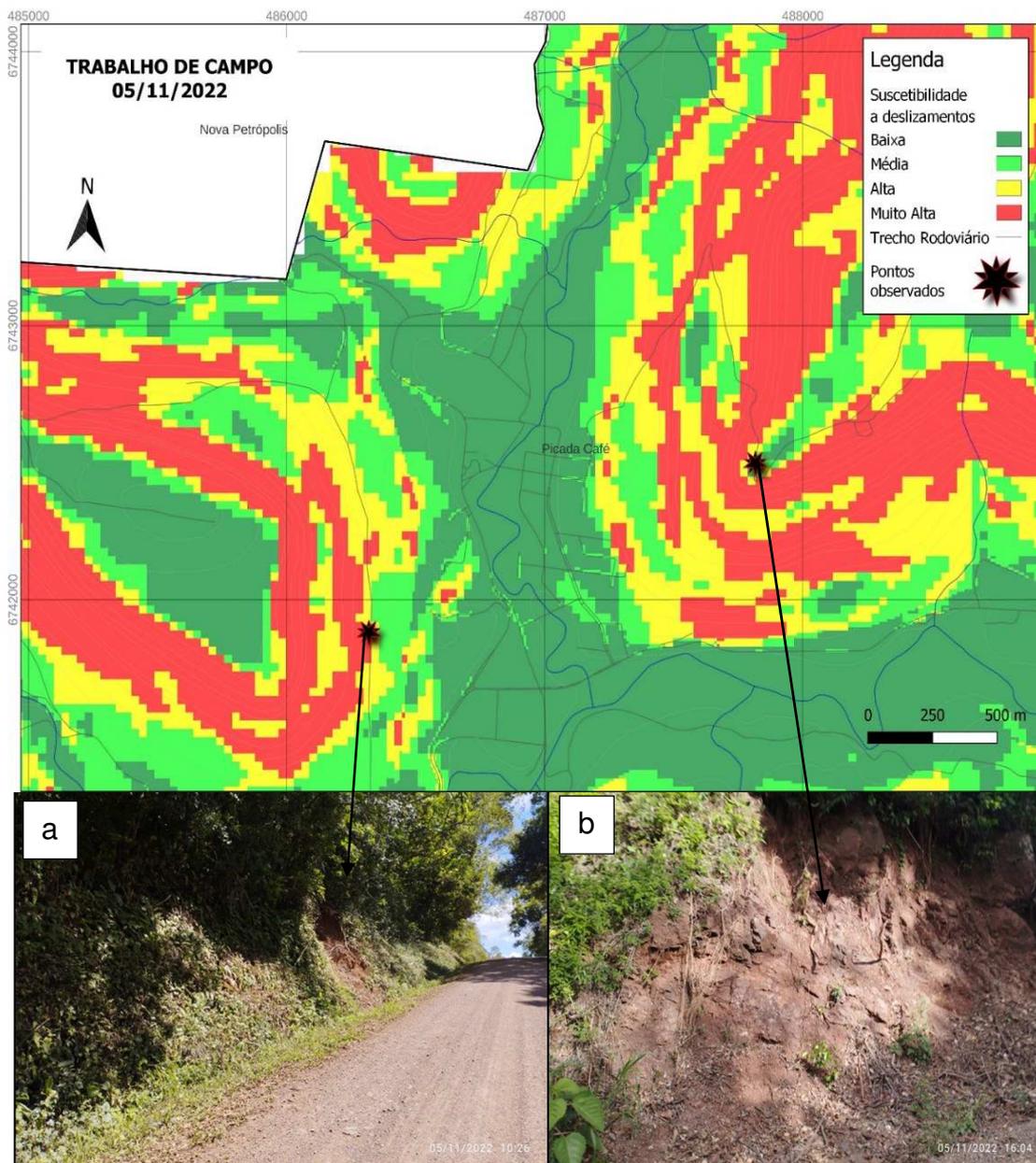
O ponto visualizado (a), está localizado em uma área apontada como de muito alta suscetibilidade a deslizamentos (0,809). A declividade neste ponto é de 15,07, em uma altitude de 451,92 m. O seu uso e cobertura, está registrado na base do MapBiomas, como sendo de floresta nativa. Sua precipitação média anual, está registrada na base de dados do Ambdata/INPE, como sendo de 1703 mm anuais. Geologicamente, os registros do IBGE apontam a área como pertencente à Formação Serra Geral, além de estar localizada às margens de uma rodovia.

➤ Trabalho de Campo no Bairro Centro

Os resultados de campo do bairro Centro são demonstrados nos mapas 14 e 15. No mapa 14, os locais observados, pontos 14(a) e 14(b) estão em áreas identificadas como de muito alta suscetibilidade (0,926) e média suscetibilidade (0,602), respectivamente. A declividade no ponto (a) é de 20,03°, em uma altitude de 179,29 m., enquanto o ponto (b) possui declividade de 12,66°, em uma altitude de 323,73. O uso e cobertura da terra de ambos os pontos, está registrado na base do MapBiomas, como sendo de floresta nativa, e nos registros do IBGE como pertencentes à formação Serra Geral. O ponto (a) possui uma precipitação média anual histórica de 1550mm, enquanto o ponto (b) possui registro na base de dados do INMET/INPE, como sendo de 1559 mm anuais. A tabela 15 apresenta os resultados do trabalho de campo no bairro Centro de Picada Café.

