UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

ANÁLISE DO USO DE LONAS PLÁSTICAS NAS ENCOSTAS DA GROTA DA SANTA HELENA, MACEIÓ-ALAGOAS.

GABRIEL DE ALMEIDA NICACIO

Rio Largo, AL
2025

GABRIEL DE ALMEIDA NICACIO

ANÁLISE DO USO DE LONAS PLÁSTICAS NAS ENCOSTAS DA GROTA DA SANTA HELENA, MACEIÓ-ALAGOAS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão Examinadora do Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, sob orientação do Prof. Dra. Rosilene Mendonça Nicácio Jiménez.

Rio Largo, AL

2025

Catalogação da Fonte Biblioteca

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

N583a Nicacio, Gabriel de Almeida.

Análise do uso de lonas plásticas nas encostas da grota da Santa Helena, Maceió-Alagoas. / Gabriel de Almeida Nicacio. – 2025.

70 f.: il.

Orientador(a): Rosilene Mendonça Nicácio Jiménez.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Graduação em Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Reaproveitamento. 2. Instabilidade de encostas. 3. Grotas. 4. Lonas plásticas. I. Título.

CDU: 528.2 (813.5)

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL DE ALMEIDA NICACIO

Monografia apresentada ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrimensor aprovado em: 18 de novembro de 2025.

gov.br Documento assinado digitalmente
ROSILENE MENDONCA NICACIO JIMENEZ
Data: 25/11/2025 17:47:03-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dra. Rosilene Mendonça Nicácio Jiménez (CECA/UFAL)

Orientador(a)

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCIANA LIMA ARAUJO
Data: 26/11/2025 08:48:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dra. Luciana Lima Araujo (CECA/UFAL)

Examinador

gov.br Documento assinado digitalmente
HENRIQUE RAVI ROCHA DE CARVALHO ALMEIDA
Data: 26/11/2025 06:58:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida (CECA/UFAL)

Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me conceder força, sabedoria e persistência para chegar até aqui, mesmo diante de várias adversidades;

Aos meus pais, Milton Nicácio de Lima e Eurides de Almeida, pelo amor, incentivo e paciência durante todo o período acadêmico. Vocês foram fundamentais para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. Sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus amigos da vida pessoal, Amanda, Bruna, Isradielle e Luana, pela parceria e irmandade. A presença de vocês foi crucial para que este momento acontecesse.

Aos meus amigos de curso, que adotei para a vida, Kelly, Marcel, Givaldo e Henrique, todo esse tempo na universidade se tornou mais leve com vocês. Essa união entre nós fez com que o fardo fosse mais fácil de carregar. Vocês foram e continuam sendo essenciais para mim; aprendo demais com cada um de vocês todos os dias.

Aos meus engenheiros agrimensores preferidos, Dayane Jhoany e Gabriel Rosemberg, agradeço por todos os ensinamentos. Minha eterna gratidão, vocês fazem parte desta conquista.

Ao João Ribeiro e Jairon, por todo o aprendizado compartilhado comigo. A contribuição de vocês fez com que este ciclo se encerrasse de uma forma incrível.

À Universidade e aos professores do curso, por compartilharem conhecimento e contribuírem para a minha formação profissional e pessoal.

À minha orientadora, Rosilene Mendonça Nicácio Jiménez, por toda a paciência e orientação ao longo deste trabalho. Seu apoio e conhecimento foram indispensáveis para a elaboração desta pesquisa.

Um agradecimento especial à Defesa Civil de Maceió, em nome de Abelardo Nobre, Matheus Montenegro e Antonio Rodrigues, pela disponibilidade e colaboração na realização deste estudo, fornecendo informações essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A urbanização acelerada e o crescimento desordenado em áreas de encostas têm contribuído para o aumento de riscos geotécnicos nas cidades brasileiras. Em Maceió (AL), as grotas são depressões naturais ocupadas irregularmente e caracterizadas pela vulnerabilidade socioambiental, especialmente a Grota Santa Helena. Este trabalho teve como objetivo analisar a eficácia do uso de lonas plásticas como medida provisória de contenção das encostas nessa localidade, associando ao sensoriamento remoto por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) e análise de campo. Foram associando essa avalição pontos críticos de instabilidade e avaliado o desempenho das lonas plásticas na redução de processos erosivos e deslizamentos. Os resultados indicaram que a instalação das lonas contribuiu para a diminuição da infiltração superficial e retardou a evolução de sulcos erosivos, mostrando-se uma alternativa de baixo custo e de rápida implementação. As imagens obtidas por RPA possibilitaram o mapeamento detalhado das áreas de risco e a delimitação das zonas suscetíveis a movimentos de massa, enquanto os dados da Defesa Civil de Maceió reforçaram a importância do monitoramento contínuo. Conclui-se que a integração entre levantamentos de campo, tecnologias de sensoriamento remoto e ações da Defesa Civil constitui uma estratégia eficiente na gestão de riscos geotécnicos, permitindo respostas rápidas e tecnicamente fundamentadas durante o período chuvoso. O uso de lonas plásticas, embora temporário, mostrou-se eficaz na mitigação imediata de riscos e na proteção das comunidades vulneráveis da Grota Santa Helena.

Palavras-chave: instabilidade de encostas; grotas; lonas plásticas.

ABSTRACT

Accelerated urbanization and unplanned growth in hillside areas have contributed to increasing geotechnical risks in Brazilian cities. In Maceió (AL), the grotas are natural depressions irregularly occupied and characterized by socio-environmental vulnerability, especially the Santa Helena Grota. This study aimed to analyze the effectiveness of using plastic tarps as a temporary slope-stabilization measure in this area, combined with remote sensing using a Remotely Piloted Aircraft (RPA) and field analysis. Critical instability points were identified, and the performance of the plastic tarps in reducing erosive processes and landslides was evaluated. The results indicated that the installation of the tarps helped reduce surface infiltration and delayed the development of erosional rills, proving to be a low-cost and rapidly implemented alternative. Imagery obtained with an RPA enabled detailed mapping of risk areas and the delineation of zones susceptible to mass movements, while data from the Maceió Civil Defense reinforced the importance of continuous monitoring. It is concluded that the integration of field surveys, remote sensing technologies, and Civil Defense actions constitutes an efficient strategy for geotechnical risk management, allowing rapid and technically grounded responses during the rainy season. Although temporary, the use of plastic tarps proved effective in the immediate mitigation of risks and in protecting the vulnerable communities of the Santa Helena Grota.

Keywords: slope instability; grotas; plastic sheeting; RPA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimentos de massa. 6

Figura 2 - Orientações gerais para classificação dos graus de risco a movimentos de massa. 8

Figura 3 - Deslizamento de massa em Maceió na Av. Pierre Chalita em agosto de 2022. 9

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo. 13

Figura 5 - Normal climática da temperatura em Maceió. 14

Figura 6 - Normal climatólogica de Maceió para o período de 1991 a 2020. 15

Figura 7 - apresenta um fluxograma metodológico contendo as etapas aplicadas para análise do uso de lonas plásticas nas encostas da grota da Santa Helena. 15

Figura 8 – Ponto do aerolevantamento realizado na Grota Santa Helena em setembro de 2025. 17

Figura 9 - Malha de aquisição das imagens. 17

Figura 10 - Sistema de Defesa civil. 19

Figura 11 - Formulário para colocação de lona. 20

Figura 12 - Ponto de lona (a) antes e (b) depois. 21

Figura 13 - Metragem de lona utilizada na grota Santa Helena (2023-2025). 24

Figura 14 - Colocação das lonas. 25

Figura 15 - Modelo digital de elevação. 26

Figura 16 - Histograma raster. 277

Figura 17 – Ortomosaico da Grota Santa Helena. 28

Figura 18 - Mapa dos Pontos de Colocação de Lona na Grota Santa Helena. 33

Figura 19 – Pontos com lona em 2023. 34

Figura 20 - Pontos com lona em 2024. 35

Figura 21 - Pontos com lona em 2025. 36

Figura 22 - Mapa de calor com os pontos de deslizamento nos anos de 2023, 2024 e 2025. 38

Figura 23 - Mapa de calor com os pontos de lona nos anos de 2023, 2024 e 2025. 40

Figura 24 - Pluviômetro do bairro Farol em 2023, 2024 e 2025. 41

Figura 25 - O mapa de calor dos pontos de deslizamento na Grota Santa Helena em 2023. 43

Figura 26 - O mapa de calor dos pontos de deslizamento na Grota Santa Helena em 2024. 44

Figura 27 - O mapa de calor dos pontos de deslizamento na Grota Santa Helena em 2025. 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Deslizamentos e Pontos de Lona na Grota Santa Helena em 2023. 29

Tabela 2 - Deslizamentos e Pontos de Lona na Grota Santa Helena em 2024. 30

Tabela 3 - Deslizamentos e Pontos de Lona na Grota Santa Helena em 2025. 31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETIVOS 3

1.2.1 OBJETIVO GERAL 3

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

2. REFERENCIAL TEÓRICO 4

2.1 Áreas De Risco e Impactos Urbanos 4

2.2 Geotecnologias aplicadas a análise espacial 10

2.3 Geoprocessamento 10

2.4 Aerolevantamento e fotogrametria com RPA 11

3. MATERIAIS E MÉTODOS 13

3.1 Caracterização da área de estudo 13

3.2 Etapas metodológicas 15

3.1.1 Aerolevantamento 16

3.1.2 Identificação dos pontos críticos 19

3.1.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG) 22

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 24

5 CONCLUSÃO 46

REFERÊNCIAS 48

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada das últimas décadas nas cidades brasileiras tem provocado o surgimento de diversas áreas de risco, especialmente em encostas e grotas. Em Maceió, capital do estado de Alagoas, destaca-se a presença marcante nessas formações, que são depressões naturais ocupadas de forma desordenada pela população de baixa renda. Segundo Ferreira (2024), há 100 grotas identificadas na capital, sendo 26 não oficiais e 74 reconhecidas, entre elas a grota Santa Helena, que é um exemplo evidente de ocupação irregular e elevada vulnerabilidade socioambiental.

A erosão é um processo natural de modificação da paisagem, no qual os sedimentos são levados do seu local de origem para outro local, sendo transportados pela água ou mesmo pelo vento até se depositarem. Quando se faz alterações da paisagem, como as oriundas da expansão das áreas urbanas, essas mudanças são feitas sem a devida atenção, os processos erosivos podem resultar em problemas, sendo os principais: deslizamentos de terra, danos a moradias e infraestruturas, assoreamento de cursos d'água, alagamentos e prejuízos socioeconômicos à população (OVANDO, 2025).

Conforme Nogueira (2021), a erosão pode ser um processo natural, mas a interferência humana tem intensificado e acelerado processos erosivos de todas as tipologias e dimensões, produzindo impactos que resultam em desastres ambientais. Para Albuquerque (2021), a ocorrência de deslizamentos de massa está primariamente associada à retirada da cobertura vegetal, agravando a erosão durante eventos de precipitação intensa e em áreas de ocupação irregular.

A principal problemática está na movimentação de massa, que inclui processos de deslizamento de solo e/ou rocha há queda e rolamentos de rocha, são usados critérios variados, como: velocidade e direção do movimento, assim como a recorrência dos eventos; natureza do material (solo, rocha, detritos e depósitos), sua textura, estrutura e conteúdo de água, geometria e tipo de deformação do movimento (PIZZATO, 2017). Nessa situação, a necessidade de conseguir informações precisas e atualizadas torna-se importante a utilização de geotecnologias capazes de aperfeiçoar o monitoramento e o mapeamento dessas

áreas.

