



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO (UFPE)  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
(CTG)  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO  
E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS (PROFÁGUA)**

**DANILO DO NASCIMENTO BEZERRA**

**MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE  
ENCOSTAS NO BAIRRO DE DOIS UNIDOS- RECIFE, UTILIZANDO O  
PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO.**

RECIFE - PE

2025

## **DANILO DO NASCIMENTO BEZERRA**

**MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE  
ENCOSTAS NO BAIRRO DE DOIS UNIDOS- RECIFE, UTILIZANDO O  
PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Mestrado Profissional em rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**Área de concentração:**  
instrumentos da política de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suzana Maria Gico Lima Montenegro

RECIFE

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Bezerra, Danilo do Nascimento.

Mapeamento de susceptibilidade a deslizamentos de encostas no bairro de dois unidos- recife, utilizando o processo analítico hierárquico / Danilo do Nascimento Bezerra. - Recife, 2025. 103f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2025.

Orientação: Leidjane Maria Maciel de Oliveira.

Coorientação: Suzana Maria Gico Lima Montenegro.

Inclui referências.

1. Vulnerabilidades; 2. Deslizamento; 3. Geotecnologias. I. Oliveira, Leidjane Maria Maciel de. II. Montenegro, Suzana Maria Gico Lima. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, ofereço meus agradecimentos a Deus por me guiar nesse caminho. Também, expresso minha sincera gratidão à minha amada família. Seu amor incondicional, encorajamento e apoio têm sido a base da minha jornada, me inspirando a buscar essa empreitada acadêmica. Sua crença em minhas habilidades e motivação constante me deram forças para superar desafios e alcançar novos patamares. Sou eternamente grato pelos sacrifícios que fizeram para tornar esse sonho realidade.

Aos meus queridos amigos, vocês têm sido pilares de força, sempre presentes para levantar meu ânimo e aliviar meus fardos.

À minha amada noiva, você tem sido meu alicerce e inspiração. Seu amor e crença em mim têm sido uma fonte infinita de motivação. Obrigado por estar ao meu lado, me encorajando a cada passo do caminho. Seu apoio inabalável e compreensão tornaram essa jornada ainda mais significativa.

Estendo minha sincera gratidão à minha estimada orientadora por sua orientação valiosa, conhecimento e dedicação incansável. Seu feedback perspicaz e encorajamento foram fundamentais na elaboração desta qualificação dissertação. Sou grato pela mentoria e conhecimentos compartilhados comigo.

Por último, mas não menos importante, estendo meus sinceros agradecimentos à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por me proporcionar um ambiente excepcional de aprendizado. A excelência acadêmica e os recursos oferecidos pela universidade foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa.

Em conclusão, essa jornada não teria sido possível sem o amor, apoio e orientação de minha família, a graça de Deus, a camaradagem de amigos, o encorajamento de minha noiva, a mentoria de minha orientadora e as oportunidades oferecidas pela UFPE. Cada um de vocês desempenhou um papel vital na moldagem tanto do meu crescimento acadêmico quanto pessoal.

## RESUMO

O bairro de Dois Unidos, localizado na Região Político-Administrativa II (RPA2) de Recife, é altamente vulnerável a desastres naturais, especialmente deslizamentos de terra, que ocorrem com frequência durante chuvas intensas. A geografia da região, com declives acentuados e infraestrutura urbana deficiente, agrava os riscos. O solo saturado pelas chuvas perde estabilidade, o que facilita o deslocamento das massas de terra. O estudo visou mapear a susceptibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos, classificando encostas por nível de risco e validando os resultados em campo propondo uma metodologia eficiente e acessível para apoiar gestores e a população na prevenção de desastres. Para lidar com essa vulnerabilidade, o uso de geotecnologias, como o QGIS, e métodos de análise multicritério, como o AHP (Analytic Hierarchy Process), tem se mostrado eficaz no mapeamento e avaliação das áreas de risco. A metodologia adotada fundamentou-se em uma análise espacial multicritério para identificar áreas suscetíveis a deslizamentos no bairro de Dois Unidos, Recife. Foram utilizadas imagens do satélite OLI/LANDSAT-8 (bandas 4, 5 e 6), o BDIA e o Modelo Digital de Terreno (MDT) do PE3D, integrando dados ambientais e topográficos. Mapas temáticos foram gerados para sete critérios (NDVI, geologia, declividade, curvatura, hipsometria, ordem de drenagem e intensidade pluviométrica), com normalização dos dados em escala de 0 a 1 por funções fuzzy e hierarquização por AHP. Os critérios foram ponderados por especialistas da Defesa Civil e combinados por meio de Combinação Linear Ponderada (CLP). O resultado foi o mapa final de suscetibilidade, categorizado em níveis de risco (muito alto a baixo), validado com observações de campo. A região possui duas formações geológicas: a Formação Barreiras, mais suscetível a deslizamentos, e os Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos, de menor risco. Áreas com declividade entre 20% e 45% são mais vulneráveis, enquanto terrenos planos são mais estáveis. A vegetação (24% da área) ajuda a estabilizar o solo, mas áreas com pouca vegetação (4,59%) são mais propensas à erosão. A curvatura do terreno favorece o acúmulo de água, aumentando o risco de alagamentos e erosão, especialmente em áreas inclinadas. O estudo no bairro de Dois Unidos identificou áreas com diferentes níveis de risco de deslizamento, utilizando critérios como geologia, declividade, vegetação (NDVI), drenagem, precipitação e hipsometria. A Formação Barreiras, predominante na região, está fortemente associada à instabilidade do solo. O Índice de Vegetação foi o critério mais relevante, seguido da geologia. A maior parte do território (82,27%) apresenta risco Médio ou Alto, enquanto 2,17% estão em risco Muito Alto. A metodologia AHP garantiu a consistência na ponderação dos critérios. Os dados subsidiaram a criação de mapas temáticos que orientam o planejamento urbano e a mitigação de riscos ambientais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vulnerabilidades. Deslizamento. Geotecnologias.

## ABSTRACT

The Dois Unidos neighborhood, located in the Political-Administrative Region II (RPA2) of Recife, is highly vulnerable to natural disasters, especially landslides, which occur frequently during heavy rainfall. The region's geography, with steep slopes and deficient urban infrastructure, exacerbates these risks. The soil, rapidly saturated by rain, loses stability, facilitating the movement of land masses.

To address this vulnerability, the use of geotechnologies, such as QGIS, and multicriteria analysis methods, like AHP (Analytic Hierarchy Process), has proven effective in mapping and assessing risk areas. These tools integrate various environmental and geospatial factors, providing a detailed view of the regions most susceptible to landslides and assisting in planning preventive and mitigation actions. This mapping is essential for guiding public policies on urbanization and risk management, contributing to the reduction of the population's exposure to natural disasters. The geospatial analysis of Dois Unidos reveals that its natural characteristics play a key role in the vulnerability to landslides. The region is composed of two main geological formations: the Barreiras Formation, more prone to landslides, and the Holocene Fluvio-marine Deposits, which present lower risk. Areas with slopes between 20% and 45% are more vulnerable, while flat terrains are more stable. Vegetation (24% of the area) helps stabilize the soil, but areas with scarce vegetation (4.59%) are more prone to erosion. The curvature of the terrain promotes water accumulation, increasing the risk of flooding and erosion, especially in steep areas. Intense rainfall and elevation variation also contribute to landslides, making higher areas less suitable for urbanization. The multicriteria analysis highlights vegetation as the main factor for mitigating these risks, and the use of geotechnologies supports the implementation of effective public policies for risk management and sustainable urban planning.

**Keywords:** Vulnerabilities. Landslides. Geotechnologies.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principais tipos de movimentos de massa.....	19
<b>Figura 2.</b> Registros de movimentos de massa no Estado de Pernambuco de 1991 a 2012. ....	23
<b>Figura 3.</b> Relação entre risco, ameaça e vulnerabilidade.....	26
<b>Figura 4.</b> Definição de risco de desastres (modificado de UNISDR, 2016). ....	26
<b>Figura 5.</b> Etapas principais do método AHP.....	36
<b>Figura 6.</b> Localização da Região Metropolitana de Recife. ....	39
<b>Figura 7.</b> Unidades Geoambientais da planície do Recife.....	40
<b>Figura 8.</b> Frequências mensais dos eventos pluviométricos nas faixas dos quantis de chuva diária muito forte ( $Q_p=0,85$ ), extremamente forte ( $Q_p=0,95$ ) e excepcionalmente forte ( $2*Q_p=0,95$ ) entre os anos de 1961 e 2016 na cidade do Recife/PE. ....	43
<b>Figura 9.</b> Organização sequencial dos procedimentos metodológicos.....	50
<b>Figura 10.</b> Atribuições dos analistas com vistas à ponderação de critérios ou fatores globais e de subcritérios ou subfatores. ....	61
<b>Figura 11.</b> Mapa digital do limite de Dois Unidos.....	46
<b>Figura 12.</b> Mapa digital de classes geológicas do bairro de Dois Unidos.....	65
<b>Figura 14.</b> Modelo 3D sem escala da Declividade no bairro de Dois Unidos. .	68
<b>Figura 13.</b> Mapa digital de classes de Declividade no bairro de Dois Unidos.	68
<b>Figura 15.</b> Mapa digital de classes de Índice de Vegetação no bairro de Dois Unidos .....	70
<b>Figura 16.</b> Mapa digital de classes de Curvatura no bairro de Dois Unidos. ...	71
<b>Figura 17.</b> Mapa digital de classes de Curvatura no bairro de Dois Unidos ....	74
<b>Figura 18.</b> Mapa da Intensidade Pluviométrica nos limites de bairro de Dois Unidos. ....	75
<b>Figura 19.</b> Mapa digital da Intensidade Pluviométrica no bairro de Dois Unidos. ....	76
<b>Figura 20.</b> Mapa digital da Hipsometria do bairro de Dois Unidos.....	78
<b>Figura 21.</b> Representações de classes de solo no mapa normalizado.....	80

<b>Figura 22.</b> Mapa de valores contínuos referentes aos riscos a Deslizamentos. .....	84
<b>Figura 23.</b> Mapa digital das classes de níveis de risco à deslizamento no bairro de Dois Unidos.....	86
<b>Figura 24.</b> Mapa digital das classes de níveis de risco à deslizamento no bairro de Dois Unidos com os pontos estratégicos.....	87
<b>Figura 25.</b> Rua Engenheiro Célio de Carli – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9115813.19 ; 288136.23). ....	88
<b>Figura 26.</b> Rua Vertentes do Lério – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9115851.86 ; 288233.71) .....	88
<b>Figura 27.</b> Rua Chagas Ferreira – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9114882,06 ; 288953,53) .....	89
<b>Figura 28.</b> 2ª travessa Chagas Ferreira – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9115428.93 ; 288444.77) .....	89
<b>Figura 29.</b> Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de nível de risco baixo à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos ....	85
<b>Figura 30.</b> Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de nível de risco médio à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos ...	89
<b>Figura 31.</b> Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de nível de risco alto à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos .....	89
<b>Figura 32.</b> Distribuição espacial dos setores correspondentes á classe de risco muito alto à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos...	88

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Características principais do tipo de escorregamento .....	20
<b>Quadro 2.</b> Principais fatores deflagradores de movimentação de massa.....	22
<b>Quadro 3.</b> Grau de Risco Geológico.....	28
<b>Quadro 4.</b> Classificação dos desastres .....	38
<b>Quadro 5.</b> Tipologia de Relevo da planície do Recife.....	41
<b>Quadro 6.</b> Principais características do modelo digital de terreno (MDT).....	48
<b>Quadro 7.</b> Características dos critérios para o processo de normalização de dados .....	59

## GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Frequência mensal de movimento de massa na Região Política Administrativa 2, no período de 2020 a 2024. ....	24
<b>Gráfico 2.</b> Frequência anual de movimento de massa em PE, no período de 2020 a 2025. ....	24
<b>Gráfico 3.</b> Relação de números de pessoas com as consequências de desastres naturais em PE, no período de 2020 a 2024. ....	25
<b>Gráfico 4.</b> Precipitação média mensal para a cidade de Recife entre 1961-2016. ....	42
<b>Gráfico 5.</b> Pesos de importância dos critérios globais atribuídos pelos analistas. ....	83

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Precipitação média histórica mensal da Região Metropolitana do Recife. ....	42
<b>Tabela 2.</b> Principais características das imagens OLI/LANDSAT-8.....	47
<b>Tabela 3.</b> Tipos de relevo e faixas de declividades elaborados pela EMBRAPA .....	54
<b>Tabela 4.</b> Representação dos valores da Hipsometria.....	55
<b>Tabela 5.</b> localização das estações pluviométricas.....	56
<b>Tabela 6.</b> Valor, definição e importância dos 9 pesos fundamentais de julgamento comparativo. ....	62
<b>Tabela 7.</b> Quantitativos das classes geológicas do bairro de Dois Unidos .....	65
<b>Tabela 8.</b> Quantitativos das classes geológicas do bairro de Dois Unidos .....	67
<b>Tabela 9.</b> valores obtidos do NDVI.....	69
<b>Tabela 10.</b> dados do mapa de Ordem de Drenagem .....	73
<b>Tabela 11.</b> dados do mapa de Intensidade Pluviométrica .....	74
<b>Tabela 12.</b> dados do Mapa Hipsométrico.....	78
<b>Tabela 13.</b> Valores atribuídos pelos analistas às classes de solo .....	80
<b>Tabela 14.</b> Matriz de comparação pareada com os critérios globais e pesos atribuídos pelos analistas. ....	81
<b>Tabela 15.</b> Resultados da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação.....	83
<b>Tabela 16.</b> Quantitativo das classes de nível de risco a susceptibilidade a deslizamento .....	85
<b>Tabela 17.</b> Localização dos pontos escolhidos para análise.....	87

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 OBJETIVOS .....	18
2.1 GERAL .....	18
2.2 ESPECÍFICOS.....	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
3.1 MOVIMENTOS DE MASSA .....	19
3.2 MOVIMENTOS DE MASSA NA RPA 2.....	22
3.3 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO À DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS .....	25
3.3.1 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DAS ENCOSTAS NA REGIÃO DE RECIFE .....	29
3.4 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO À DESLIZAMENTOS .....	31
3.5 SIG .....	32
3.6 METODOLOGIA PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO .....	34
3.7 DEFESA CIVIL, DESLIZAMENTOS E CHUVAS .....	37
4 METODOLOGIA.....	39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
4.1.1 GEOMORFOLOGIA E CLIMATOLOGIA DE RECIFE .....	39
4.1.2 LIMITES DO BAIRRO DE DOIS UNIDOS.....	44
4.2 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO .....	46
4.3 ORGANIZAÇÃO SEQUENCIAL .....	48
4.4 ELABORAÇÃO DE MAPAS DE CRITÉRIOS.....	51
4.4.1 MAPA DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	51
4.4.2 MAPA DE GEOLOGIA.....	53
4.4.3 MAPA DE DECLIVIDADE, CURVATURA, HIPSOMETRIA E ORDEM DE DRENAGEM .....	53
4.4.4 MAPA DE INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA.....	55
4.5 NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS.....	57
4.5.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO .....	57
4.5.2 GEOLOGIA.....	57
4.5.3 DECLIVIDADE .....	58
4.5.4 MAPA DE CURVATURA.....	58
4.5.5 ORDEM DE DRENAGEM.....	58
4.5.6 INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA.....	59
4.5.7 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	60
4.6 PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS.....	60
4.7 COMBINAÇÃO DE CRITÉRIOS.....	62

4.8 MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS .....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	64
5.1 MAPAS BÁSICOS DE CRITÉRIOS .....	64
5.1.1 MAPA DE GEOLOGIA.....	64
5.2.2 MAPA DE DECLIVIDADE .....	66
5.2.3 MAPA DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO – NDVI.....	69
5.2.4 MAPA DE CURVATURA.....	71
5.2.5 MAPA DE ORDEM DE DRENAGEM.....	72
5.2.6 MAPA DE INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA.....	74
5.2.7 MAPA HIPSOMÉTRICO .....	76
5.3 NORMALIZAÇÃO DO CRITÉRIO QUALITATIVO .....	79
5.3.1 MAPA DE GEOLOGIA.....	80
5.4 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	81
5.5 COMBINAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	84
5.6 ANÁLISE DAS CLASSES DE NÍVEL DE RISCO A SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS.....	85
6 CONCLUSÕES .....	95
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>98</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a desestabilização de encostas é um dos principais fenômenos relacionados a desastres naturais em áreas urbanas. Os deslizamentos em encostas ocorrem devido às chuvas intensas e prolongadas, ocorrendo com frequência durante o período chuvoso. A primeira fase para a implementação de um programa de gerenciamento de riscos é a identificação e análise dos riscos envolvidos (Antonelli, 2018).

De acordo com estudos, no Brasil, os deslizamentos de terra têm resultado em um elevado número de vítimas em desastres, sendo frequentemente associados ao processo de urbanização e ao crescimento desordenado das cidades brasileiras. A chuva desempenha um papel fundamental no fator de risco de deslizamentos de encostas. A intensidade e a frequência das precipitações pluviométricas podem saturar o solo, aumentando sua suscetibilidade à instabilidade (Damasceno; Cardoso; Paiva, 2021).

Nas áreas com declividades mais acentuadas, a água da chuva pode se acumular rapidamente, levando ao aumento da pressão hidrostática e ao enfraquecimento dos materiais do terreno. Além disso, a infiltração contínua da água pode diminuir a coesão do solo, tornando-o mais propenso a deslizar. Portanto, é crucial considerar o padrão de chuvas na análise de susceptibilidade a deslizamentos, a fim de implementar medidas preventivas adequadas e mitigar os riscos em encostas urbanas (Velo, 2009).

Além disso, a situação se agrava ainda mais devido à frequência de chuvas intensas na região e à construção de habitações em áreas propensas a deslizamentos. As chuvas saturam o solo nessas encostas, aumentando significativamente a probabilidade de deslizamentos e colocando em risco a vida dessas comunidades. Essa interseção entre a exclusão social, a ocupação em áreas de risco e os impactos das chuvas demonstra a urgente necessidade de políticas públicas abrangentes que abordem tanto a questão habitacional quanto a gestão de riscos, a fim de proteger essas comunidades vulneráveis e garantir um desenvolvimento urbano mais justo e seguro (Galvão, 2014).

Conforme Faria (2011), a realização do mapeamento de risco é conduzida por meio de trabalhos de campo envolvendo a identificação, análise dos riscos e delimitação das áreas afetadas. Durante essas atividades, são

avaliadas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos, a vulnerabilidade dos elementos em risco e as consequências sociais e/ou econômicas, caso ocorra um determinado evento destrutivo.

No apoio às ações de planejamento, de pesquisa e de gestão de recursos naturais, as geotecnologias, como os produtos de sensoriamento remoto e de sistemas de informação geográfica (SIG), têm sido amplamente utilizadas e recomendadas.

Com funções que realizam análises espaciais, os SIG são ferramentas viáveis para métodos de monitoramento e avaliação de um ambiente natural, que visam ao controle rigoroso sobre os fatores que provocam impactos ao meio ambiente. Uma dessas possibilidades é a geração ou elaboração de mapas de situações ambientais, com a ampliação de seu potencial a partir da utilização das funções de análise multicritério (Falcão, 2013).

Nesse contexto detalhado por Cardoso (2016), o mapeamento de risco envolve a análise da probabilidade de ocorrência de um fenômeno físico específico, que representa um evento adverso, em um local e período de tempo determinados. São consideradas as particularidades do fenômeno, como sua tipologia, mecanismo, material envolvido, magnitude, velocidade, duração, trajetória, severidade e poder destrutivo. Nesse sentido o sensoriamento remoto é uma das principais ferramentas que pode contribuir diretamente com a gestão hídrica, ambiental e social, auxiliando na tomada de decisão, sendo uma importante fonte geradora de informações.

O QGIS (Quantum GIS) é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto e gratuito que permite realizar mapeamento e análises espaciais com a finalidade de gerenciar, analisar e visualizar dados geoespaciais. O mapeamento computadorizado permite uma revisão rápida, além da possibilidade de serem digitalizados e impressos rapidamente (Cardoso, 2016).

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), desenvolvido por Thomas L. Saaty, é amplamente empregado como um modelo matemático para auxiliar na tomada de decisões, especialmente quando se busca estabelecer critérios claros, objetivos e baseados em fundamentos matemáticos para reduzir a subjetividade no grau de risco (Faria, 2011). A utilização do método AHP em

conjunto com a ferramenta QGIS (Quantum GIS) representa uma abordagem sólida e eficiente no mapeamento de áreas de risco. Essa combinação oferece aos profissionais e pesquisadores uma poderosa solução para a identificação e análise precisa dos potenciais perigos em regiões vulneráveis. Por meio da integração dessas tecnologias, é possível estabelecer critérios claros subjetividade no processo decisório.

O estudo foi realizado na Região Político Administrativa II (RPA2) - Dois Unidos, localizada na cidade de Recife. Esta área é conhecida por sua vulnerabilidade a desastres naturais, especialmente deslizamentos de encostas, que têm causado graves prejuízos sociais e econômicos. Dados históricos indicam que Dois Unidos é uma região com alta incidência de chuvas intensas e terrenos inclinados, o que exacerba o risco de deslizamentos. As estatísticas locais mostram que os eventos de deslizamento já resultaram em danos significativos a infraestruturas e perdas materiais. O conhecimento detalhado desses riscos é crucial para desenvolver estratégias de mitigação e promover um planejamento urbano mais seguro e resiliente na região (SEDEC, 2024).

Este bairro abrange tipos de índices de vegetações variadas, a maior parte utilizada no crescimento populacional com baixa conservação, destacando-se as localidades de Chagas Ferreira, Sítio do Rosário, Alto do Rosário e Vertentes do Lério, caracterizada por taludes com alto grau de declividade, curvatura, e altura em contraste com a falta de infraestrutura.

O método utilizado nesta pesquisa busca englobar fatores intervenientes na geração do processo de susceptibilidade a deslizamento, portanto, se configurando em análise multicritério espacial, utilizando os diversos fatores contribuintes para uma análise complexa (Falcão, 2013).

A elaboração de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos de encostas no Bairro de Dois Unidos, Recife, exige uma análise detalhada e integrada de diversos critérios geoespaciais e ambientais. Fatores como a declividade, curvatura do terreno, hipsometria, Índice de Vegetação (NDVI), intensidade pluviométrica e ordem de drenagem desempenham papéis fundamentais na determinação do risco de deslizamentos, uma vez que influenciam diretamente a estabilidade do solo e a dinâmica das encostas. A

declividade, por exemplo, está fortemente associada ao potencial de movimento de massas, enquanto a curvatura e a hipsometria contribuem para a compreensão da distribuição e escoamento da água nas encostas, fatores essenciais para a saturação do solo e o desencadeamento de deslizamentos. Além disso, o NDVI reflete a presença de vegetação, que desempenha um papel crucial na estabilização do solo, e a intensidade pluviométrica indica a quantidade e a frequência das chuvas, outro fator determinante para a ocorrência de deslizamentos. Já a ordem de drenagem ajuda a entender como a água se distribui no terreno, o que pode influenciar diretamente a concentração de água nas áreas mais vulneráveis. A integração desses critérios proporciona uma análise abrangente e precisa, permitindo a identificação de áreas de risco elevado e a formulação de estratégias eficazes de mitigação e prevenção. Dessa forma, o mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos torna-se uma ferramenta essencial para o planejamento urbano, a gestão de riscos e a proteção das comunidades que vivem em áreas de maior vulnerabilidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Realizar o mapeamento das áreas com suscetibilidade a deslizamentos no Bairro de Dois Unidos em Recife - PE, empregando a metodologia AHP por meio da lógica Fuzzy.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

Elaborar mapa de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos no bairro de Dois Unidos, em Recife;

Selecionar as encostas para validação do mapa de susceptibilidade a deslizamento;

Classificar as encostas com base nos níveis de riscos;

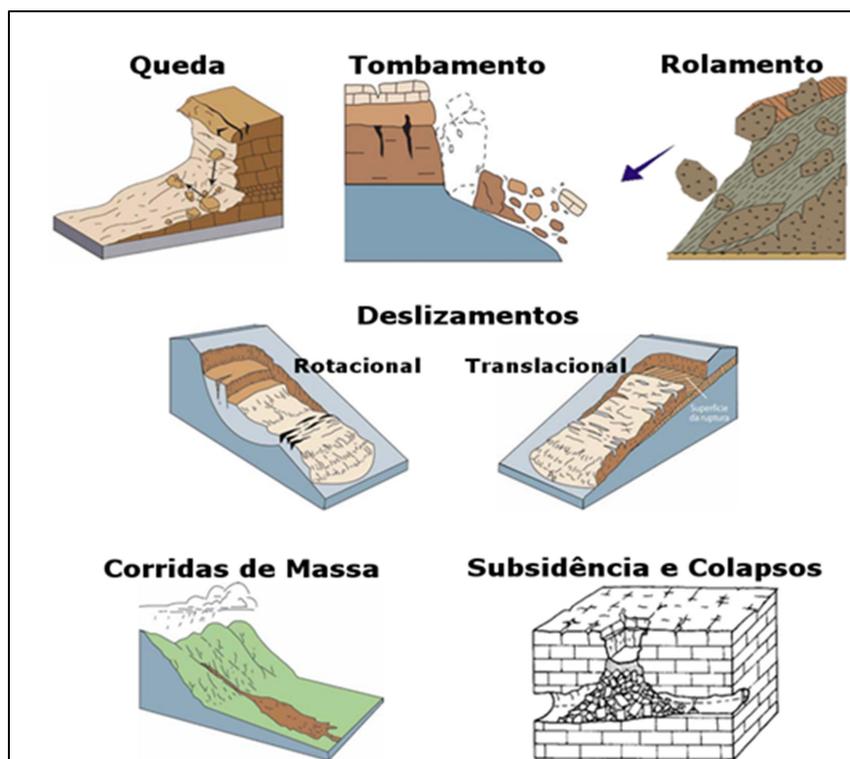
Apresentar uma metodologia que otimize o tempo e os custos no mapeamento de áreas de risco a deslizamentos, direcionada à população e gestores ambientais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 MOVIMENTOS DE MASSA

As diferentes classificações de deslizamentos estão relacionadas aos mecanismos específicos de falhas em encostas (Figura 1), bem como às propriedades e características dessas falhas geológicas. De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), os movimentos de massa são considerados desastres naturais de origem geológica. Esses fenômenos ocorrem quando solo e rocha de uma encosta se deslocam rapidamente, movendo-se para fora e para baixo, conforme o centro de gravidade desses materiais se altera. Quando esse deslocamento acontece de maneira lenta e quase imperceptível ao longo do tempo, é chamado de rastejo (UFSC, 2013).

**Figura 1.** Principais tipos de movimentos de massa.



Fonte: UFSC (2013)

Os movimentos de massa (Quadro 1) estão ligados a fatores geológicos e geomorfológicos, sendo mais frequentes em áreas com maior declividade. A morfologia da encosta influencia esses movimentos, direta ou indiretamente, ao

afetar os fluxos de água. A classificação dos movimentos considera critérios como velocidade, tipo de material e geometria da massa envolvida. (UFSC, 2013)

**Quadro 1.** Características principais do tipo de escorregamento.

<b>Processos</b>	<b>Características do movimento, material e geometria</b>
Rastejo ou fluência	Vários planos de descolamento (Internos) Velocidade de muito baixas(cm/ano) a baixas e descendentes com a profundidade Movimentos constantes sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha, alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamentos (externo) Velocidade de médias (Km/h) a altas (m/s) Pequeno a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares ou translacionais em solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares em solo espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha quando em solo e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Sem planos de deslocamento Movimento do tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidade muito altas (Vários m/s) Material rochoso Pequeno a médios volumes Geometria variável: lascas placas, blocos Rolamentos de matacões Tombamentos
Corridas	Muito superfícies de deslocamentos (interna e externas à massa em movimentação) Moimento semelhante ao de líquido viscoso Desenvolvimento ao longo de drenagens Velocidades de média a altas Mobilização de solo, rocha detritos e água Grandes volumes de material Extenso ralo de alcance, mesmo em área planas

**Fonte:** UFSC (2013)

Existem duas categorias de causas para os movimentos de massa, classificadas como externas e internas (Quadro 2). As causas externas referem-se a solicitações que levam ao aumento das tensões cisalhantes sem que haja um aumento na resistência ao cisalhamento do material da encosta. Essas solicitações estão associadas ao aumento da declividade da encosta devido a processos de erosão ou escavações realizadas pelo homem, além da deposição de materiais na parte superior da encosta (UFSC, 2013).