Tabela 15-Resultados do Trabalho de Campo - Bairro Centro

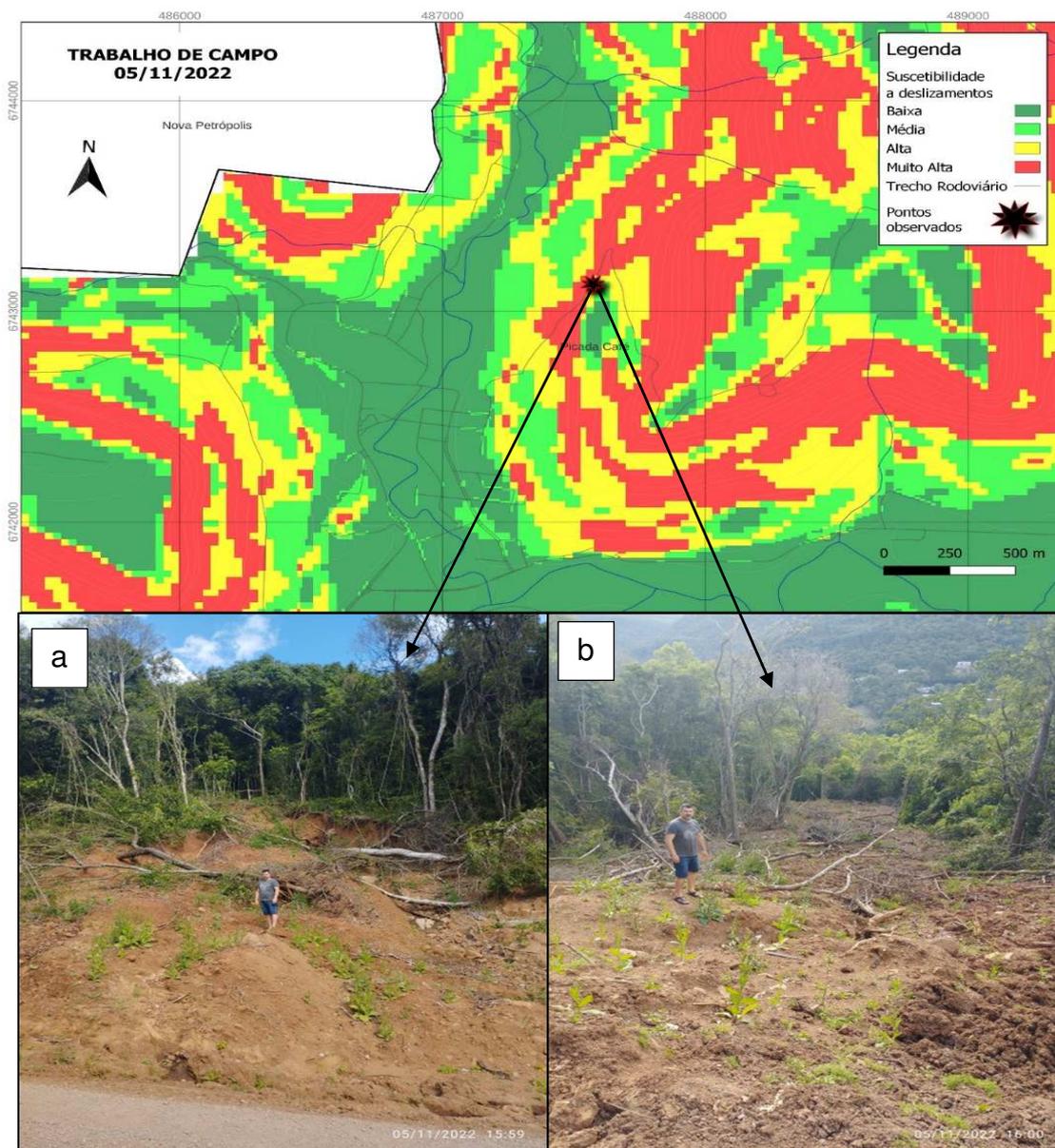
Ponto	Suscetibilidade	Declividade	Altitude	Geologia	Uso da terra	Precipitação
A	0,926	20,03	179,29	Serra Geral	Floresta	1550
B	0,602	12,66	323,73	Serra Geral	Floresta	1559
C	0,861	22,94	191,44	Serra Geral	Floresta	1638



Mapa 14-Trabalho de Campo no bairro Centro.
SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Autor: Milton Ribeiro Junior

Ainda no bairro Centro, o mapa 15, apresenta o local cujo a cicatriz de deslizamento mais se aproxima da descrição teórica de um deslizamento de terra do tipo translacional. Este ponto está localizado em uma área identificada como de muito alta suscetibilidade a deslizamentos (0,861), com uma declividade de $22,94^\circ$, em uma altitude de 191,44 m. O seu uso e cobertura, está registrado na base do MapBiomas,

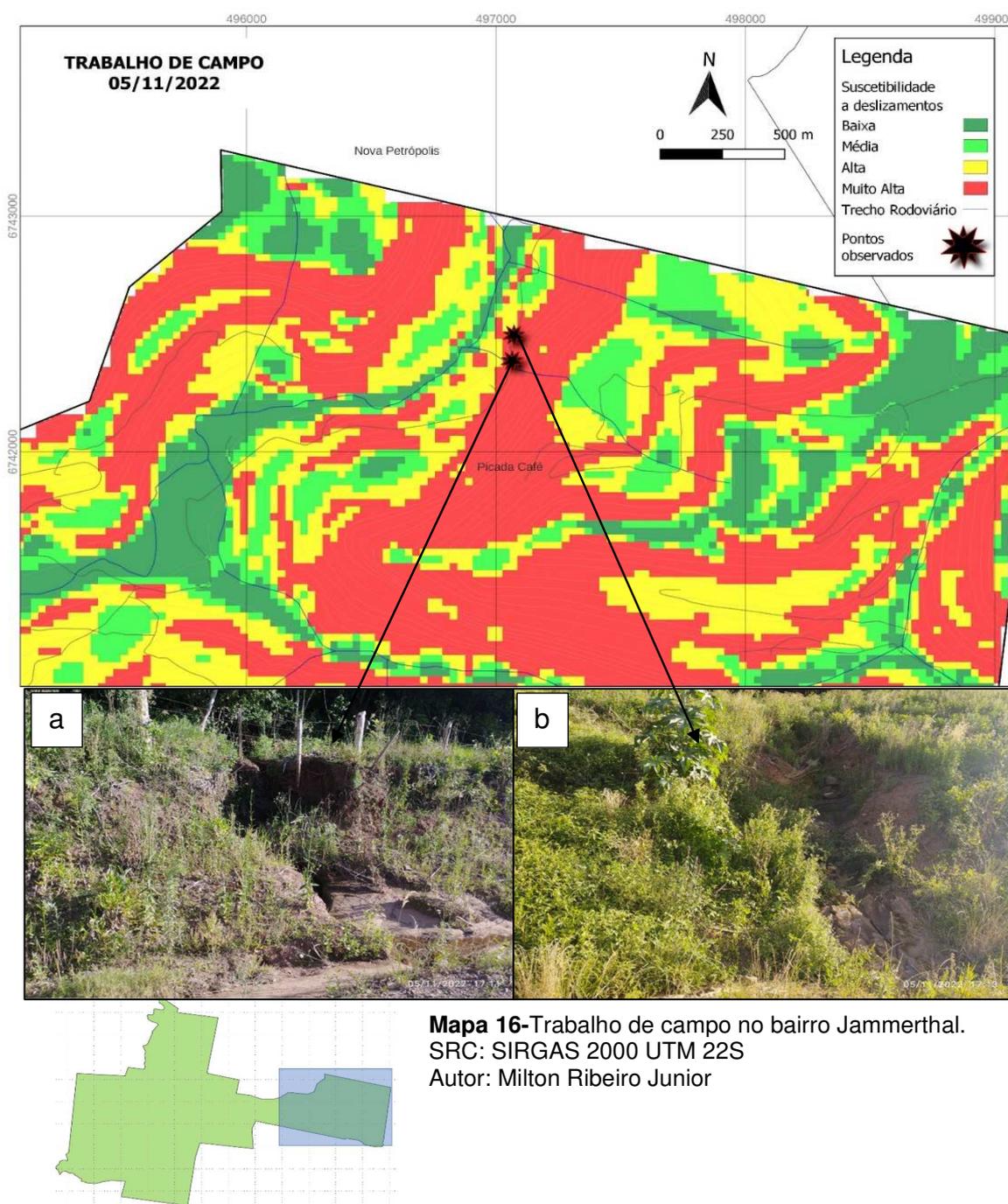
como sendo de floresta nativa. Sua precipitação média anual, está registrada na base de dados do INMET/INPE, como sendo de 1638 mm anuais. Geologicamente, os registros do IBGE apontam a área como pertencente à Formação Serra Geral, além de estar localizada às margens de uma rodovia.