A utilização de RPA (Aeronave Remotamente Pilotada), além de fornecer imagens detalhadas de determinada área, apresenta a significativa vantagem de adquirir dados de forma ágil, muitas vezes em tempo real (Tavares, 2017). De acordo com Araújo (2025), essa tecnologia tem se mostrado uma ferramenta eficaz no mapeamento de áreas de risco, permitindo a obtenção de informações altimétricas, morfométricas e visuais com alta resolução espacial. Ainda, segundo o autor, o uso de RPA, reduz o tempo de trabalho em campo, amplia a segurança do pesquisador em terrenos de difícil acesso e possibilita o monitoramento contínuo de alterações no relevo e na ocupação do solo.

Conforme Monteiro (2025), os deslizamentos de massa em encostas nas áreas urbanas são um problema recorrente resultante da interação entre fatores naturais e atividades humanas. A ocupação irregular do relevo, a retirada da vegetação e a ausência de infraestrutura adequada contribuem para a instabilidade do solo, especialmente em períodos de chuva intensa. Esses eventos podem causar destruição de moradias, prejuízos econômicos, perdas humanas e degradação ambiental, constituindo um desafio para o planejamento urbano e a gestão de riscos.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia e a viabilidade do uso de lonas plásticas na contenção provisória de áreas de encosta na Grota Santa Helena, integrando análises de campo e técnicas de sensoriamento remoto para subsidiar ações de prevenção e redução de riscos em comunidades vulneráveis.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a eficácia à erosão do uso de lona plástica como medida provisória de contenção de encostas na grota Santa Helena no período de 2023 a 2025, em Maceió – AL.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Identificar os pontos críticos de possíveis deslizamentos;
II. Construir um Modelo Digital de Elevação (MDE) para auxiliar no monitoramento das áreas de risco;
III. Avaliar a eficiência da lona plástica na redução de processos erosivos nos anos de estudo.
IV. Analisar a distribuição espacial dos movimentos de massa utilizando o mapa de calor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Áreas De Risco e Impactos Urbanos

A avaliação de riscos geológicos tem como propósito a identificação, a delimitação e a caracterização de áreas potencialmente vulneráveis à ocorrência de processos de natureza destrutiva, tais como movimentos de massa, enchentes de alta energia e inundações (CPRM, 2018).

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2019), risco geológico é a probabilidade de ocorrência de um evento geodinâmico adverso, associado à existência de elementos expostos suscetíveis à danos, podendo gerar perdas humanas, materiais, ambientais ou econômicas.

O conceito de risco está diretamente associado à vulnerabilidade e à exposição da população a eventos naturais ou antrópicos que, quando inter-relacionados, podem gerar impactos severos, inclusive a necessidade de demolições. Essas áreas podem ser compreendidas como zonas geográficas com elevada probabilidade de ocorrência de desastres, sejam eles naturais ou induzidos pela ação humana, em razão de fatores como características geológicas, hidrológicas, intervenções inadequadas e a configuração das infraestruturas urbanas (MARQUES, 2008).

Dois elementos são fundamentais para formulação do risco: o perigo de se ter um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa e a vulnerabilidade, ou seja, o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo (TOMINAGA, 2007).

Outro conceito relevante é a percepção de risco, que pode variar entre cada indivíduo ou sociedade, levando à interpretação dos perigos e da vulnerabilidade às quais estão expostas. Logo, a percepção de risco varia conforme a vivência dos indivíduos no bairro do Petropólis e seu senso comum, refletindo o grau de conhecimento, o sentimento de pertencimento, os interesses e os valores associados à aceitação ou intolerância frente às situações de perigo, bem como sua capacidade de resiliência, resistência e adaptação aos riscos (TAVARES, 2023).

A inundação representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. O alagamento consiste no acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem. A enxurrada é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado à área de domínio dos processos fluviais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

Na cidade de Maceió, as inundações e alagamentos têm sido recorrentes nos últimos anos, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Essa situação decorre da geografia local e do processo de urbanização acelerada. Além disso, as margens de rios e áreas baixas são particularmente vulneráveis, o que agrava a situação. Esses eventos não afetam apenas a infraestrutura urbana, como ruas e imóveis, mas também prejudicam diretamente a população, exigindo intervenções constantes da Defesa Civil Municipal e de outras autoridades para minimizar seus impactos (DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2025).

As construções irregulares, muitas vezes edificadas à margem das legislações urbanísticas, e a ocupação indevida de espaços públicos e áreas de preservação permanente (APPs), têm se tornado desafios recorrentes nos centros urbanos brasileiros. Em conjunto com esses fatores, destaca-se a impermeabilização excessiva do solo urbano, que contribui significativamente para o agravamento de eventos como inundações e alagamentos (JAPIASSÚ, 2015).

A grande parte dos problemas associados às inundações urbanas decorre da abordagem limitada adotada por especialistas, que priorizam intervenções pontuais e desconsideram a complexidade social, institucional e ambiental das bacias hidrográficas. Esse problema é agravado em países em desenvolvimento, que frequentemente optam por ações estruturais de alto custo, muitas vezes inviáveis economicamente (Tucci, 2006).

No Brasil, a gestão de áreas de risco tem sido historicamente reativa, com políticas públicas frequentemente implementadas após a ocorrência de desastres naturais de grande magnitude. Estudos indicam que as principais ações governamentais para mitigar enchentes e deslizamentos foram estabelecidas em resposta a eventos catastróficos, evidenciando uma abordagem pós-desastre

predominante no país (SOUZA, 2019).

O Brasil é considerado altamente suscetível aos movimentos de massa em função de suas condições climáticas, caracterizadas por verões com chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos (NASCIMENTO, 2024). Nos centros urbanos, esses processos têm adquirido proporções catastróficas, agravadas por atividades antrópicas como cortes em taludes, aterros, disposição inadequada de resíduos, alterações na drenagem e desmatamentos, que ampliam a vulnerabilidade das encostas e favorecem a ocorrência desses eventos. A Figura 1 ilustra os tipos de movimentos de massa.

Figura 1 - Movimentos de massa.



Fonte: Cemaden 2008.

Conforme Fernandes (2001), os movimentos de massa podem se manifestar de diferentes formas, variando conforme as características do material e as condições do relevo. As quedas consistem no lançamento livre de fragmentos rochosos de volumes distintos, que se desprendem de taludes íngremes. Quando ocorre o deslocamento de um bloco rochoso por rotação frontal em direção ao exterior do talude, o processo é denominado tombamento. Já os rolamentos correspondem ao movimento de blocos ao longo das encostas, geralmente

resultantes de descalçamentos na base do talude.

Os deslizamentos ou escorregamentos caracterizam-se pelo deslocamento de solo e/ou rocha ao longo de superfícies de ruptura. Quando essa superfície apresenta formato curvo, semelhante a uma colher, e envolve um movimento rotacional em materiais homogêneos superficiais, trata-se de um deslizamento rotacional. Por outro lado, quando o escorregamento ocorre em uma superfície relativamente plana, associada a solos rasos, classifica-se como deslizamento translacional (SANTOS, 2022).

Os fluxos de lama e detritos, também conhecidos como corridas de massa, constituem movimentos extremamente rápidos, desencadeados por chuvas intensas que saturam e liquefazem o material superficial, fazendo-o escoar encosta abaixo em forma de um fluxo viscoso composto por lama e fragmentos rochosos. Esse tipo de processo apresenta ampla área de alcance e elevado potencial destrutivo (RIFFEL, 2016).

O termo genérico escorregamentos ou deslizamentos engloba uma variedade de tipos de movimentos de massa de solos, rochas ou detritos, gerados pela ação da gravidade, em terrenos inclinados, tendo como fator deflagrador principal a infiltração de água, principalmente das chuvas (BRASIL, 2007). O homem que modificam as condições naturais do relevo, por meio de cortes para construção de moradias, aterros, lançamento concentrado de águas sobre as vertentes, estradas e outras obras. Por isso, a ocorrência de deslizamentos resulta da ocupação inadequada, sendo, portanto, mais comum em zonas com ocupações precárias de baixa renda, como é o caso da Grota Santa Helena.

A Figura 2 apresenta uma classificação de probabilidade de instabilidade de encostas, variando de R1 (Baixo) a R4 (Muito alto), baseada em condicionantes geológico-geotécnicos e evidências observadas em campo. As classes R3 e R4 representam os níveis mais críticos: R3 indica instabilidade significativa já em desenvolvimento, com sinais claros como trincas, abatimentos e deformações; enquanto R4 aponta um estágio avançado, com múltiplas evidências intensas e risco extremamente elevado de deslizamentos durante eventos de chuva.

Com base na inspeção de campo, as áreas classificadas como R3 e R4 correspondem aos setores onde foram registradas as maiores feições de instabilidade como taludes fraturados, erosões profundas, desplacamentos de solo e danos em estruturas próximas. Nessas regiões, a probabilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante chuvas intensas é alta (R3) ou muito alta (R4) (BRASIL, 2007).

Figura 2 - Orientações gerais para classificação dos graus de risco a movimentos de massa.

Grau de probabilidade	Descrição
R1 Baixo	1. Os condicionantes geológico-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. 2. Não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. NÃO HÁ INDÍCIOS de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. Mantidas as condições existentes, NÃO SE ESPERA a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de MÉDIA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de algum(ns) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porem incipiente(s). Processo de instabilização EM ESTÁGIO INICIAL de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é REDUZIDA A POSSIBILIDADE de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em PLENO DESENVOLVIMENTO, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. Mantidas as condições existentes, é PERFEITAMENTE POSSÍVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R4 Muito alto	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de MUITO ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em AVANÇADO ESTÁGIO de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é MUITO PROVÁVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

Fonte: (Modificado de BRASIL, 2007).

Por fim, a subsidência e os colapsos representam movimentos de massa caracterizados pelo afundamento gradual ou súbito do terreno, resultante do colapso de cavidades subterrâneas, da redução da porosidade do solo ou da deformação de materiais argilosos (Guimarães, 2008).

Em Maceió são observados vários deslizamentos de massas. A exemplo disto tem-se a Avenida Pierre Chalita, que sofre com recorrentes deslizamentos de terra em períodos chuvosos, provenientes dos taludes que margeiam a via (G1, 2022). A Figura 3 mostra um evento de deslizamento de massa da Avenida Pierre Chalita em agosto de 2022.

Figura 3 - Deslizamento de massa em Maceió na Av. Pierre Chalita em agosto de 2022.



Fonte: G1 (2022)

2.2 Geotecnologias aplicadas a análise espacial

2.3 Geoprocessamento

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias utilizadas para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. São constituídas pela integração entre *hardware*, *software* e *peopleware,* que juntas constituem ferramentas para tomada de decisão. Dentre as geotecnologias podemos destacar: Sistemas de informação Geográfica (SIG), cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (ROSA, 2005). Neste estudo, foi elaborado um mapa de calor (heatmap) por meio do software QGIS, com base na no arquivo vetorial de pontos de ruptura, registrados por Egas et al. (2024).

Bobylev *et al*. (2022) enfatizam o papel dos SIGs no mapeamento de áreas de risco em zonas periurbanas, demonstrando a capacidade dessas ferramentas em fornecer dados detalhados para o planejamento urbano e a mitigação de impactos ambientais.

Desde o advento, surgiram várias ferramentas que possibilitaram captura, armazenamento, processamento de dados geográficos e apresentação de informações espaciais. A ligação técnica e conceitual dessas ferramentas levou ao desenvolvimento do geoprocessamento (ROCHA, 2000).