As causas externas mais comuns dos movimentos de massa estão relacionadas a intervenções humanas, como cortes excessivos no pé das encostas durante a construção de rodovias e à ocupação desordenada das encostas. Esse tipo de ocupação apresenta problemas associados aos cortes e aterros realizados para criar áreas planas para construção de moradias, à inadequada drenagem de águas servidas e pluviais, bem como ao lançamento inadequado de lixo. Essas causas externas provocam um aumento das tensões cisalhantes ao longo de uma superfície potencial de escorregamento até que a resistência ao cisalhamento seja igualada, levando aos movimentos de massa (UFSC, 2013).

As causas internas são responsáveis por desencadear movimentos de massa sem que ocorra modificação das condições superficiais. Em outras palavras, essas causas não aumentam as tensões cisalhantes, mas sim reduzem a resistência ao cisalhamento do material da encosta. Entre as causas internas mais comuns estão o aumento da pressão, a diminuição da coesão do material do talude e as variações do lençol freático (Silva, 2016).

As causas internas estão principalmente relacionadas à presença de água, que pode afetar a estabilidade da encosta de diversas maneiras. Quando a água da chuva se infiltra na encosta, reduz a força de contato entre as partículas do solo, resultando em uma diminuição da resistência disponível. Além disso, a água que se infiltra no solo e alcança a zona de saturação pode elevar o nível do lençol freático (Silva, 2016).

Nessa zona saturada, a pressão da água reduz as forças de contato entre as partículas do solo, diminuindo a tensão efetiva e, conseqüentemente, a resistência ao cisalhamento disponível. Assim, a infiltração de água e o aumento do lençol freático diminuem a resistência ao cisalhamento, facilitando

a ruptura da encosta, mesmo que ela não esteja totalmente saturada (UFSC, 2013).

**Quadro 2.** Principais fatores deflagradores de movimentação de massa.

<b>Ação</b>	<b>Fatores</b>	<b>Fenômenos geológicos/antrópicos</b>
Aumento da solicitação	Remoção de massa (Lateral o da base)	Erosão, escorregamentos, cortes
	Sobrecarga	Peso de água da chuva, neve, granizo, etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso de vegetação Construção de estrutura, aterros etc.
	Solicitação dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões Laterais	Água em trincas, congelamento, material expansivo
Redução de resistência	Características inerentes ao material (geometria, estrutura)	Características geomecânicas do material, tensões
	Mudanças ou fatores variáveis	Intemperismo- redução da coesão e atrito Elevação do nível d'água

Fonte: UFSC (2013)

### 3.2 MOVIMENTOS DE MASSA NA RPA 2

Durante o período de 1991 a 2012, o Estado de Pernambuco registrou oficialmente 24 ocorrências relacionadas a movimentos de massa, conforme demonstrado na Figura 2. Esses eventos, que incluem deslizamentos de terra e outros tipos de escorregamento de encostas, são fenômenos geodinâmicos que afetam diretamente a segurança das populações em áreas de relevo acidentado. Dentre as mesorregiões do estado, a Região Metropolitana de Recife destacou-se como a mais afetada, concentrando a maior parte dos registros documentados de deslizamentos, conforme identificado por Silva (2016).

Essa predominância na Região Metropolitana está relacionada a uma combinação de fatores naturais e antrópicos. Do ponto de vista físico, o relevo característico da área, com encostas íngremes e solos frequentemente saturados devido a chuvas intensas, cria condições propícias para a instabilidade. Além disso, a presença de solos argilosos, comuns na região, reduz a permeabilidade e contribui para o aumento da pressão de poros durante períodos de precipitação. Esse fator, quando associado à intensa ocupação urbana, frequentemente irregular e desprovida de infraestrutura adequada, agrava o risco de deslizamentos.

O crescimento urbano desordenado em Recife e seu entorno tem levado à ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, como encostas e margens de cursos d'água, sem as devidas medidas de contenção e drenagem, segundo Silva (2016)

**Figura 2.** Registros de movimentos de massa no Estado de Pernambuco de 1991 a 2012.

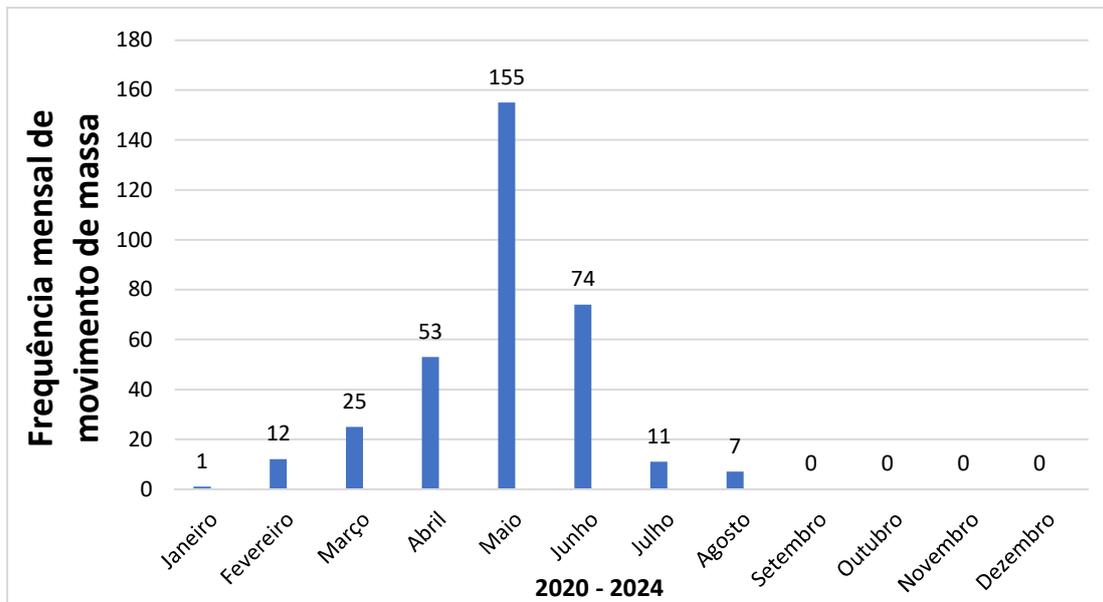


Fonte: UFSC (2013)

O Gráfico 1 apresenta a frequência mensal dos movimentos de massa no Estado de Pernambuco no período de 2020 a 2024, possuindo maior frequência no período de meses chuvosos na RMR. Por outro lado, de acordo com o Gráfico 2 que mostra a frequência anual, constata-se que 44,67% desses eventos ocorreram no ano de 2022. Vale ressaltar que 87 dos 151

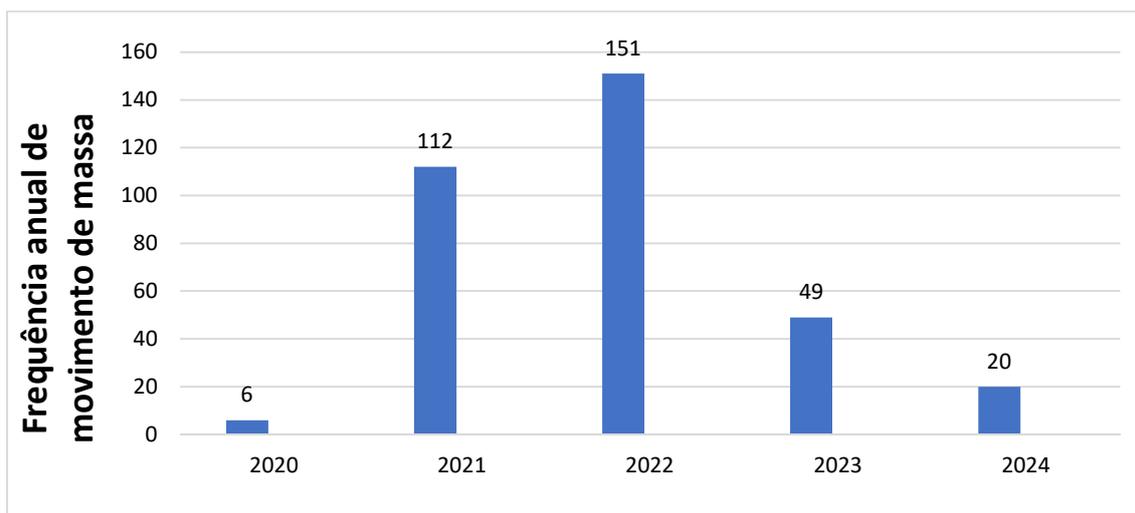
registros de 2022, ocorreram no bairro de Dois Unidos, a qual apresenta a maior concentração de vulnerabilidade social da Região Política Administrativa 2 (SEDEC, 2024).

**Gráfico 1.** Frequência mensal de movimento de massa na Região Política Administrativa 2, no período de 2020 a 2024.



Fonte: SEDEC (2024)

**Gráfico 2.** Frequência anual de movimento de massa na RPA-2, no período de 2020 a 2025.

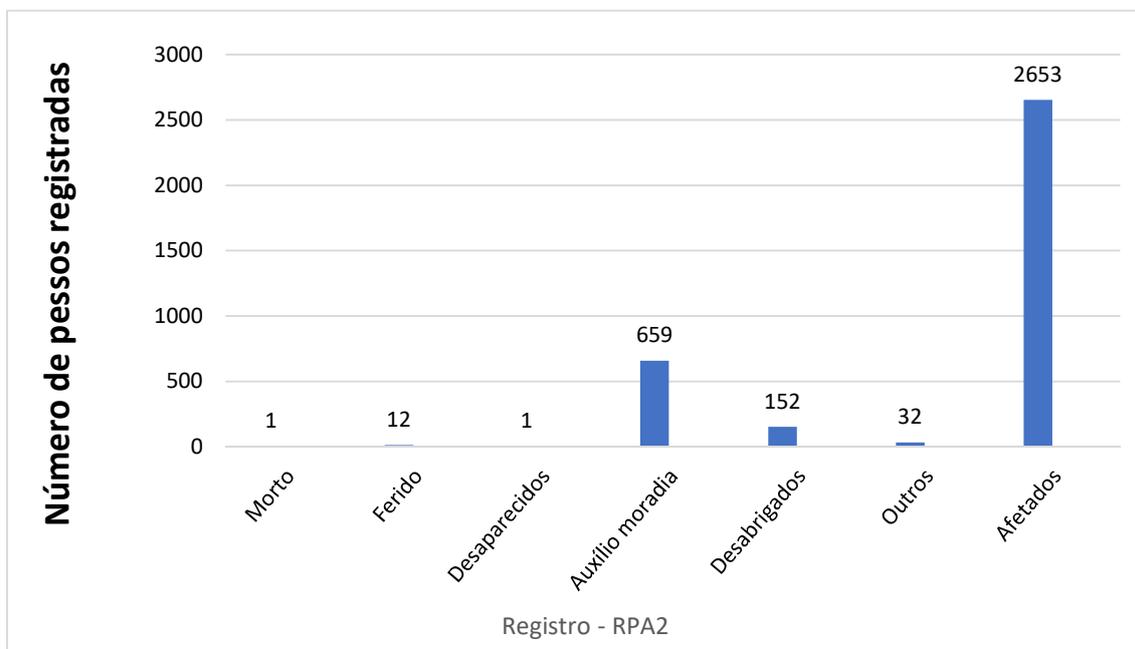


Fonte: SEDEC (2024)

O Gráfico 3 apresenta os danos humanos associados aos 338 movimentos de massa registrados oficialmente no Estado de Pernambuco no período de 2020 a 2024. Durante esses eventos, foram registradas 1 óbito, 12

feridos, 1 desaparecido, 659 auxílios, 152 pessoas ficaram desabrigadas, 152 desalojadas e 2653 foram afetadas de alguma forma (SEDEC, 2024).

**Gráfico 3.** Relação de números de pessoas com as consequências de desastres naturais em PE, no período de 2020 a 2024.



Fonte SEDEC (2024)

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO À DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS

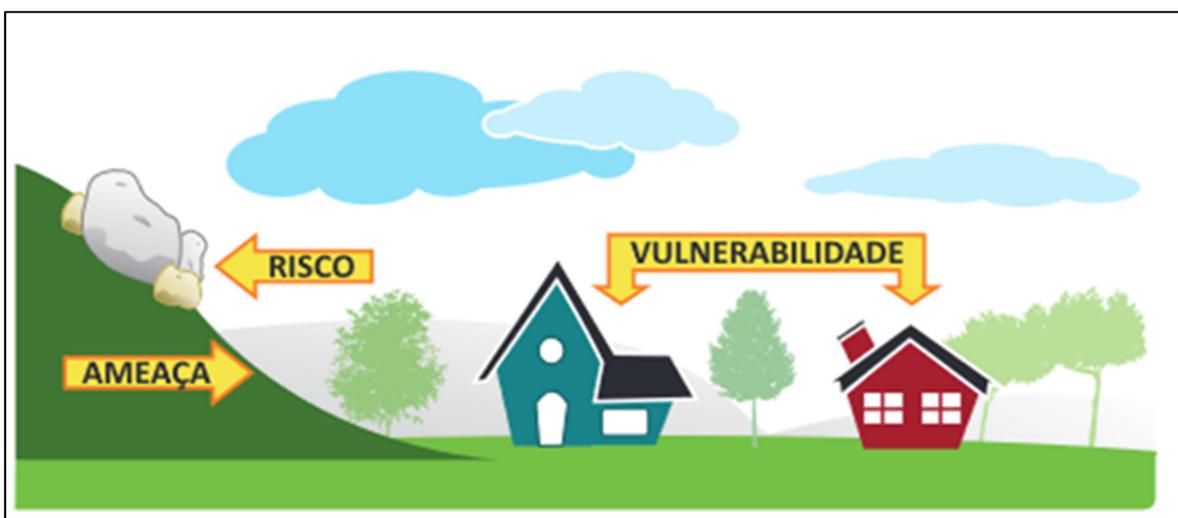
Os taludes são identificados geometricamente por dois parâmetros fundamentais: sua inclinação e declividade. A inclinação é definida como o ângulo médio da encosta com relação ao eixo horizontal, sendo geralmente medido a partir de sua base. Já a declividade é expressa como o ângulo de inclinação em uma relação percentual entre o desnível vertical (H) e o comprimento na horizontal (L) da encosta (Freire; Lima; Silva, 2018).

As áreas de risco (Figura 3) são aquelas suscetíveis a fenômenos naturais ou induzidos pelo homem, com impactos adversos sobre a população e o meio ambiente. As pessoas que vivem nessas áreas estão expostas a danos físicos e perdas materiais, podendo sofrer graves consequências, especialmente em casos de desastres como deslizamentos de terra e inundações.

Nas cidades brasileiras, essas áreas frequentemente correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda, localizados em encostas, onde a

urbanização desordenada agrava a vulnerabilidade. Segundo Rosseti e Savi (2012), a falta de infraestrutura básica e o uso inadequado do solo nessas regiões aumentam os riscos. Em muitos casos, a falta de serviços essenciais, como drenagem e saneamento, contribui para a intensificação desses problemas, tornando essas comunidades ainda mais expostas a desastres naturais.

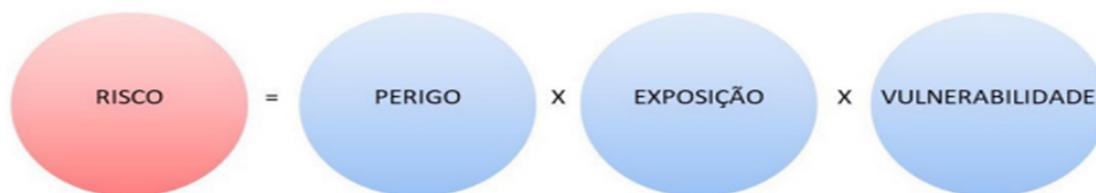
**Figura 3.** Relação entre risco, ameaça e vulnerabilidade



Fonte: UFSC (2013)

A interação complexa entre o perigo e as características que tornam pessoas e lugares expostos e vulneráveis é amplamente reconhecida como o risco de desastres (Figura 4). Em contextos urbanos, onde a densidade demográfica é elevada, as ações de gestão de riscos devem focar especialmente nas condições de vulnerabilidade diante de ameaças específicas (Lana; Jesus; Antonelli, 2021).

**Figura 4.** Definição de risco de desastres (modificado de UNISDR, 2016).



Fonte: Lana; Jesus; Antonelli (2021)

De acordo com o USGS (United States Geological Survey, 2008), o risco de escorregamento é definido como a probabilidade de ocorrência de consequências prejudiciais, como o número esperado de vias perdidas, pessoas feridas, danos à propriedade, sistemas ecológicos ou interrupção de atividades econômicas, em uma área sujeita a escorregamentos. Esse risco pode ser avaliado tanto em escala individual quanto coletiva, considerando a interação entre a ameaça e a vulnerabilidade das pessoas ou da comunidade. O perigo para escorregamento de terra refere-se ao potencial de ocorrência de um escorregamento de terra que possa causar danos em uma determinada área, como perda de vidas, lesões, danos à propriedade, perturbação social e econômica ou degradação do meio ambiente (Lana; Jesus; Antonelli, 2021).

Já a vulnerabilidade ao escorregamento de terra reflete a extensão das perdas potenciais para um determinado elemento ou conjunto de elementos dentro de uma área afetada pela ameaça. Essa vulnerabilidade é expressa em uma escala de 0 (sem perdas) a 1 (perda total) e é influenciada por condições físicas, sociais, econômicas e ambientais (Xavier, 2018).

O risco geológico refere-se à probabilidade de ocorrência de eventos adversos conforme descrito no Quadro 3, como movimentos de massa, erosão, enchentes e inundações, que podem causar grandes danos sociais, ambientais e econômicos. Esses fenômenos afetam a infraestrutura, comprometem a segurança das populações e prejudicam a economia local, gerando altos custos de recuperação e aumentando a vulnerabilidade das comunidades. O estudo do risco geológico é crucial para antecipar, mitigar e gerenciar esses eventos (Freire; Lima; Silva, 2018).

O Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil classifica o risco geológico de movimentos de massa em quatro categorias: baixo risco, risco médio, alto risco e muito alto risco. Essa classificação é fundamental para identificar e avaliar os diferentes níveis de risco, orientando a análise das condições geológicas e a adoção de estratégias de gestão. Ela também serve como uma ferramenta crucial no planejamento de ações preventivas e mitigadoras, ajudando a proteger áreas vulneráveis e a reduzir os impactos desses fenômenos na (Lana; Jesus; Antonelli, 2021)

**Quadro 3.** Grau de Risco Geológico.

<b>Grau de Probabilidade</b>	<b>Descrição</b>
R 1  Baixo	<p>1.Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de BAIXA OU NENHUMA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2.Não são observados sinais/feições/evidências de instabilidade. NÃO HÁ INDÍCIOS de desenvolvimento de processos de instabilidade de encostas e de margens de drenagens.</p> <p>3.Mantidas as condições existentes. NÃO SE ESPERA a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
R 2  Médio	<p>1.Os condicionantes geológico-geotécnicos (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são MÉDIA POTÊNCIA para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. É observada a presença de sinais/feições/evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipientes. Processo de instabilização EM ESTÁGIO INICIAL de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, e REDUZIDA A POSSIBILIDADE de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
R 3  Alto	<p>1.Os condicionantes geológico-geotécnicos (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. É observada a presença significativa de sinais/feições/evidências de instabilidade (trinca no solo, degraus de abatimento em taludes, etc), porém incipientes. Processo de instabilização EM PLENO DESENVOLVIMENTO, mas ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é PERFEITAMENTE POSSÍVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
R 4  Muito Alto	<p>1.Os condicionantes geológico-geotécnicos (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (Trincas de solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamentos, feições erosivas, proximidade de moradia em relação a margem de córregos, etc.), são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de estabilização AVANÇADO ESTÁGIO de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é MUITO PROVÁVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

**Fonte:** SBG (2013)

As encostas são classificadas em cinco classes de acordo com a predisposição ao risco de movimentos gravitacionais de massa (Xavier, 2018).

Por fim, as áreas com declividade acima de 45° são altamente inclinadas e inviáveis para a ocupação urbana devido ao seu potencial em sediar eventos geodinâmicos de grande magnitude. É importante destacar que o limite de 45° ou 100% representa uma restrição legal definida pelo código florestal como área de preservação permanente (Brasil, 2012).

Essa classificação auxilia na identificação e gestão de áreas mais propensas a ocorrências de movimentos de massa, possibilitando medidas adequadas de prevenção e mitigação dos riscos associados (Silva, 2016).

### **3.3.1 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DAS ENCOSTAS NA REGIÃO DE RECIFE**

Uma das principais questões enfrentadas nas cidades brasileiras é a instalação de moradias em áreas propensas a deslizamentos e inundações. Essas construções são, em sua maioria, realizadas por populações de baixa renda. (Santana, 2019).

As regiões mais sinuosas do município são comumente conhecidas como morros, e do ponto de vista geomorfológico, são classificadas como Tabuleiros Costeiros, pertencentes ao domínio morfoestrutural do Planalto Sedimentar Litorâneo. Essas áreas apresentam altitudes variando de 40 m a 80 m e encostas com declividade elevada (Cavalcanti; Córrea, 2008).

Na cidade de Recife, cuja população é de 1.537.704 habitantes, representando 17,48% da população do Estado e 41,63% da Região Metropolitana, a densidade demográfica atinge 6.989 habitantes/km<sup>2</sup>, de acordo com dados do Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Desde as origens coloniais, a ocupação do território foi marcada por um modelo em que as populações carentes se estabeleceram nas áreas de morros. Em contraste, a planície costeira era valorizada e habitada por indivíduos com maior poder aquisitivo, pois era menos suscetível a inundações (Santos; Silva; Azevedo; Lafayette; Silva, 2023).

No fim do século XVI, Recife era apenas um pequeno povoado com um modesto porto localizado em uma faixa litorânea, que se estendia desde Olinda e que hoje corresponde à ilha do bairro do Recife. Com a invasão holandesa em Pernambuco, em 1630, começou a construção do bairro portuário de Recife, que posteriormente se desenvolveria e se transformaria no município que conhecemos atualmente (Fundação de Desenvolvimento Municipal, 2003).

Durante o século 20, as camadas mais desfavorecidas da população encontraram moradia nas áreas de manguezais, que eram abundantes, não possuíam valor comercial e não tinham proprietários. Essas regiões eram inadequadas para a construção de moradias e apresentavam um alto risco de inundações. Esses assentamentos informais ficaram conhecidos como "mocambos" e "palafitas" (Neto; Cabral; Vieira; Aguiar, 2014).

O processo de urbanização implicou na substituição de ambientes naturais ou seminaturais por ambientes construídos. O aumento da população, combinado com a falta de intervenções adequadas do poder público, resultou na ocupação de áreas de risco (Neto; Cabral; Vieira; Aguiar, 2014).

Durante as décadas de 40 e 50, além das enchentes, o rápido crescimento da cidade levou à redução das áreas de manguezais. A construção de aterros sucessivos ao longo das margens dos rios e a destruição dos manguezais também resultaram na remoção dos mocambos. Como resultado, as habitações precárias continuam sua busca por locais menos valorizados, migrando para os morros ou para a periferia da planície (Santana, 2019).

Entre o período de 1996 a 2002, observou-se um aumento de 251,6 mil pessoas morando em áreas de morros em Pernambuco, o que resultou no aumento da densidade e expansão desse território, incluindo o caso do bairro de Dois Unidos, entre outros. De acordo com o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR, 2006), o município possui 140 áreas de risco a escorregamentos, onde cerca de 10.374 habitantes residem em locais de risco alto ou muito alto. No total, aproximadamente 470.000 habitantes vivem em áreas de morros, sujeitas a esses riscos (FDM, 2003).

Um terço da cidade de Recife é ocupado por áreas de topografia mais elevada. Essas localidades são predominantemente ocupadas por pessoas de

baixa renda, que enfrentam dificuldades em construir moradias adequadas nesse tipo de terreno (Santana, 2019).

As moradias nos morros são implantadas em patamares cortados nas encostas, e o material removido durante o corte é lançado sobre a borda sem a devida remoção da vegetação ou do lixo existente. Esse desconhecimento de uma prática construtiva adequada para áreas inclinadas agrava as condições de segurança. O próprio corte altera a declividade natural do terreno, tornando-o quase vertical, o que reativa os processos naturais de modelamento do relevo pelas águas e provoca movimentos de massa. Além disso, as águas servidas são diretamente lançadas nas faces das encostas, geralmente sem canalização adequada, e o lixo e entulho são lançados nas encostas e linhas de drenagem, obstruindo o fluxo das águas e aumentando significativamente o risco de escorregamentos (Fundação de Desenvolvimento Municipal, 2003).

### **3.4 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO À DESLIZAMENTOS**

Na análise qualitativa, os riscos ou grau de riscos podem ser classificados em quatro níveis diferentes: baixo, médio, alto e muito alto. Conseqüentemente, quanto mais alto o nível de risco, maior será a susceptibilidade do local a desastres. As conseqüências também podem ser definidas de forma equivalente, sendo mais graves em locais com maior nível de risco (Silva, 2016).

Os Mapas de risco são instrumentos utilizados pelo Ministério das Cidades que têm por objetivo auxiliar na identificação das áreas passíveis de ocorrências de acidentes. Segundo Cerri (2006), cada mapeamento de risco é realizado conforme o setor de risco, onde irá delimitar diferentes locais com situação semelhante de risco. Isso permite uma análise mais detalhada e específica das áreas vulneráveis, possibilitando a implementação de medidas adequadas de prevenção e mitigação (Aguilar; Oliveira; Vespermann, 2018).

As áreas de risco são locais passíveis de ocorrências de acidentes causados por fenômenos naturais, causas naturais ou a combinação dos dois, o que pode resultar em danos sociais e/ou econômicos. É importante identificar essas áreas e adotar medidas de prevenção e mitigação para reduzir os

impactos desses eventos adversos na população e no ambiente (Aguilar; Oliveira; Vespermann, 2018).

A tecnologia da computação revolucionou a cartografia, permitindo o mapeamento computadorizado com rápida revisão, além da possibilidade de digitalização e impressão ágeis. Essa abordagem moderna na cartografia trouxe uma série de benefícios, como maior precisão, facilidade na atualização dos mapas e a capacidade de análise espacial mais avançada (Júnior, 2019).

No mapeamento de risco, avalia-se a possibilidade de ocorrer um determinado fenômeno físico adverso em um local e período de tempo específicos. Para isso, são consideradas as características do processo, como tipologia, mecanismo, material envolvido, magnitude, velocidade, tempo de duração, trajetória, severidade, poder destrutivo, entre outros. Esse processo de análise é essencial para compreender os potenciais riscos e tomar medidas preventivas adequadas (Augusto-Filho).

### **3.5 SIG**

O avanço tecnológico das últimas décadas proporcionou o desenvolvimento de ferramentas capazes de auxiliar na compreensão e na gestão do espaço geográfico. Entre essas ferramentas, destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que se tornaram essenciais em diversas áreas do conhecimento, como o planejamento urbano, a gestão ambiental, a agricultura de precisão e a análise de riscos naturais (Neto; Feitosa, 2018).

Os SIG são sistemas computacionais voltados para a coleta, armazenamento, manipulação, análise e visualização de dados espaciais. Eles permitem a integração entre informações geográficas (como mapas, imagens de satélite e dados topográficos) e atributos descritivos (como dados populacionais, uso da terra, tipos de solo etc.), possibilitando análises espaciais complexas e tomadas de decisão mais fundamentadas (Burrough; Mcdonnell, 1998).

O SIG pode ser compreendido como uma plataforma que permite entender padrões e relações espaciais a partir de dados georreferenciados. O geoprocessamento, componente essencial dos SIG, facilita a análise de

grandes volumes de dados espaciais e não espaciais, sendo fundamental em projetos de ordenamento territorial e sustentabilidade (Longley; Goodchild; Maguire; Rhind, 2015).