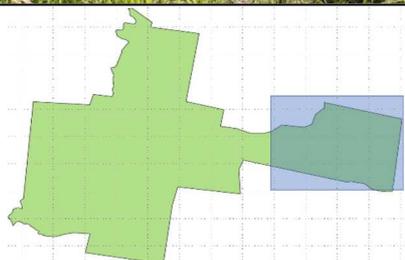
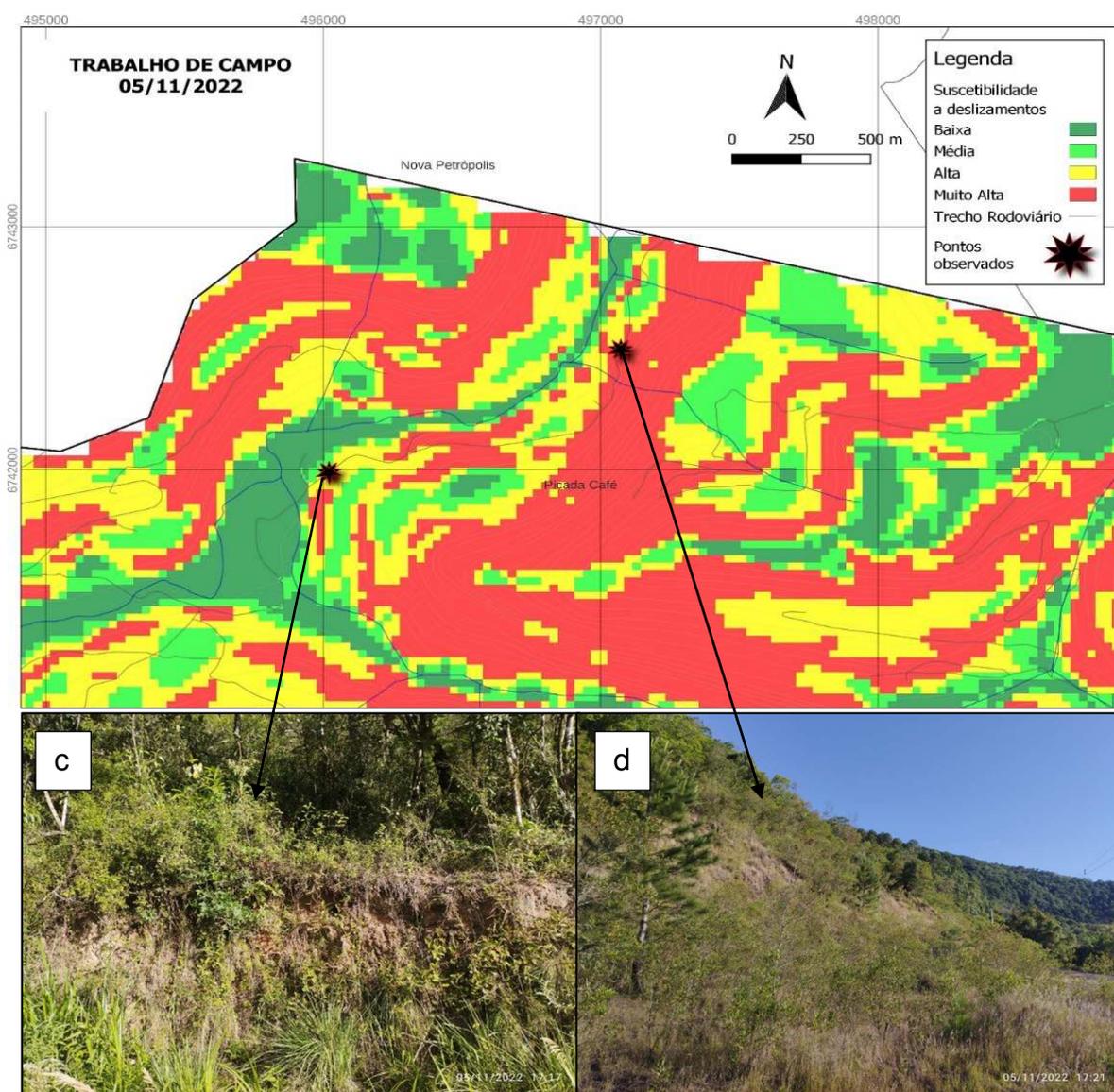
Mapa 15-Trabalho de Campo no bairro Centro.
SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Autor: Milton Ribeiro Junior

➤ Trabalho de Campo no Bairro Jammerthal

Os resultados de campo do bairro Jammerthal são demonstrados nos mapas 16 e 17. No mapa 16, os locais observados, pontos 16(a) e 16(b) estão em áreas identificadas como de muito alta suscetibilidade (0,936) e (0,866), respectivamente. A tabela 16 apresenta os resultados do trabalho de campo no bairro Jammerthal.



A declividade no ponto (a) é de $35,17^\circ$, em uma altitude de 181,8 m., enquanto o ponto (b) possui declividade de $22,71^\circ$, em uma altitude de 160,37. O uso e cobertura da terra de ambos os pontos, está registrado na base do MapBiomas, como sendo de floresta nativa, e nos registros do IBGE como pertencentes à formação Serra Geral. O ponto (a) possui uma precipitação média anual histórica de 1717mm, enquanto o ponto (b) possui registro na base de dados do INMET/INPE, como sendo de 1706 mm anuais.