O geoprocessamento é o agrupamento de tecnologias voltadas para a coleta e processamento de dados espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. O conceito de geoprocessamento abrange o conjunto de técnicas e ferramentas utilizadas por profissionais que atuam com cartografia digital, processamento digital de imagens e SIG (ROSA, 2013).

O geoprocessamento possibilita a análise de dados geográficos em conjunto com informações, climáticas, ambientais e socioeconômica. Com isso, é possível realizar estudos detalhados sobre as condições ambientais de uma determinada região, identificando áreas vulneráveis, diagnosticando problemas ambientais e traçando planos de ação para solucioná-los. O uso destas ferramentas é fundamental para o monitoramento ambiental e a proteção do meio ambiente

(SANDRES, 2024).

As aplicações de geoprocessamento geralmente necessitam de uma grande quantidade e diversidade de equipamentos. Porém, deve-se ressaltar que o tipo de aplicação do geoprocessamento é o fator determinante em relação às características, quantidades e diversidades de equipamentos (LONGLEY *et al*., 2015).

2.4 Aerolevantamento e fotogrametria com RPA

Nos últimos anos, o avanço tecnológico tem proporcionado uma ampla expansão nos métodos e técnicas para obtenção e manipulação de informações territoriais. Entre as inovações, destacam-se os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), que, segundo Ballesteros e Lordsleem (2021), tornaram a aquisição de dados geográficos mais acessível e precisa. Agostinho e Oliveira Filho (2011) afirmaram que, embora seu uso civil tenha se popularizado apenas na última década, os RPAS foram amplamente desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial para fins militares.

Nesse contexto, o emprego de sensores embarcados em RPA viabilizou, em muitos casos, a substituição de aviões tripulados e imagens de satélite na produção de dados georreferenciados, possibilitando a delimitação de áreas de reserva legal, Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a geração de mapas topográficos e modelos digitais do terreno para projetos de drenagem, nivelamento e planejamento territorial (MESQUITA, 2014).

A fotogrametria aérea, realizada a partir de imagens captadas por VANT ou aviões tripulados, é especialmente útil para mapeamentos topográficos, modelagem digital do terreno e levantamento de áreas de difícil acesso. Recentemente, os métodos fotogramétricos digitais ampliaram as possibilidades de processamento e análise das imagens, permitindo a geração de modelos tridimensionais e ortomosaicos de alta resolução (CORREIA, 2025).

Avanços consideráveis também aconteceu no processo de restituição fotogramétrica. Segundo Albertz e Wiedemann (1995) *apud* Groetelaars (2004), a principal inovação trazida pela fotogrametria digital é a automação de etapas do

processo de restituição. Entre os processos automatizados, destaca-se: a identificação de pontos homólogos em duas ou mais fotografias, por meio de técnicas digitais de correlação automática (*matching*), reduzindo o trabalho manual do operador.

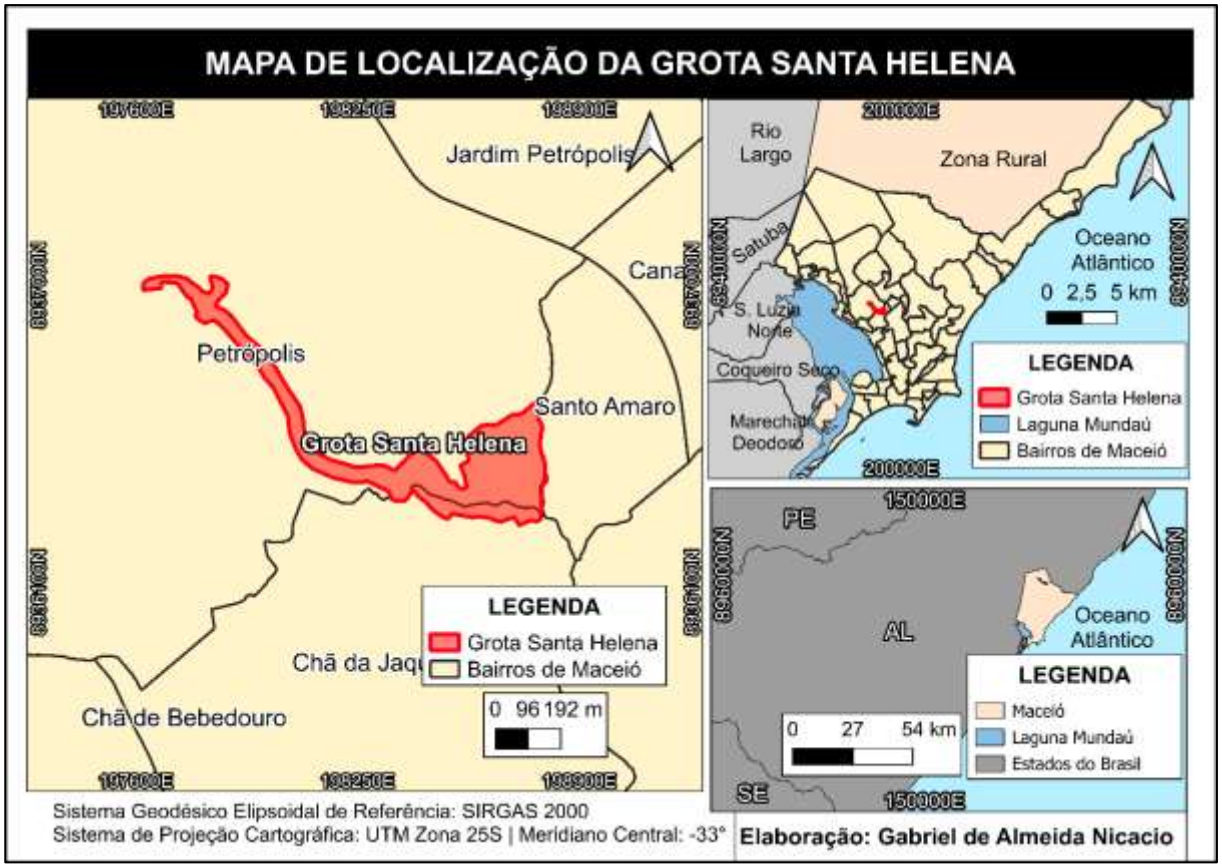
Sendo assim, a fotogrametria digital representa uma alternativa promissora para lidar com a necessidade de documentação espacial rápida, precisa e de baixo custo. Conforme Landes (2000), esta tecnologia pode ser aplicada não apenas na preservação do patrimônio histórico, mas também na documentação de ambientes urbanos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A grota Santa Helena (Figura 4) está localizada no município de Maceió, disposta sobre os bairros do Petrópolis, Chã da Jaqueira e uma parte do Santo Amaro. A Grota Santa Helena não é considera como um bairro pelo IBGE, caracterizando-se como aglomerado subnormal, no qual habitam, de acordo com Plano Municipal de Redução de Riscos em 2007, 2100 pessoas nos setores de risco.

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo.



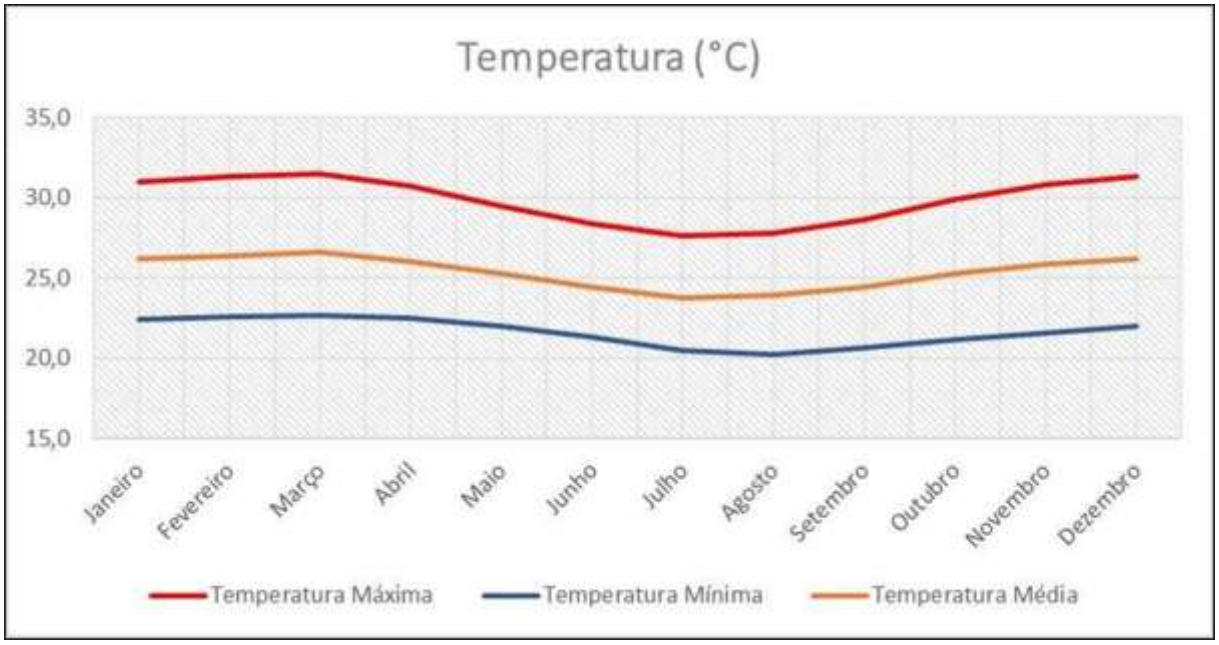
Fonte: Autor (2025).

Com base no Plano Municipal de Redução de Riscos (MACEIÓ, 2007) a Formação Barreira está presente no litoral de Alagoas, abrangendo grande parte do município de Maceió, e apresenta recorrente susceptibilidade à erosão com formação de ravinas e sulcos, além da ocorrência pontual de processos de deslizamentos. A maior parte do município de Maceió é recoberta pelos latossolos

amarelos e/ou vermelho-amarelo (EMBRAPA, 2005). Segundo o Plano Municipal de Redução de Riscos (2007), na capital, os solos são qualificados sob o aspecto geotécnico da suscetibilidade a deslizamentos e/ou processos erosivos, situações recorrentes em período de intensas precipitações pluviométricas.

Segundo a classificação climática de Köppen, Maceió apresente clima do tipo As (tropical úmido) com estação seca no outono-inverno. Segundo Barbirato (2000), o município possui clima quente e úmido, sendo um exemplo representativo da constância térmica típica do litoral do Nordeste brasileiro, com temperatura média anual de 25,4 ºC e variação anual de aproximadamente 3,4 ºC (Figura 5). A pluviometria anual regular apresenta duas estações bem definidas, a estação chuvosa ocorre entre maio e agosto e a estação seca, que ocorre de setembro a abril.