Na gestão ambiental, por exemplo, os SIG são utilizados para monitorar áreas de preservação permanente, mapear desmatamentos e identificar áreas de risco ambiental. Em estudos realizados na Amazônia, o uso de SIG permitiu identificar com precisão o avanço do desmatamento e suas implicações nos ecossistemas locais (Fonseca; Rodrigues, 2010).

No planejamento urbano, os SIG são usados para mapear o uso e ocupação do solo, simular cenários de expansão urbana e auxiliar na criação de políticas públicas mais eficazes. Os SIG representam uma ferramenta estratégica para o planejamento urbano participativo, pois permitem integrar diferentes camadas de informação e facilitar a comunicação entre técnicos e a sociedade civil (Câmara; Monteiro; Davis, 2021).

Além disso, a crescente disponibilidade de dados abertos e a popularização de softwares livres, como o QGIS, democratizaram o acesso às tecnologias de geoinformação, permitindo que pequenas prefeituras, ONGs e pesquisadores independentes também façam uso dessas ferramentas de forma eficiente (Neto; Feitosa, 2018).

O QGIS, também conhecido como Quantum GIS, é uma poderosa ferramenta de código aberto amplamente utilizada na área de geoprocessamento e cartografia. Essa plataforma oferece uma série de recursos que permitem a realização de mapeamento de áreas de risco de forma eficiente e precisa (Júnior, 2019).

O mapeamento de áreas de risco é uma atividade essencial para identificar locais vulneráveis a desastres naturais, como deslizamentos de terra, enchentes e inundações. Por meio do QGIS, é possível integrar dados geoespaciais de diferentes fontes, como mapas, imagens de satélite, dados topográficos e informações climáticas, para criar uma representação visual detalhada do território em questão (Júnior, 2019).

Uma das principais funcionalidades do QGIS é a capacidade de realizar análises espaciais, permitindo a identificação de padrões e tendências associadas aos fenômenos de risco. Além disso, a plataforma suporta a criação

de modelos de avaliação de risco, que combinam diversos critérios, como declividade do terreno, proximidade de corpos d'água, uso do solo e densidade populacional, para classificar e delimitar áreas de risco em diferentes níveis de perigo (Roque, 2013).

A partir dos resultados obtidos, é possível gerar mapas temáticos e relatórios detalhados, que auxiliam na tomada de decisões e no desenvolvimento de estratégias de prevenção e mitigação de desastres. Os dados gerados pelo QGIS também podem compartilhar os resultados do mapeamento com a comunidade, órgãos governamentais e demais envolvidos na gestão de riscos, promovendo a conscientização e a adoção de medidas de segurança adequadas (Júnior, 2019).

Diferente de outras plataformas SIG proprietárias, como o ArcGIS, o QGIS oferece acesso gratuito a funcionalidades avançadas. Sua estrutura modular baseada em plugins permite que usuários ampliem suas capacidades conforme suas necessidades, desde visualizações básicas até análises espaciais complexas. Essa acessibilidade é fundamental em países em desenvolvimento e instituições educacionais, onde o orçamento para softwares pagos é limitado (Geoinova, 2024).

Outra vantagem do QGIS é a sua ampla comunidade de usuários e desenvolvedores, o que garante uma constante evolução da plataforma e o suporte para dúvidas e problemas técnicos. Além disso, por ser um software de código aberto, o QGIS é acessível a qualquer pessoa interessada em utilizar ferramentas avançadas de mapeamento e análise espacial, sem a necessidade de altos investimentos em licenças de software (Roque, 2013).

Contudo, apesar de suas potencialidades, o uso de SIG ainda enfrenta desafios, como a necessidade de capacitação técnica dos usuários, a padronização dos dados e a integração entre instituições que produzem e consomem informações espaciais (Magnoli, 2006).

### **3.6 METODOLOGIA PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO**

O método AHP foi concebido por Thomas L. Saaty na década de 1970, combinando conceitos de matemática e psicologia. Esse método oferece um procedimento abrangente e racional para modelar problemas de tomada de

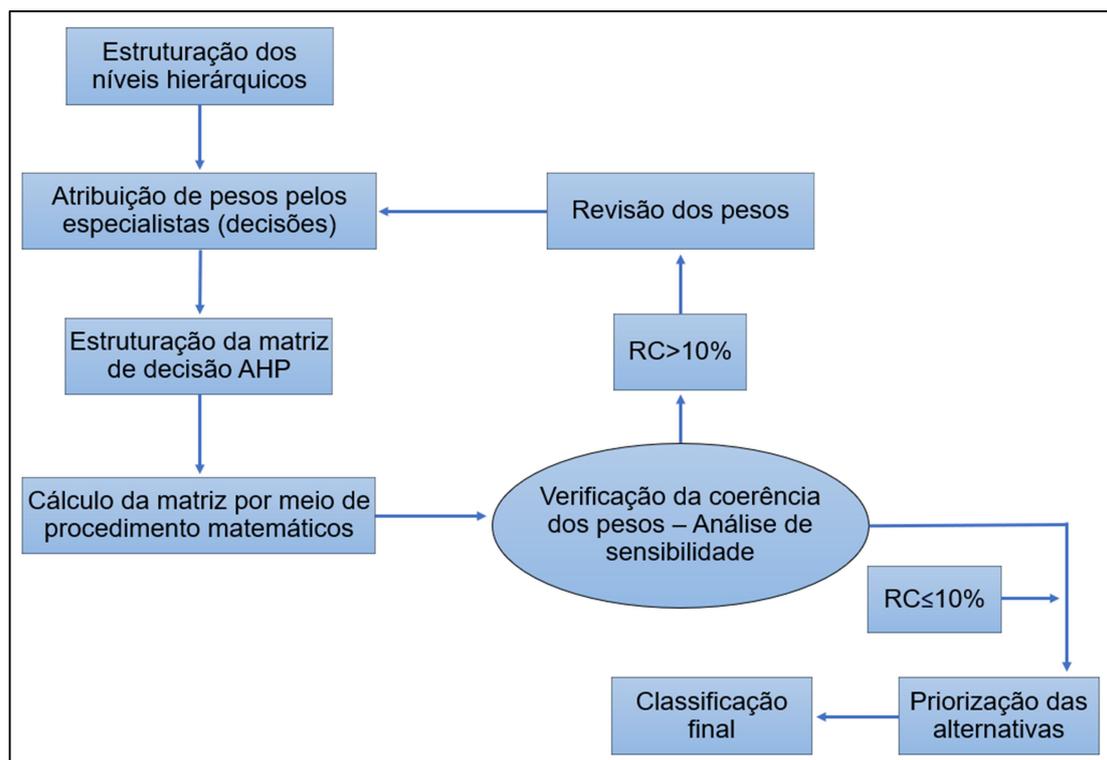
decisão, permitindo a representação e quantificação de variáveis por meio de uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (Choirat; Seri, 2004).

As principais etapas do método AHP, conforme apresentado na Figura 5, iniciam-se pela decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que ilustra as relações entre as metas e os níveis hierárquicos. Esse processo de decomposição permite uma análise sistemática e organizada dos elementos envolvidos no problema. A partir dessa hierarquia, o método AHP emprega matrizes de comparação para determinar as relações de importância entre os critérios em cada nível. Essas matrizes permitem que o decisor faça comparações em partes iguais, avaliando a relevância relativa de cada critério em relação aos outros. Com base nas comparações, são calculados os pesos relativos de cada critério, refletindo suas contribuições para a meta geral. Com os pesos estabelecidos, o AHP realiza uma análise de sensibilidade para verificar a consistência das comparações feitas pelo decisor. Essa etapa é importante para garantir que as escolhas sejam robustas e coerentes (Saaty, 2013).

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma ferramenta matemática usada para apoiar a tomada de decisão, permitindo organizar e hierarquizar critérios de forma clara e objetiva. Através de matrizes de comparação, o decisor avalia os critérios dois a dois, atribuindo pesos e prioridades. Ao combinar aspectos objetivos e subjetivos, o AHP gera decisões mais sistemáticas e confiáveis, reduzindo a influência de vieses pessoais (Saaty, 1990).

O método AHP tem sido aplicado com sucesso em diversos contextos, como gestão de projetos, seleção de alternativas, análise de riscos e planejamento estratégico (Figura 5). Sua estrutura lógica e a capacidade de incluir tanto critérios objetivos quanto subjetivos o tornam uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões complexas e fundamentadas (Choirat; Seri, 2004).

**Figura 5.** Etapas principais do método AHP.



Fonte: Faria; Augusto - Filho (2013)

Essa abordagem analítica é especialmente relevante em contextos complexos, onde a tomada de decisão envolve múltiplos critérios e variáveis a serem considerados. O método AHP é uma valiosa ferramenta para apoiar decisões em diversas áreas, como gestão de riscos, planejamento urbano, avaliação de projetos e seleção de alternativas, contribuindo para uma abordagem mais racional e eficaz no processo decisório (Faria, 2016).

Uma vez que a hierarquia lógica está estabelecida, os tomadores de decisão procedem à avaliação sistemática das alternativas através de comparações pair a pair para cada critério. Essas comparações podem ser baseadas em dados concretos das alternativas ou em julgamentos subjetivos (pesos) fornecidos pelos envolvidos (Saaty, 1990).

A atribuição de pesos a cada critério exige um conhecimento detalhado do problema, geralmente acessível apenas a especialistas. Após realizar as comparações e definir os pesos relativos entre os critérios, é feita uma análise da razão de consistência (RC) para verificar a precisão dos julgamentos. (Saaty, 1988). Em seguida, calcula-se a valoração global de cada alternativa,

multiplicando as prioridades em cada nível, o que determina a posição relativa de cada critério na classificação final (Saaty, 1990).

Essa abordagem analítica permite uma análise abrangente e ponderada das alternativas, levando em consideração tanto critérios objetivos quanto subjetivos. O método AHP oferece um procedimento claro e estruturado para auxiliar os tomadores de decisão na seleção de alternativas mais coerentes e fundamentadas, tornando o processo decisório mais transparente e confiável. (Faria, 2016) No método AHP, os critérios são comparados utilizando a escala de julgamentos de Saaty, que vai de 1 a 9. Essa escala padroniza os julgamentos, facilitando a análise e comparação entre os critérios. É comum usar números ímpares na escala para garantir uma distinção clara entre os níveis de avaliação. Números pares são aplicados apenas quando é necessário negociar entre os avaliadores, sem consenso natural, resultando na escolha de um ponto médio como solução negociada (Rosa; Santos; Oliveira; Mariano, 2010).

### **3.7 DEFESA CIVIL, DESLIZAMENTOS E CHUVAS**

As avaliações de risco têm como objetivo principal fornecer informações à Defesa Civil e às prefeituras municipais para identificar e gerenciar situações de risco relacionadas a escorregamentos e inundações em áreas urbanas (Faria, 2016).

O Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) no Brasil tem como objetivos principais: planejar e promover ações de prevenção de desastres naturais e tecnológicos mais prevalentes no país, realizar estudos, avaliar e reduzir riscos de desastres, atuar em situações iminentes e durante desastres, e prevenir ou minimizar danos, prestar socorro e assistência às populações afetadas, e restaurar as áreas atingidas por desastres (UFSC,2013).

A prevenção é uma fase essencial da administração de desastres, envolvendo ações planejadas para evitar a ocorrência ou reduzir a gravidade das consequências adversas. Seu objetivo é evitar completamente os impactos negativos por meio de medidas antecipadas e planejadas (Santos, 2013).

A Secretaria Nacional de Defesa Civil adota a classificação de desastres (Quadro 4) do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) da Organização Mundial de Saúde (OMS) juntamente com a simbologia correspondente (Santos, 2013).

**Quadro 4.** Classificação dos desastres.

<b>Classificação</b>		
Desastres	Origem	Naturais Tecnológicos
	Periodicidade	Esporádicos Cíclicos sazonais
	Evolução	Desastres súbitos ou de evolução aguda Desastres graduais ou de evolução crônica
	Intensidade	Nível 1 – desastres de média intensidade Nível 2 – desastres de grande intensidade

**Fonte:** SEDEC (2012)

O Ministério das Cidades exigiu e forneceu recursos para a criação do Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR). Esses planos são instrumentos de planejamento que envolvem a participação social, mapeamento e análise dos riscos, além da elaboração de propostas de intervenções estruturais e não estruturais. Eles também preveem fóruns para capacitações comunitárias (UFSC, 2015).

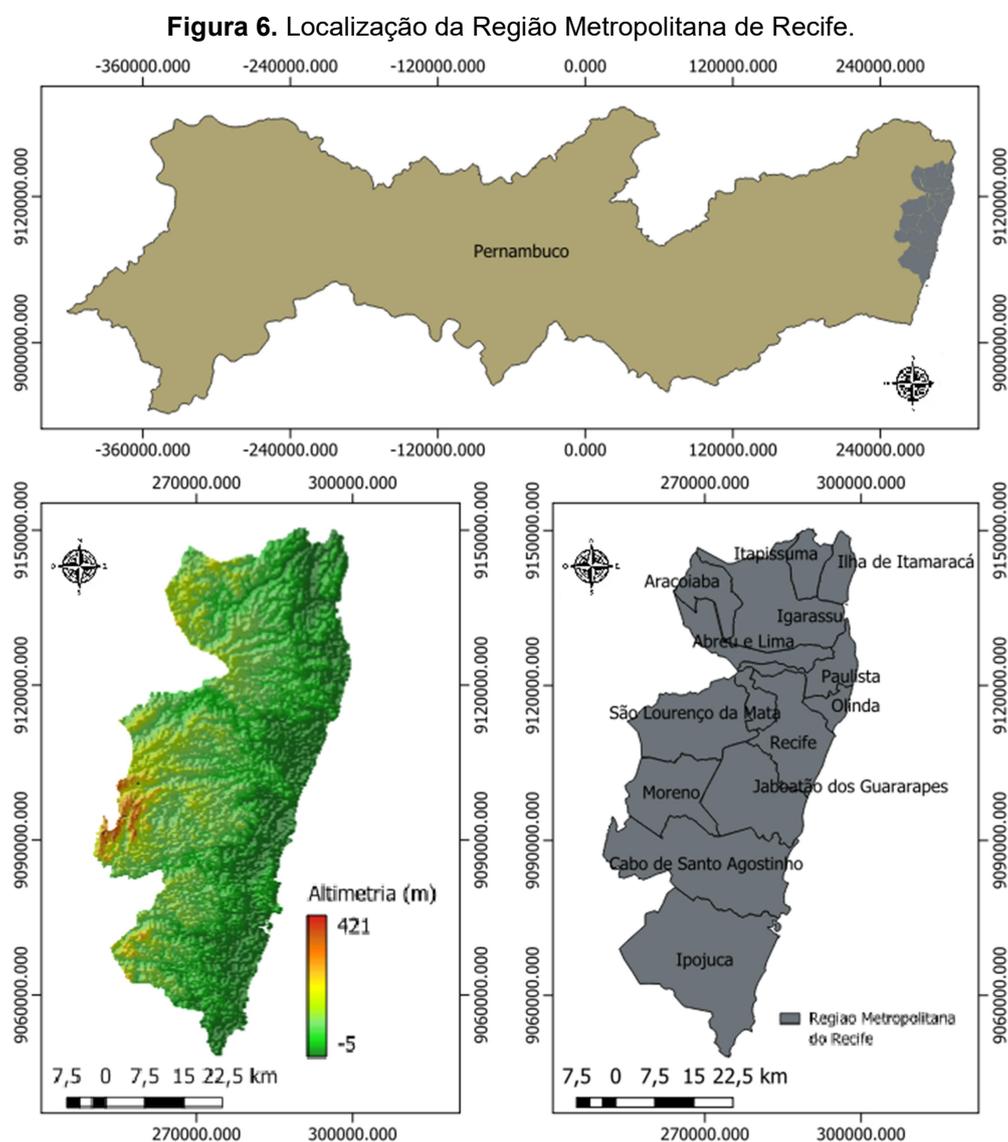
Além disso, a Defesa Civil também promove campanhas de conscientização junto à população, alertando sobre os perigos de ocupações em áreas de risco e a importância de adotar medidas de segurança, como a instalação de sistemas de drenagem adequados e o monitoramento contínuo das encostas. A prevenção e o gerenciamento eficaz dos deslizamentos relacionados às chuvas são essenciais para minimizar os danos às comunidades e garantir a proteção dos cidadãos (UFSC, 2013).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1 GEOMORFOLOGIA E CLIMATOLOGIA DE RECIFE

A configuração das características do relevo na Região Metropolitana do Recife (Figura 6) teve seu início após a conclusão da abertura do oceano Atlântico no Cretáceo superior. Nesse período, o processo de rifteamento da margem continental passou por sucessivas fases de soerguimento, contribuindo para a formação das formas de relevo observadas atualmente (Fonsêca; Côrrea; Silva, 2016).

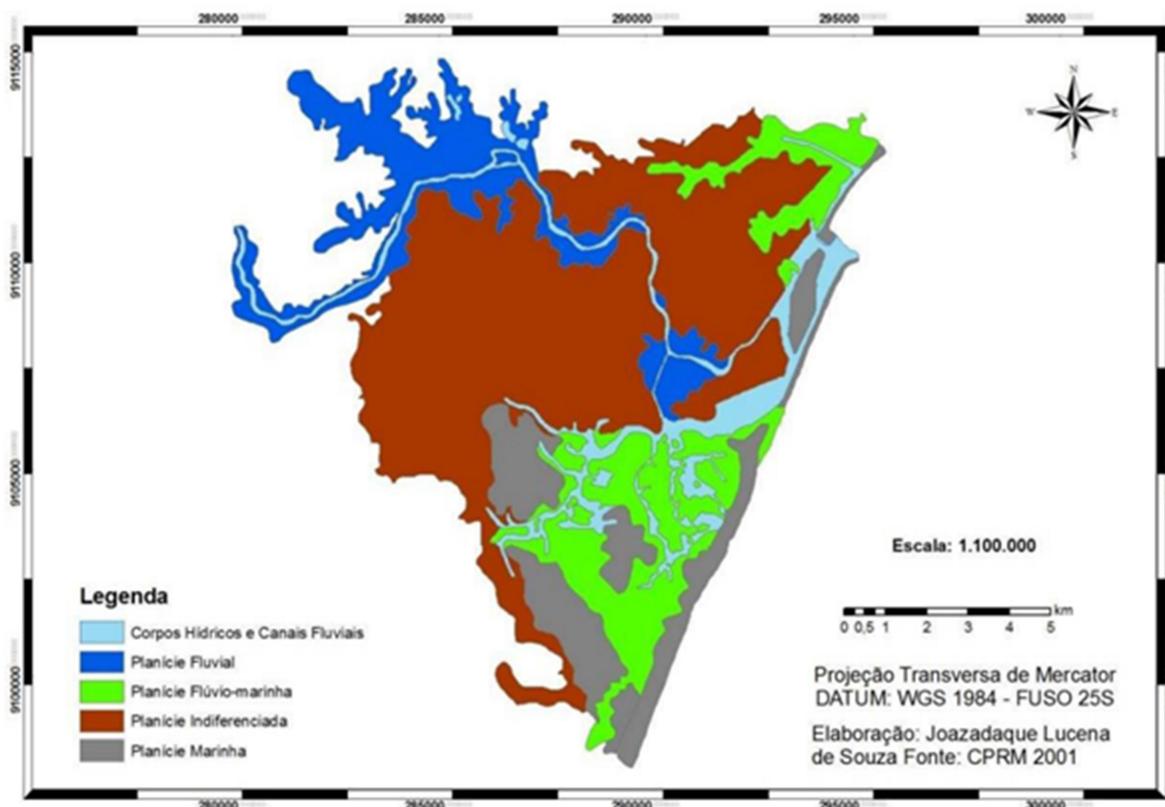


Fonte: Fonsêca; Côrrea; Silva (2016).

Recife, a maior área urbana do estado de Pernambuco, encontra-se no setor oriental da Região Nordeste do Brasil. Situada ao longo da costa leste, é uma cidade costeira banhada pelo Oceano Atlântico. Seus limites territoriais são definidos pelas cidades vizinhas de Olinda, Paulista, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata (Oliveira; Júnior; Nóbrega; Girão, 2011).

De acordo com as pesquisas realizadas fica evidente que a planície do Recife possui uma estrutura geológico-geomorfológica extremamente intrincada. Isso se deve ao fato de seus processos de formação e evolução estarem diretamente associados a diversos fatores tectônicos e sedimentares ocorridos em diferentes escalas. Com base na distribuição dos ambientes de sedimentação e sistemas deposicionais, as Unidades Geoambientais são categorizadas em cinco tipos principais: Planície marinha, Planície flúvio marinha, Planície fluvial, Planície indiferenciada e Corpos hídricos e canais fluviais (Figura 7 e Quadro 5) (Souza, 2017).

**Figura 7.** Unidades Geoambientais da planície do Recife.



Fonte: Souza (2017)

**Quadro 5.** Tipologia de Relevô da planície do Recife.

<b>TIPOLOGIA DE RELEVÔ DA PLANÍCIE DE RECIFE</b>		
Planície de Recife	Unidade Geoambiental	Unidade de Relevô
	Planície Marinha	Terraço Marinho holocênico
		Terraço Marinho pleistocênico
	Planície Marinha	Terraço fluviomarinho holocênico
		Planície de restinga
		Planície de maré
	Planície fluvial	Planície fuviolagunar
	Planície Indiferenciadas	Planície colúvio-aluvial indiferenciada
Corpos hídricos e canais fluviais	Corpos hídricos e canais fluviais	

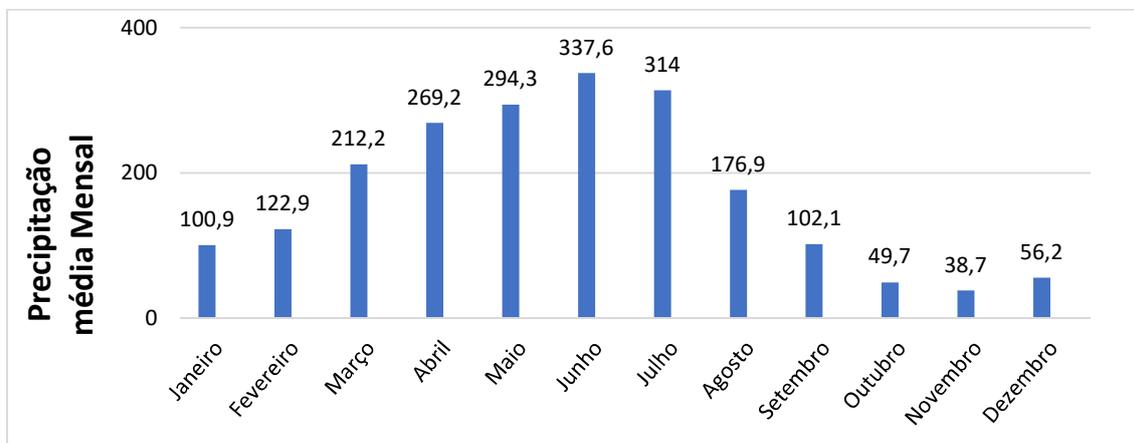
Fonte: Souza (2017)

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima na Região Metropolitana do Recife é designado como 'As', ou seja, corresponde a um clima tropical quente e úmido, com predominância de chuvas durante o outono e inverno (Lins; Nóbrega, 2015).

Recife, situado em uma região de clima tropical úmido, apresenta um padrão climático caracterizado pela ocorrência mais frequente de chuvas durante as estações do outono e inverno. De acordo com os dados coletados pela estação meteorológica da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), a cidade registra uma precipitação média anual de 2.074,7 mm, com uma média de 172,7 mm anual. A distribuição mensal das chuvas, conforme ilustrado no Gráfico 4, evidencia uma concentração significativa das precipitações nos meses de março a agosto, com destaque para o período de maio a julho, quando se observa o maior volume médio de chuvas. Esse padrão sazonal de precipitação é um fator crucial na dinâmica climática da região, influenciando não apenas os aspectos ambientais, mas também as condições socioeconômicas e os desafios relacionados à gestão de recursos

hídricos e ao planejamento urbano (Wanderley; Nóbrega; Moreira; Anjos; Almeida, 2018).

**Gráfico 4.** Precipitação média mensal para a cidade de Recife entre 1961-2016.



**Fonte:** Wanderley; Nóbrega; Moreira; Anjos; Almeida (2018)

Segundo a APAC, a climatologia média do município de Recife foi analisada considerando dados históricos disponíveis para cada mês do ano. A análise da climatologia média de Recife revela que junho é o mês com maior precipitação, enquanto novembro é o mais seco. Esses dados são cruciais para o planejamento e a gestão de riscos naturais na região (Tabela 1).

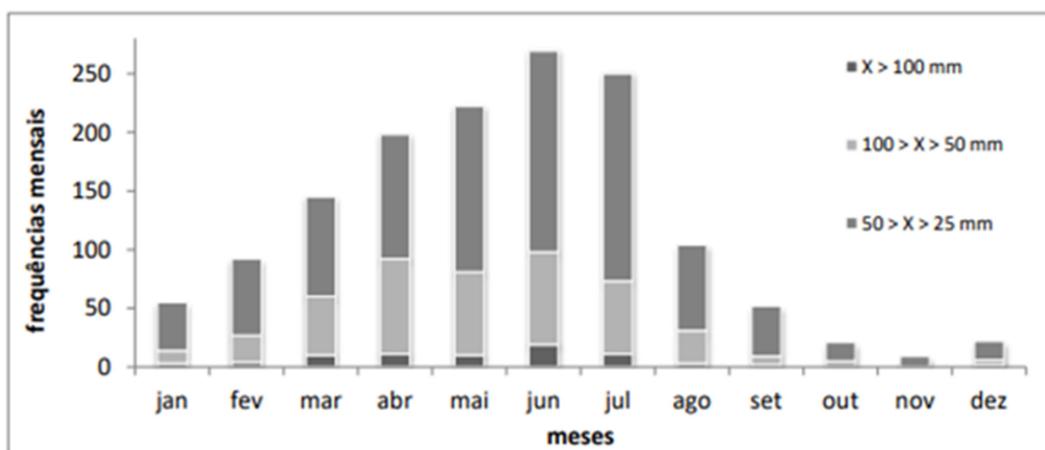
**Tabela 1.** Precipitação média histórica mensal da Região Metropolitana do Recife.

Mês	RMR
Janeiro	100,9
Fevereiro	122,9
Março	212,2
Abril	269,2
Maio	294,3
Junho	337,6
Julho	314,0
Agosto	176,9
Setembro	102,1
Outubro	49,7
Novembro	38,7
Dezembro	56,2
<b>ANUAL</b>	<b>2074,7</b>

**Fonte:** APAC (2024)

Na cidade de Recife, os meses de junho e julho apresentam a maior média histórica de precipitação diária (conforme representado na Figura 8), com 269 e 250 eventos de chuvas iguais ou superiores a 25 mm, respectivamente. Em contrapartida, os meses de outubro a dezembro são caracterizados por apresentarem o menor registro de chuvas diárias intensas ( $25 < X < 50$  mm) ou extremamente fortes ( $X > 50$  mm) (Wanderley; Nóbrega; Moreira; Anjos; Almeida, 2018).

**Figura 8.** Frequências mensais dos eventos pluviométricos nas faixas dos quantis de chuva diária muito forte ( $Q_p=0,85$ ), extremamente forte ( $Q_p=0,95$ ) e excepcionalmente forte ( $2*Q_p=0,95$ ) entre os anos de 1961 e 2016 na cidade do Recife/PE.



**Fonte:** Wanderley; Nóbrega; Moreira; Anjos; Almeida (2018)

O escoamento superficial é um processo hidrológico que ocorre quando a água da precipitação não infiltra totalmente no solo e uma grande parte flui pela superfície até alcançar um rio permanente. Esse tipo de escoamento pode causar sérios danos ao meio ambiente, como erosão do solo, inundações em rios e fluxos de lama e detritos. Esses efeitos negativos incluem a perda de solo e a transferência de poluentes presentes nos solos para cursos d'água. Existem dois principais processos que geram escoamento superficial: o escoamento Hortoniano, que acontece quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, e a saturação por via terrestre, que ocorre quando o solo atinge sua capacidade máxima de armazenamento ou já está saturado (Rodrigues; Bittencourt; Fernandes, 2018).