Mapa 17-Trabalho de campo no bairro Jammerthal.
SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Autor: Milton Ribeiro Junior

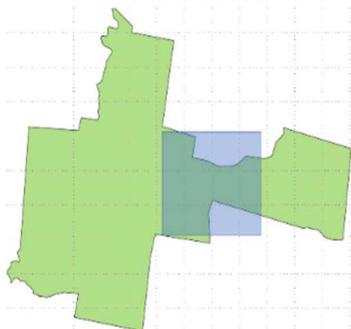
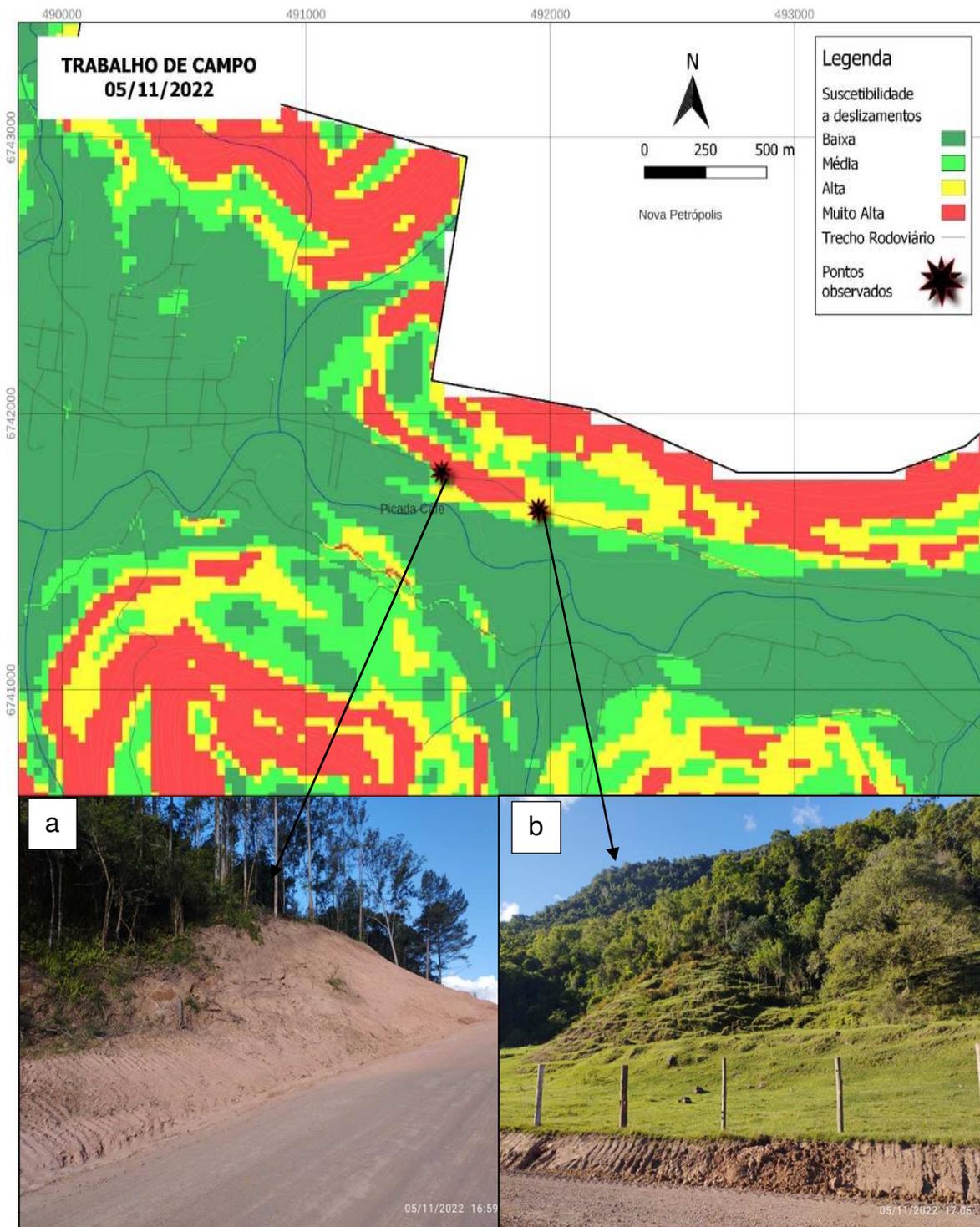
No mapa 17, os locais observados, pontos 17(c) e 17(d) estão em áreas identificadas como de muito média (0,637) e muito alta suscetibilidade (0,966), respectivamente. A declividade no ponto (a) é de 14,5°, em uma altitude de 117,57m, enquanto o ponto (b) possui declividade de 25,06°, em uma altitude de 133,01. O uso e cobertura da terra de ambos os pontos, está registrado na base do MapBiomas, como sendo de agropecuária, e nos registros do IBGE como pertencentes à formação Serra Geral. O ponto (a) possui uma precipitação média anual histórica de 11570mm, enquanto o ponto (b) possui registro na base de dados do INMET/INPE, como sendo de 1673 mm anuais.

Tabela 16-Resultados do Trabalho de Campo - Bairro Jammerthal

Ponto	Suscetibilidade	Declividade	Altitude	Geologia	Uso da terra	Precipitação
a	0,936	35,17	181,8	Serra Geral	Floresta	1717
b	0,866	22,71	160,37	Serra Geral	Floresta	1706
c	0,637	14,5	117,57	Serra Geral	Agropecuária	1570
d	0,966	25,06	133,01	Serra Geral	Agropecuária	1673

➤ Trabalho de Campo no Bairro Joaneta

Os resultados de campo do bairro Joaneta são demonstrados no mapa 18. Os locais observados, pontos 18(a) e 18(b) estão em áreas identificadas como de alta suscetibilidade (0,856) e (0,764), respectivamente. A declividade no ponto (a) é de 20,84°, em uma altitude de 101,91 m., enquanto o ponto (b) possui declividade de 17,04°, em uma altitude de 108,64. O uso e cobertura da terra de ambos os pontos, está registrado na base do MapBiomas, como sendo de floresta nativa, e nos registros do IBGE como pertencentes à formação Serra Geral. O ponto (a) possui uma precipitação média anual histórica de 1566mm, enquanto o ponto (b) possui registro na base de dados do INMET/INPE, como sendo de 1568 mm anuais. A tabela 17 apresenta os resultados do trabalho de campo no bairro Joaneta.