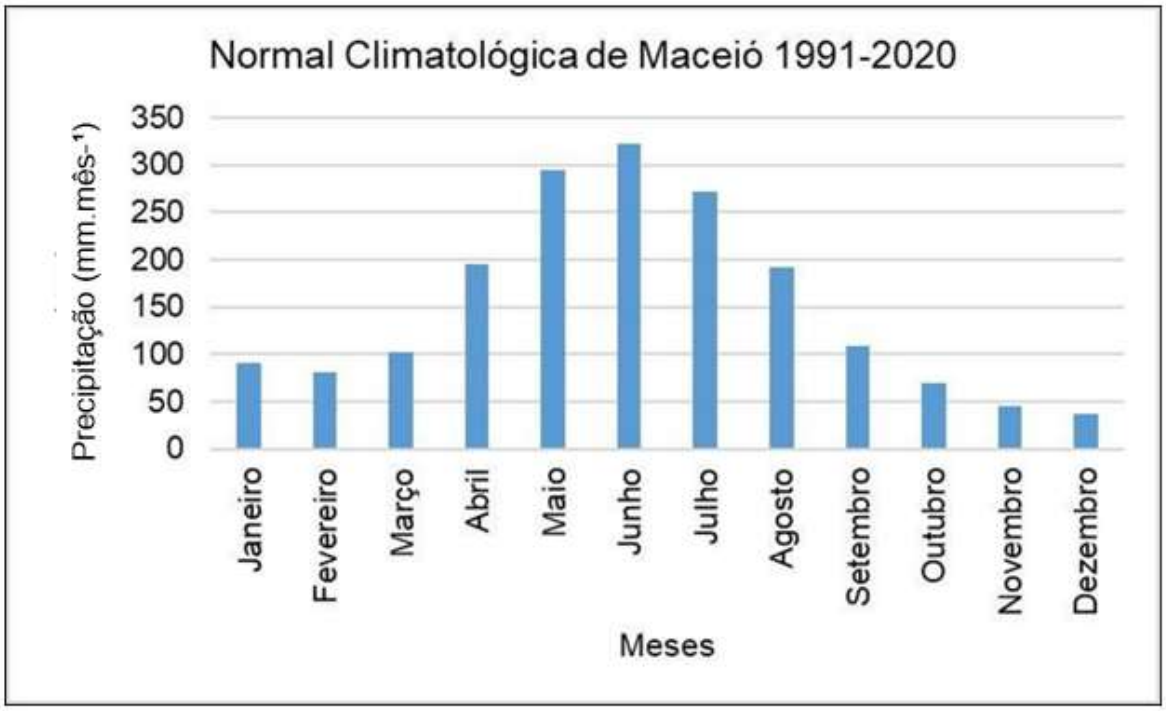
Figura 5 - Normal climática da temperatura em Maceió.



Fonte: INMET (2025).

O gráfico da Normal Climatológica de Maceió para o período de 1991 a 2020 (Figura 6) mostra um regime pluviométrico concentrado entre abril e julho, com pico em maio e junho, e um período mais seco entre outubro e dezembro quando os volumes de precipitação caem significativamente, atingindo valores inferiores a 50 mm. Essa variação sazonal indica que os meses mais chuvosos coincidem com o aumento do risco de deslizamentos.

Figura 6 - Normal climatológica de Maceió para o período de 1991 a 2020.

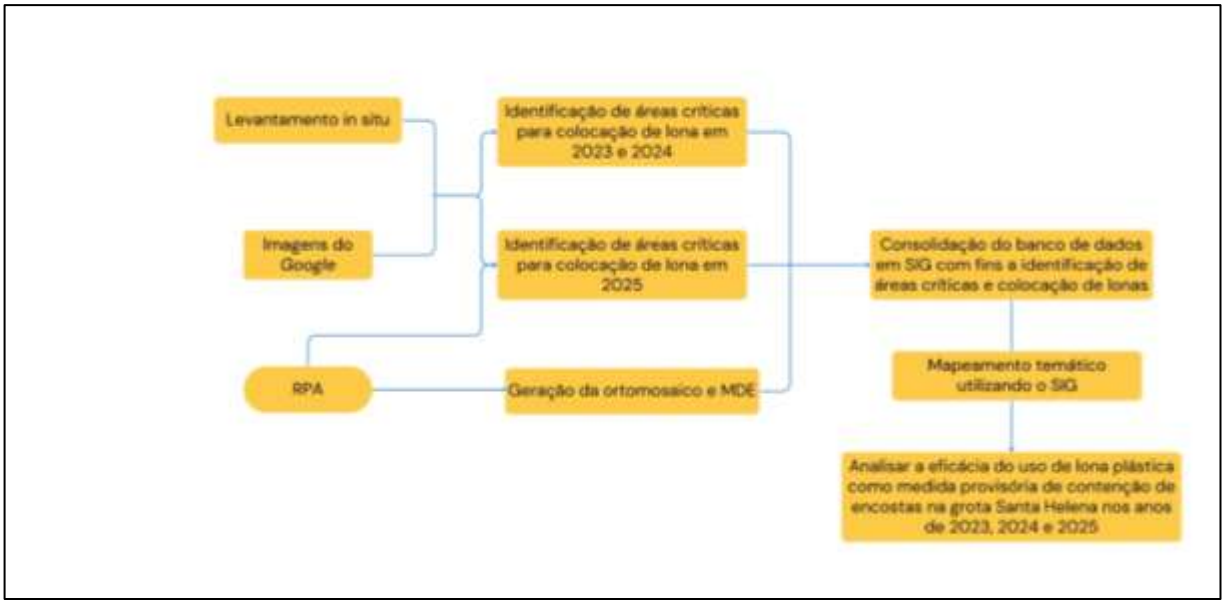


Fonte: INMET (2025).

3.2 Etapas metodológicas

O fluxograma apresentado na Figura 7 mostra as etapas metodológicas adotadas neste estudo.

Figura 7 - apresenta um fluxograma metodológico contendo as etapas aplicadas para análise do uso de lonas plásticas nas encostas da grota da Santa Helena.



Fonte: Autor (2025).

3.1.1 Aerolevantamento

Realizou-se a aquisição direta de informações no local de estudo, utilizando tecnologias de aerolevantamentos com RPA e sensores remoto para captação de imagens aéreas recentes, além de georreferenciamento por receptores GNSS, assegurando a exatidão das localizações mapeadas.

A malha de aquisição das imagens usadas para o processamento fotogramétrico: Pontos pretos são as posições onde cada foto foi registrada pela câmera/posição do Veículo Aéreo Não Tripulado. As linhas regulares são trajetórias de voo (*flight lines*). A legenda colorida numérica (1 a 9) indica número de imagens que cobrem cada célula e as áreas azuis escuras possuem maior sobreposição (>9 imagens), tons quentes menor sobreposição.

As áreas que apresentaram maior inclinação, ausência de vegetação e evidências de instabilidade do solo foram classificadas como áreas críticas, por representarem maior potencial de deslizamento e ameaça direta à população. Paralelamente, foi realizada a identificação dos pontos onde a lona plástica foi aplicada, a fim de realizar uma vistoria para avaliar a forma de instalação e verificar possíveis danos ou desgastes no material.

A Figura 8 apresenta de forma detalhada a área onde foi realizado o aerolevantamento com RPA, evidenciando os limites da Grota Santa Helena, o ponto de decolagem e os bairros do entorno.

Figura 8 – Ponto do aerolevantamento realizado na Grota Santa Helena em setembro de 2025.

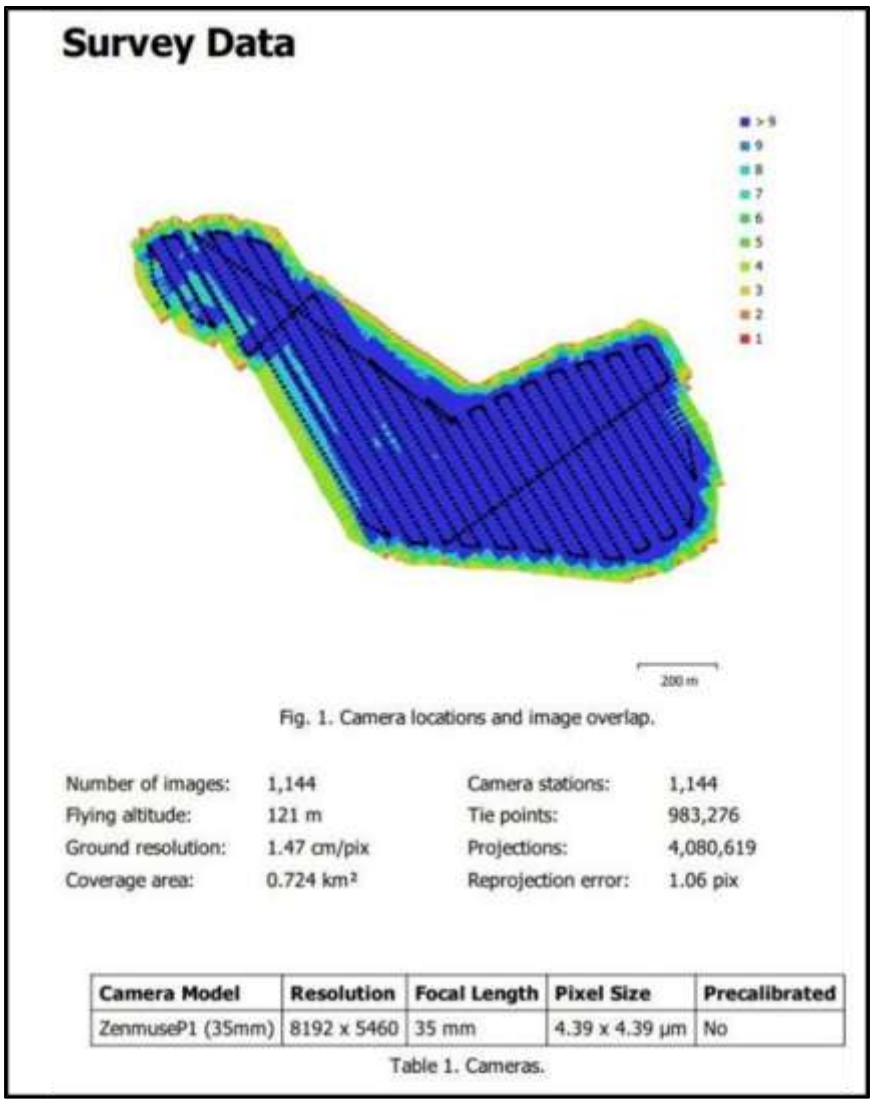


Fonte: Autor (2025).

A figura 9 apresenta que a altura do levantamento aéreo foi fixada em 121 metros, possibilitando uma resolução espacial de aproximadamente 1,47 cm/pixel, cobrindo uma área total de 0,724² km. No decorrer do sobrevoo, foram capturadas 1.144 imagens pela câmera Zenmuse P1, com resolução de 8192 x 5460 pixels, distância focal de 35 mm e tamanho do pixel de 4,39 µm.

Essa configuração proporcionou um nível superior de detalhamento e precisão na geração produtos cartográficos. O processamento das imagens resultou em 983.276 pontos de amarração (tie points) e 4.080. 619 projeções, mostrando erro médio de reprojeção de 1,06 pixel, valor classificado satisfatório para mapeamento de alta precisão. Com sobreposição lateral de 70% e sobreposição frontal de 80%. Posteriormente foi construída uma ortomosaico usando o software *Pix4D* possibilitando uma visualização detalhada da região e a identificação precisa das áreas prioritárias para colocação de lonas. Possibilitando a atualização dos pontos críticos e a obtenção de imagens aéreas para análise espacial detalhada.

Figura 9 - Malha de aquisição das imagens.