Quando a precipitação pluviométrica se inicia, a água é distribuída de três maneiras: parte é absorvida pela vegetação, outra infiltra-se no solo, e uma terceira é acumulada em depressões do terreno. Se a chuva persistir, uma vez que essas depressões estejam completamente preenchidas, o escoamento superficial propriamente dito começa. A água que não infiltra e corre pela superfície contribui para a formação de enxurradas, que, juntamente com o escoamento subterrâneo, alimentam córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios. O volume de escoamento superficial é determinado por vários fatores, como o tamanho da bacia hidrográfica, a presença de declives acentuados e depressões retentoras, o tipo e a umidade do solo, a cobertura vegetal e as características da precipitação (Alencar; Silva; Oliveira, 2006).

O aumento no volume de escoamento está diretamente relacionado ao uso e ocupação do solo, que pode tanto aumentar quanto diminuir a infiltração. A lâmina d'água gerada pelo escoamento superficial tende a aumentar com a duração e a intensidade da chuva, sendo altamente influenciada pelo uso e ocupação do solo. Uma maior cobertura natural geralmente resulta em uma lâmina d'água menor (Chang; Pinheiro; Lopes, 2015).

Além disso, a topografia do terreno, incluindo a declividade e o comprimento dos lançantes, exerce uma grande influência sobre a erosão e as perdas de água por escoamento superficial. Terrenos com maior declividade apresentam menos obstáculos e resistências ao escoamento das águas devido à gravidade, resultando em um menor tempo disponível para a infiltração no solo (Oliveira; Carlesso; Martins; Knies; Santa, 2013).

#### **4.1.2 LIMITES DO BAIRRO DE DOIS UNIDOS**

O objetivo principal desta dissertação é mapear a suscetibilidade a deslizamentos de encostas no bairro de Dois Unidos, Recife, utilizando o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Esse mapeamento visa identificar áreas de maior risco, contribuindo para a compreensão dos fatores que influenciam a ocorrência de deslizamentos e fornecendo subsídios para ações preventivas e de mitigação. A escolha do método AHP como metodologia destaca-se pela capacidade de integrar diversos critérios ambientais, geológicos e urbanos em

uma análise estruturada e objetiva, permitindo a priorização de áreas com maior vulnerabilidade.

O método AHP tem sido amplamente utilizado em estudos de análise de risco geotécnico e planejamento urbano, devido à sua abordagem multicritério que permite a ponderação de variáveis relevantes, como declividade do terreno, tipo de solo, uso e ocupação do solo, índice pluviométrico e proximidade a cursos d'água. Diversos estudos demonstram a eficácia dessa metodologia na identificação de áreas de risco. Pesquisas como as de Dotto (2023) e Martins et al. (2023) aplicaram o AHP destacando sua aplicabilidade na gestão de riscos e tomada de decisões em políticas públicas de prevenção de desastres. Além disso, estudos internacionais, como os de Chen et al. (2021), também reforçam a utilidade do AHP em contextos de análise de risco geotécnico em áreas urbanas e rurais.

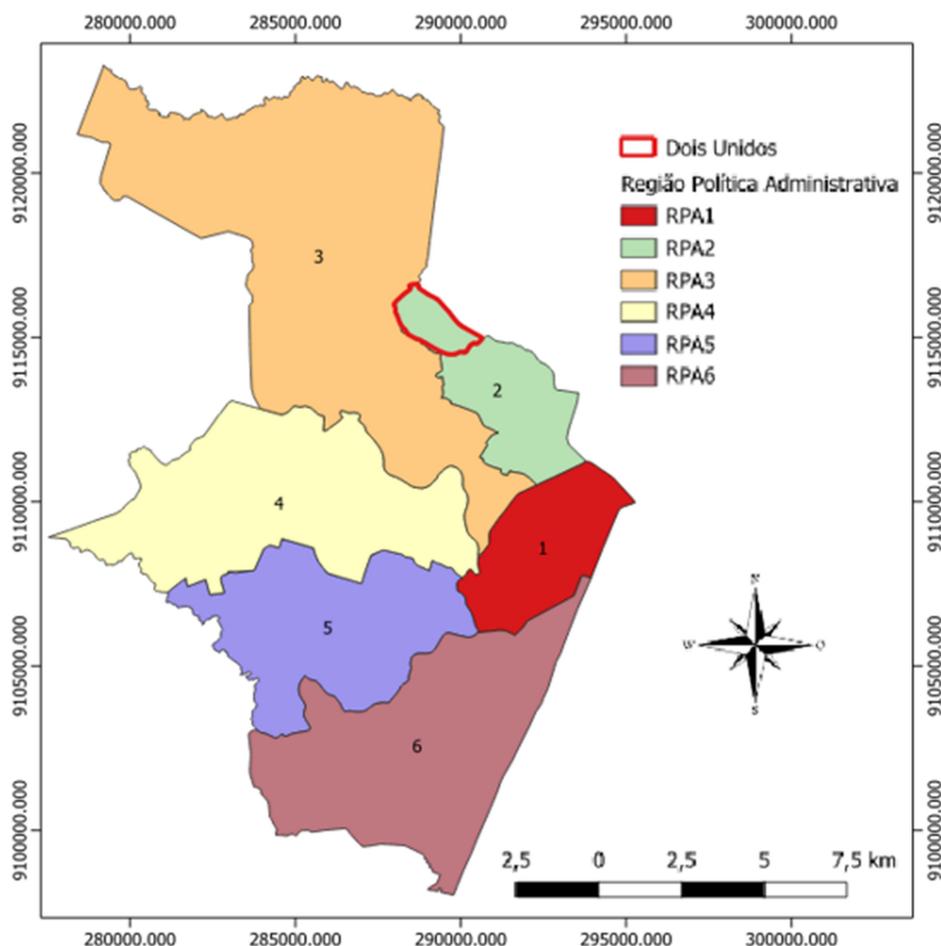
O bairro de Dois Unidos, com área total de aproximadamente 2,88 Km<sup>2</sup> está localizado na RPA2 (Região Política Administrativa). O mesmo apresenta um histórico de ocupação irregular, com habitações frequentemente situadas em áreas de encosta sujeitas a processos erosivos. Esses fatores, somados à alta densidade populacional e à precariedade da infraestrutura urbana, tornam o bairro particularmente vulnerável a deslizamentos de terra. Durante os períodos de chuvas intensas, típicos do clima tropical da região, essa vulnerabilidade é acentuada, devido à saturação e à redução da sua coesão e seu ângulo de atrito. (Fonsêca; Córrea; Silva, 2016).

Do ponto de vista socioeconômico, a população local, em sua maioria de baixa renda, é mais suscetível aos impactos desses eventos, enfrentando perdas materiais, deslocamentos forçados e riscos diretos à saúde e segurança. As chuvas intensas também agravam a situação de precariedade, pois comprometem o acesso a serviços essenciais, como transporte, escolas e unidades de saúde, além de expor os moradores a doenças relacionadas à falta de saneamento e à contaminação por águas pluviais (Veloso, 2009).

Sob a perspectiva ambiental, o desmatamento, cortes irregulares, o uso inadequado do solo e a ausência de planejamento territorial agravam a instabilidade geológica da área. A interação entre as chuvas frequentes e a falta de sistemas eficientes de drenagem resulta em erosão acelerada e no

comprometimento da integridade do solo (Galvão, 2014). Os limites físicos estão representados na Figura 9.

**Figura 9.** Mapa digital do limite de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

## 4.2 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Foram utilizadas imagens, em formato digital, do satélite OLI/LANDSAT-8, bandas 4, 5 e 6, cujas características principais encontram-se na Tabela 2, disponibilizadas de forma gratuita pela USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey).

As imagens OLI/LANDSAT-8 utilizadas correspondem a dados registrados em período de chuvas no bairro de Dois Unidos, apresentando reduzida presença de nuvens, o que favoreceu a observação de toda a parte

da biomassa verde e aumentou o nível de confiabilidade na identificação dos alvos de interesse.

As bandas 4, 5 e 6 foram utilizadas em composição colorida RGB, com a correspondência cor/banda R6G5B4.

**Tabela 2.** Principais características das imagens OLI/LANDSAT-8.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)	Data
OLI (Operational Land Imager)	B1 (costal / aerossol)	0,435 – 0,451	30	24/07/2024
	B2 (azul)	0,452 – 0,512		
	B3 (verde)	0,533 – 0,590		
	B4 (vermelho)	0,636 – 0,673		
	B5 (infravermelho próximo)	0,851 – 0,879		
	B6 (infravermelho médio)	1,566 – 1,651		
	B7 (infravermelho médio)	2,097 – 2,349		
	B8 (pancromático)	0,503 – 0,676	15	
	B9 (cirrus)	1,363 – 1,384	30	

Fonte: Adaptado de USGS (2019)

A abordagem metodológica adotada nesta pesquisa teve início com a obtenção do Modelo Digital de Terreno (MDT), disponibilizado pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D). O MDT, cujas especificações técnicas estão detalhadas no Quadro 6, foi selecionado em razão de sua alta precisão e de sua capacidade superior de representar as características da superfície terrestre. Esse modelo digital proporcionou dados cruciais sobre a topografia da área de estudo, possibilitando uma análise detalhada de variáveis essenciais, como altitudes, declividades e formas do relevo. Estes elementos são fundamentais para a compreensão das dinâmicas geotécnicas da região, permitindo, assim, a identificação de áreas potencialmente suscetíveis a instabilidades geológicas.

**Quadro 6.** Principais características do modelo digital de terreno (MDT).

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
<b>Definição</b>	Representação numérica da superfície terrestre sem incluir elementos como vegetação, edificações ou outros objetos acima do solo
<b>Origem dos Dados</b>	Obtido a partir de dados brutos do MDS (Modelo Digital de Superfície), utilizando técnicas de filtragem e modelagem
<b>Resolução Espacial</b>	70 cm (horizontal)
<b>Precisão Altimétrica</b>	±3 metros em áreas planas; ±5 metros em áreas montanhosas (após correções)
<b>Formato de Arquivo</b>	GeoTIFF, XYZ, LAS (nuvem de pontos) ou ASCII GRID
<b>Processamento Necessário</b>	Filtros de remoção de vegetação e edificações (usando algoritmos de interpolação e técnicas de classificação automática)
<b>Aplicações Principais</b>	- Estudos hidrológicos (bacias e drenagem)
	- Planejamento agrícola e ambiental
	- Engenharia civil e infraestrutura
	- Análise de risco geológico (deslizamentos)
<b>Fonte de Dados</b>	Sensores remotos (drones, ou levantamentos terrestres)
<b>Cobertura Geográfica</b>	Geralmente coincide com a área de captura do MDS, mas pode ser ajustada para áreas específicas após processamento

Fonte: PE3D (2015)

As informações ambientais que fundamentaram esta pesquisa foram obtidas por meio da ferramenta Banco de Informações Ambientais (BDIA), disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essa plataforma fornece uma ampla gama de dados geoespaciais e ambientais, os quais se revelaram essenciais para uma análise detalhada das condições ambientais da área de estudo (IBGE, 2025).

#### **4.3 ORGANIZAÇÃO SEQUENCIAL**

A organização sequencial dos procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa está ilustrada na Figura 10, a descrição é detalhada:

Primeira Etapa: Refere-se à definição dos dados fundamentais relacionados ao bairro de Dois Unidos, abrangendo a demarcação de seus limites geográficos e as áreas de drenagem. Esse passo inicial tem como

objetivo estabelecer a base cartográfica para as etapas subsequentes da análise.

Segunda Etapa: consiste na elaboração dos mapas temáticos dos critérios relativos (Índice de Vegetação, Geologia, Declividade, Curvatura, Intensidade Pluviométrica, Ordem de Drenagem e Hipsometria) e do critério restritivo, os quais serão utilizados na abordagem multicritério com base na característica da região, registros de ocorrência da Defesa Civil e análise dos especialistas. Esta fase envolve a construção de representações cartográficas que sintetizam as variáveis ambientais e geoespaciais relevantes para o estudo.

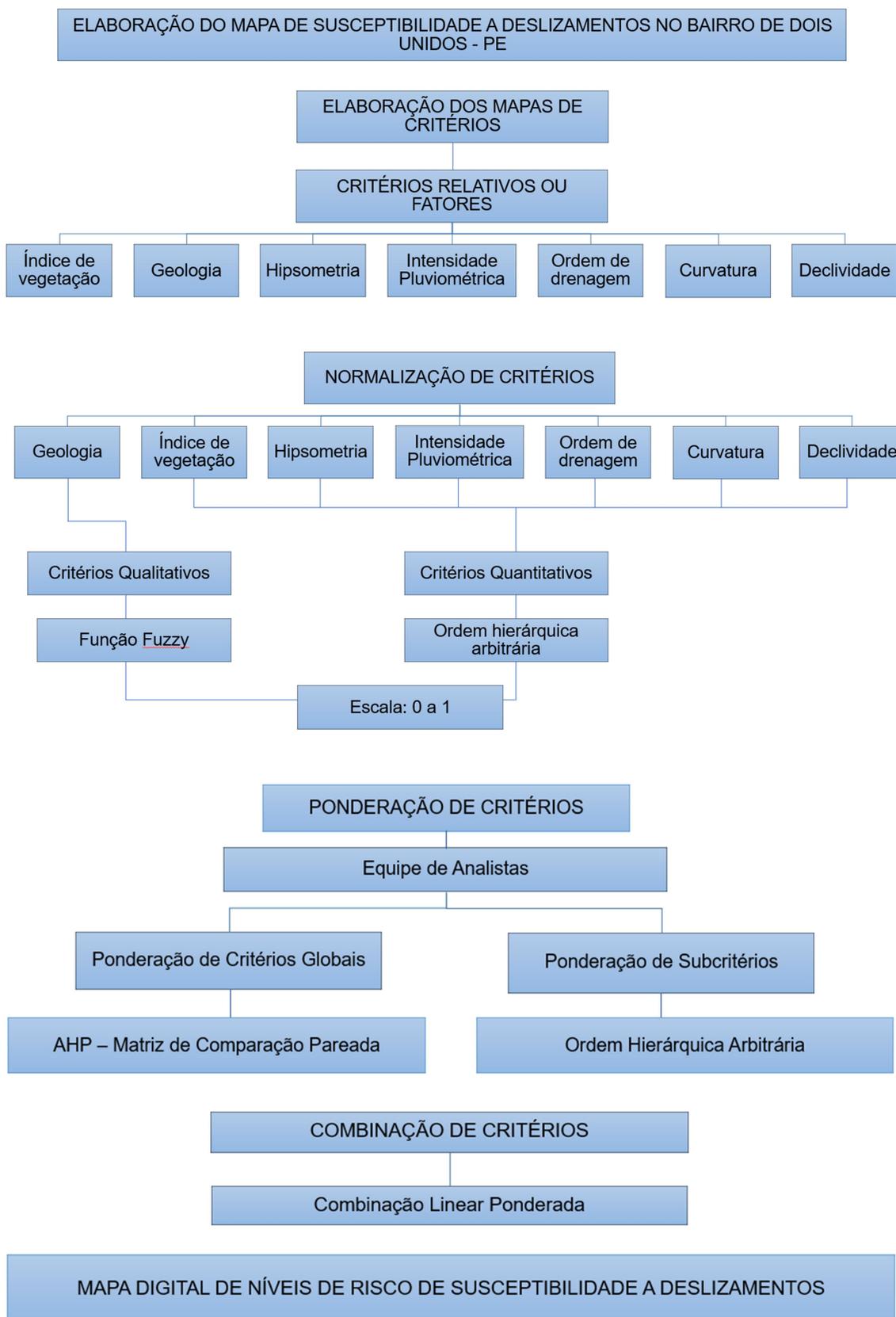
Terceira Etapa: abrange as operações de normalização dos dados, seguindo as orientações dos especialistas, com o objetivo de padronizar as variáveis para uma escala comum, variando de 0 a 1. Os critérios qualitativos, como a Geologia, são normalizados por meio de uma ordem hierárquica arbitrária, enquanto os critérios quantitativos (Índice de Vegetação, Declividade, Curvatura, Intensidade Pluviométrica, Ordem de Drenagem e Hipsometria) utilizam uma função fuzzy, que permite acomodar a incerteza e a imprecisão inerentes aos dados.

Quarta Etapa: esta fase refere-se à ponderação dos critérios e subcritérios, tarefa que é realizada por uma equipe de analistas especializados. A ponderação é essencial para refletir a importância relativa de cada critério no modelo de análise, ajustando a influência de cada variável de acordo com sua relevância no contexto do estudo.

Quinta Etapa: envolve a combinação dos critérios ponderados por meio de uma combinação linear. Esta operação resulta na integração dos diferentes critérios em um único índice de avaliação, que facilita a análise integrada e a interpretação dos resultados.

Sexta Etapa: a última etapa consiste na elaboração do mapa digital de níveis de risco, que representa a susceptibilidade ao processo analisado no bairro de Dois Unidos. Este mapa fornece uma visualização espacial dos diferentes graus de risco, com base na combinação dos critérios avaliados, permitindo uma compreensão detalhada da dinâmica de risco na área de estudo.

**Figura 10.** Organização sequencial dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Autor (2024)

#### **4.4 ELABORAÇÃO DE MAPAS DE CRITÉRIOS**

Visando à elaboração do mapa temático de níveis de susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos, um conjunto de critério foi utilizado: critérios relativos (ou fatores ou globais).

São sete os critérios relativos considerados neste estudo: Índice de Vegetação, Geologia, Declividade, Curvatura, intensidade pluviométrica, Ordem de Drenagem e Hipsometria.

O critério de Geologia é de natureza qualitativa, pois suas classes correspondem a regiões representadas nominalmente. O critério pode apresentar igual, maior ou menor contribuição para o processo em análise. Assim, cada classes do mapa qualitativo é um subcritério ou um subfator, por exemplo, “Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos”, um subcritério do critério “Geologia”.

##### **4.4.1 MAPA DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO**

O mapa de classes de Índice de Vegetação do Bairro de Dois Unidos foi elaborado a partir de dados de imagens do OLI/LANDSAT-8 – Collections 2 Level 2, com resolução espacial de 30 metros, obtidas no site da USGS Earth Explorer (U.S. Geological Survey, 2024).

Inicialmente, no site da USGS, após a área de interesse e o tipo de dados serem devidamente selecionados, procedeu-se ao download das bandas espectrais necessárias para o cálculo do índice de vegetação. Neste caso, foram obtidas as bandas espectrais B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7, disponíveis em sensores do Landsat-8. Essas bandas fornecem dados em diferentes comprimentos de onda, incluindo o visível, o infravermelho próximo e o infravermelho de ondas curtas, que são essenciais para a realização de cálculos como o índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

Para o processamento de índices espectrais de vegetação da superfície terrestre, é essencial calcular a reflectância das bandas correspondentes do sensor OLI para a área do bairro de Dois Unidos. Esse cálculo envolve a conversão dos valores digitais de cada pixel e banda em reflectância planetária, utilizando os fatores aditivo e multiplicativo presentes no arquivo de metadados da imagem. Porém, para obter uma reflectância ajustada e precisa,

é necessário corrigir esses valores considerando o ângulo zenital solar ( $Z$ ) e o fator de correção de distância Terra-Sol ( $d_r$ ). Este fator é calculado como o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol no momento da captura da imagem. A distância Terra-Sol ( $d_{TS}$ ), disponível no arquivo de metadados, é expressa em unidades astronômicas. A correção deve ser realizada com o argumento do cosseno em radianos, conforme as Equações 1 e 2.

$$\rho\lambda i = \frac{(A_{pi} + M_{pi} \cdot ND_i)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (1)$$

$$d_r = \left( \frac{1}{d_{ts}} \right)^2 \quad (2)$$

Em que:

$\rho\lambda i$  (adimensional) é a reflectância planetária no topo da atmosfera de cada banda  $i$ ;

$A_{pi}$  é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem);

$M_{pi}$  é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem);

$ND_i$  é o número digital correspondente a intensidade do pixel de cada banda;

$Z$  é o ângulo zenital solar obtido com base no ângulo de elevação do Sol –  $E$  (disponível no arquivo metadados da imagem), uma vez que  $Z = 90 - E$ ;

$d_{ts}$  é a distância Terra-Sol (disponível no arquivo metadados da imagem);

$\cos$  é o cosseno em radianos.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite identificar variações sazonais e anuais no crescimento e nas atividades da vegetação, possibilitando o acompanhamento do ciclo de desenvolvimento e dos períodos de máximo vigor vegetativo. O índice possui valores que variam entre -1 e +1, onde áreas com vegetação saudável tendem a apresentar valores entre 0 e 1, enquanto superfícies de água ou nuvens geralmente

apresentam valores abaixo de zero (Rouse et al., 1973). O NDVI é calculado pela fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + \rho_V} \quad (3)$$

Em que:

$\rho_{IVp}$  é a reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda 5);

$\rho_V$  é a reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda 4).

Após a elaboração do NDVI, os pixels foram reamostrados para o padrão de dimensão de PE3D.

#### **4.4.2 MAPA DE GEOLOGIA**

As classes de solo e respectivas associações que compõem o mapa geológico predominantes no bairro de Dois Unidos IBGE (2025), a classificação Geológica: Formação Barreiras e Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos. As imagens foram obtidas através do site do BDIA.

Inicialmente, no site do BDIA, após a área de interesse e o tipo de dados serem devidamente selecionados, procedeu-se ao download do município de interesse e posteriormente, o recorte do Bairro de Dois Unidos.

A imagem foi obtida em shapefile, em seguida foi convertido o arquivo vetorial para raster com resolução espacial de 1 metro. Cada classe geológica foi analisada pelos especialistas para definir o grau de atribuição de risco com base em: capacidade a erosão, estabilidade do solo, capacidade de suporte, classificação com base no teor de argila, índice de plasticidade e uso e manejo do solo.

#### **4.4.3 MAPA DE DECLIVIDADE, CURVATURA, HIPSOMETRIA E ORDEM DE DRENAGEM**

As classes de declividade, Curvatura, Hipsometria e Ordem de drenagem do bairro de Dois Unidos foram elaboradas a partir de dados de altimetria dos produtos foram através do Modelo Digital de Terreno (MDT) fornecidos pelo PE3D, correspondentes as folhas MDT-SB-25-Y-C-VI-3-SO-F-

III.zip, MDT-SB-25-Y-C-VI-3-SO-E-IV.zip, MDT-SC-25-V-A-III-1-NO-A-II.zip, MDT-SC-25-V-A-III-1-NO-B-I.zip em formato TIFF (*Tag Image File Format*), com projeção geográfica EPSG:31985 - SIRGAS 2000 / UTM zone 25S.

No QGIS, estas imagens foram recortadas com base no shapefile de Dois Unidos obtido pela prefeitura do Recife, em cujo ambiente foram desenvolvidos os procedimentos através da ferramenta SAGA.

A grade de declividade gerada teve seus valores apresentados em porcentagem. Visando à análise da variação de declividade da localidade, os valores foram classificados de acordo com as faixas de declividade elaboradas pela EMBRAPA (Tabela 3).

**Tabela 3.** Tipos de relevo e faixas de declividades elaborados pela EMBRAPA.

<b>Tipo de Relevo</b>	<b>Faixa de Declividade (%)</b>
Plano	0 a 3
Suave Ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	Acima de 75

Fonte: EMBRAPA (1979)

O mapa de curvatura foi classificado em muito côncava, moderadamente côncava, levemente côncava, levemente convexa, plana e levemente convexa, as informações foram classificadas de acordo com as faixas de curvatura elaboradas pela EMBRAPA (1979).

O mapa hipsométrico é particularmente útil para compreender a distribuição das elevações em um ambiente marcado por encostas e áreas de risco de deslizamento, permitindo a visualização das variações altimétricas.

Neste estudo, utilizamos dados do Modelo Digital de Terreno (MDT) para gerar um mapa hipsométrico no software QGIS, aplicando metodologias de classificação de elevações e visualização em gradientes de cor. Posteriormente, o raster foi reprojeto para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zone 25S, a fim de garantir a compatibilidade com outros

mapas da área de estudo. os valores foram classificados de acordo com a Tabela 4 abaixo:

**Tabela 4.** Representação dos valores da Hipsometria.

<b>Cotas altimétricas</b>	<b>Faixa de cores</b>
0 - 24 metros	tons de verde
24 - 49 metros	tons de amarelo
49 - 74 metros	tons de laranja
74 - 90 metros	tons de vermelho

Fonte: Autor (2024)

A análise da elaboração do mapa de ordem de drenagem foi realizada em etapas sequenciais, desde o pré-processamento dos dados até a geração das ordens de drenagem, seguindo os princípios do modelo de Strahler. Foi verificado e corrigido qualquer erro nos dados, como áreas com valores ausentes ou "nuvens", utilizando interpolação ou mascaramento, quando necessário.

O MDT foi reprocessado para garantir que estivesse no Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zone 25S.

O cálculo da ordem de drenagem foi realizado com base no modelo de classificação de Strahler, que atribui ordens hierárquicas aos cursos d'água de acordo com sua confluência. No modelo de Strahler, os tributários menores são classificados como ordem 1, e, quando dois cursos de água de ordem 1 se encontram, eles formam um curso de ordem 2, e assim por diante.

#### **4.4.4 MAPA DE INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA**

A obtenção e organização de dados de intensidade pluviométrica foi realizada por três pontos específicos de estações pluviométricas, utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE) como ferramenta principal de análise geoespacial. Os dados obtidos são estruturados com base no padrão brasileiro de organização de desenhos técnicos BR-DWGD, com o intuito de garantir a conformidade com sistemas de geoprocessamento (SIG).

A primeira etapa consistiu na identificação e delimitação de três pontos: Dois Unidos, Coqueiral Park e Sucupira conforme a Tabela 5, representativos

de locais de interesse para a medição de intensidade pluviométrica. Os pontos foram definidos com base em suas coordenadas geográficas (latitude e longitude). Os pontos foram organizados no GEE por meio da criação de uma estrutura vetorial do tipo Feature Collection, à qual foram atribuídos identificadores únicos (ID), nomes dos locais e as coordenadas correspondentes.

Embora o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponha de dados abertos de estações meteorológicas, esses não estão integrados de forma nativa à base de dados do GEE. Dessa forma, os dados de precipitação acumulada para os três pontos selecionados foram obtidos previamente por meio de consulta ao portal de dados do INMET e, em seguida, associados aos pontos vetoriais como atributos (properties) dentro do ambiente do GEE. Os valores atribuídos correspondem à precipitação acumulada em milímetros por hora (mm/h).

Com os pontos vetoriais definidos e os valores pluviométricos devidamente atribuídos, foi realizada a exportação dos dados do GEE no formato shapefile (SHP). A exportação seguiu os parâmetros definidos para o sistema de referência SIRGAS2000 UTM zone 25S. Com os pontos definidos, realizou-se a interpolação do shapefile para gerar o raster de intensidade pluviométrica de Dois Unidos.

**Tabela 5.** localização das estações pluviométricas.

<b>Ponto</b>	<b>Estações pluviométricas</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
1	Dois Unidos	-8,001973762	-34,91455426
2	Coqueiral Park	-7,976325947	-34,88176402
3	Ponto Sucupira	-8,102698251	-34,96576873

Fonte: Autor (2024)

Os dados foram exportados em formato CSV, que facilita o processamento e a análise em softwares de geoprocessamento e estatística. Esse formato foi escolhido devido à sua compatibilidade com ferramentas como o QGIS, utilizado na etapa de modelagem espacial.

Para representar a distribuição espacial, uma interpolação espacial foi realizada a partir dos dados históricos, gerando o raster da intensidade pluviométrica, que permite visualizar as áreas com maior propensão a receberem volumes significativos de chuva.

#### **4.5 NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS**

Para a combinação ou cruzamento de mapas no processo de análise multicritério, os dados de cada mapa devem ser representados numa mesma escala, portanto, devem ser normalizados ou padronizados, de forma a permitir a análise comparativa *pixel a pixel*. Neste estudo, foi realizada a uniformização da escala de variação dos valores dos mapas dos critérios Índice de Vegetação, Geologia, Declividade, Curvatura, Intensidade Pluviométrica, Hipsometria e Ordem de Drenagem, de modo que foram representados no intervalo de zero a 1 (Saaty, 1990).