Mapa 18-Trabalho de campo no bairro Joaneta.
SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Autor: Milton Ribeiro Junior

Tabela 17-Resultados do Trabalho de Campo - Bairro Joaneta

Pontos	Suscetibilidade	Declividade	Altitude	Geologia	Uso da terra	Precipitação
a	0,856	20,84	101,91	Serra Geral	Floresta	1566
B	0,764	17,04	108,64	Serra Geral	Floresta	1568

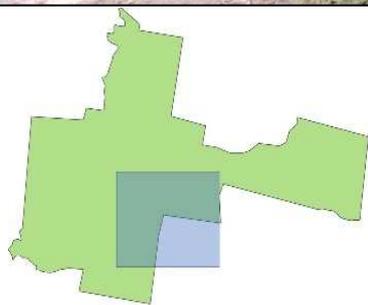
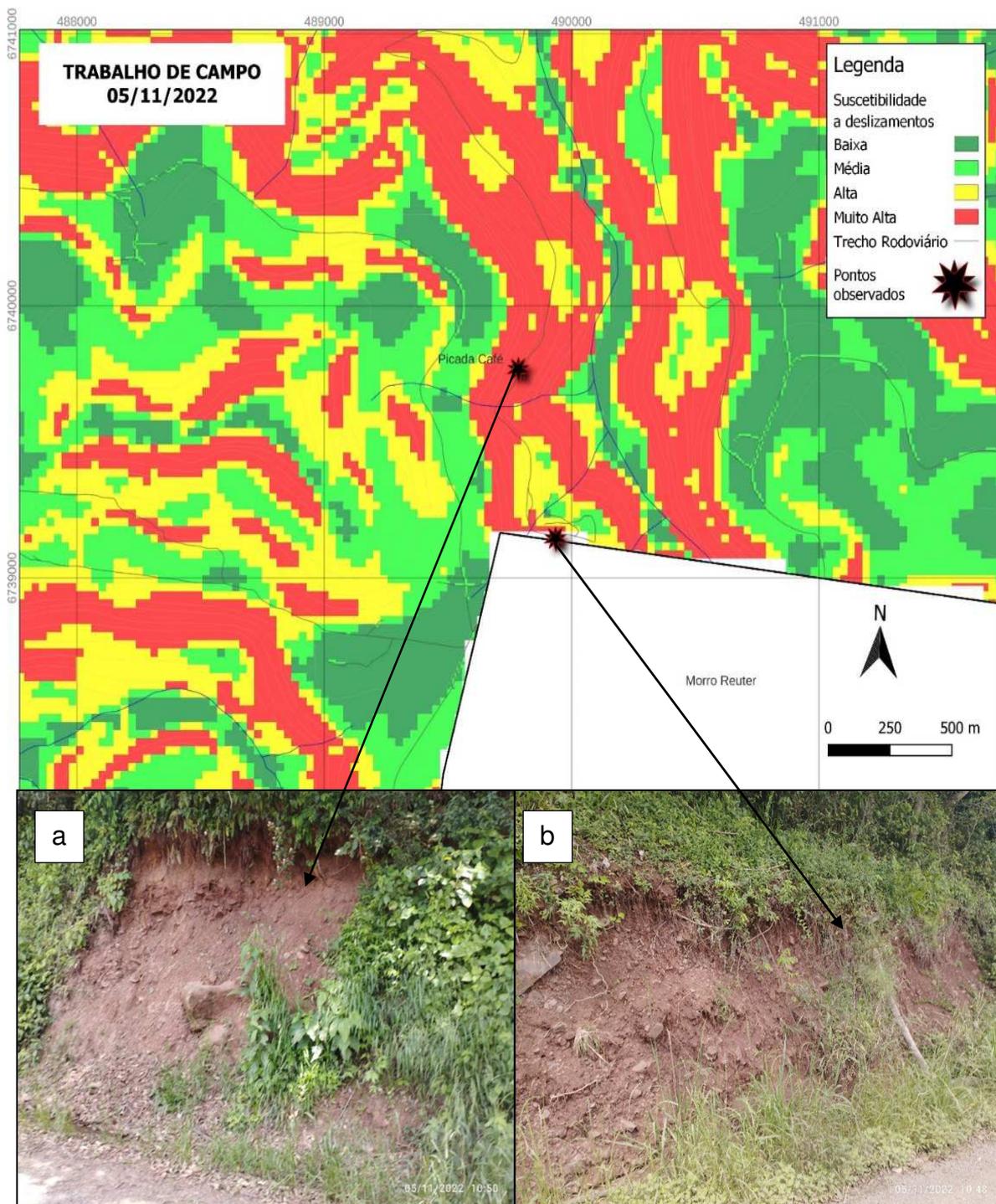
➤ Trabalho de Campo no Bairro São João

Os resultados de campo do bairro São João são demonstrados no mapa 19 e na tabela 18. Os locais observados, pontos 19(a) e 19(b) estão em áreas identificadas como de alta suscetibilidade (0,861) e (0,896), respectivamente.

A declividade no ponto (a) é de 29,64°, em uma altitude de 281 m., enquanto o ponto (b) possui declividade de 22,28°, em uma altitude de 289,5m. O uso e cobertura da terra no ponto (a), está registrado na base do MapBiomias, como sendo de floresta nativa, enquanto o ponto (b) está registrado como uso agropecuário. Ambos os pontos estão registrados no IBGE como pertencentes à formação Serra Geral. O ponto (a) possui uma precipitação média anual histórica de 11669mm, enquanto o ponto (b) possui registro na base de dados do INMET/INPE, como sendo de 1699 mm anuais.

Tabela 18-Resultados do Trabalho de Campo - Bairro São João

Pontos	Suscetibilidade	Declividade	Altitude	Geologia	Uso da terra	Precipitação
a	0,861	29,64°	281m	Serra Geral	Floresta	1669mm
b	0,896	22,28°	289,5m	Serra Geral	Agropecuária	1699mm



Mapa 19-Trabalho de campo bairro no São João.
SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Autor: Milton Ribeiro Junior

A amostra, observada no trabalho de campo, apresenta uma média de suscetibilidade a deslizamento de 0,839 e uma mediana de 0,861. A declividade média é de 22,14° com uma mediana de 22,28°, enquanto as altitudes médias estão na faixa de 215,96m com uma mediana de 181,8m. A totalidade dos pontos observados estão localizadas na área da formação geológica Serra Geral (conforme registros do IBGE) e o uso de cobertura da terra está dividido, sendo 69,23% com cobertura nativa (9/13 pontos) e 30,77% com área de uso agropecuário (4/13), segundo registros do Mapbiomas.