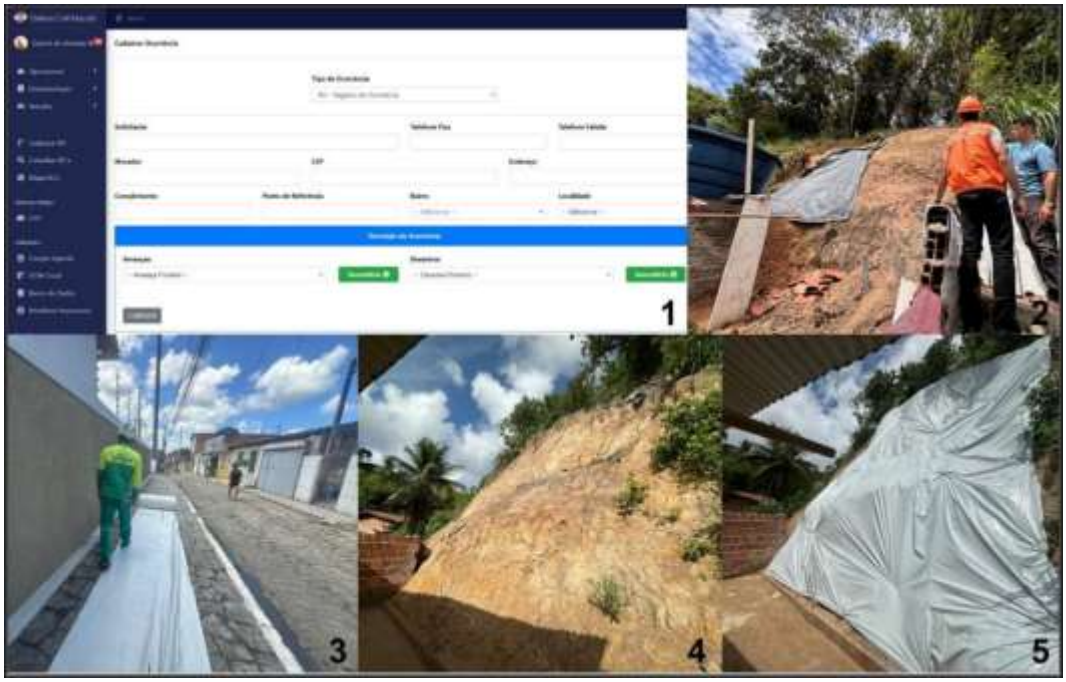
Fonte: Autor (2025).

A malha de aquisição das imagens usadas para o processamento fotogramétrico: Pontos pretos são as posições onde cada foto foi registrada pela câmera/posição do Veículo Aéreo Não Tripulado. As linhas regulares são trajetórias de voo (*flight lines*). A legenda colorida numérica (1 a 9) indica número de imagens que cobrem cada célula e as áreas azuis escuras possuem maior sobreposição (>9 imagens), tons quentes menor sobreposição.

3.1.2 Identificação dos pontos críticos

O processo de identificação dos pontos críticos com base no ministério das cidades (2007) e sua classificação, tem início com o recebimento de um chamado telefônico ou registro no sistema, no qual o solicitante informa a localização da área, descreve a situação vista e, quando possível, envia fotos ou vídeos do local afetado. Após o registro (Figura 10), o técnico de plantão realiza uma triagem preliminar, verificando se há histórico de ocorrências na área e classificando o nível de urgência conforme o risco à vida e à infraestrutura. Nos casos considerados prioritários, é mobilizada uma equipe de campo composta por técnico especialista na área de análise ambiental e apoio operacional, devidamente equipada com instrumentos de medição, registro fotográficos e equipamentos de proteção individual.

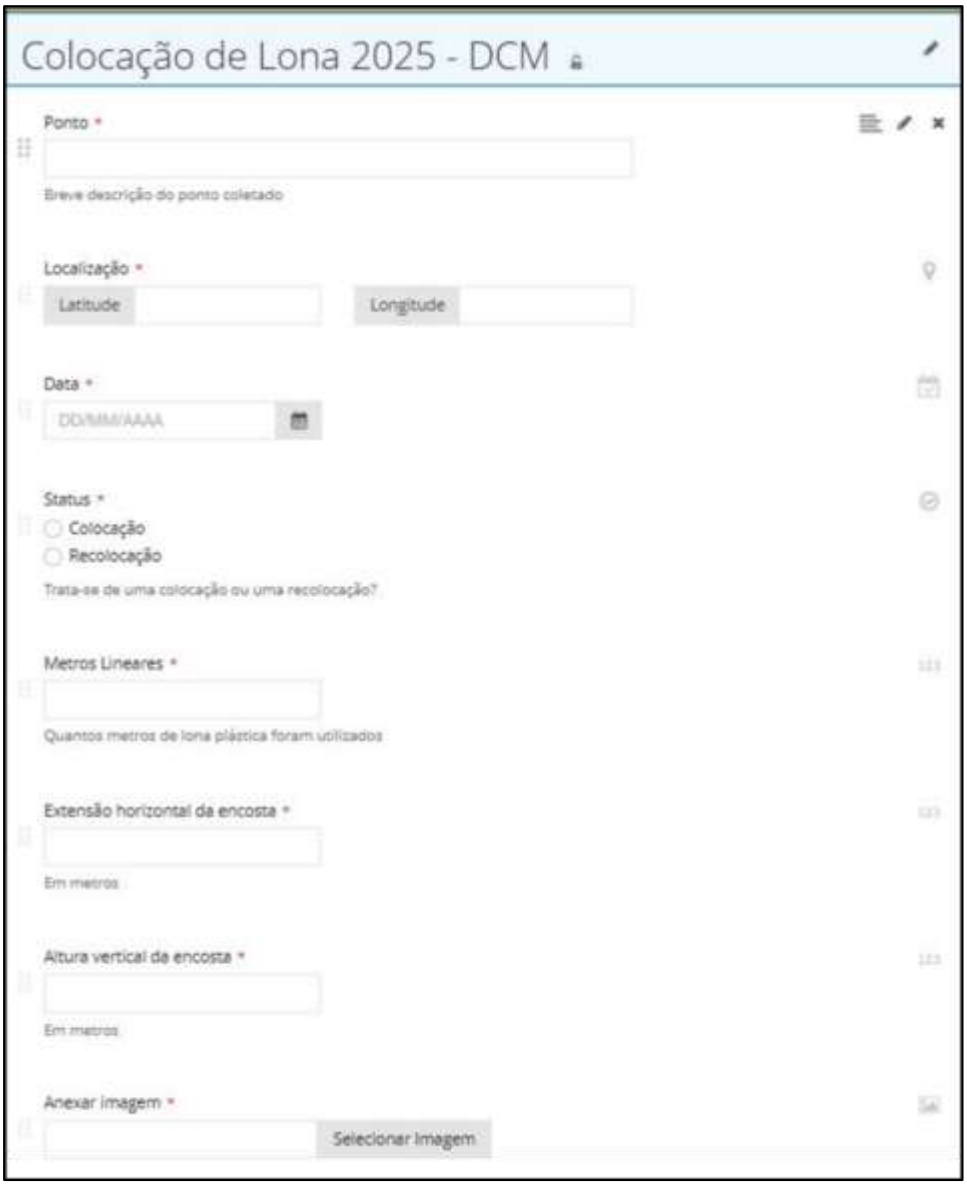
Figura 10 - Sistema de Defesa civil.



Fonte: Autor (2025).

Durante a vistoria *in loco*, são coletadas informações detalhadas sobre as características geológicas e geomorfológicas da área, como tipo de solo, inclinação da encosta e sinais de erosão. Os dados são documentados por meio de formulário padronizado (Figura 11), fotografias e coordenadas geográficas, que são posteriormente inseridos no sistema de Gerenciamento de ocorrência - SGDC ou em plataforma SIG, permitindo o georreferenciamento e o monitoramento contínuo das áreas de risco.

Figura 11 - Formulário para colocação de lona.



Fonte: Autor (2025).

Durante as inspeções, procedeu-se à identificação e à caracterização dos

pontos de risco, considerando critérios como a declividade do terreno, a presença ou ausência de cobertura vegetal e a proximidade de moradias. Esses chamados permitiram a identificação preliminar dos pontos críticos e a definição das áreas prioritárias para a colocação de lonas plásticas (Figura 12) nos anos de 2023 e 2024.

Figura 12 - Ponto de lona (a) antes e (b) depois.



Fonte: Autor (2025).

Em 2025, a identificação dos pontos recomendados para colocação de lonas foi realizada seguindo o critério determinado no sistema de Defesa Civil, entre os anos de 2023 e 2024, ou seja, atendimento de chamada da população, alocação dos pontos críticos nas imagens do *Google Earth* e visita in loco, acrescidos de levantamento da área de interesse com RPA, realizado apenas em 2025 e descrito no tópico a seguir.

As informações obtidas in loco foram utilizadas para construção de banco de dados no QGIS 3.4.1, onde foi elaborado um mapa de calor representando a distribuição e a intensidade dos deslizamentos e processos erosivos ao longo do período analisado, possibilitando identificar as áreas com maior redução de risco e subsidiar futuras ações de planejamento e gestão territorial na Grota Santa Helena.

Também foi realizada uma análise do material da lona com o objetivo de avaliar suas características físicas e funcionais em relação à sua eficiência como medida provisória de contenção de encostas (PACHECO, 2023). As lonas passaram por inspeção visual e tátil, verificando-se a integridade superficial, presença de rasgos, perfurações, desgaste por abrasão e alteração de cor, que indicam

degradação por exposição solar ou umidade. O monitoramento é realizado semestralmente, com o objetivo de avaliar as condições de instalação e conservação do material.

3.1.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O software utilizado para o processamento foi o QGIS, na versão 3.34.11, utilizado como SIG. Trata-se de uma plataforma de código aberto, licenciada sob a *General Public License* (GNU), amplamente adotada por diversos motivos, como sua gratuidade, constante atualização, grande comunidade de usuários e desenvolvedores, além da compatibilidade com múltiplos formatos de dados espaciais (CURCINO, 2025).

O QGIS oferece uma interface intuitiva e uma ampla gama de funcionalidades para análise espacial, visualização, verificação e manipulação de dados geográficos. Seu uso tem sido amplamente citado em publicações acadêmicas, que destacam os bons resultados obtidos com a ferramenta (TOMAZONI, 2024).

Foi possível integrar dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) ao contexto urbano da Grota Santa Helena, permitindo identificar as áreas com maior vulnerabilidade a deslizamentos. As ferramentas de processamento espacial possibilitaram a geração de mapas temáticos, como os de pontos de lona, deslizamento e de calor, evidenciando a ocupação irregular em encostas íngremes e com pouca cobertura vegetal.

Na elaboração do mapa de pontos de lona, o QGIS foi utilizado para georreferenciar os locais onde foram instaladas lonas plásticas como medida preventiva contra deslizamentos. Esses pontos são plotados a partir de coordenadas coletadas em campo e inseridos em uma camada vetorial de pontos. Em seguida, os dados são sobrepostos à base cartográfica do bairro, permitindo visualizar a distribuição espacial das intervenções.

Já para a geração do mapa de calor (*heatmap*), o QGIS emprega ferramentas de interpolação de densidade, que transformam pontos individuais como registros de deslizamentos em uma superfície contínua. A representação das áreas com maior concentração de deslizamento de massa, utilizando gradações de cor para indicar

intensidade.