##### **4.5.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO**

O mapa de Índice de Vegetação no bairro de Dois Unidos teve seus dados quantitativos originais apresentados valores de cada pixel. A escala de normalização utilizada foi uma função *fuzzy*, do tipo linear crescente. A regra de decisão para que esta função seja crescente é explicada considerando que quanto mais próximo de 1 for o valor do pixel, mais representa a vegetação como muito densa e vigorosa, como florestas maduras ou áreas de vegetação nativa preservada. É indicativo de alta produtividade vegetal. Portanto, os valores foram normalizados para uma escala de zero a 1, variando de acordo com essa função.

##### **4.5.2 GEOLOGIA**

O mapa de Geologia de Dois Unidos também apresenta dados qualitativos, pois as regiões de cada classe são representadas nominalmente, não numericamente. Cada classe de geológica é chamada subcritério ou subfator na abordagem da análise multicritério desta pesquisa. A normalização do mapa temático, conforme a metodologia de Saaty (1990), foi realizada por meio de uma análise técnica das classes de solo, conduzida por especialistas.

Utilizou-se uma escala de 0 a 1, atribuindo valores mais altos às classes de solo com maior risco de degradação ambiental e valores mais baixos às com menor risco. O procedimento de normalização das classes de Tipos Geológicos (subcritérios) seguiu o mesmo princípio de ponderação, onde os dados qualitativos foram convertidos em valores quantitativos, considerando o grau de importância de cada classe no processo de degradação ambiental.

#### **4.5.3 DECLIVIDADE**

O mapa de declividade de Dois Unidos teve seus dados quantitativos originais apresentados em porcentagem. A escala de normalização utilizada foi uma função *fuzzy*, do tipo linear crescente. A regra de decisão para que esta função seja crescente é explicada considerando que quanto maior o valor da declividade de uma área, maior é o seu potencial de risco à degradação. Portanto, os valores foram normalizados para uma escala de zero a 1, variando de acordo com essa função.

#### **4.5.4 MAPA DE CURVATURA**

O mapa de curvatura da área de estudo em Dois Unidos foi estruturado com dados quantitativos originais que incluíam valores positivos, negativos e próximos de zero, os quais foram classificados de acordo com a forma da superfície: valores positivos foram designados como áreas côncavas, valores negativos como convexas, e valores próximos de zero como planas. Para a normalização desses dados, foi aplicada a função *fuzzy* do tipo linear crescente. A decisão de aplicar uma função crescente justifica-se pelo fato de que valores elevados, sejam positivos ou negativos, indicam uma maior curvatura do terreno, a qual está diretamente associada a um aumento no potencial de risco para movimentos de massa.

#### **4.5.5 ORDEM DE DRENAGEM**

O mapa das ordens de drenagem de Dois Unidos foi elaborado com dados quantitativos classificados em diferentes categorias. A normalização desses dados foi realizada por meio de uma função *fuzzy* do tipo linear crescente. Assim, quanto maior o valor da classe de escoamento de uma área,

maior o seu potencial de risco à erosão. Os valores foram, então, ajustados para uma escala que varia de 0 a 1, conforme essa lógica. Esses mapas de critérios, que representam as variáveis de entrada para a análise multicritério, têm suas características gerais, como o processo de normalização e a regra de decisão, descritas no Quadro 7.

**Quadro 7.** Características dos critérios para o processo de normalização de dados.

<b>Mapa de Critério</b>	<b>Tipo de Critério</b>	<b>Natureza dos dados</b>	<b>Normalização</b>	<b>Regra de Decisão</b>
<b>Índice de Vegetação</b>	Relativo ou Fator	Quantitativo	Fuzzy	Intervalo de -1 a 1 onde mais próximo de 1 representa vegetação densa
<b>Geologia</b>	Relativo ou Fator	Qualitativo	Ordem atribuída por analistas	Tipo de solos que podem oferecer maiores riscos à degradação e movimentação de massa
<b>Declividade</b>	Relativo ou Fator	Quantitativo	Fuzzy	Áreas íngremes podem oferecer maiores riscos à degradação.
<b>Curvatura</b>	Relativo ou Fator	Quantitativo	Fuzzy	Quanto mais convexas, mais dispersam o fluxo de água, pois direcionam o escoamento para fora aumentando o nível de escoamento superficial
<b>Hipsometria</b>	Relativo ou Fator	Quantitativo	Fuzzy	Identificação de Padrões de Escoamento e Acúmulo de Água, Análise de Gradientes de Declive e Estabilidade do Terreno, Importância para o Planejamento Territorial e Gestão de Recursos Naturais e Base para Integração em Modelos de Suscetibilidade a Deslizamentos
<b>Intensidade Pluviométrica</b>	Relativo ou Fator	Quantitativo	Fuzzy	Quanto maior o valor de variação da intensidade em lugares de altas declividades, maior é o seu potencial de risco à erosão
<b>Ordens de Drenagem</b>	Relativo ou Fator	Quantitativo	Fuzzy	Quanto maior o valor da classe do escoamento de uma área, maior é o seu potencial de risco à erosão

Fonte: Falcão (2013)

#### **4.5.6 INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA**

O mapa de intensidade pluviométrica de Dois Unidos teve seus dados quantitativos originais apresentados em mm/h. A escala de normalização

utilizada foi uma função *fuzzy*, do tipo linear crescente. A regra de decisão para que esta função seja crescente é explicada considerando que quanto maior o valor de variação da intensidade em lugares de altas declividades, maior é o seu potencial de risco à erosão e escoamento superficial. Portanto, os valores foram normalizados para uma escala de zero a 1, variando de acordo com essa função.

#### 4.5.7 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Os mapas de Dois Unidos foram gerados com dados de altitude em metros, representando as variações na área de estudo. Para facilitar a comparação com outros critérios, as elevações foram normalizadas para uma escala de 0 a 1, utilizando uma transformação linear baseada nos valores mínimo e máximo do raster de altitude. A fórmula de normalização aplicada na Calculadora Raster foi a seguinte:

$$\text{Normalização dos critérios} = \frac{\text{Max} - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \quad (4)$$

onde:

- Normalização dos critérios refere-se aos valores de elevação originais do raster;
- Min e Max representam, respectivamente, os valores mínimo e máximo de elevação encontrados nos mapas.

Essa equação ajusta os dados para que áreas de menor elevação assumam valores próximos a 0 e as áreas de maior elevação aproximem-se de 1, seguindo a lógica de uma função fuzzy linear crescente.

#### 4.6 PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS

Esta ação refere-se à atribuição de pesos a cada critério ou fator (Índice de Vegetação, Geologia, Declividade, Curvatura, intensidade pluviométrica, Ordem de Drenagem e Hipsometria) contribuinte para o processo de movimentação de massa em Dois Unidos. Foi utilizado o método da comparação pareada, de acordo com a metodologia de Saaty (1990), Processo de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Este método, segundo Ramos (2000), deve ser o indicado sempre que estiver em causa

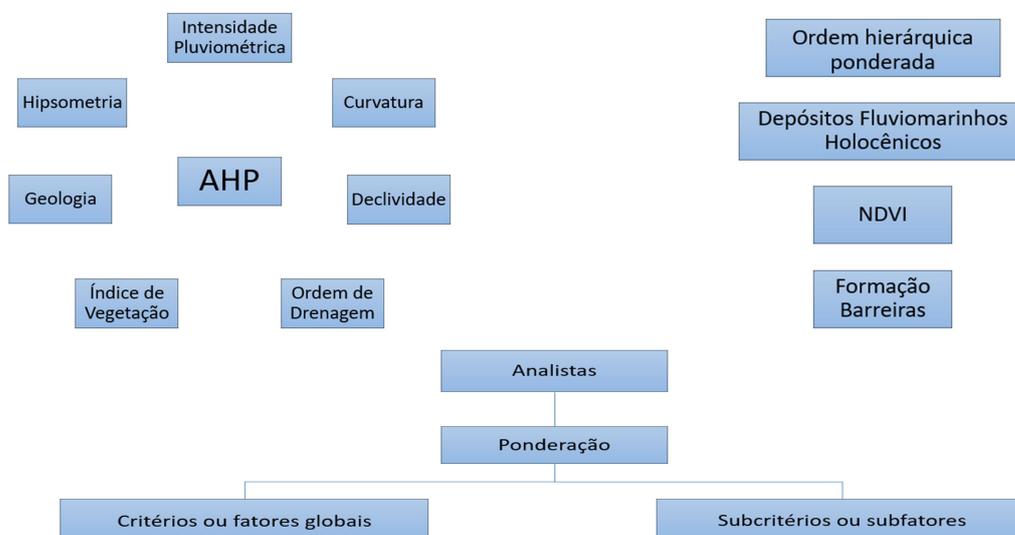
expressar aquelas que são as prioridades de um grupo de decisores, no caso especialistas ou analistas. A ponderação dos critérios foi realizada por uma equipe multidisciplinar de analistas pesquisadores da área de deslizamentos da Secretaria Executiva de Defesa Civil (SEDEC) do Recife.

Foi realizado um painel de discussão com esta equipe, à qual foram apresentados o tema objeto deste estudo, os objetivos, os critérios e a metodologia de comparação pareada para atribuição de pesos às variáveis contribuintes no processo em estudo.

As atribuições dos analistas ou especialistas no âmbito do referido painel estão apresentadas na Figura 11, descritas da seguinte forma:

- Definir a importância relativa entre os critérios globais ou fatores envolvidos no processo em análise (Índice de Vegetação, Geologia, Declividade, Curvatura, intensidade pluviométrica, Ordem de Drenagem e Hipsometria), atribuindo-lhes pesos, utilizando a metodologia de Saaty (1990), Processo de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*);
- Definir a importância relativa entre os subcritérios do critério global qualitativo geológico (Formação Barreiras e Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos), utilizando ordem hierárquica arbitrária, com escala de valores de zero a 1 – equivalente ao procedimento de normalização (descrito no item 4.4.2).

**Figura 11.** Atribuições dos analistas com vistas à ponderação de critérios ou fatores globais e de subcritérios ou subfatores.



Fonte: Falcão (2013)

Foi apresentado aos analistas um modelo de matriz quadrada ( $n \times n$ ) de comparação entre os fatores, conforme a metodologia de Saaty (2013) - técnica AHP. Inicialmente, seguindo esta metodologia, a equipe discutiu e definiu a ordem de importância dos critérios, listando-os na primeira linha e na primeira coluna da matriz (na mesma ordem ao longo das linhas e ao longo das colunas). Em seguida, a matriz foi preenchida com valores resultantes de julgamento que expressam a importância relativa entre pares de fatores, utilizando a escala de comparação de critérios.

Ao final do preenchimento da matriz de comparação, foi verificada a razão de consistência, que deve ser menor que 0,1, indicadora da probabilidade de que as avaliações dessa matriz foram geradas aleatoriamente. Quando não se alcançou este valor de consistência, a equipe retomou o processo de avaliação, reavaliou a ponderação realizada e realizou um novo preenchimento da matriz.

O *software* utilizado para a execução do processo AHP foi o Microsoft Excel, no qual a escala fundamental de Saaty recebeu adaptações, no que se refere à apresentação dos valores e definições de peso ou da importância dos critérios (Tabela 6).

**Tabela 6.** Valor, definição e importância dos 9 pesos fundamentais de julgamento comparativo.

Valor do peso ou da importância	Definição do peso ou da importância
1	Igual
2	Um pouco melhor
3	Algo melhor
4	Moderadamente melhor
5	Melhor
6	Bem melhor
7	Muito melhor
8	Criticamente melhor
9	Absolutamente melhor

Fonte: Saaty (2013)

#### 4.7 COMBINAÇÃO DE CRITÉRIOS

O procedimento utilizado para combinação de critérios foi a Combinação Linear Ponderada (CLP), que combina os fatores de uma média ponderada.

A aplicação desta combinação de critérios significa que as imagens normalizadas são combinadas por meio da equação definida no processo de atribuição de pesos às variáveis intervenientes. Para cada imagem normalizada de critério (Índice de Vegetação, Geologia, Declividade, Curvatura, intensidade pluviométrica, Ordem de Drenagem e Hipsometria), os valores dos *pixels* são multiplicados pelo respectivo coeficiente (peso). Os valores resultantes nos *pixels* de mesma localização nas 7 imagens são somados, obtendo-se a imagem correspondente aos níveis de risco ao processo de degradação das terras.

No QGIS, após a atribuição de pesos relativos a cada critério no ambiente AHP (ponderação), foi utilizada a Calculadora Raster para realizar o geoprocessamento. No qual foi gerado o mapa final através da somatória de todos os critérios normalizados, cada critério multiplicado com seus pesos.

A execução gerou um mapa de faixas de valores contínuos, na escala de zero a 1, referente à distribuição geográfica dos níveis de risco susceptibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos.

#### **4.8 MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS**

Para definição dos intervalos de cada classe do mapa temático de níveis de risco a susceptibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos, tomaram-se por referência as próprias faixas de valores do mapa contínuo. Foram realizadas leituras de valor de *pixel* neste mapa de modo a se compreender criticamente os resultados gerados pela combinação linear, analisando e confrontando cada leitura com o conhecimento da realidade da área e com as observações obtidas em trabalho de campo.

No QGIS, o mapa de faixas de valores contínuos foi reclassificado, elaborando-se o mapa temático final. As seguintes classes de nível de risco ao processo de degradação ambiental foram definidas:

- Muito Alto; 1
- Alto;
- Médio;
- Baixo.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 MAPAS BÁSICOS DE CRITÉRIOS**

Em Recife, estudos como o de Neto, Silva, Lafayette e Barbosa (2023) usou o método AHP e técnicas de geoprocessamento para mapear riscos em bairros com ocupação irregular, destacando critérios como declividade, uso e ocupação do solo, precipitação e geologia como os mais relevantes. De forma semelhante, este trabalho identificou o Índice de Vegetação e declividade como o principal fator para a instabilidade de encostas.

Adicionalmente, estudos realizados em cidades de clima tropical, como o conduzido por Falcão (2013) em Boa Vista, Paraíba, apresentaram resultados alinhados aos achados deste trabalho, embora tenham sido realizados em regiões de baixa densidade populacional e com infraestrutura precária. Em contrapartida, outras investigações apontaram diferenças relevantes nos fatores de influência. Por exemplo, Neto, Silva, Lafayette e Barbosa (2023) destacaram a proximidade de cursos d'água e a precipitação pluviométrica como elementos determinantes, enquanto outros autores Silva e Machado (2014) não atribuíram a esses critérios a mesma importância, o que pode estar relacionado a diferenças nos contextos geológicos das áreas analisadas.

Além disso, mapas de suscetibilidade elaborados por Falcão (2013), Neto, Silva, Lafayette e Barbosa (2023) e Silva e Machado (2014) também evidenciaram padrões de risco similares aos deste estudo, destacando a concentração de áreas de alto risco em encostas com alta declividade e baixa cobertura vegetal. Esses achados reforçam a validade do modelo empregado e demonstram a eficácia do AHP em contextos urbanos vulneráveis.

#### **5.1.1 MAPA DE GEOLOGIA**

A Tabela 7 apresenta a quantificação de área de cada classe e o percentual em relação à área total do bairro de Dois Unidos, permitindo uma visão detalhada da distribuição espacial das diferentes classes de suscetibilidade a deslizamentos. A análise da composição geológica da área de estudo revelou a presença de duas classes principais: a Formação Barreiras e os Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos. A Formação Barreiras é composta

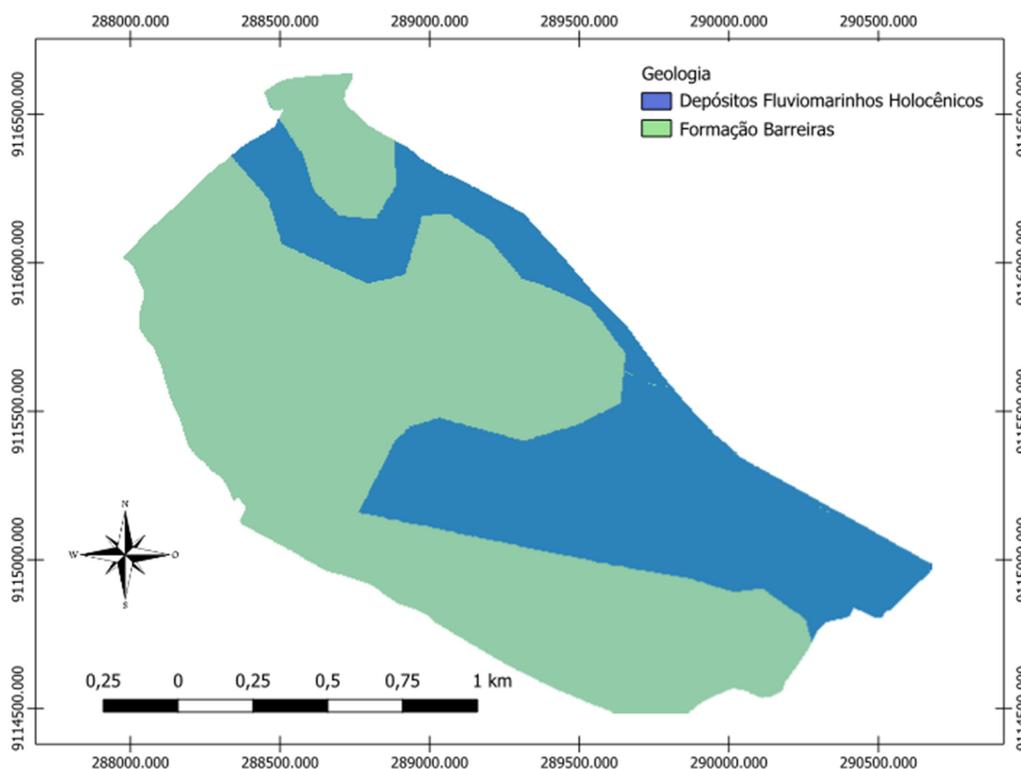
predominantemente por sedimentos arenosos, argilosos e silto-argilosos, representando uma unidade geológica amplamente distribuída na região Nordeste do Brasil e fortemente associada a processos erosivos e instabilidades de encostas. Já os Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos correspondem a sedimentos recentes, geralmente encontrados em áreas de baixa altitude, próximos a cursos d'água e sujeitos à influência de processos deposicionais.

**Tabela 7.** Quantitativos das classes geológicas do bairro de Dois Unidos.

Classe Geológica	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Formação Barreiras	1,87	65%
Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos	1,01	35%

Fonte: IBGE (2019)

**Figura 9.** Mapa digital de classes geológicas do bairro de Dois Unidos.



Fonte: IBGE (2019)

Os resultados obtidos evidenciam a predominância da Formação Barreiras na região de estudo, conforme ilustrado na Figura 12, o que sugere

uma maior propensão a deslizamentos em áreas onde essa formação está presente, especialmente quando associada a fatores como declividade acentuada, intervenções antrópicas e padrões de uso e ocupação do solo inadequados. A presença dos Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos, embora menos expressiva em termos de área, também deve ser considerada na avaliação da suscetibilidade, pois esses sedimentos podem apresentar instabilidade em determinadas condições ambientais.

### **5.2.2 MAPA DE DECLIVIDADE**

Na análise da distribuição das classes de declividade da área de estudo, observou-se que o relevo forte ondulado, com inclinações entre 20% e 45%, ocupa a maior extensão territorial, correspondendo a 30% da área total. Essa classe é reconhecida por sua significativa limitação ao uso urbano, exigindo práticas de engenharia específicas para minimizar riscos de instabilidade.

Também, destaca-se o relevo ondulado, com inclinações entre 8% e 20%, abrangendo 22%. Essa classe apresenta terrenos moderadamente inclinados, com maior potencial para construções urbanas, embora ainda exija medidas de intervenções. Complementando essa análise, o relevo plano, com declividades entre 0% e 3%, representa 21% da área, sendo ideal para expansão urbana devido à sua baixa vulnerabilidade a processos geodinâmicos.

O relevo suave ondulado, com inclinações variando entre 3% e 8%, abrange 12% da área total. Essa classe também oferece boas condições para uso urbano, embora exija maior controle de drenagem em comparação ao relevo plano. Por outro lado, o relevo escarpado, com declividades superiores a 75%, ocupa 0,224 km<sup>2</sup>, equivalente a 8% da área. Essas regiões são extremamente íngremes, apresentando uso limitado, com forte predisposição a processos erosivos e deslizamentos, sendo mais adequadas para preservação ambiental ou atividades específicas, como reflorestamento.

Por fim, o relevo montanhoso, com inclinações entre 45% e 75%, corresponde a 7% da área analisada. Essas áreas são caracterizadas por sua elevada inclinação, o que restringe ainda mais seu uso para atividades

agrícolas ou urbanas, concentrando-se em funções relacionadas à conservação ambiental.

A predominância de terrenos ondulados a forte ondulados em Dois Unidos

(52% da área total) ressalta a importância da adoção de políticas públicas voltadas para a contenção de encostas, drenagem eficiente e manejo adequado do solo.

Essas características reforçam a necessidade de manejo adequado e práticas de conservação do solo, especialmente nas áreas de maior declividade. As classes menos representativas, como o relevo escarpado e montanhoso (15% do total), demandam atenção especial devido à sua alta vulnerabilidade a processos erosivos e à limitação de uso sustentável conforme a Tabela 8.

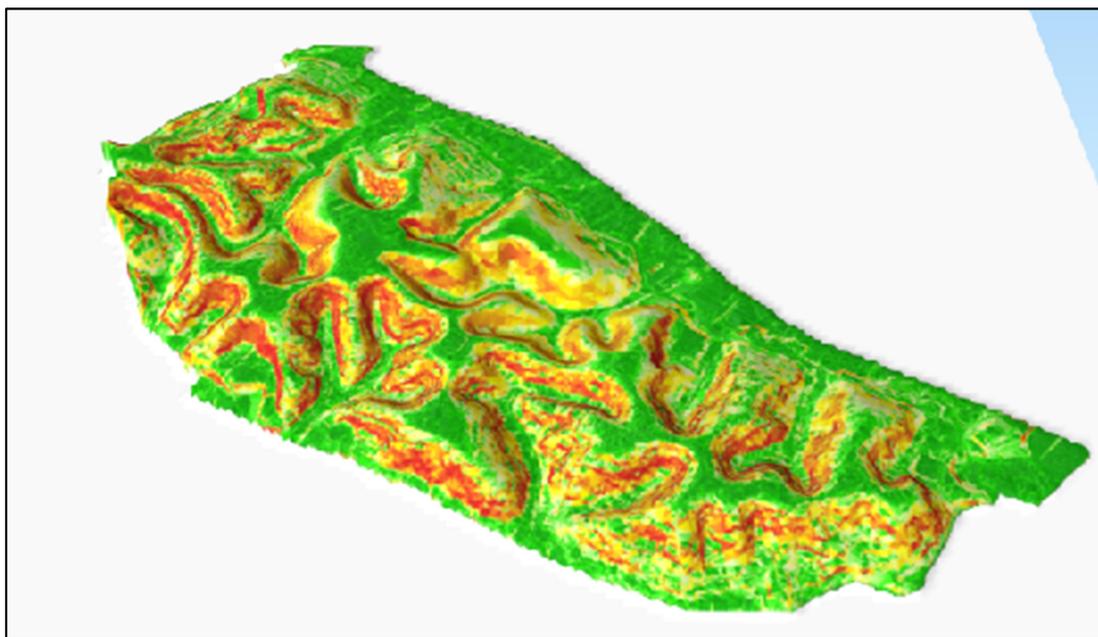
**Tabela 8.** Quantitativos das classes geológicas do bairro de Dois Unidos.

Classe de Declividade		Área	
		km <sup>2</sup>	(%)
Relevo Plano	0 - 3%	0,60	21%
Relevo Suave Ondulado	3 - 8%	0,35	12%
Relevo Ondulado	8 - 20%	0,63	22%
Relevo Forte Ondulado	20 - 45%	0,86	30%
Relevo Montanhoso	45 - 75%	0,21	7%
Relevo Escarpado	>75%	0,224	8%

Fonte: EMBRAPA (1979)

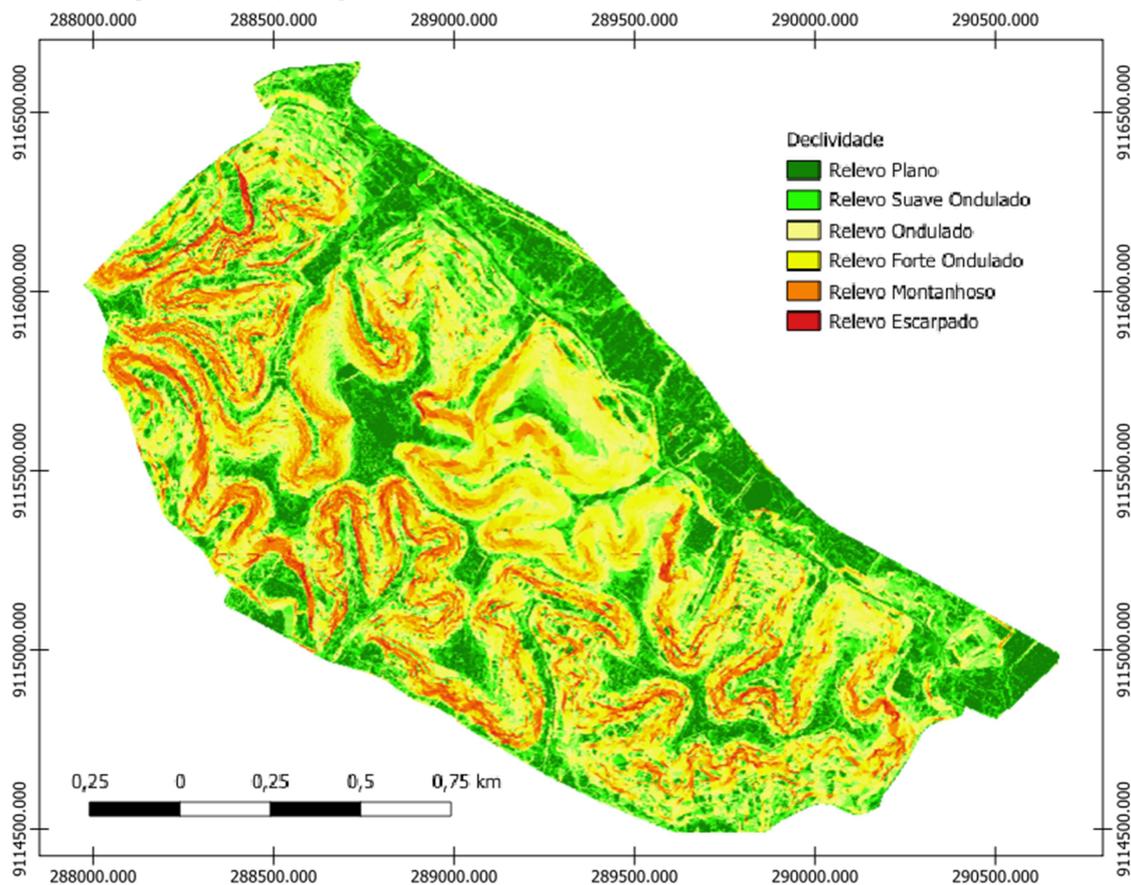
Os aspectos da declividade de Dois Unidos podem ser visualizados nas Figuras 13 e 14, permitindo uma melhor compreensão da distribuição das classes de inclinação e sua influência na ocupação do território.

**Figura 10.** Modelo 3D sem escala da Declividade no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

**Figura 11.** Mapa digital de classes de Declividade no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

### 5.2.3 MAPA DE INDICE DE VEGETAÇÃO – NDVI

As diferentes classes de vegetação identificadas no bairro de Dois Unidos estão apresentadas na Tabela 9, acompanhadas de seus respectivos valores, que variam de 0,009564 a 0,825. Além disso, são indicados os percentuais que cada classe representa em relação à área total da localidade, permitindo uma análise mais precisa da distribuição da cobertura vegetal na região.