Os mapas de cada um dos principais bairros da cidade de Picada Café, apresentam similaridade entre os locais com menor e maior suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos. Regiões com altitudes menores que 100m, onde se concentra o maior adensamento urbano, formação Botucatu e menores declividades são aquelas que apresentam a menor suscetibilidade. Segundo os dados coletados, a relação entre a ocupação antrópica e o relevo, pode caracterizar uma preocupação dos munícipes picadacafeenses em não avançar, de forma desordenada, para as encostas dos morros, se mantendo, em sua maioria, nas regiões com altitudes mais baixas e em terrenos planos.

Gráfico 10-Altitudes dos pontos observados no Trabalho de Campo



Por sua vez, segundo o trabalho de campo, as maiores suscetibilidades à deslizamento se localizam nas subidas dos morros, em altitudes entre 100 m e 451 m (gráfico 10), com declividades entre 15° e 35° (Gráfico 11), em geral nas encostas das estruturas geológicas basálticas da Formação Serra Geral. Nestas localizações,

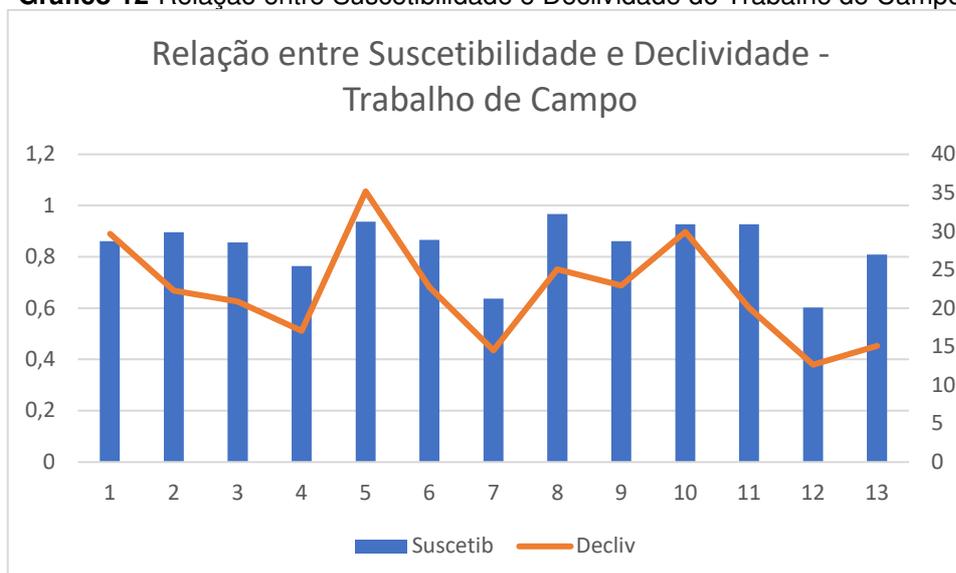
encontram-se formações das rampas de colúvio do período Quaternário composta pelos sedimentos do basalto e com a ação da água e da gravidade tornam o terreno instável, suscetível à ocorrência de deslizamentos.

Gráfico 11-Declividades dos pontos observados no Trabalho de Campo



O mapeamento, dos pontos de suscetibilidade a deslizamentos, no município de Picada Café indicou que cidade apresenta, geologicamente, condições de alta suscetibilidade em pontos de encostas, onde as declividades médias superam os 20°, próximas aos recortes das estradas, mesmo com cobertura vegetal nativa. Conforme demonstrado no gráfico 12, existe uma relação direta entre a declividade e a suscetibilidade a deslizamentos, sendo que as declividades próximas de 30° são as que apresentaram maior correlação direta, segundo a amostra.

Gráfico 12-Relação entre Suscetibilidade e Declividade do Trabalho de Campo



Os gráficos 13 e 14 apresentam a distribuição das suscetibilidades dos 13 pontos observados no trabalho de campo. Da leitura dos gráficos se observa que existe uma relação direta entre as cicatrizes e sua suscetibilidade a deslizamentos de terra. Os locais visitados se concentram na área de plotagem do mapa compreendida entre alta e muito alta suscetibilidade (entre 0,6940 e 0,99).

Gráfico 13- Distribuição dos pontos observados em relação a sua suscetibilidade a deslizamentos.