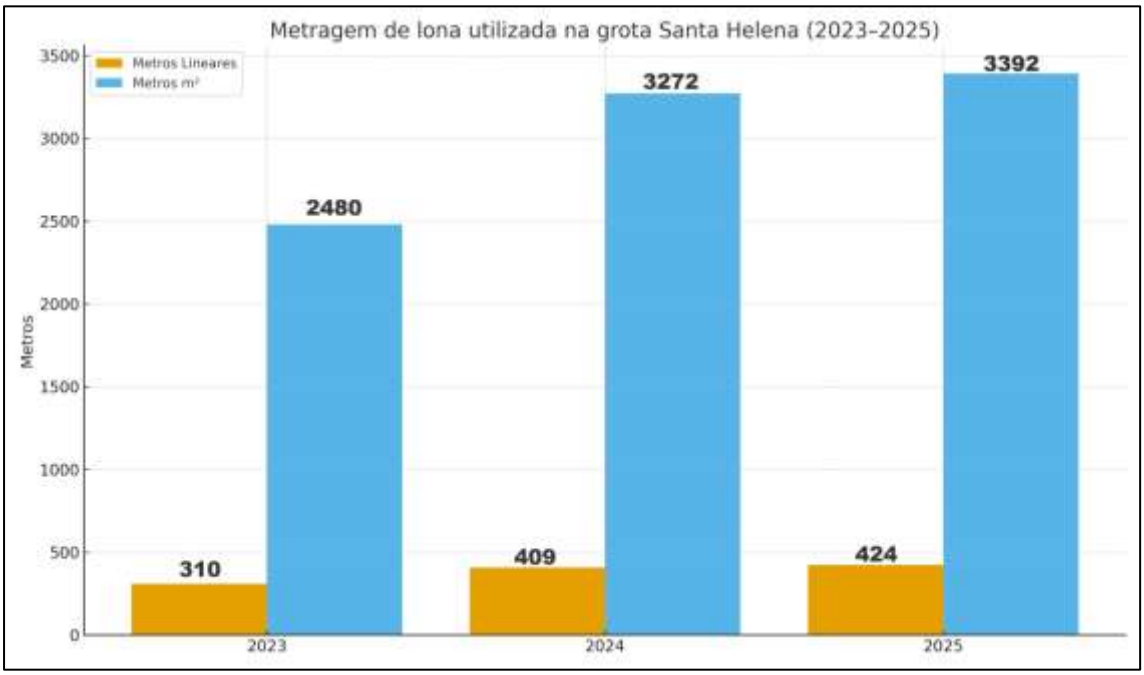
O uso do QGIS permitiu uma análise detalhada e georreferenciada do relevo, reforçando sua importância na definição de medidas preventivas e na delimitação de zonas prioritárias para intervenção na Grota Santa Helena.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 13 apresenta a metragem de lona utilizada na grota Santa Helena em 2023, indicando o emprego de 310 metros lineares de lona, correspondentes a uma área total de 2.480 m². A metragem de lona utilizada na grota Santa Helena em 2024, indicando um total de 409 metros lineares e uma área correspondente de 3.272 m². Em comparação com o ano anterior, houve um aumento de aproximadamente 32% na área total coberta, demonstrando que em 2024 foi necessário utilizar uma quantidade maior de lona, possivelmente devido à ampliação das áreas de cobertura ou à execução de novas intervenções na grota.

Observa-se a metragem de lona utilizada na grota Santa Helena em 2025, totalizando 424 metros lineares e uma área de 3.392 metros quadrados. Em relação aos anos anteriores, observa-se um crescimento tanto na metragem linear quanto na área total coberta, indicando um aumento gradual na demanda ou na extensão das áreas protegidas por lona na grota ao longo do período analisado.

Figura 9 - Metragem de lona utilizada na grota Santa Helena (2023-2025).



Fonte: Autor (2025).

Na figura 14 é possível observar trabalhadores equipados realizando intervenções no terreno íngreme, com sinais de erosão e exposição do solo. A encosta recebeu lona plástica branca, essa lona branca reflete a luz do sol e

esquenta menos, fazendo que ela dure mais é a técnica utilizada para proteger o solo contra a infiltração de água da chuva e evitar novos deslizamentos por mais tempo.

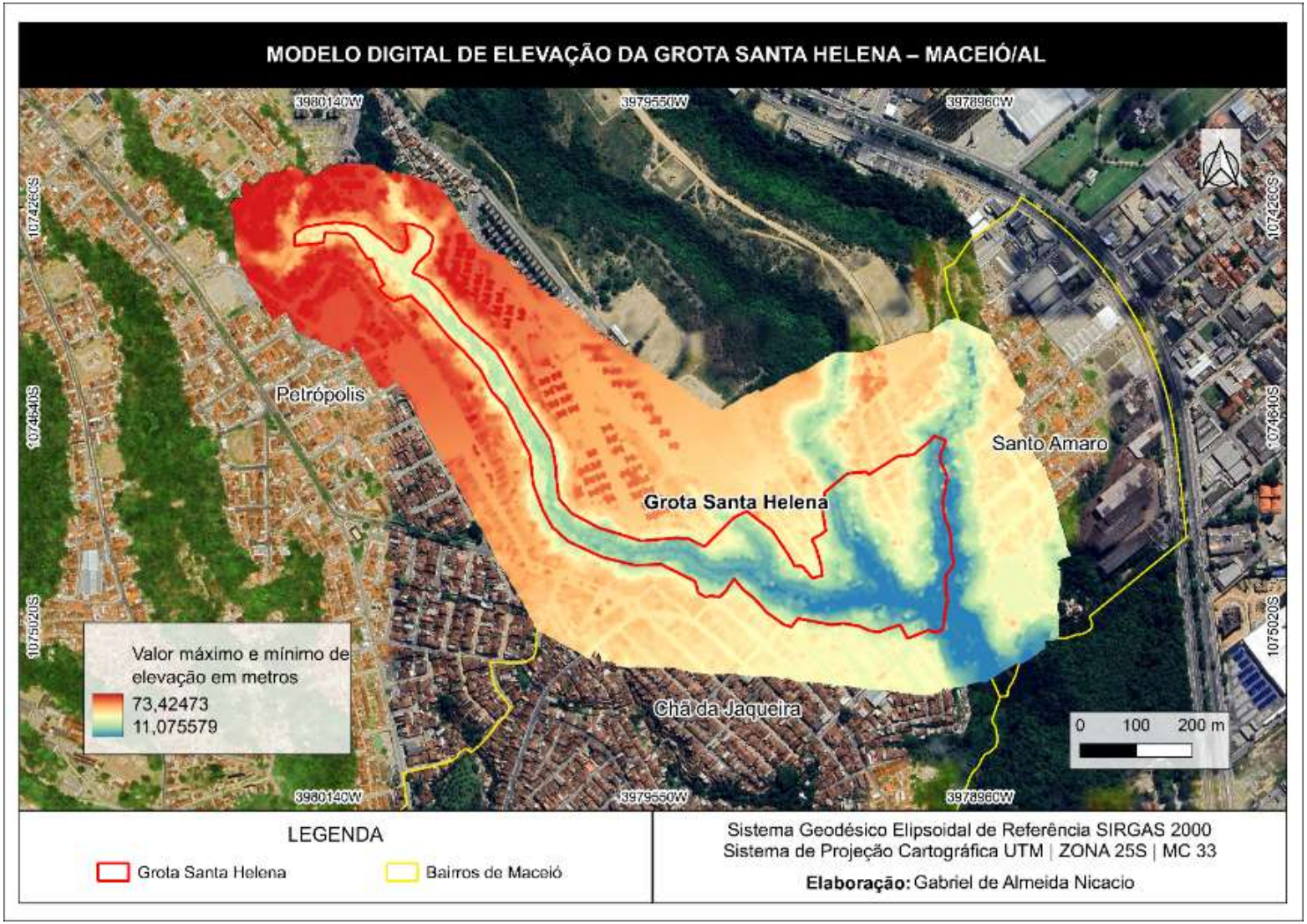
Figura 10 - Colocação das lonas.



Fonte: Autor (2025).

O MDE (Figura 15) evidencia a forte variação altimétrica presente na área, com cotas que variam de aproximadamente 11 a 73 metros. Essa diferença de altitude indica uma topografia acentuada, típica de grotas urbanas, caracterizada por encostas íngremes e vales encaixados. As porções mais elevadas, localizadas principalmente na região do bairro Petrópolis, correspondendo às áreas de maior risco potencial a movimentos de massa devido à combinação entre declividade acentuada e ocupação irregular. As áreas em azul, próximas ao fundo do vale, indicam cotas mais baixas, onde ocorre o acúmulo de águas pluviais e escoamento superficial concentrado, o que pode contribuir para processos erosivos e instabilização de taludes.

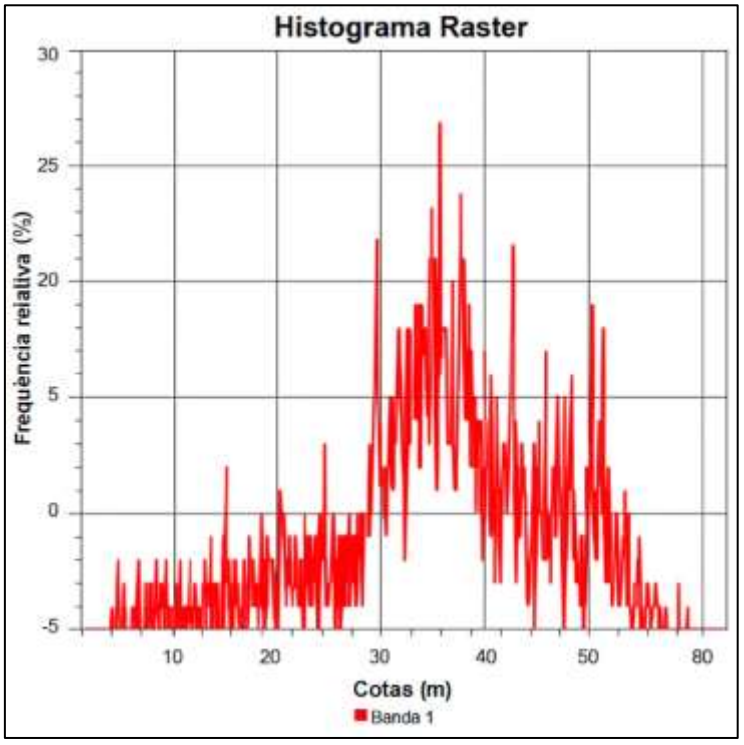
Figura 11 - Modelo digital de elevação.



Fonte: Autor (2025).

Observa-se na Figura 16, que os valores de pixel variam aproximadamente entre 10 e 80 metros, o que confirma a amplitude altimétrica identificada no mapa anterior. A maior concentração de frequências ocorre entre os valores de 40 e 55 metros, indicando que a maior parte da área estudada se encontra em cotas intermediárias, típicas das vertentes de encosta (Lopes, 2017). Essa concentração sugere que essas altitudes correspondem às áreas mais extensas da grota, onde se localizam boa parte das ocupações urbanas irregulares.

Figura 12 - Histograma raster.



Fonte: Autor (2025).

A imagem (Figura 17) corresponde a um ortomosaico, obtida a partir de técnicas de aerofotogrametria, permitindo da vegetação e do padrão de ocupação urbana.

Figura 13 – Ortomosaico da Grota Santa Helena.



Fonte: Autor (2025).

As atividades de campo permitiram a identificação de diversas áreas com potencial risco de deslizamento, nessas localidades, observou-se a necessidade de adoção de medidas emergenciais de contenção, sendo proposta a instalação de lonas plásticas como ação preventiva e mitigadora frente ao avanço de processos erosivos e instabilizações de encostas. A análise revelou que o processo de identificação dessas áreas ocorre em estreita articulação com o Sistema de Defesa Civil de Maceió, responsável por registrar e gerenciar os chamados referentes aos pontos críticos, a partir das informações fornecidas pelos agentes de campo.