**Tabela 9.** valores obtidos do NDVI

DNVI - pixels	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Descrição
0,009564	0,132	4,59%	Esse valor é muito próximo de zero, indicando áreas com pouca ou nenhuma vegetação. Possivelmente corresponde a superfícies expostas, como solo nu, áreas urbanas ou corpos d'água com alta turbidez
0,2135	1,413	49,44%	Este valor indica uma cobertura de vegetação moderada. Pode estar associado a áreas com vegetação esparsa, como gramados, pastagens ou culturas agrícolas em estágio inicial de crescimento
0,5099	0,631	21,96%	Valor intermediário-alto, sugerindo vegetação saudável e moderadamente densa. Pode ser característico de florestas secundárias, áreas de cultivo em bom estado ou vegetação natural de maior densidade
0,825	0,690	24,01%	Este é um valor elevado de NDVI, representando vegetação muito densa e vigorosa, como florestas maduras ou áreas de vegetação nativa preservada. É indicativo de alta produtividade vegetal

Fonte: USGS (2019)

A classe com NDVI de 0,2135 apresenta a maior área, abrangendo 1,413 km<sup>2</sup>, o que equivale a 49,44% da área total. Essa classe indica a presença de vegetação moderada, como pastagens, gramados ou cultivos agrícolas em estágios iniciais. Apesar de ser uma vegetação menos densa, ocupa quase metade da área de estudo, desempenhando papel importante na cobertura do solo, embora demande práticas adequadas de manejo para evitar processos erosivos ou degradação ambiental.

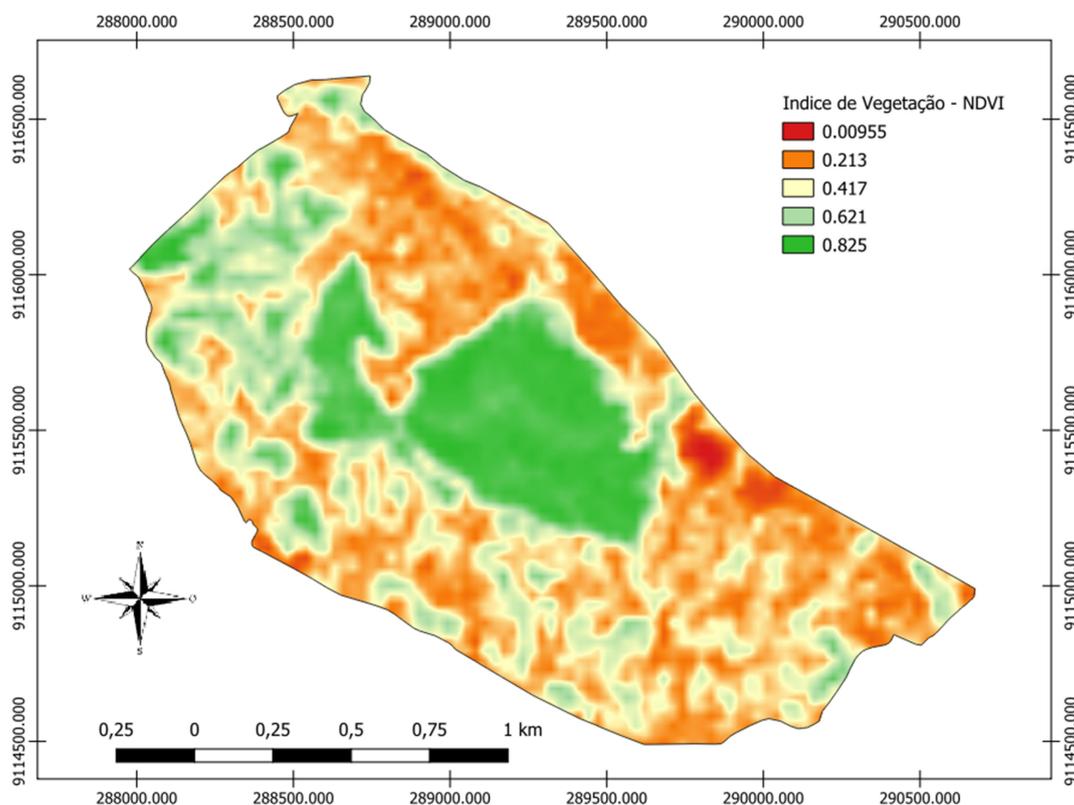
Em seguida, a classe de NDVI 0,825, representando 24,01% da área total. Essa classe está associada a florestas maduras ou vegetação nativa preservada, destacando-se pela sua alta produtividade vegetal e importância para a conservação ambiental.

A classe de NDVI 0,5099 ocupa 0,639 km<sup>2</sup>, equivalente a 21,96% da área. Essa classe representa vegetação saudável e moderadamente densa, como florestas secundárias ou vegetação natural em bom estado de conservação. Embora menos densa que a vegetação representada por NDVI elevados, essa classe ainda reflete boas condições ambientais, sendo um indicador de ecossistemas em equilíbrio.

Por último, os valores mais baixos de NDVI 0,009564 abrangem 0,132 km<sup>2</sup>, ou 4,59% da área total. Essas áreas possuem pouca ou nenhuma vegetação, frequentemente associadas a superfícies expostas, como solos desnudos, áreas urbanizadas ou corpos d'água com alta turbidez. Essa classe é a mais vulnerável ambientalmente, devido à sua baixa capacidade de retenção hídrica e proteção contra erosão, o que reforça a necessidade de intervenções voltadas à recuperação dessas regiões.

O mapa temático com as classes de Índice Vegetação do bairro de Dois Unidos encontra-se representado na Figura 15

**Figura 12.** Mapa digital de classes de Índice de Vegetação no bairro de Dois Unidos



Fonte: Autor (2024)

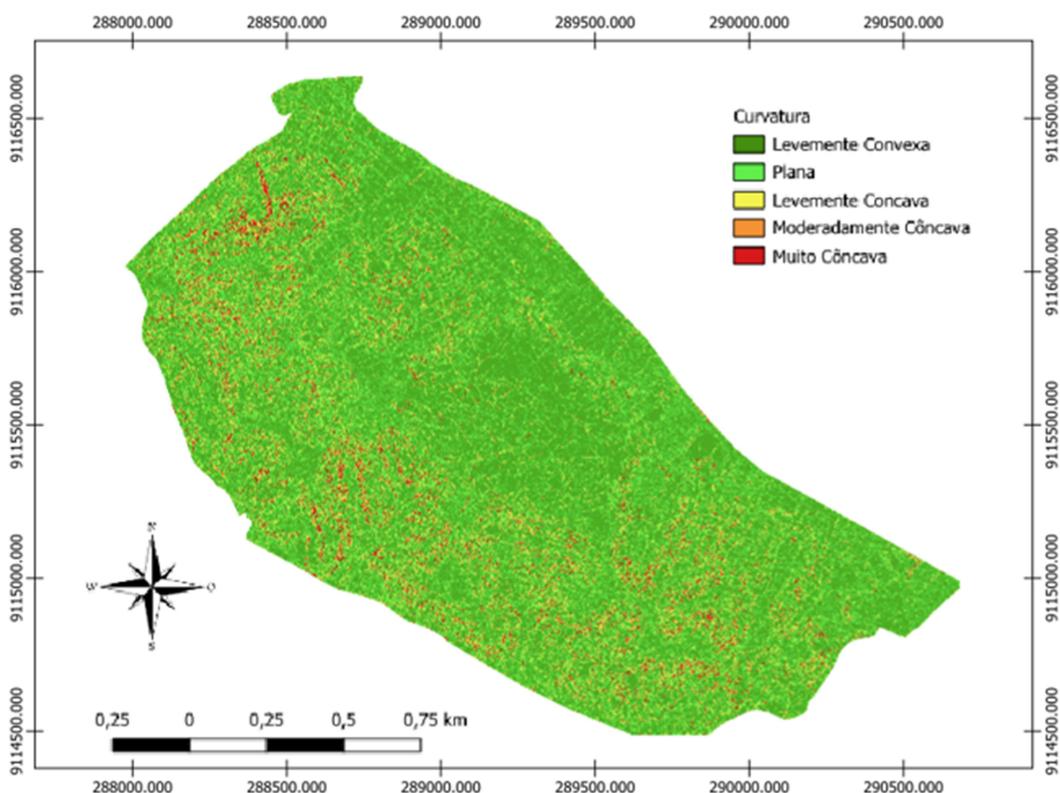
### 5.2.4 MAPA DE CURVATURA

O mapa apresentado ilustra a distribuição das classes de curvatura no bairro de Dois Unidos, fornecendo uma análise detalhada das características geomorfológicas da área. A composição da área de estudo foi segmentada em cinco classes principais de curvatura: Levemente Convexa, Plana, Levemente Côncava, Moderadamente côncava e Muito Côncava, conforme representado na Figura 16.

A análise revelou que a classe predominante, em termos de extensão territorial, é a Levemente Côncava, que abrange uma área de 1,51 km<sup>2</sup>, correspondendo a 52,5% do território total analisado. Essa predominância reflete características específicas da morfologia local, que podem influenciar diretamente a dinâmica de processos geológicos, como a suscetibilidade a deslizamentos de encostas.

O mapa temático abaixo apresenta a distribuição espacial dessas classes de curvatura, permitindo uma visualização clara e objetiva dos padrões geomorfológicos presentes no bairro de Dois Unidos.

**Figura 13.** Mapa digital de classes de Curvatura no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

### 5.2.5 MAPA DE ORDEM DE DRENAGEM

A análise da ordem de drenagem é essencial para entender a organização da rede hidrográfica e sua influência nos processos hidrológicos e geomorfológicos. Segundo Dornellas (2020), a hierarquização dos cursos d'água facilita a identificação de áreas suscetíveis a inundações e deslizamentos, sendo útil no planejamento territorial e na adoção de medidas de mitigação.

No bairro de Dois Unidos, a classificação da rede de drenagem revela a distribuição e o comportamento dos fluxos hídricos, fornecendo informações essenciais para o planejamento ambiental e a gestão de riscos.

Os dados obtidos reforçam a importância da análise morfométrica para compreender a dinâmica hídrica da região, alinhando-se a estudos como o de Estevam e Maia (2019), que destacam a relevância da morfometria na avaliação da vulnerabilidade de bacias hidrográficas em áreas urbanas.

A ordem 1, representa 71,93% da área total. Essa classe indica a presença de pequenos cursos d'água localizados nas áreas mais elevadas e nascentes. Essas regiões desempenham um papel crucial na dinâmica hídrica, atuando como fontes primárias de abastecimento para as áreas inferiores. Embora apresentem menor risco de erosão devido ao escoamento rápido da água.

A ordem 2, equivale a 18,80% da área total. Esta classe está associada a regiões de maior estabilidade e acumulação de fluxo, geralmente em áreas mais planas, onde a água tende a se acumular de maneira controlada. Embora esses locais sejam mais estáveis, a acumulação de água pode resultar em riscos, especialmente durante períodos de chuvas intensas, demandando práticas de manejo para prevenir inundações ou processos erosivos.

A ordem 3, com 0,19371 km<sup>2</sup>, corresponde a 6,74% da área. Representa as zonas de transição entre áreas de encostas e vales, onde o solo é mais instável e susceptível a processos erosivos. Essas áreas são pontos críticos de interação entre diferentes tipos de relevo, exigindo maior atenção e estratégias específicas de manejo para evitar a degradação do solo.

A ordem 4, equivale a 2,16% da área. Está associada a áreas com tendência ao início de erosão, caracterizando locais onde o acúmulo de água é maior, aumentando o risco de deslizamentos.

A ordem 5, representando 0,35% da área total. Esta classe concentra a maior parte do fluxo acumulado e está associada a pontos críticos de drenagem.

Por fim, a ordem 6, abrange apenas 0,03% da área total. Essa classe está associada a áreas com tendência de erosão moderada, embora sua pequena extensão não diminua a importância de monitorá-las. O agravamento da erosão nessas áreas pode comprometer a estabilidade do solo e aumentar o risco de deslizamentos, aumentando a vulnerabilidade social.

As classes de Ordem de Drenagem mapeadas no bairro de Dois Unidos estão discriminadas na Tabela 10, com seus respectivos valores variando de 1 à 6 e de percentuais em relação à área total da localidade.

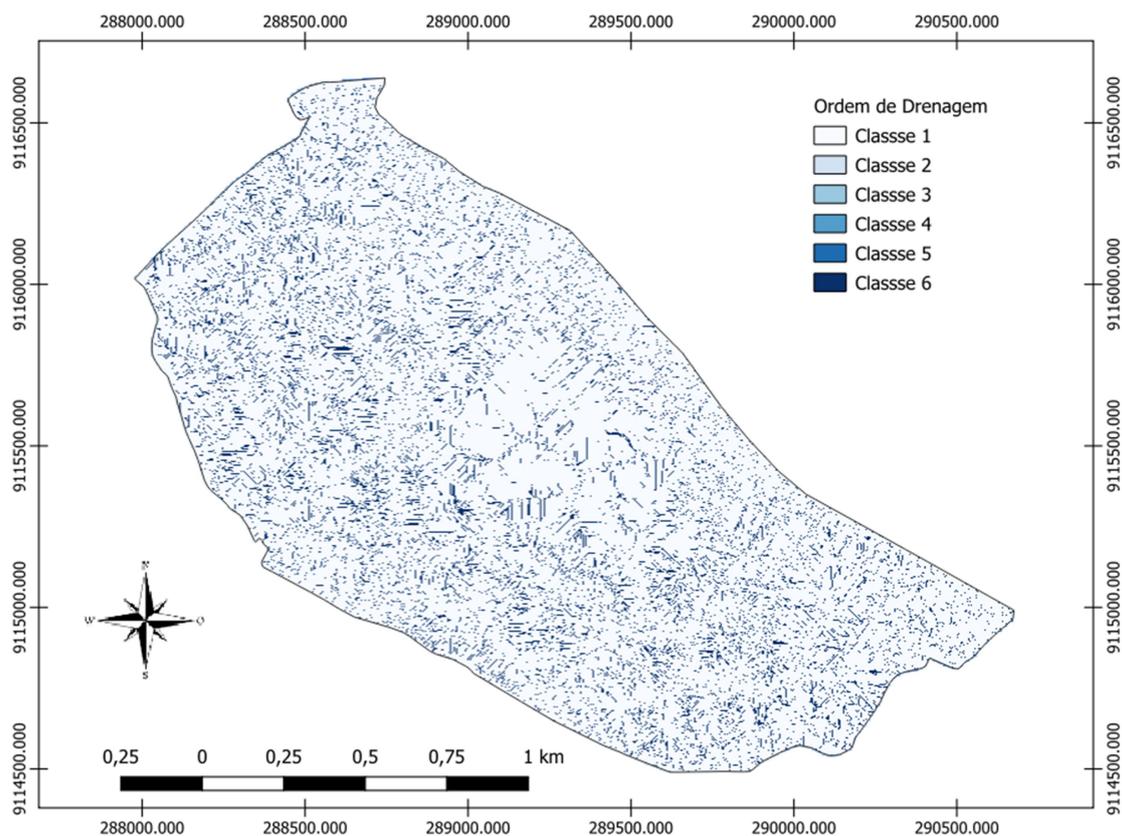
**Tabela 10.** dados do mapa de Ordem de Drenagem

<b>Ordem</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Interpretação</b>
1	2,06727	71,93%	Representam os pequenos cursos d'água nas áreas mais elevadas e nascentes.
2	0,54031	18,80%	Mostram maior estabilidade e acumulação de fluxo
3	0,19371	6,74%	Indicam a transição entre áreas de encostas e vales
4	0,06208	2,16%	Acumulo maior que o nível 3, tendência de início de erosão
5	0,01006	0,35%	Concentram a maior parte do fluxo acumulado
6	0,00060	0,03%	Acumulo maior que o nível 5, tendência de erosão moderada

Fonte: Falcão (2013)

O mapa temático referente às Ordens de Drenagem do bairro de Dois Unidos está apresentado na Figura 17.

**Figura 14.** Mapa digital de classes das Ordens de Drenagens no bairro de Dois Unidos



Fonte: Autor (2024)

### 5.2.6 MAPA DE INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

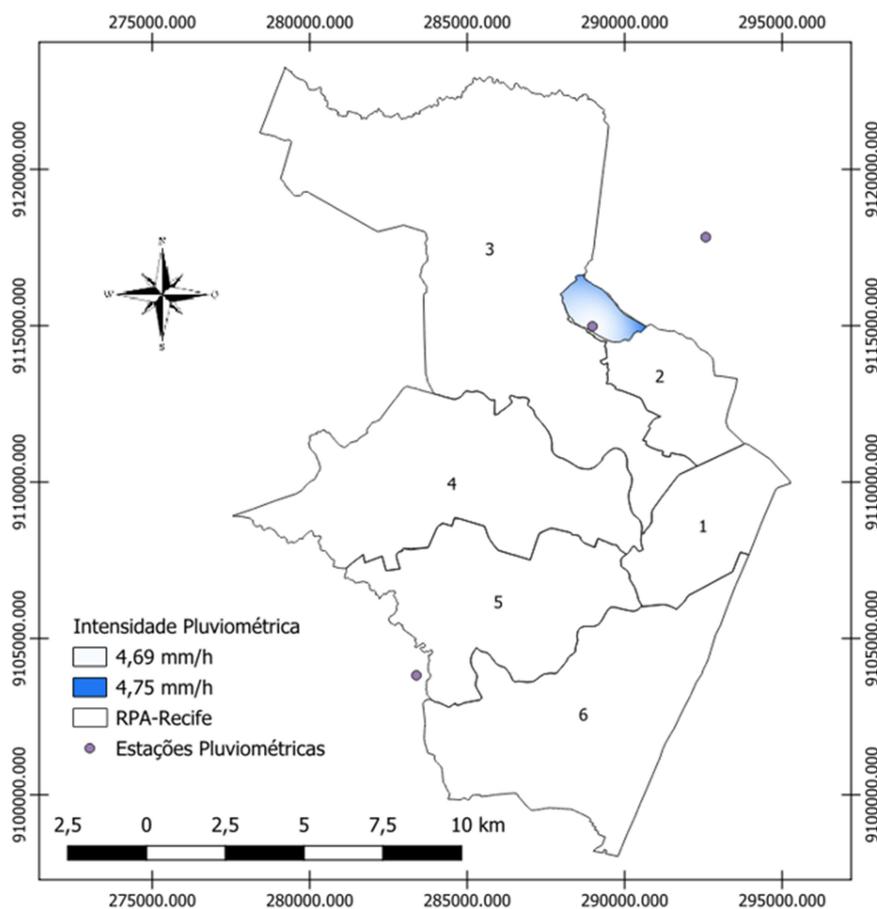
O mapa de intensidade pluviométrica apresenta variações limitadas, o que pode ser explicado pela reduzida extensão territorial do bairro de Dois Unidos. Conforme ilustrado na Figura 18, a área em estudo não possui dimensões significativas o suficiente para evidenciar mudanças expressivas nos padrões de precipitação. As classes de Intensidade Pluviométrica mapeada no bairro de Dois Unidos estão discriminadas na Tabela 11, com seus respectivos valores de variação e de percentuais em relação à área total da localidade.

**Tabela 11.** Dados do mapa de Intensidade Pluviométrica

Intensidade Pluviométrica (mm/h)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
4,69	2,243	78,04%
4,75	0,631	21,96%

Fonte: Autor (2024)

**Figura 15.** Mapa da Intensidade Pluviométrica nos limites de bairro de Dois Unidos.

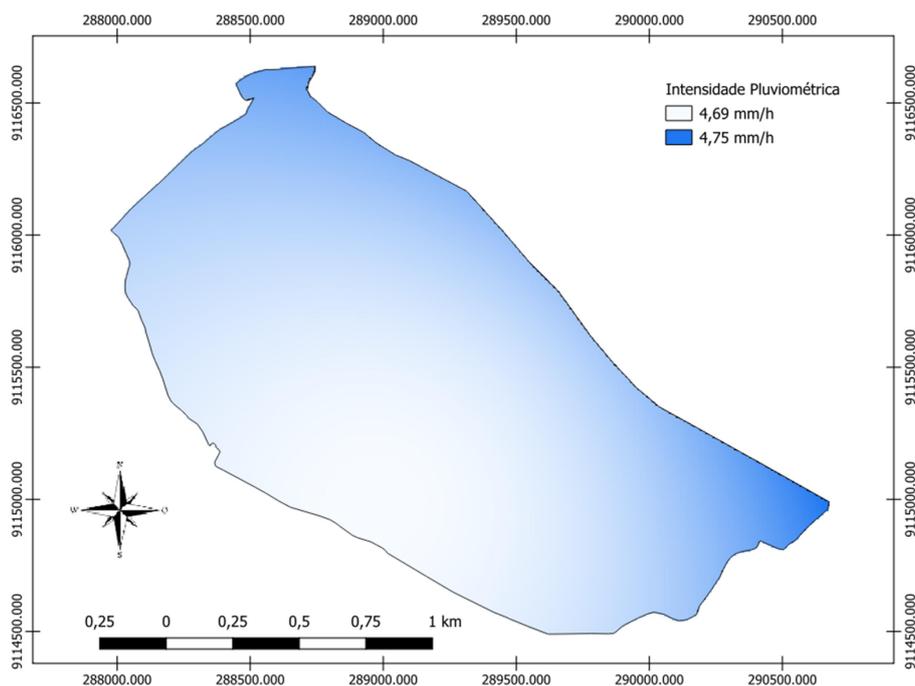


Fonte: Autor (2024)

A intensidade pluviométrica de 4,69 mm/h corresponde a 78,04% da área total. Reflete na dinâmica hídrica mais desproporcional, onde existe um maior volume no escoamento superficial devido à topografia e ao uso do solo. Essas áreas estão localizadas em regiões de declividade elevada, favorecendo os processos erosivos severos, o que exige políticas de intervenção.

Por outro lado, a intensidade pluviométrica de 4,75 mm/h corresponde a 21,96% da área total e reflete na dinâmica hídrica mais equilibrada. A área está localizada em regiões de declividade moderada, reduzindo o risco de erosão. O mapa temático da Intensidade Pluviométrica do bairro de Dois Unidos está apresentado na Figura 19.

**Figura 16.** Mapa digital da Intensidade Pluviométrica no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

Os resultados mostram que o bairro de Dois Unidos apresenta duas áreas distintas em relação à intensidade pluviométrica. Esses achados são essenciais para a formulação de políticas públicas e ações de gestão hídrica adequadas às características do bairro.

### 5.2.7 MAPA HIPSOMÉTRICO

A distribuição das classes de hipsometria no bairro de Dois Unidos encontra-se apresentada na Tabela 12, a qual detalha os respectivos valores absolutos e percentuais em relação à área total da localidade. A análise desses dados permite identificar padrões altimétricos relevantes, que influenciam diretamente no Índice de Vegetação e nos processos de planejamento urbano. O intervalo altimétrico compreendido entre 7 e 12 metros é o que apresenta a maior representatividade espacial, totalizando 0,471 km<sup>2</sup>, o que equivale a 16,37% da área total. Tal faixa se configura como predominante na região, indicando uma tendência de ocupação em áreas de baixa altitude, possivelmente associadas a terrenos com declividade suave, favoráveis ao assentamento urbano e à construção de infraestrutura básica.

As faixas de 20 a 25 metros (13,79%) e de 13 a 19 metros (11,94%) também apresentam valores expressivos, demonstrando que uma parcela significativa do território está inserida em altitudes moderadas. Esses terrenos, por possuírem menor inclinação e maior estabilidade geotécnica, podem oferecer condições adequadas para a expansão urbana e o desenvolvimento de atividades econômicas.

Em contrapartida, os intervalos de elevação mais baixos, como a faixa de 0 a 6 metros (7,75%), ainda que menos representativos, devem ser cuidadosamente considerados, sobretudo por sua possível relação com áreas de várzea ou proximidade de corpos hídricos, o que implica em maiores riscos de alagamento e restrições legais para uso e ocupação.

No extremo oposto, observa-se que, à medida que a elevação aumenta, a área correspondente tende a diminuir. A faixa acima de 73 metros, por exemplo, representa a menor extensão territorial, com apenas 0,020 km<sup>2</sup>, o que equivale a 0,71% da área total. Essa escassez de áreas elevadas sugere a predominância de um relevo suavemente ondulado na região, com poucas ocorrências de terrenos acidentados.

As áreas de maior altitude, impõem maiores limitações ao uso urbano, especialmente devido à inclinação acentuada, à dificuldade de acesso e ao risco de instabilidade do solo, fatores que aumentam a suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa, como os deslizamentos. Essas características demandam maior rigor nos processos de planejamento e gestão ambiental.

As faixas intermediárias, notadamente aquelas entre 33 e 52 metros de altitude, também possuem importância significativa. Os intervalos de 33 a 39 metros (7,98%), 40 a 45 metros (7,54%) e 46 a 52 metros (7,40%), somados, abrangem cerca de 31% da área total do bairro. Esses patamares configuram zonas de transição entre áreas planas e inclinadas, podendo desempenhar papel estratégico no ordenamento territorial, principalmente no que tange à contenção de áreas suscetíveis e ao direcionamento da ocupação urbana.

A espacialização das faixas altimétricas pode ser visualizada na Figura 20, por meio do mapa temático de hipsometria do bairro de Dois Unidos. Essa representação cartográfica permite uma compreensão mais clara das variações

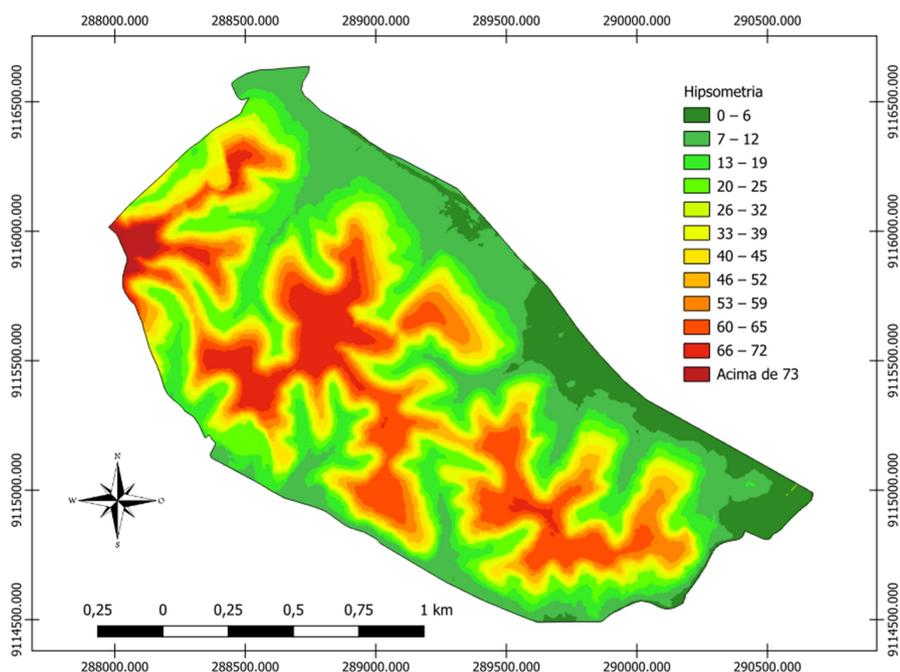
do relevo e sua relação com os padrões de ocupação existentes, fornecendo subsídios importantes para a elaboração de políticas públicas e diretrizes de planejamento urbano e ambiental

**Tabela 12.** dados do Mapa Hipsométrico.

Intervalo (m)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0 – 6	0,223	7,75
7 – 12	0,471	16,37
13 – 19	0,343	11,94
20 – 25	0,396	13,79
26 – 32	0,165	5,75
33 – 39	0,230	7,98
40 – 45	0,217	7,54
46 – 52	0,213	7,40
53 – 59	0,211	7,33
60 – 65	0,250	8,69
66 – 72	0,136	4,74
Acima de 73	0,020	0,71

Fonte: Autor (2024)

**Figura 17.** Mapa digital da Hipsometria do bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

### 5.3 NORMALIZAÇÃO DO CRITÉRIO QUALITATIVO

A razão de consistência obtida neste estudo foi de 5,5%, próxima aos valores relatados por Neto, Silva, Lafayette e Barbosa (2023) com 8,93% e por Falcão (2013) com 3%. A matriz de comparação pareada foi desenvolvida com base em critérios amplamente reconhecidos na literatura, incluindo declividade, índice de vegetação, precipitação, hipsometria e proximidade de cursos d'água. O índice de consistência demonstrou alta confiabilidade nos pesos atribuídos, assegurando a coerência do modelo aplicado.