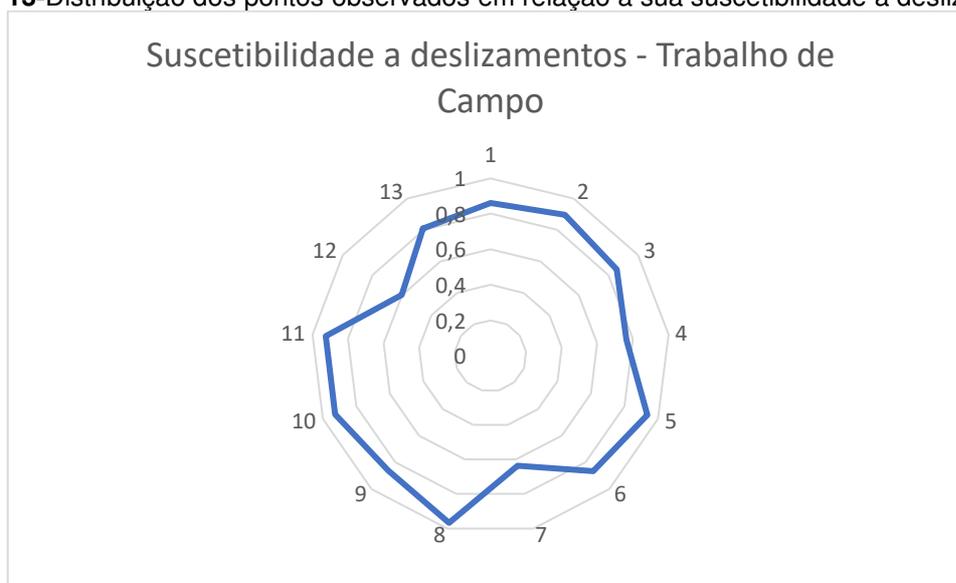
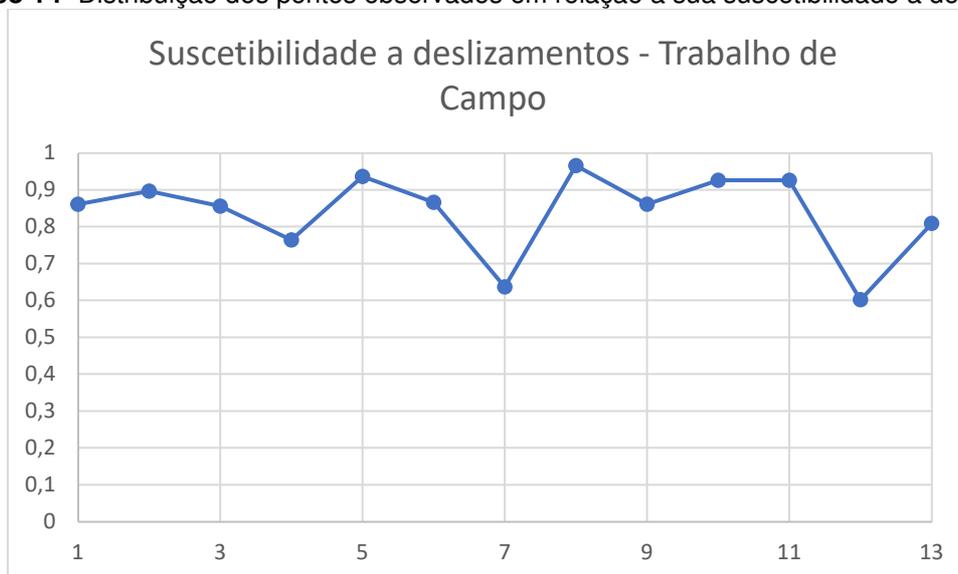
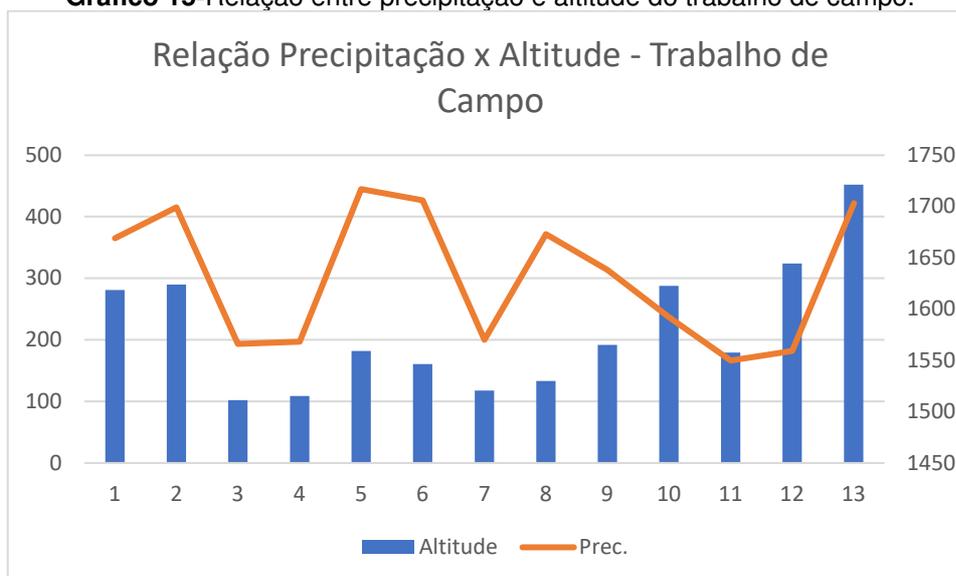


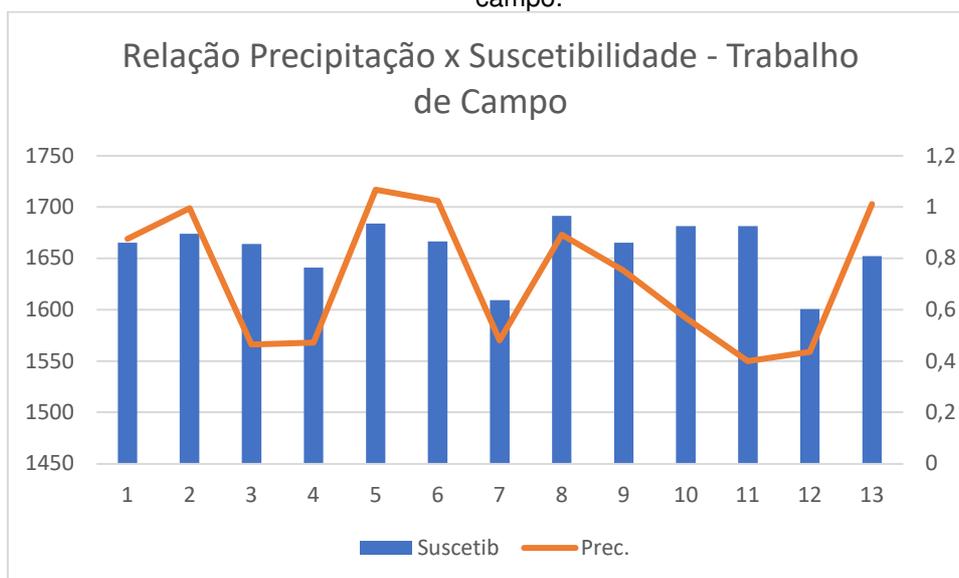
Gráfico 14- Distribuição dos pontos observados em relação a sua suscetibilidade a deslizamentos.



Em relação, aos índices pluviométricos médios anuais, dos pontos observados no trabalho de campo, percebe-se a existência de uma correlação direta entre a altitude e a concentração pluviométrica, sendo que quanto maior a precipitação média, maior a altitude, conforme apresentado no gráfico 15.

Gráfico 15-Relação entre precipitação e altitude do trabalho de campo.

Entre a suscetibilidade a deslizamentos e os índices pluviométricos (gráfico 16), porém, percebe-se pouca relação direta entre ambos, comprovando que o fator chuva, inserido na análise de suscetibilidade a deslizamentos, oferece pouca representatividade. Em um possível desdobramento deste trabalho, sugere-se a inclusão de outros fatores combinados com a precipitação, tais como, a proximidade das vertentes ou trechos de drenagem e a orientação da encosta. Dessa forma, poderia se ter uma melhor interpretação do fator climático, inserindo elementos que possibilitem identificar onde os maiores índices pluviométricos são depositados e por onde são escoados, ao percorrer os morros.

Gráfico 16-Relação entre precipitação e suscetibilidade dos pontos observados no trabalho de campo.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho permite discussões que poderão servir de base para a elaboração de diretrizes mais amplas e aprofundadas sobre as ações necessárias para resguardar a população frente às ocorrências geológicas que podem causar danos.

Trata-se, portanto, de um estudo preliminar que precisa, necessariamente, ser ampliado de maneira a ter um mapa mais completo, que inclua a suscetibilidade à ocorrência de eventos danosos aliado ao mapeamento da vulnerabilidade da população. Dessa maneira, tem-se, de forma mais precisa, quais são aqueles locais que merecem uma maior atenção, por parte do poder público e da comunidade.