A análise dos dados de 2023 (Tabela 1) evidencia que os deslizamentos ocorreram majoritariamente em agosto, sendo as lonas plásticas foram instaladas tanto de forma preventiva, entre março e julho, quanto corretiva, após os eventos, entre agosto e outubro. Observou-se que a aplicação antecipada das lonas contribuiu para reduzir a suscetibilidade a novos deslizamentos, embora a durabilidade limitada do material reforce a necessidade de manutenção periódica e adoção de soluções mais duradouras de estabilização das encostas.

Tabela 1 - Deslizamentos e Pontos de Lona na Grota Santa Helena em 2023.

DESLIZAMENTOS E PONTOS DE LONA NA GROTA SANTA HELENA EM 2023			
N°	Data de deslizamento	N°	Data da colocação de lona
1	07/08/2023	1	13/03/2023
2	07/08/2023	2	14/03/2023
3	07/08/2023	3	15/03/2023
4	07/08/2023	4	17/03/2023
5	07/08/2023	5	20/03/2023
6	07/08/2023	6	09/08/2023
7	07/09/2023	7	10/08/2023
		8	10/08/2023
		9	24/08/2023
		10	24/08/2023
		11	23/10/2023

Fonte: Autor (2025).

No ano de 2024 (Tabela 2) ocorre uma redução significativa de quase 86% na quantidade de deslizamentos registrados em comparação a 2023, com apenas um evento identificado em 15 de abril de 2024. Esse resultado sugere maior estabilidade das encostas, possivelmente associada à antecipação das ações preventivas realizadas pela Defesa Civil Municipal. As instalações de lonas plásticas ocorreram majoritariamente entre o final de fevereiro e o início de março de 2024, antecedendo o período mais chuvoso, o que demonstra uma estratégia de mitigação planejada com base nas ocorrências do ano anterior. Além disso, novas aplicações registradas em julho indicam continuidade das ações de manutenção e reforço em pontos considerados críticos.

Tabela 2 - Deslizamentos e Pontos de Lona na Grota Santa Helena em 2024.

DESLIZAMENTOS E PONTOS DE LONA NA GROTA SANTA HELENA EM 2024			
N°	**Data de deslizamento**	**N°**	**Data da colocação de lona**
1	15/04/2024	1	27/02/2024
		2	28/02/2024
		3	29/02/2024
		4	29/02/2024
		5	01/03/2024
		6	01/03/2024
		7	02/03/2024
		8	18/07/2024
		9	19/07/2024
		10	22/07/2024
		11	22/07/2024

Fonte: Autor (2025).

A tabela 3 referente ao ano de 2025 demonstra um aumento expressivo na quantidade de deslizamentos registrados, totalizando onze ocorrências entre março e junho. Esse incremento de mais de 100% em relação a 2024 indica uma intensificação dos processos erosivos, possivelmente associada a chuvas mais intensas e prolongadas no primeiro semestre do ano. Observa-se que a maioria dos deslizamentos se concentrou entre março e maio, meses típicos do

período chuvoso, com destaque para o dia 19 de maio, quando ocorreram três eventos simultâneos.

Tabela 3 - Deslizamentos e Pontos de Lona na Grota Santa Helena em 2025.

DESLIZAMENTOS E PONTOS DE LONA NA GROTA SANTA HELENA EM 2025			
N°	Data de deslizamento	N°	Data da colocação de lona
1	20/03/2025	1	22/02/2025
2	23/03/2025	2	06/03/2025
3	24/03/2025	3	07/03/2025
4	17/05/2025	4	10/03/2025
5	19/05/2025	5	10/03/2025
6	19/05/2025	6	11/03/2025
7	19/05/2025	7	11/03/2025
8	20/05/2025	8	12/03/2025
9	20/05/2025	9	12/03/2025
10	21/05/2025	10	22/07/2025
11	22/06/2025	11	31/07/2025
		12	09/08/2025
		13	09/08/2025
		14	11/08/2025
		15	11/08/2025
		16	11/08/2025
		17	12/08/2025
		18	12/08/2025

Fonte: Autor (2025).

A figura 18 representa a distribuição espacial das medidas emergenciais implementadas pela Defesa Civil entre 2023 e 2025, evidenciando 42 pontos de instalação de lonas plásticas concentrados principalmente nas encostas de maior declividade e nas áreas de ocupação mais adensada, especialmente ao longo do leito principal da grota e de seus afluentes, onde a suscetibilidade a deslizamentos e erosão superficial é elevada devido à ocupação irregular e à ausência de cobertura vegetal. Em 2023 (Figura 19), foram identificados 13 pontos de instalação distribuídos ao longo da grota, com maior concentração na porção central e leste, próximas aos bairros Santo Amaro e Chá da Jaqueira, áreas que apresentavam maior fragilidade geotécnica. Para 2024 (Figura 20), foram mapeados 11 pontos de colocação de lonas, localizados principalmente em encostas e margens de ocupações residenciais dentro do perímetro da Grota Santa Helena, reforçando a

presença de zonas de risco. Já em 2025 (Figura 21), observa-se um avanço significativo com a ampliação para 18 pontos, distribuídos ao longo de toda a grota, incluindo as extremidades oeste e leste, próximas aos bairros Petrópolis, Chã da Jaqueira e Santo Amaro, demonstrando o fortalecimento das ações preventivas, a identificação de novas áreas de risco e a continuidade das medidas de contenção de encostas.

Figura 14 - Mapa dos Pontos de Colocação de Lona na Grota Santa Helena.



Fonte: Autor (2025).

Figura 15 – Pontos com lona em 2023.



Fonte: Autor (2025).

Figura 16 - Pontos com lona em 2024.



Fonte: Autor (2025).

Figura 17 - Pontos com lona em 2025.



Fonte: Autor (2025).

O mapa de calor dos pontos de deslizamento (Figura 22) referentes aos anos de 2023, 2024 e 2025 evidencia uma concentração significativa de ocorrências de deslizamento de massa. As áreas destacadas em tons quentes indicam maior densidade de registros de ocorrências, especialmente na porção central e inferior da grota, onde há forte presença de ocupações irregulares nas encostas e ausência de drenagem adequada, esses fatores contribuem diretamente para a intensificação dos processos de instabilidade, tornando o local de risco.

A distribuição espacial dos eventos demonstra uma relação direta entre os processos erosivos, a dinâmica hídrica local e a ação antrópica, evidenciando que a expansão urbana desordenada agrava a vulnerabilidade da área. A recorrência dos deslizamentos ao longo dos três anos analisados reforça a necessidade de medidas preventivas, como obras de contenção, melhoria do sistema de drenagem e reordenamento das ocupações.

Figura 18 - Mapa de calor com os pontos de deslizamento nos anos de 2023, 2024 e 2025.



Fonte: Autor (2025).

O mapa de calor dos pontos de colocação de lona 2023, 2024 e 2025 (Figura 23) possui relação direta com o mapa de calor dos pontos de deslizamento do mesmo período. Essa relação ocorre porque a instalação de lonas plásticas é uma medida emergencial de contenção adotada pela Defesa Civil em áreas com indícios de instabilidade do solo, como rachaduras, escorregamentos iniciais ou saturação do terreno. Assim, as áreas com maior concentração de lonas coincidem, em grande parte, com os locais onde há maior incidência de deslizamentos, principalmente em trechos próximos aos bairros de Chã da Jaqueira e Santo Amaro.

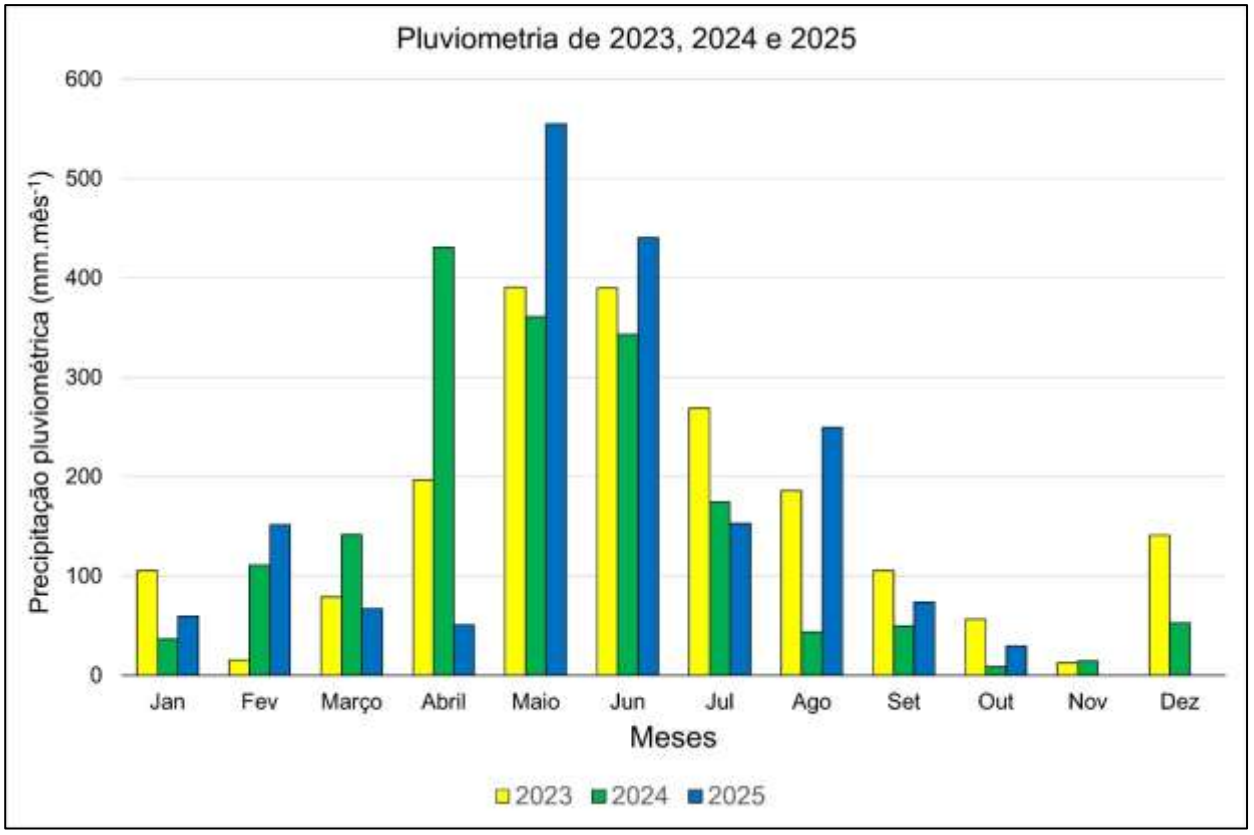
Figura 19 - Mapa de calor com os pontos de lona nos anos de 2023, 2024 e 2025.



Fonte: Autor (2025).

A figura 24 evidencia um comportamento sazonal bem marcado, com o período chuvoso concentrado entre abril e julho nos três anos. Em 2023, as chuvas foram relativamente distribuídas, com picos em maio e junho próximos de 390 mm. Já 2024 mostra um desvio maior, com um valor muito elevado em abril (cerca de 430 mm) e quase ausência de precipitação em agosto e setembro. Em contraste, 2025 apresenta os maiores volumes gerais, destacando-se maio (aprox. 550 mm) e junho (aprox. 470 mm), indicando um regime mais intenso nesse ano.