Apesar da eficácia do modelo, reconhece-se que a subjetividade na atribuição de pesos no AHP pode influenciar os resultados (Lana; Jesus; Antonelli, 2021).

A subjetividade no AHP é uma limitação inerente ao método, pois a atribuição de pesos aos critérios, embora fundamentada em estudos prévios e na experiência local, envolve julgamentos qualitativos que podem variar dependendo dos critérios e das percepções dos especialistas envolvidos. No entanto, a validação com dados históricos e observações de campo reforça que os pesos refletem adequadamente as condições locais, garantindo a consistência do modelo (Santos, 2017).

Falcão (2013) aponta que "as áreas de risco tendem a se concentrar em encostas íngremes e regiões densamente ocupadas". Da mesma forma, Neto, Cabral, Vieira, Aguiar (2014) destacam que "a distribuição dessas áreas segue um padrão recorrente, com vulnerabilidades acentuadas em zonas de alta densidade populacional". Silva e Machado (2014) reforçam essa análise ao afirmarem que "as características locais, como a proximidade de cursos d'água, influenciam diretamente o nível de risco, exigindo adaptações nos critérios de avaliação". Assim, diferenças específicas no contexto local de Dois Unidos, como a proximidade de cursos d'água, evidenciam a necessidade de adaptação dos critérios às particularidades de cada área estudada.

A validação dos resultados confirma a aplicabilidade do modelo para identificar áreas de risco, contribuindo para o planejamento urbano.

### 5.3.1 MAPA DE GEOLOGIA

Os valores atribuídos pelos analistas às classes geológicas na área de Dois Unidos estão apresentados na Tabela 13.

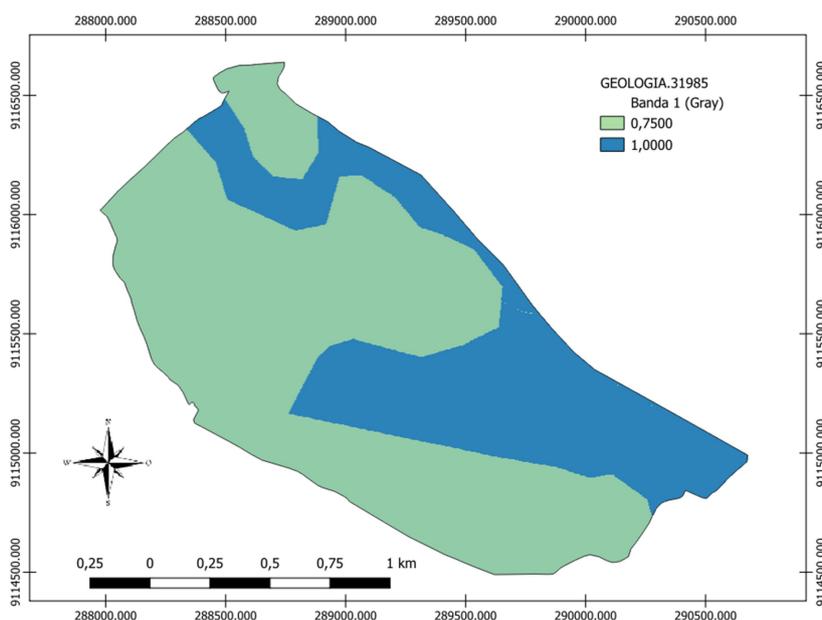
**Tabela 13.** Valores atribuídos pelos analistas às classes de solo.

Classes Geológicas	Importância
Formação Barreiras	1,00
Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos	0,78

Fonte: Autor (2024)

De acordo com a análise do grupo de especialistas, a classe geológica correspondente à Formação Barreiras, conforme detalhado na Tabela 13, é a que apresenta o maior potencial de risco para processos de movimentação de massa no Bairro de Dois Unidos, recebendo uma importância de 1,00. Esse risco é devido às características geológicas da formação, que favorecem a instabilidade do solo. Por outro lado, a classe geológica dos Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos, que aparece como a mais estável, foi avaliada com um peso de 0,78, indicando um risco menor para movimentos de massa. Esses dados e classificações estão visualmente representados na Figura 21.

**Figura 18.** Representações de classes de solo no mapa normalizado.



Fonte: Autor (2024)

## 5.4 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A equipe de analistas da Secretaria Executiva de Defesa Civil (SEDEC) foi reunida em um painel de discussão técnico-científica. Seguindo a metodologia de comparação pareada (técnica AHP), o grupo inicialmente definiu a seguinte ordem de importância dos critérios relacionados ao processo de degradação das terras:

- Primeira importância – Índice de vegetação – NDVI;
- Segunda importância – Geologia;
- Terceira importância – Declividade;
- Quarta importância – Curvatura;
- Quinta importância – Precipitação;
- Sexta importância – Ordem de Drenagem;
- Sétima importância – Hipsometria;

Os resultados estão apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14.** Matriz de comparação pareada com os critérios globais e pesos atribuídos pelos analistas.

Fatores	Índice de vegetação	Geologia	Declividade	Curvatura	Intensidade Pluviométrica	Ordem de Drenagem	Hipsometria
Índice de vegetação	1	3	2	4	4	5	7
Geologia	0,333	1	2	3	3	4	7
Declividade	0,5	0,5	1	2	2	5	5
Curvatura	0,25	0,333	0,333	1	3	3	5
Intensidade Pluviométrica	0,25	0,333	0,5	0,333	1	2	4
Ordem de Drenagem	0,200	0,3	0,2	0,333	0,5	1	2
Hipsometria	0,143	0,143	0,200	0,2	0,25	0,5	1

Fonte: Autor (2024)

Após o julgamento de importância relativa e preenchimento da matriz de comparação pareada, foi obtida uma razão de consistência de valor 0,055, estando de acordo com o que preconiza a metodologia de Saaty (1980),

Processo de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ou seja, valor inferior a 0,1.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 14 e as definições para intensidade de importância, os analistas julgaram que, para o processo de susceptibilidade a deslizamento estudadas nesta pesquisa, o critério Índice de vegetação apresenta importância como algo melhor em relação ao critério Geologia (grau de importância 3), tem uma importância um pouco melhor quando comparado com o critério Declividade (grau de importância 2), possui uma importância moderadamente melhor em comparação com o critério Curvatura (grau de importância 4), é também moderadamente melhor comparado ao critério Intensidade Pluviométrica (grau de importância 4), apresenta um critério melhor quando comparado ao critério Ordem de Drenagem (grau de importância 5) e tem uma importância muito melhor em comparação com o critério Hipsometria (grau de importância 7).

O critério Geologia foi considerado de importância um pouco melhor que o critério Declividade (grau de importância 2), algo melhor que o critério Curvatura (grau de importância 3), algo melhor que o critério Intensidade Pluviométrica (grau de importância 3), moderadamente melhor que o critério Ordem de Drenagem (grau de importância 4) e muito melhor em comparação com o critério Hipsometria (grau de importância 7).

O critério Declividade foi considerado com importância um pouco melhor que o critério Curvatura (grau de importância 2), um pouco melhor que o critério Intensidade Pluviométrica (grau de importância 2), melhor quando comparado ao critério Ordem de Drenagem (grau de importância 5) e melhor quando comparado ao critério Hipsometria (grau de importância 5).

O critério Curvatura foi considerado como algo melhor que o critério Intensidade Pluviométrica (grau de importância 3), também foi considerado como algo melhor que o critério Ordem de Drenagem (grau de importância 3) e melhor quando comparado ao critério Hipsometria (grau de importância 5).

O critério Intensidade Pluviométrica foi considerado com importância um pouco melhor que o critério Ordem de Drenagem (grau de importância 2) e moderadamente melhor que o critério Hipsometria (grau de importância 4). O

critério Ordem de Drenagem foi considerado com importância um pouco melhor que o critério Hipsometria (grau de importância 2).

A matriz de processamento, com razão de consistência aceitável, determinou os pesos dos critérios relevantes para a análise multicritério (Tabela 15).

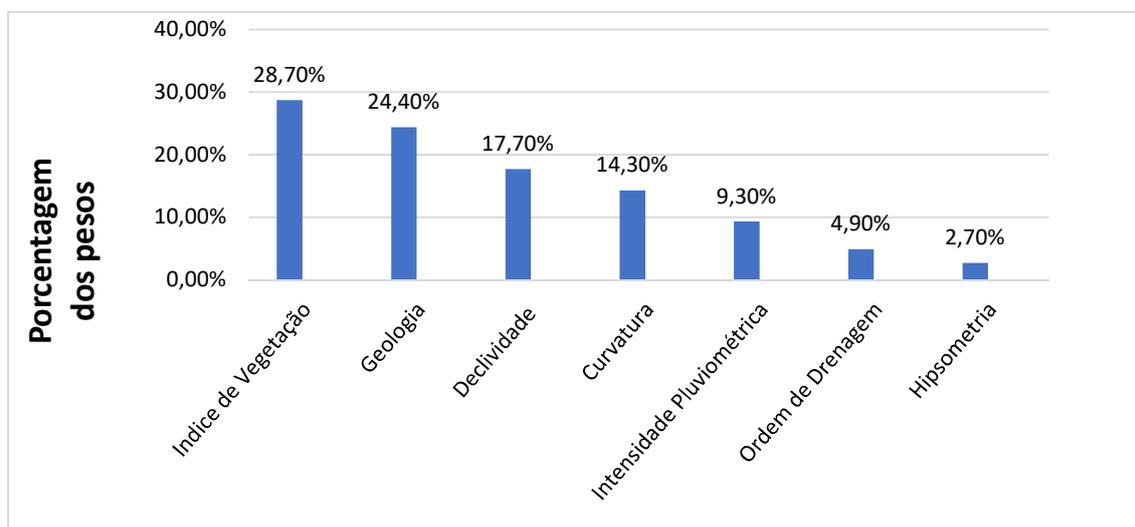
**Tabela 15.** Resultados da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação.

<b>Critérios ou Fatores</b>	<b>Pesos</b>
Índice de vegetação	0,287
Geologia	0,224
Declividade	0,177
Curvatura	0,143
Intensidade Pluviométrica	0,093
Ordem de Drenagem	0,049
Hipsometria	0,027

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 15 e o Gráfico 5 mostram que, segundo os analistas, o índice de Vegetação (28,7%) e a Geologia (22,4%) são os principais critérios de risco de deslizamento em Dois Unidos. Já Hipsometria (2,7%) e Ordem de Drenagem (4,9%) tiveram as menores contribuições.

**Gráfico 5.** Pesos de importância dos critérios globais atribuídos pelos analistas.

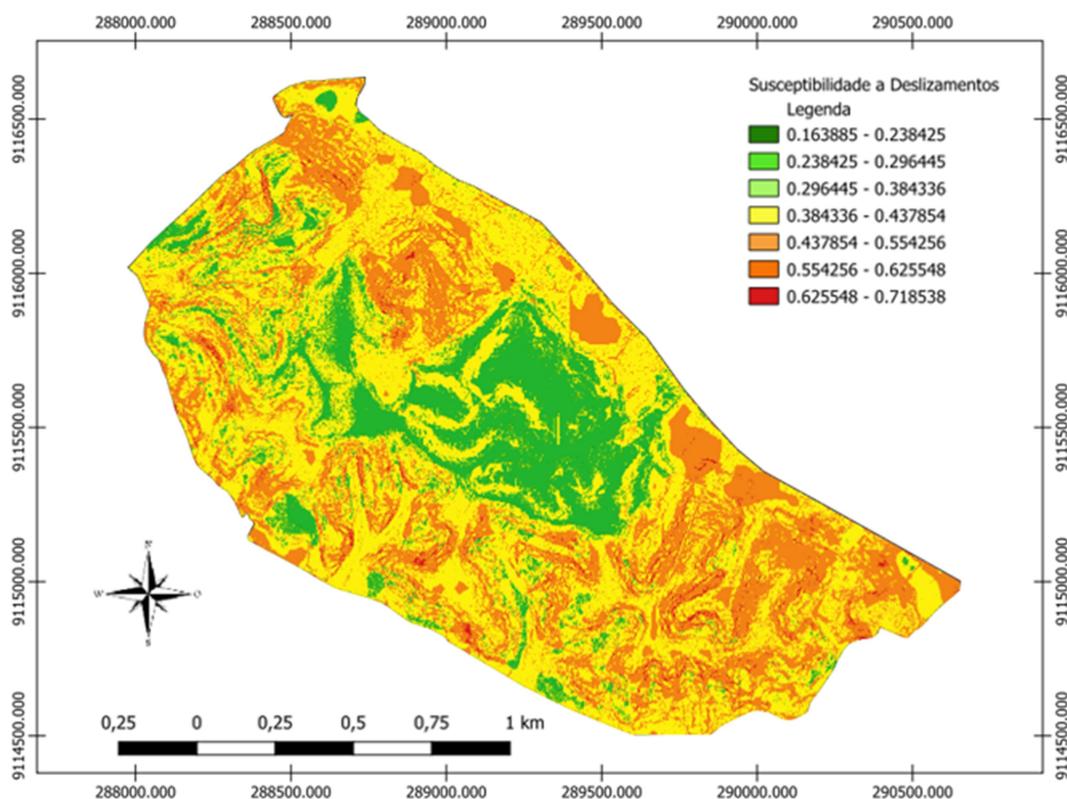


Fonte: Autor (2024)

## 5.5 COMBINAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A aplicação da Combinação Linear Ponderada gerou um plano de informação que corresponde ao mapa de riscos ao processo de deslizamento no bairro de Dois Unidos, com valores apresentados em faixas de amplitude constante. Este mapa (Figura 22) apresenta valores contínuos, compreendidos no intervalo de zero a 1, de acordo com a escala de normalização de dados utilizada para todos os critérios considerados na análise. Valores mais baixos da escala correspondem a níveis de risco menores e valores mais altos, a níveis de risco maiores, os quais variaram de 0,163885 a 0,718538, não alcançando os extremos inferior e superior desta escala, cuja razão remete a uma das características mais importantes da metodologia da análise multicritério, a de estabelecer uma compensação entre critérios, devido à aplicação de pesos. Desta forma, um peso mais baixo atribuído a um critério foi compensado por pesos mais altos aplicados a outros critérios, portanto, não se atingindo, na combinação realizada, aos valores mínimo (zero) e máximo (1) da escala.

**Figura 19.** Mapa de valores contínuos referentes aos riscos a Deslizamentos.



Fonte: Autor (2024)

## 5.6 ANÁLISES DAS CLASSES DOS NÍVEIS DE RISCO A SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS

O mapa de valores contínuos foi editado de modo a compor um mapa do modelo temático, formado por classes de nível de risco ao processo de susceptibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos. Esta forma de apresentação dos resultados gerados facilita o entendimento das análises das classes de níveis de risco, com respectivas distribuições espaciais, o que pode propiciar melhor condução de ações de planejamento na área. A definição dos limites de cada classe temática foi baseada nas próprias faixas de valores do mapa de valores contínuos.

O mapa temático é representado por 4 classes de nível de risco ao processo de degradação ambiental da localidade: muito alto, alto, médio, baixo

Na Tabela 16, estão quantificadas numérica e proporcionalmente as áreas ocupadas por cada uma das quatro classes de nível de susceptibilidade a movimentação de massa. Os dados percentuais são relativos à área total deste bairro.

**Tabela 16.** Quantitativo das classes de nível de risco a susceptibilidade a deslizamento.

Níveis de risco A Susceptibilidade a Deslizamentos	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Baixo	0,447259	15,56%
Médio	1,377706	47,93%
Alto	0,987073	34,34%
Muito Alto	0,062375	2,17%

Fonte: Autor (2024)

A análise de suscetibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos revelou uma predominância de áreas classificadas com níveis de risco Médio, abrangendo 47,93% do território (1,377706 km<sup>2</sup>), seguidas de áreas com risco Alto, que representam 34,34% (0,987073 km<sup>2</sup>). As regiões classificadas com risco Médio correspondem a 15,56% (0,447259 km<sup>2</sup>), enquanto as áreas de risco Muito Alto, embora menos expressivas, somam 2,17% (0,062375 km<sup>2</sup>). Esses dados destacam a necessidade de atenção especial às áreas de maior

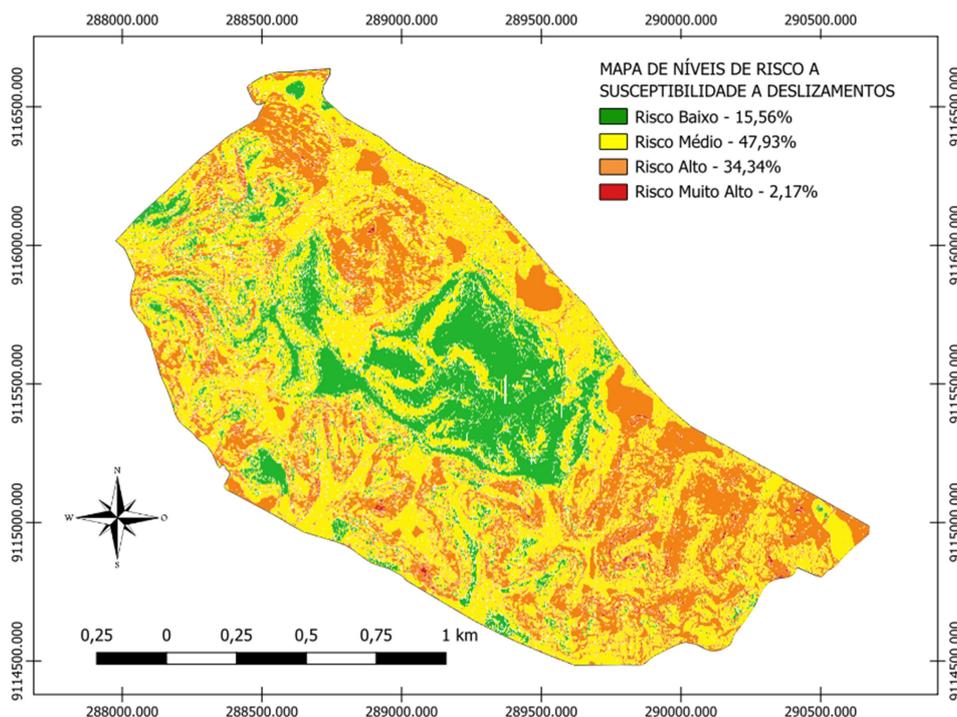
risco, que, embora menores em extensão, apresentam maior vulnerabilidade a deslizamentos.

Os deslizamentos de encostas em áreas urbanas têm impactos significativos na vida das populações locais, especialmente em comunidades vulneráveis (Santos, 2023).

Socialmente, esses eventos frequentemente resultam em deslocamentos forçados, perdas de moradias e interrupção de serviços essenciais, como transporte, educação e saúde (Cardoso, 2018).

A Figura 23 apresenta o mapa temático das classes de nível de risco ao processo de susceptibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos, com respectivos percentuais de ocupação da área total.

**Figura 20.** Mapa digital das classes de níveis de risco à deslizamento no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

A análise da susceptibilidade a deslizamentos no Bairro de Dois Unidos, com base nos pontos selecionados, revela áreas com níveis de risco classificados como Risco Alto (R3) de acordo com SEDEC - Recife, conforme detalhado na Tabela 17. Estes pontos foram definidos a partir de suas

localizações geográficas específicas, representadas por suas coordenadas de latitude e longitude, e são essenciais para a identificação das zonas mais vulneráveis à instabilidade do solo.

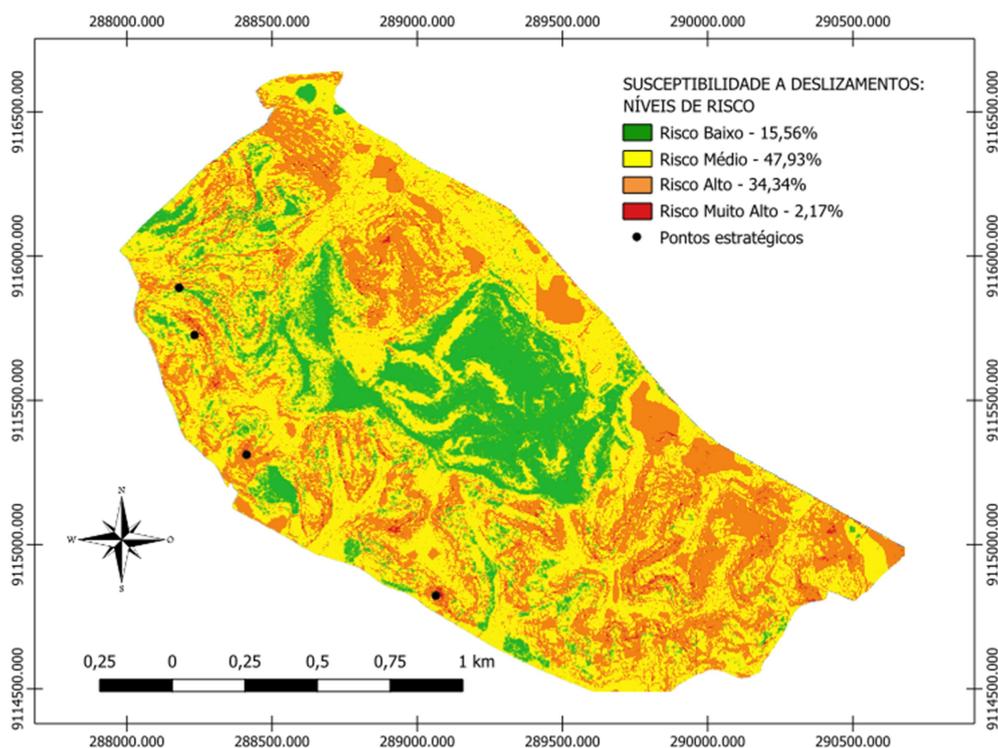
**Tabela 17.** Localização dos pontos escolhidos para análise

Localidade	Logradouro	Latitude	Longitude
Sítio do Rosário	Rua Engenheiro Célio de Carli	9115813.19	288136.23
Alto do Rosário	Rua Vertentes do Lério	9115851.86	288233.71
Chagas Ferreira	Rua Chagas Ferreira	9114882,06	288953,53
Sítio do Rosário	2ª Travessa Chagas Ferreira	9115428.93	288444.77

Fonte: Autor (2024)

Com base na Figura 24, os pontos estão inseridos em áreas de risco Alto.

**Figura 21.** Mapa digital das classes de níveis de risco à deslizamento no bairro de Dois Unidos com os pontos estratégicos



Fonte: Autor (2024)

Após a apresentação da Tabela 17 que detalha os pontos estratégicos para verificação de risco, é fundamental que a veracidade das informações seja comprovada por evidências visuais. Nesse sentido, a inserção de fotografias que documentam as condições reais dos locais analisados reforça a

confiabilidade dos dados apresentados. As Figuras 25, 26, 27 e 28 permitem uma compreensão mais clara e precisa dos riscos identificados.

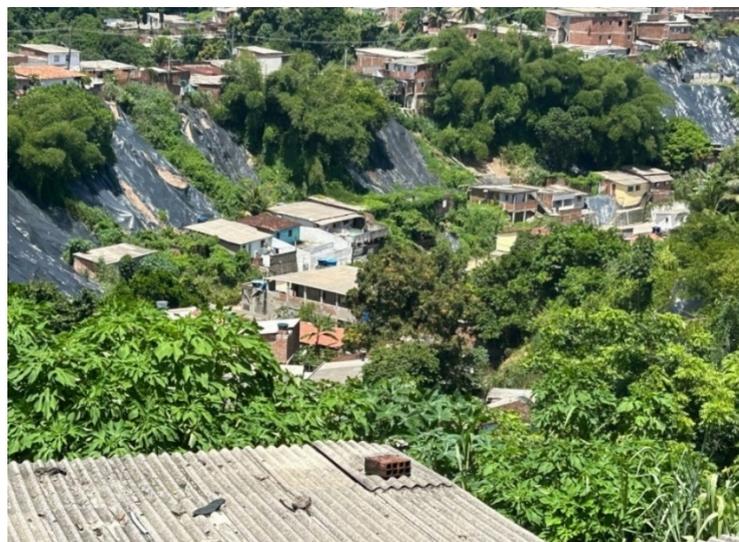
A metodologia utilizada neste trabalho pode ser adaptada e aplicada a outras regiões com ocupação irregular e risco de deslizamentos, permitindo um mapeamento mais amplo e uma abordagem estratégica de prevenção em toda a cidade. (Santos, 2017; Roque, 2013)

**Figura 22.** Rua Engenheiro Célio de Carli – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9115813.19 ; 288136.23).



**Fonte:** Autor (2024)

**Figura 23.** Rua Vertentes do Lério – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9115851.86 ; 288233.71)



**Fonte:** Autor (2024)

**Figura 24.** Rua Chagas Ferreira – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9114882,06 ; 288953,53)



Fonte: Autor (2024)

**Figura 25.** 2ª travessa Chagas Ferreira – Vista Geral da Localização – EPSG:31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (9115428.93 ; 288444.77)



Fonte: Autor (2024)

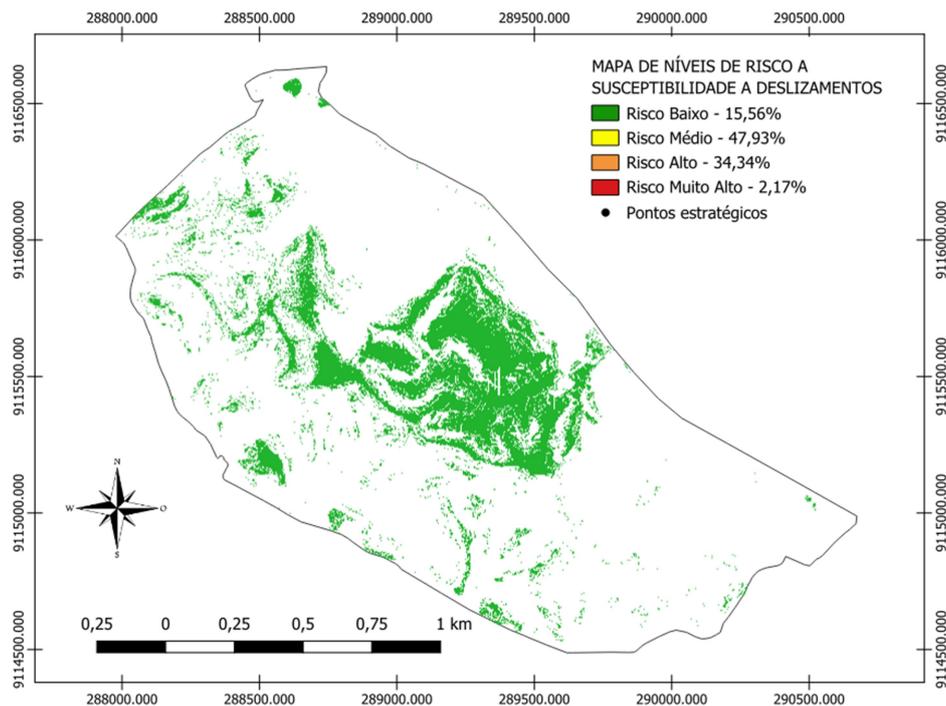
### Classe de nível de risco baixo

A classe de nível de risco muito baixo ao processo de movimentação de massa foi definida compreendendo a faixa de valores contínuos entre 0,163885 e 0,296445.

O setor apresentou, na totalidade, os menores valores no mapa de riscos à movimentação de massa, mesmo registrando boa parte das maiores altitudes de Dois Unidos. Observa-se, ainda, que o Índice de Vegetação com percentual razoável de vegetação densa.

As áreas representativas da classe de nível de risco muito baixo ocupam 15,56% da área total de Dois Unidos e estão distribuídas espacialmente conforme Figura 29.

**Figura 26.** Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de nível de risco baixo à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos.