Como exemplo, um desdobramento futuro para este trabalho pode ser um estudo do avanço da cidade em áreas suscetíveis a deslizamentos de maneira a limitar os processos construtivos. Por meio de uma atuação preventiva, que inclua um arcabouço de regramentos que limitem o uso da terra no espaço urbano, pode-se evitar construções de risco, preservando a vida e o patrimônio.

A comunidade picada cafeense, que se utiliza dos espaços territoriais para ali fixar residência, criar sua família, educar seus filhos, se locomover, se relacionar e se gerar riquezas, não pode ficar passivo frente aos processos naturais, sob o risco de perder não só seus investimentos e esforços acumulados durante anos, como também, pode vir a perder o seu bem mais precioso, nesta existência, a sua própria vida.

Alguns acontecimentos recentes como os deslizamentos ocorridos em Pernambuco e Rio de Janeiro no começo de 2022 e o deslizamento na BR 376 no Paraná, comprovam que todo o esforço para se antever este tipo de evento, são ações importantes no resguardo das vidas e do patrimônio das pessoas que ocupam ou transitam em áreas suscetíveis. Logo, a preocupação em antecipar tais acontecimentos naturais, torna-se algo de vital relevância.

O geoprocessamento dos dados e a representação gráfica, por meio de mapas, constituem importantes ferramentas de análise e identificação dos pontos que merecem atenção em relação à susceptibilidade ao deslizamento de terra. As informações decorrentes deste levantamento possibilitam auxiliar a gestão pública e a comunidade local para a melhor tomada de decisão em relação a ocupações do espaço para moradias e produção.

Para que a ocupação do solo se dê de forma ordenada e segura é necessária, porém, uma constante avaliação das mudanças das condições geológicas, geomorfológicas, climáticas, ambientais e do modo de ocupação e uso da terra, de maneira a identificar com certa margem de antecedência, alterações ocorridas na paisagem que possam significar um aumento da suscetibilidade ou risco de deslizamentos.

A análise multicritério com o uso de AHP demonstrou ser uma técnica viável para estudos de suscetibilidade a deslizamentos, podendo ser utilizada com um primeiro instrumento para a identificação de áreas de risco, sendo complementado, em estudos posteriores, por meio do mapeamento de vulnerabilidade, incluindo neste os fatores antrópicos como a ocupação humana, aliado ao estudo aprofundado dos solos – pedologia e suas litologias, existentes na área de estudo.

Em relação ao trabalho de um professor, percebeu-se que o tema das dinâmicas geológicas propicia uma vasta possibilidade de usos em salas de aula que vão desde os processos de formação do planeta terra, passando pela tectônica de placas, formação do relevo e ações da natureza, até o uso e cobertura da terra atualmente.

Para o ensino de geografia a análise de suscetibilidade a deslizamentos possui extrema relevância, pois aproxima o aluno da realidade da dinâmica do relevo, permite uma reflexão sobre os impactos da ocupação irrestrita do solo, além auxiliar o professor na exposição de conteúdos de geografia, tais como, geologia, hidrografia, clima, geomorfologia, urbanização, ecologia, só para citar alguns.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Manual de Desastres - Vol I: Desastres Naturais. Ministério da Integração Nacional. Brasília. 2003.

BRASIL. Codificação Brasileira de Desastres - COBRADE. [S.I.].

BRENNING, A. et al. Landslide susceptibility near highways is increased by 1 order of magnitude in the Andes of southern Ecuador; Loja province. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, p. 45-57, 2015.

BRITO, M. M. D. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre/RS. UFRGS, Porto Alegre, 2014.

CEMADEN. Anuário da Sala de Situação do Cemaden - Vol.1 n.1. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos/SP. 2019.

CNM. Danos e Prejuízos Causados por Desastres no Brasil entre 2013 e 2022. Confederação Nacional dos Municípios, 2022, 2022. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/biblioteca/exibe/15317>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

CPRM. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. Porto Alegre. 2006.

DIAS, P.; HERRMANN, M. L. D. P. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo no bairro Saco Grande, Florianópolis/SC. *Caminhos de Geografia*, v.3, n.6, 2002. 57-73.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Volume 2, Nº 1 (2001) 51-71, 2001.

GROTZINGER, J. Para entender a Terra. Porto Alegre: AMGH, 2014.

IBGE. Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2002.

IBGE. Mapeamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 2018.

IPT/CPRM. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, São Paulo, 2014.

IRGA. Médias Climatológicas do RS 2022, 2022. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

LIMA, L. D. D. M. Ocorrência de Deslizamentos em Encostas: Características Pedológicas e Ocupação Desordenada na Comunidade Vila União, Serra da Estrela (Petrópolis/RJ). UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

MARQUES, A. Tragédia em Petrópolis chega a 233 mortes; há quatro desaparecidos. Jornal G1, 04 mar. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2022/03/04/tragedia-em-petropolis-chega-a-233-mortos-ha-quatro-desaparecidos.ghtml>>. Acesso em: 18 jun. 2022.

MIRANDA, R. A. C. D.; OLIVEIRA, M. F. D.; SILVA, D. F. D. Ciclo Hidrológico Planetário: abordagens e conceitos, Rio de Janeiro, 2010.

MONTOYA, C. A. H. Incertezas, Vulnerabilidade e Avaliação de Risco Devido a Deslizamento em Estradas. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MOTTA, L.; CORTINHAS, L. Map Biomas Collection, 2021. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: Agosto de 2022.

NÓBREGA, F. Maior tragédia do século em Pernambuco, mortes pelas chuvas de 2022 superam o total da cheia de 1975. Jornal Folha de Pernambuco, 2022. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/noticias/maior-tragedia-do-seculo-em-pernambuco-mortes-pelas-chuvas-de-2022/228963/>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

RAMOS, V. M. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de escorregamentos no Brasil e suas relações com aspectos socioeconômicos. Universidade de Brasília. Brasília. 2017.

SEMA-RS. Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

SILVA, M. L. N. et al. Manejo e Conservação de Solo e da Água. Lavras/MG: Universidade Federal de Lavras - UFLA, 2015.

SILVEIRA, H. L.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Avaliação Multicriterial no Mapeamento da Suscetibilidade de deslizamentos de terra. Revista *Árvore*, Viçosa, 2014.

SOTHE, C. et al. Uso de Modelo Aditivo Generalizado para Análise Espacial da Suscetibilidade a Movimentos de Massa. Revista do Departamento de Geografia USP, São Paulo, v. 34, 2017.

STEIN, R. T. E. A. Estabilidade de Taludes e Contenções. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556901664/>. Acesso em: 18 jan. 2023. ed. E-book: [s.n.], 2021.