Figura 20 - Pluviômetro do bairro Farol em 2023, 2024 e 2025.



Fonte: Autor (2025).

O mapa de calor dos pontos de deslizamento em 2023 (Figura 25) revela instabilidades concentradas nas porções centrais e inferiores da grota, refletindo um ano marcado por eventos pontuais associados a chuvas intensas e localizadas, e indicando que as lonas plásticas instaladas preventivamente contribuíram para restringir os deslizamentos a áreas de maior declividade e

exposição. Em 2024 (Figura 26), o mapa apresenta um único ponto de deslizamento, cujo calor se concentra próximo ao centro da grota, evidenciando o epicentro do evento, possivelmente relacionado à instabilidade do terreno e ao elevado volume de chuvas registrado naquele período. Já o mapa de calor de 2025 (Figura 27) mostra uma alta concentração de ocorrências em regiões próximas aos bairros Petrópolis, Chá da Jaqueira e Santo Amaro, com zonas em vermelho indicando maior densidade de deslizamentos nas porções centrais e inferiores da grota, áreas caracterizadas por elevado adensamento urbano, encostas íngremes e reduzida cobertura vegetal, o que intensifica os processos erosivos e a instabilidade do solo.

Figura 21 - O mapa de calor dos pontos de deslizamento na Grota Santa Helena em 2023.



Fonte: Autor (2025).

Figura 22 - O mapa de calor dos pontos de deslizamento na Grota Santa Helena em 2024.



Fonte: Autor (2025).

Figura 23 - O mapa de calor dos pontos de deslizamento na Grota Santa Helena em 2025.



Fonte: Autor (2025).

5 CONCLUSÃO

A combinação entre o levantamento em campo, o uso de tecnologias de mapeamento por RPA e o suporte operacional do Sistema de Defesa Civil de Maceió constitui uma estratégia eficiente para o gerenciamento de áreas de risco. Essa integração possibilita a identificação precisa de pontos vulneráveis e a implementação imediata de medidas mitigadoras, como a instalação de lonas plásticas, contribuindo de forma significativa para a prevenção de deslizamentos e para a proteção das comunidades afetadas durante o período chuvoso.

A comparação dos mapas de 2023, 2024 e 2025 da Grota Santa Helena, em Maceió, mostra uma evolução gradual das ações de contenção e prevenção de deslizamentos na área. Em 2023, havia 13 pontos de colocação de lona, distribuídos principalmente na parte leste e central da grota, com menor presença na porção oeste, próxima ao bairro Petrópolis. Em 2024, observa-se uma redução para 11 pontos, sugerindo uma reorganização ou priorização das áreas de maior risco. Já em 2025, o número de pontos aumenta significativamente para 18, indicando uma ampliação das medidas de proteção e monitoramento. Essa expansão cobre áreas antes não contempladas, especialmente no setor oeste, além de reforçar pontos críticos identificados nos anos anteriores.

Os dados de 2023 e 2024 indicam que a utilização de lonas plásticas contribuiu para a mitigação dos processos erosivos e a redução do risco de novos deslizamentos, especialmente nos pontos onde houve antecipação da intervenção. Contudo, também se destaca a importância de aprimorar o monitoramento das áreas críticas, visando à substituição das lonas degradadas e à implementação de soluções permanentes de engenharia, considerando que o material apresenta limitada durabilidade frente à exposição prolongada ao sol e à umidade.

Os resultados apontam que, embora o uso das lonas tenha contribuído para

conter parcialmente os processos erosivos, a frequência dos deslizamentos em 2025 evidencia a necessidade de reforçar o monitoramento e adotar soluções de engenharia mais duradouras, como drenagem superficial e revegetação das encostas. A análise temporal de 2023 a 2025, demonstra que a ação preventiva isolada é insuficiente diante de eventos climáticos extremos, sendo essencial a integração entre medidas estruturais e não estruturais para a gestão eficiente do risco geotécnico na Grota Santa Helena.

Dessa forma, conclui-se que o Modelo Digital de Elevação (MDE), aliado à análise do contexto urbano da Grota Santa Helena, constitui um instrumento fundamental para o diagnóstico e gestão de áreas suscetíveis a movimentos de massa. O uso contínuo do MDE, associado a levantamentos de campo e monitoramento remoto, permite identificar com maior precisão as zonas críticas e orientar intervenções preventivas mais eficazes.

Portanto, o mapa de calor se consolida como uma ferramenta fundamental para subsidiar o planejamento urbano e a atuação da Defesa Civil, permitindo a priorização de intervenções e o monitoramento contínuo das áreas de maior risco.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F; OLIVEIRA FILHO, P. C. de. **Obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato e videografia por meio de aeromodelo artesanal adaptado**. In XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Anais p 8984 – 8991, 2011.

BARBIRATO, Gianna Melo et al. **Análise do Clima Urbano de Maceió-Al: comparações entre diversas escalas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA.p. 628-634.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007 176 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem dos rios**. Brasília, p. 176, 2007.

CEMADEN. **Movimentos de massa.** Disponível em: http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/. Acesso em: 12 de nov, 2025.

CORREIA, N. A. A. **Metodologia para a preparação de Cartografia Topográfica Vetorial, com Nível de Detalhe 1 (NdD1), com base num levantamento topográfico com recurso a "Unmanned Aircraft Systems"(UAS)**. 2025. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geologia, hidrogeologia e riscos geotécnicos na região de Maceió (AL).** Brasília: CPRM, 2019. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/22756/1/Diagnostico_Maceio_AL_normalizad

o.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

CPRM — Serviço Geológico do Brasil. **Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Brasília: CPRM, 2019.

CPRM — Serviço Geológico do Brasil. Nota Técnica: **Procedimentos para Mapeamento de Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações**. Brasília: CPRM, 2018.

CURCINO, Ícaro Rocha et al. Impacto da expansão agrícola na demanda por unidades armazenadoras e sua relação com a produção de soja e milho nas microrregiões no estado do Tocantins. **Revista Sítio Novo**, v. 9, p. e1737-e1737, 2025.

EGAS, Harideva Marturano et al. Landslides Rio Grande Do Sul April- May 2024. Zenodo, 2024. Disponível em: https://zenodo.org/records/13225473. Acesso em: 19 nov 2025.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnostico ambiental do municÍpio de Maceió, AL: levantamento semidetalhado de solos, potencial agroecológico das terras, áreas de risco para construção civil e de risco de poluição, uso atual das terras**. Recife – 2005.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p. 51-71, 2001. ISSN 1.

FERREIRA, D. M; DE SOUSA ARAÚJO, F. Além da linha do horizonte: Delineando a urbanização da Grota Poço Azul em Maceió (AL). **Revista Territorialidades**, v. 1, n. 1, p. 36-57, 2020.

GUIMARÃES, R. F. et al. **Movimentos de Massa.** In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 6, p. 159 – 184.

G1. **Deslizamento de terra obstrui faixa da Av. Pierre Chalita, em Maceió**. Disponível em: https://g1.globo.com/al/alagoas/arquivo/noticia/2022/08/03/barreira-desaba-e-obriga-motoristas-a-dividir-faixa-da-avenida-pierre-chalita-em-maceio.ghtml. Acesso em: 12 de out, 2025.

IBGE - **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Página Principal do IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 10 de jun de 2025.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 10 de nov, 2025

JAPIASSÚ, L. A. T. **Expansão urbana de Maceió, Alagoas: caracterização do processo de crescimento territorial urbano em face do plano de desenvolvimento –7 de 1980 a 2000**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado – Deha, Universidade Federal de Alagoas, Maceio, p. 173, 2015.

LONGLEY, Paul A. et al. **Geographic information science and systems**. John Wiley & Sons, p. 480, 2015.

LOPES, J. A. U. **Encostas: evolução, equilíbrio e condições de ocupação**. Oficina de Textos, p. 342, 2017.

MARQUES, C. P. M., & Junior, A. P. M. Artificialização de cursos d'água urbanos e transferência de passivos ambientais entre territórios municipais: reflexões a partir

do caso do Ribeirão Arrudas, Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG. **Revista Geografias**, v. 10, n. 2, p. 100-117, 2014.

MESQUITA, A. **O avanço dos drones**. Agro DBO, p. 20-25, 2014. Disponível em:http://rmpcecologia.com/disciplinas/impactos/literatura_drones/ref_03.pdf. Acesso em 10 de Junho de 2025.

MONTEIRO, F. L.; DI GREGÓRIO, L. T.; MENDONÇA, M. B. D. Aspectos do licenciamento urbanístico considerando o risco de movimentos de massa em Nova Friburgo, RJ. **Ambiente Construído**, v. 25, p. e138916, 2025.

NASCIMENTO, J. P. S. **Eventos extremos: o impacto da crise climática nas migrações no Brasil**. 2024. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

NOGUEIRA, Fernando Rocha et al. Cenários de risco no Brasil: um panorama atualizado sobre a diversidade nacional. **GIRD**, v. 10, p. 52-89, 2021.

OVANDO, A. **Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais**. Disponível em: https://www.escolavirtual.gov.br/. Acesso em: 10 de Nov, 2025.

PACHECO, A. C. D. **Comparação dos materiais utilizados para prevenção de deslizamento de encostas a partir da análise de ciclo de vida**. 2023. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

PIZZATO, E., GRAMANI, M. F. **Mapeamento geotécnico aplicado aos 190 riscos geológicos de movimentos gravitacionais de massa**. In: GÜNTER, W. M. R.; CICCOTTI, L.; RODRIGUES, A. C. Desastres: múltiplas abordagens e desafios. Rio

de Janeiro: Elsevier, 2017, p. 211-229.

Prefeitura Municipal de Maceió. **Plano Municipal de Redução de Riscos**. Org. FIGUEIREDO, M.; CALHEIROS, M. M.; RAMOS, V. C. L.; SILVA, H, F, da.; FERREIRA, A. C. 2007.

RIFFEL, E. S; GUASSELLI, L. A; BRESSANI, L. A. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 285-305, 2016.

ROSA R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**. UFU: Apostila Uberlândia, p. 142, 2013.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do departamento de geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

SANTOS, A. F. R. D. **Limiares críticos de chuvas no município de Maceió-AL: uma correlação estatística entre pluviosidade e movimentos massa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, p. 76, 2022.

SILVA, J. C. da; PEREIRA, M. L.; ALMEIDA, R. **Sistemas de Informação Geográfica aplicados aos estudos ambientais**. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2014.

SILVA, L. J. da; FERREIRA, P. C. Lonas plásticas e emergências ambientais: estudo de caso em encostas urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 26, n. 1, 2020.

SOUZA, M. L. **Injustiça ambiental e direito à cidade**. Belo Horizonte: UFMG, 2019.

TAVARES, G; FRANÇA, C. S. B. Percepção, riscos e escolas: educação ambiental nos arredores dos riscos geofísicos. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, v. 10, p. 1-15, 2023.

TAVARES, M.W.Q. **Vant na topografia**: evolução tecnológica. 2017. TCC (Graduação) –Universidade Regional do Cariri-URCA, Juazeiro do Norte, CE, 2017.Disponívelem:http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=vant_na_topografia_evolucao_tecnologica_.pdf. Acesso em: 18 fev. 2022.

TECNOLÓGICAS – IPT – **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas** – IPT, 2007. 176 p.

TOMAZONI, J. C; GUIMARÃES, E. **Introdução ao QGIS-OSGeo4W-3.30**. 2 ed. Oficina de Textos, p. 320, 2024.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP.** São Paulo, 2007. 220p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.