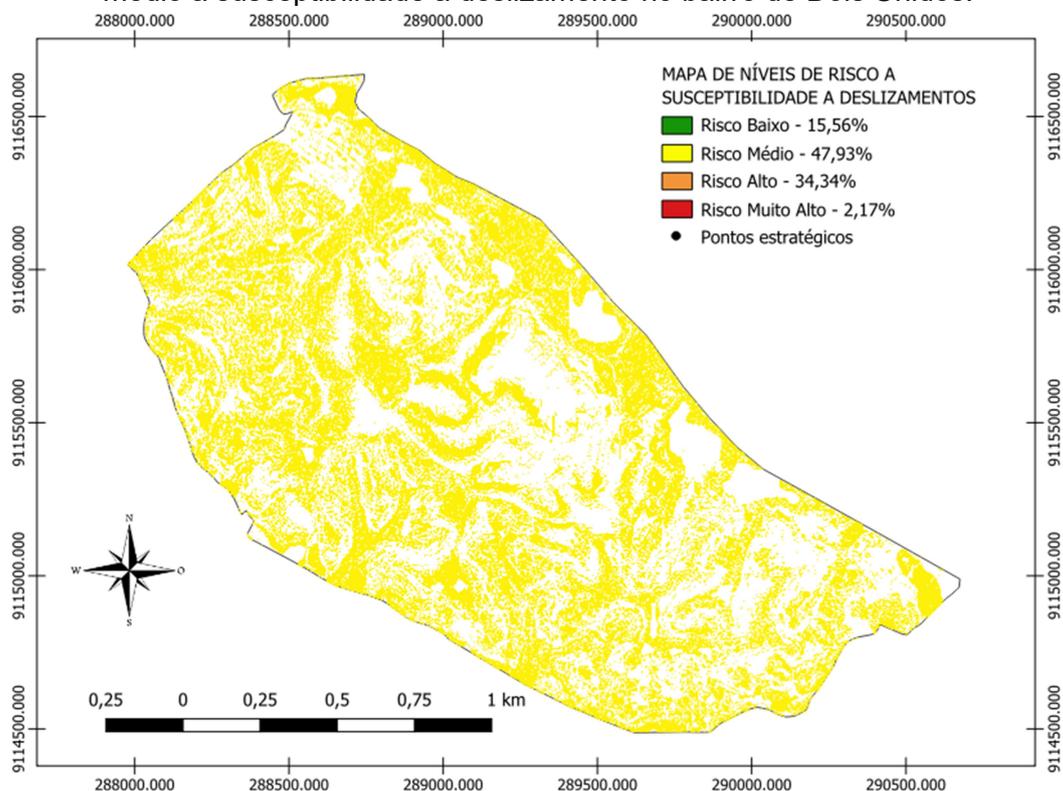
Fonte: Autor (2024)

### Classe de nível de risco médio

Para a representação da classe de nível de risco médio à deslizamento, tomaram-se os valores de 0,38 a 0,43. Esta classe, que abrange os valores intermediários de níveis de risco à movimentação de massa, tem os setores representativos ocupando 47,93% da área total do bairro Dois Unidos, sendo a

classe de nível de risco de maior abrangência. A distribuição espacial desta classe desse setor é representada na Figura 30.

**Figura 27.** Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de nível de risco médio à susceptibilidade a deslizamentos no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

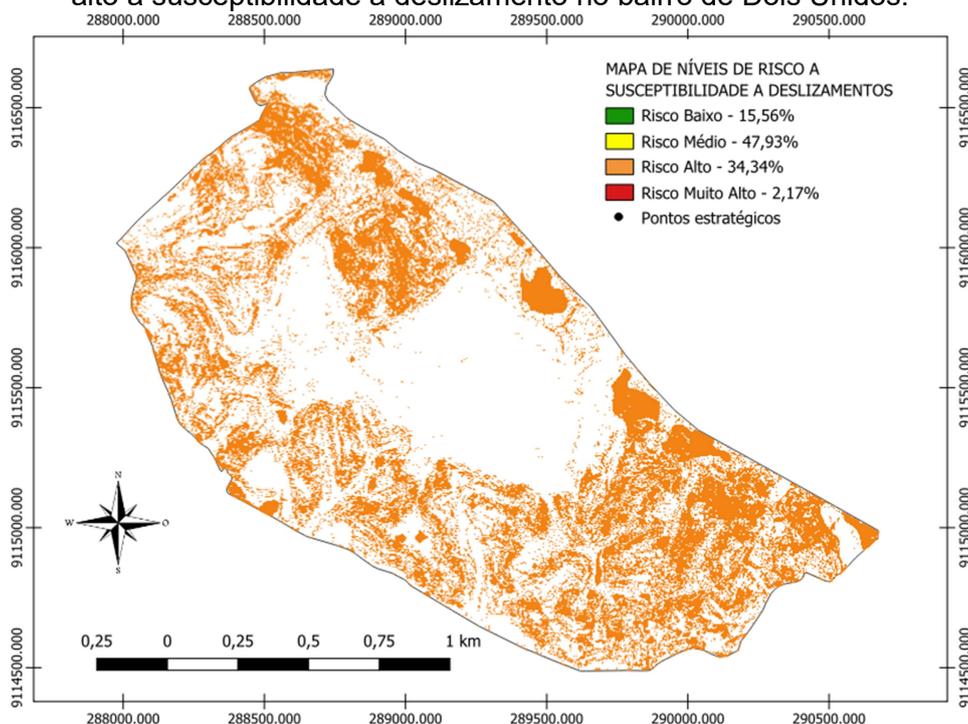
### Classe de nível de risco alto

Para definição das áreas que compreendem a *classe de nível de risco alto*, tomou-se por base a segunda faixa de valores contínuos do mapa gerado na combinação linear (de 0,437854 a 0,625548)

As leituras de *pixel* realizadas nas áreas representativas na *classe de nível de risco alto* ao processo de degradação ambiental da do bairro de Dois Unidos, que ocupa 34,34% da área total, foi definida compreendendo a faixa de valores contínuos entre 0,43 a 0,62.

A distribuição espacial na bacia hidrográfica dos setores representativos desta classe e registros fotográficos de paisagens destes setores são mostrados na Figura 31.

**Figura 28.** Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de nível de risco alto à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

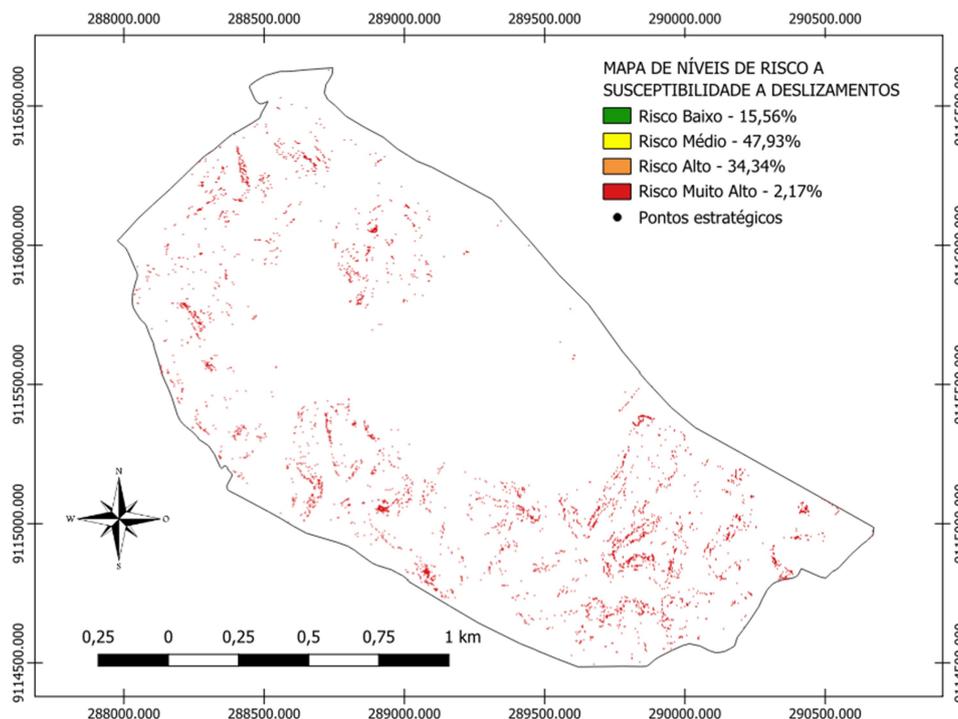
### Classe de nível de risco muito alto

A primeira faixa (maiores valores) do mapa de valores contínuos tem variação de 0,625548 a 0,718538, correspondente aos setores com maior potencial de risco ao processo de deslizamento, apresentaram valores não inferiores a 0,70, próximos ao máximo obtido. Estes valores elevados decorrem do maior peso atribuído às áreas de maiores declividades atreladas a baixa concentração de vegetação, participando com grande expressividade na combinação realizada, a ponto de exercer uma influência sobre os efeitos dos critérios de maior peso.

A partir das análises dos resultados obtidos no mapa de valores contínuos e das características observadas em campo, estas áreas, compreendendo variação de valores contínuos entre 0,62 e 0,72, foram consideradas pertencentes à classe de nível de risco muito alto ao processo de susceptibilidade a risco de deslizamento e ocupam 2,17% da área total da localidade.

A Figura 32 apresenta a distribuição espacial no bairro de Dois Unidos dos setores representativos dessa classe.

**Figura 29.** Distribuição espacial dos setores correspondentes à classe de risco muito alto à susceptibilidade a deslizamento no bairro de Dois Unidos.



Fonte: Autor (2024)

Os resultados indicam que o bairro de Dois Unidos enfrenta desafios significativos relacionados ao risco de deslizamentos, com áreas de risco Médio e Alto representando a maior parte do território. As zonas de risco Muito Alto, embora pequenas, exigem atenção especial devido à sua alta vulnerabilidade. A integração de dados espaciais e imagens fotográficas facilita a compreensão do cenário e oferece subsídios para a elaboração de estratégias de gestão territorial e de prevenção de desastres naturais. Tais informações são essenciais para orientar a atuação das autoridades locais na proteção da população e no planejamento urbano sustentável.

## 5.8 CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DE RISCOS E PLANEJAMENTO URBANO

A análise realizada sobre o bairro de Dois Unidos, com base no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e na declividade do terreno, forneceu uma compreensão detalhada do risco de deslizamentos na região. Esses dados revelam não apenas as áreas mais suscetíveis a movimentações

de massa, mas também estabelecem uma base técnica sólida para o planejamento e a gestão territorial. Ao identificar zonas com diferentes níveis de vulnerabilidade, os resultados deste estudo se apresentam como ferramentas fundamentais para a formulação de estratégias de mitigação de riscos e a implementação de políticas públicas voltadas para a segurança das comunidades locais.

O mapeamento das classes de risco, que variam de Baixo a Muito Alto, é essencial para orientar ações que reduzam a exposição da população a deslizamentos, especialmente em áreas densamente povoadas e com alta declividade. Entre as medidas recomendadas estão a regulamentação rigorosa do uso do solo, a preservação e restauração da cobertura vegetal em encostas e a construção de sistemas eficientes de drenagem, que podem reduzir a saturação do solo e, conseqüentemente, a probabilidade de movimentos gravitacionais.

Além disso, os dados obtidos podem subsidiar a elaboração de planos de contingência e emergência, priorizando a intervenção em áreas críticas e direcionando investimentos em infraestrutura para a redução de riscos. A integração desses resultados com sistemas de monitoramento em tempo real, como sensores geotécnicos e tecnologias de sensoriamento remoto, pode aprimorar significativamente a capacidade de resposta a desastres naturais, reduzindo os impactos sobre a população, a infraestrutura urbana e a economia local.

Dessa forma, ao conectar as conclusões deste estudo com estratégias de mitigação e prevenção, este trabalho contribui para a construção de cidades mais resilientes e adaptadas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo crescimento urbano desordenado. Ao proporcionar uma visão integrada das condições territoriais, ele oferece uma base robusta para decisões informadas, promovendo a segurança e o bem-estar das comunidades que habitam áreas de risco.

## 6 CONCLUSÕES

O Índice de Vegetação (NDVI) e a Declividade desempenham papéis determinantes na definição do potencial de risco de deslizamentos no bairro de Dois Unidos. A análise dos dados revela a distribuição das áreas conforme os níveis de risco à suscetibilidade a deslizamentos, fornecendo informações essenciais para a compreensão e gestão dos riscos de movimentação de massa na região. A partir dos percentuais de área, é possível tirar conclusões relevantes sobre a vulnerabilidade do território e direcionar políticas públicas e estratégias de mitigação de riscos.

É observado que a maior parte da área analisada (47,93%) apresenta risco Médio para deslizamentos. Esse dado é preocupante, pois aponta que uma porção considerável da região já está exposta a fenômenos naturais que podem ameaçar a segurança das populações e a infraestrutura local. Embora o risco Médio não represente uma ameaça iminente, a extensão da área afetada demanda um monitoramento contínuo e a implementação de medidas preventivas. Tais medidas incluem programas de educação e conscientização da população, além da adequação do uso do solo e da preservação das áreas verdes, ações que podem contribuir significativamente para a mitigação dos riscos.

Em relação ao risco Alto, que ocupa 34,34% da área analisada, esse segmento deve ser tratado como prioritário nas ações de mitigação. A probabilidade de deslizamentos nessa área é elevada, colocando em risco tanto a segurança das populações quanto a infraestrutura local, que se encontra em regiões de alta declividade, baixo Índice de Vegetação e elevado adensamento populacional. A implementação de planos de intervenção, incluindo obras de estabilização de taludes e sistemas de drenagem, é crucial para minimizar os impactos desses eventos. Para essas áreas, a fiscalização constante, juntamente com o uso de tecnologias avançadas de monitoramento geotécnico, desempenha um papel essencial na redução dos danos causados por deslizamentos.

A terceira maior classe de risco é a classe Baixa, que representa 15,56% da área total. Embora esse percentual indique uma área com menor probabilidade de deslizamentos, ela ainda requer atenção, pois o risco, embora baixo, pode aumentar com mudanças nas condições naturais, como a urbanização desordenada, alterações climáticas e degradação ambiental. Dessa forma, mesmo as áreas de baixo risco exigem uma gestão cuidadosa, com um planejamento urbano que leve em conta as vulnerabilidades sociais, geológicas e ambientais, prevenindo que futuras intervenções possam elevar esses setores a níveis de risco mais elevados.

As áreas com risco Muito Alto (2,17% da região) demandam intervenções imediatas e especializadas. Nessas zonas, a probabilidade de deslizamentos é extremamente alta, o que exige monitoramento constante das condições geológicas e climáticas, além da implementação urgente de medidas preventivas. Caso necessário, o reassentamento das populações para áreas mais seguras deve ser considerado. A vulnerabilidade dessas regiões é tão significativa que qualquer mudança nas condições ambientais pode resultar em eventos catastróficos, tornando essencial a realização de obras estruturais de grande porte, como contenções, reforço da drenagem e controle de encostas.

Em suma, a distribuição dos níveis de risco à suscetibilidade a deslizamentos revela que a região possui áreas com diferentes graus de vulnerabilidade, que exigem abordagens específicas para cada situação. As regiões de risco médio e baixo devem ser monitoradas para prevenir o agravamento das condições, enquanto as áreas de risco alto e muito alto demandam ações imediatas e de maior impacto para garantir a segurança das populações afetadas. Esse estudo é um ponto de partida importante para a implementação de estratégias de mitigação de desastres naturais, garantindo um desenvolvimento mais seguro e sustentável para a região.

A metodologia de análise multicritério espacial mostrou-se altamente eficaz na integração e avaliação dos diversos fatores que influenciam a dinâmica do território em estudo, sendo viabilizada principalmente pelas ferramentas do QGIS e pelo uso do Suporte à Decisão, com destaque para a técnica AHP (Processo de Análise Hierárquica). A realização do painel de discussão presencial com especialistas para a atribuição consensuada dos

pesos aos critérios, utilizando o método de comparação pareada (AHP), foi uma abordagem prática e eficiente. Esse processo ressaltou a importância de reunir analistas com experiência técnica e científica aprofundada no tema da pesquisa, e a colaboração entre especialistas, por meio de um consenso fundamentado, foi essencial para garantir a precisão e a relevância dos pesos atribuídos aos diferentes critérios.

A aplicação das geotecnologias revelou-se essencial para o êxito do estudo, particularmente na análise do espaço geográfico. As ferramentas tecnológicas forneceram precisão, segurança e agilidade, permitindo a coleta e o processamento de dados de alta qualidade, o que otimizou a análise espacial. A utilização dessas tecnologias foi crucial tanto na elaboração dos mapas básicos quanto, especialmente, no desenvolvimento do mapa final que ilustra os níveis de risco relacionados à suscetibilidade a deslizamentos no Bairro de Dois Unidos. Assim, as geotecnologias não só facilitaram a análise, mas também asseguraram a confiabilidade dos resultados, tornando o estudo mais robusto e com maior potencial de aplicação prática na gestão do território.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, D. B. S. de; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S.** Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 1, abr. 2006.
- AGUILAR, J. R. S.; OLIVEIRA, P. D. P.; VESPERMANN, T. F.** Mapeamento de áreas de risco de deslizamentos no Bairro São Jacinto em Teófilo Otoni-MG. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni, Teófilo Otoni.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS.** Título da página. Disponível em: [<https://www.apac.pe.gov.br/>]. Acesso em: 14 de abril de 2024.
- ANTONELLI, T.** Análise dos processos deflagradores de movimentos gravitacionais de massa com ênfase para a relação chuva x deslizamentos para o município de Baixo Guandu – ES. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BISPO, C. O.; LISTO, F. L. R.; LISTO, D. G. S.; FALCÃO, N. A. M.** Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. *Diversitas Journal*, v. 5, n. 1, p. 298–314, 2020.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A.** *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M; DAVIS, C.** *Fundamentos de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas: INPE, 2001.
- CARDOSO, G.; CARDOSO, C.** Gestão de Riscos associados a movimentos de massa. *Revista Ordem Pública*, Santa Catarina, v. 9, n. 1, 2016.
- CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B.** Superfícies morfoestratigráficas mesorregionais na área de Paudalho-Pernambuco. *Revista de Geografia*, Recife: UFPE-DCG/NAPA, v. 25, n. 1, p. 1-15, jan./abr. 2008.
- CHANG, M. M.; PINHEIRO, H. D.; LOPES, D. D.** Simulação do escoamento superficial de uma área pré e pós urbanização. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 198-209, set./dez. 2015. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM*. ISSN 0100-8307.

**CHEN, J.; LIN, C.; WANG, L.** Geomorphic characteristics of hillslope and channelized debris flows: a case study in the shitou area of central Taiwan. *Journal of Mountain Science*, v. 6, n. 3, p. 266-273, 4 ago. 2009.

**CHEN, T.** A diversified AHP-tree approach for multiple-criteria supplier selection. *Comput Manag Sci*, v.18, p.431-453, 2021.

**CHOIRAT, C.; SERI, R.** Analytic Hierarchy Process, a Psychometric Approach. In: *Multiple Participant Decision Making. Advanced Knowledge International*, v. 9, p. 173–179, 2004.

**DAMASCENO, A. D. O.; CARDOSO, A. O.; PAIVA, C. F. E.** Investigação da relação chuva deslizamentos no município de Mauá – SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos. *Revista Ciência e Natura*, São Paulo, v. 43, n. 50, 2021.

**DANTAS, C. B. S. O.; DANTAS, A. O.; TORRES, M. F. A.** Degradação ambiental em unidades de conservação: Avaliação da Mata de Dois Unidos, Recife-PE. In: *VII Congresso Brasileiro de Geógrafos*, 2014.

**DOTTO, A. V. E.; GABERTI, M. M.; ROIBAINA, L. E .S.** Aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) para o Mapeamento de Suscetibilidade ao Voçorocamento no município de Capão do Cipó – RS/Brasil. *CONFINS*, v. 60, 2023.

**DORNELLAS, P.C., XAVIER, R. A., SILVA, R. M., SEABRA, V. S.** Análise morfométrica da bacia do alto Rio Paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, v. 21, n.3, 2020.

**ESTEVAM, A. L. D., MAIA, D. C.** Morfometria e enchentes urbanas na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, Salvador-BA. *Geopauta, [S. l.]* v. 06, p. e10755 , 2022.

**FALCÃO, E. C.** Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB. 2013. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Nome Universidade Federal Campina Grande- UFCG, Paraíba, 2013.

**FARIA, D. G. M.** Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP). 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

**FARIA, D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O.** Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, v. 34, n. 1, p. 23-44, 2013.

**FARIA, D. G. M.; MENDES, R. M.; FILHO, M. V.; BERTOLDO, M. A.; SILVA, M. F.** Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) no mapeamento de risco associado a escorregamentos no município de São José dos Campos – SP. *Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro*, n. 68/9, p. 1721-1735, 2016.

**FONSÊCA, D. N.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, A. C.** Compartimentação geomorfológica da região metropolitana do Recife (RMR) a partir da análise morfoestrutural. *GEO UERJ, Rio de Janeiro*, 2016.

**FONSECA, F.; RODRIGUES, R. G.** Monitoramento ambiental com uso de SIG: estudo de caso na Amazônia Legal. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 62, n. 1, p. 47-59, 2010.

**FREIRE, L. M.; LIMA, J. S.; SILVA, J. N.** Riscos geológicos em áreas urbanas: implicações socioambientais em duas cidades paraenses. *Revista Geo Amazônia, Belém*, v. 6, n. 11, p. 273-292, 2018.

**FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL** (Pernambuco). *Diagnóstico ambiental, urbanístico e social dos morros: Programa viva o Morro*. Coordenação: Magareth M. Alheiros; Maria Ângelo A. Souza; J. Bitoun; Ermelinda M. Gonçalves; Sônia Gomes de Matos Medeiros. Recife, 2003.

**GALVÃO, D. C.** Uma contribuição para o entendimento dos fatores que provocam deslizamentos nos morros do Grande Recife: O relevo, a ocupação e o clima. *Revista ESUDA*, 2014.

**GEOINOVA.** Sistema de Informação Geográfica: Uma Análise Compreensiva. 2024. Disponível em: <https://geoinova.com.br/sistema-de-informacao-geografica-uma-analise-compreensiva/>

**GEOINOVA.** Importância dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Suas Aplicações. 2024. Disponível em: <https://geoinova.com.br/importancia-dos-sistemas-de-informacao-geografica-sig-e-suas-aplicacoes/>

**JÚNIOR, H.; CABRAL, S. C.** Tecnologias de mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 12, p. 1-31, 2019.

**JOHNSON, A.C.; MCGEE, K.E.; SWANSTON, D.N.** Landslide initiation, runout, and deposition within clearcuts and old-growth forests of Alaska. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 36, p. 17–30, 2000.

**LANA, J. C.; JESUS, D.; ANTONELLI, T. (orgs.).** Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial. Brasília: CPRM, 2021. 1 recurso eletrônico: PDF. v. 3 - Setorização de áreas de risco geológico (versão 1). ISBN 978-65-5664-096-9.

**LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W.** *Geographic Information Systems and Science*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

**LINS, T. M. P.; NÓBREGA, R. S.** Climatologia de precipitação na região metropolitana do Recife através do TRMM. In: XXIII CONIC, Recife-PE, 2015.

**MAGNOLI, D.** Cartografia e geotecnologias: os desafios da integração. *Território & Sociedade*, v. 12, n. 23, p. 73-90, 2006.

**MARTINS et al.** A fuzzy AHP analysis of potential criteria for initiatives in digital transformation for agribusiness. *Resources and Entrepreneurial Development*, v. 24, n.1, 2023.

**NETO, E. A. G.; CABRAL, J. VIEIRA, M.; AGUIAR, G.** Urbanização no Recife e as consequências para a drenagem urbana. In: X ENAU / ABRh, São Paulo, 2014.

**NETO, F. R.; FEITOSA, R. Q.** A democratização do SIG: o uso do QGIS em prefeituras de pequeno porte. *Revista Geografia em Atos*, v. 20, n. 2, p. 30-45, 2018.

**NETO, A. G. P.; SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V.; BARBOSA, I. M. B. R.** Mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. *Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, Goiânia, Brasil, v. 9, n. 1, p. 23, 2023.

**OLIVEIRA, G. C. S.; JÚNIOR, J. P. S.; NÓBREGA, R. S.; GIRÃO, O.** Uma abordagem da geografia do clima sobre eventos extremos de precipitação em Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 2, p. 238-251, 2011.

**OLIVEIRA, Z. B.; CARLESSO, R.; MARTINS, J. D.; KNIES, A. E.; SANTA, C. D.** Perdas de água por escoamento superficial a partir de diferentes intensidades de chuvas simuladas. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 3, p. 415-425, jul./set. 2013.

- RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L.** Escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural da Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 2, p. 605-628, abr./jun. 2018
- ROSSETI, A.; SAVI, C. N.** Levantamento de áreas de risco de deslizamento de encostas e áreas de inundações no Bairro Alto Paraná-Orleans-SC. *Engenharia Civil*, 2012.
- ROSA, G. G. G.; SANTOS, A. R.; OLIVEIRA, P.; MARIANO, R.** Utilização do método AHP para determinação de um modelo matemático para o mapeamento das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES. In: XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 2010.
- ROQUE, L. A.** Áreas De Risco Geológico-Geotecnico Associadas A Movimentos De Massa No Núcleo Urbano De Viçosa-Mg. Viçosa, Mg, 2013.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.** (1973) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station.
- SAATY, T. L.** An exposition of the AHP in reply to the paper "remarks on the analytic hierarchy process". *Management Science*, v. 36, n. 3, p. 259-268, 1990.
- SAATY, TL.** The Analytic Network Process. Decision making with the analytic network process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. 2013. p. 1-40.
- SAATY, T. L.** What is the analytic hierarchy process? In: *Mathematical models for decision support*. Berlin: Springer, 1988. p. 109-121.
- SANTANA, J. K. R.** Análise evolutiva da ocupação dos morros da cidade do Recife. In: *Simpósio Nacional de Geografia Urbana*, p. 3754-3768, 2019.
- SANTOS, I. S.; SILVA, M. C. C.; AZEVEDO, G. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, S. R.** Avaliação espaço-temporal do processo de uso e ocupação de uma encosta no bairro da Macaxeira - Recife/PE - Brasil. *Revista de Geografia, Recife*, v. 40, n. 1, p. 334-358, 2023.
- SANTOS, W. V. R.** Capacitação Básica em Defesa Civil. 4. ed. 2013.
- SANTOS, J. T. F.** Movimentos de massa em áreas de risco em Salvador. *Geografia e Meio Ambiente, Salvador*, v. 18, n. 2, 2017.

**SILVA, J. K.** Avaliação do risco geotécnico de taludes: Revisão de práticas nacionais e internacionais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

**SOUZA, D. V.** Características geológicas e geotécnicas de deslizamentos de solo ocorridos em áreas urbanas de encosta. Engenharia Civil, v. 36, n. 1, 2017.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.** Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. *Capacitação básica em Defesa Civil /* [Textos: Janaína Furtado; Marcos de Oliveira; Maria Cristina Dantas; Pedro Paulo Souza; Regina Panceri]. 4. ed. Florianópolis: CAD UFSC, 2013. 122 p. ISBN 978-85-64695-31-3.

**U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS).** Earth Explorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: [10.11.2025]

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.** Centro Universitário de Estudo e Pesquisa sobre Desastres. *Assessoria técnica e avaliação de municípios: relatório final.* Florianópolis: CEPED UFSC, 2015. 93 p.: il.; 30cm

**VASCONCELOS, F.** Análise dos fatores condicionantes de deslizamentos de terra na cidade do Recife. Revista Brasileira de Geomorfologia, Recife, v. 21, n. 3, p. 195-214, 2020.

**VELOSO, A. J. G.** Importância dos estudos das vertentes. GEOgraphia, Florianópolis, v. 4, n. 8, p. 79-83, 2009.

**WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. B.; ANJOS, R. S.; ALMEIDA, C. A. P.** As chuvas na cidade do Recife: Uma climatologia de extremos. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, ano. 14, jan/jun, p. 149-164, 2018.

**XAVIER, M. O.** *Mapeamento da susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa utilizando a análise estatística do valor informativo aplicado ao distrito sede da cidade histórica de Ouro Preto-MG.* 2018.176f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.