DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/82

Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento e Avaliação da Vulnerabilidade a Deslizamentos: Integração de Aerofotogrametria e Geoprocessamento no Alto do Reservatório, Recife–PE entre os anos de 2010 e 2025.

Otávio Wesley Cavalcanti Faustino
Doutorando Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, otavio.faustino@ufpe.br

Silvio Romero De Melo Ferreira
DSc Docente Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, silvio.mferreira@ufpe.br

Larissa Ferreira Gomes De Araújo
Doutoranda Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, larissa.ferreira@ufpe.br

Glauber Carvalho Costa
Doutorando em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, glaubercad@gmail.com

RESUMO: Os desastres naturais têm se tornado mais frequentes no mundo, destacando-se os deslizamentos de terra como um dos eventos mais recorrentes e impactantes, responsáveis por perdas humanas e prejuízos econômicos e socioambientais. Esses fenômenos estão relacionados às características geomorfológicas, aos fatores climatológicos — especialmente a incidência de chuvas — e à ocupação antrópica em áreas de risco, que reforça a importância da identificação, controle e monitoramento contínuo dessas regiões. O artigo tem como objetivo utilizar geoprocessamento e geotecnologias para mapear áreas de vulnerabilidade e analisar a evolução da ocupação em regiões suscetíveis a deslizamentos no Alto do Reservatório, no bairro de Nova Descoberta às margens da BR-101, em Recife/PE. A pesquisa abrange o período de 2010 a 2025, com base em dados aerofotogramétricos obtidos através de Aeronave Remotamente Pilotada (Drone), DJI Mavic e os softwares Google Earth Pro e QGIS. Os resultados permitiram identificar alterações no relevo, na drenagem e no fluxo das águas pluviais, bem como expansão da ocupação humana e ações antrópicas que ampliaram o risco de acidentes. O estudo fornece subsídios técnicos para apoiar o poder público na mitigação de possíveis acidentes nas áreas que podem sofrer novas rupturas ou agravar trechos já comprometidos e proteção da população local.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnologias, Deslizamentos, Aerofotogrametria, Alto do Reservatório, Recife.

ABSTRACT**:** Natural disasters have become increasingly frequent worldwide, with landslides standing out as one of the most recurrent and impactful events, responsible for human losses as well as economic and socio-environmental damage. These phenomena are related to geomorphological characteristics, climatological factors—especially rainfall—and human occupation in risk-prone areas, which reinforces the importance of identifying, controlling, and continuously monitoring these regions. This article aims to use geoprocessing and geotechnologies to map vulnerable areas and analyze the evolution of land occupation in regions susceptible to landslides in Alto do Reservatório, in the Nova Descoberta neighborhood, along the BR-101 highway, in Recife, Pernambuco, Brazil. The research covers the period from 2010 to 2025, based on aerophotogrammetric data obtained using Remotely Piloted Aircraft (Drone aerial), DJI Mavic Air 2S and the software Google Earth Pro and QGIS. The results made it possible to identify changes in relief, drainage, and rainwater flow, as well as the expansion of human occupation and anthropogenic actions that have increased the risk of accidents. The study provides technical support to assist public authorities in mitigating potential accidents in areas that may experience new failures or worsening conditions in already compromised sections, as well as in protecting the local population.

KEYWORDS: Geotechnologies, Landslides, Aerial Photogrammetry, Alto do Reservatório, Recife

1 INTRODUÇÃO

Os desastres resultam da combinação entre ameaça natural, vulnerabilidade e exposição humana. O fenômeno pode ser natural, mas o desastre é socioambiental. Esses fenômenos estão cada vez mais frequentes em todo o mundo, e os deslizamentos de terra são considerados os mais comuns, causando perdas de vidas e prejuízos econômicos e socioambientais (Araújo, L.F.G. *et al.*, 2025). No Brasil, a alta ocorrência desses eventos deve-se principalmente às características geomorfológicas, aos condicionantes climatológicos, especialmente a frequência de chuvas e à ocupação antrópica em áreas de risco. Diante de perdas de vidas, prejuízos financeiros a identificação, o controle e o monitoramento dessas áreas tornam-se importantes.

Os deslizamentos ou escorregamentos são entendidos como movimentos de massa, desprendimento de material de origem diversa (solo, rocha e/ou vegetação) devido à ação da gravidade, que resulta da ruptura ou desestabilização do talude, podendo vir a causar, dependendo do risco e vulnerabilidade envolvidos, danos sociais, econômicos e ambientais. Quando esses fenômenos naturais atingem áreas habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais (Tominaga *et al.*, 2009).

Em relação aos deslizamentos o risco do Recife é crítico, o índice de risco crítico para a cidade do Recife foi calculado com base na metodologia desenvolvida pelo Banco Mundial e a Universidade de Columbia - New York (Prefeitura do Recife, 2019). O índice final considera a sobreposição da ocorrência do risco crítico de cinco ameaças: inundação fluvial, seca meteorológica, ondas de calor, doenças transmissíveis e deslizamentos. Os fatores que explicam o valor de alto risco são uma combinação das características de alta sensibilidade social, refletida pela precariedade habitacional e baixa capacidade de adaptação.

O município do Recife está inserido neste contexto nacional, pois, sua composição da área territorial é composta por 67,43% de morros, 23,26% de planícies; 9,31% de aquáticas, dentro dessa área 5,58% são Zonas Especiais de Preservação Ambiental, concentrando um terço de sua população em áreas de risco (SEDEC, 2025), população essa que em sua grande maioria são compostas por famílias de baixa renda, sem condições adequadas para construção de moradias seguras neste tipo de relevo, agravando o problema das habitações em áreas de risco em encostas atualmente um dos desafios sociais e econômicos encontrados no município.

O artigo utiliza ferramentas de geoprocessamento e geotecnologias, com o objetivo de auxiliar no mapeamento das áreas de vulnerabilidade e na análise da evolução da ocupação e da ação antrópica em regiões suscetíveis a deslizamentos no Alto do Reservatório, no bairro de Nova Descoberta às margens da BR-101, em Recife/PE. A área é caracterizada por ocupação antrópica, com histórico de acidentes, com perdas de vidas em 29 de abril de 1996 (Ferreira e Lima, 2002) e em anos subsequentes ocorreram escorregamentos. A pesquisa envolve uma análise temporal de 15 anos, entre 2010 e 2025, utilizando dados aerofotogramétricos para avaliar o talude, observando se houve massa deslocada no período, modificações no relevo, evolução da ocupação humana, a drenagem e as ações antrópicas que aumentam o risco de acidentes.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área estudada faz parte do município do Recife (Figura 1), capital do estado de Pernambuco, que possui população estimada de 1 milhão e 588 mil habitantes, com área territorial de 218,84 km². Desse total, aproximadamente 143 km² correspondem a áreas urbanizadas, resultando em elevada densidade populacional, de cerca de 6,8 mil habitantes por km². Em relação à infraestrutura sanitária, apenas 68,28% da população dispõe de esgotamento sanitário por rede geral, rede pluvial ou fossa ligada à rede. Além disso, aproximadamente 206 mil pessoas vivem expostas a riscos associados à ocupação de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos nas planícies, bem como a escorregamentos e deslizamentos nas áreas de morros (IBGE, 2022). O zoneamento urbanístico municipal da cidade do Recife é composto por áreas denominadas de ZEIS (Zona Especial de Interesse Social), áreas de assentamentos habitacionais de população de baixa renda, surgidos espontaneamente, propostos pelo Poder Público, onde haja possibilidade de urbanização e regularização fundiária (Prefeitura do Recife, 2019).

As áreas mais sinuosas do município são popularmente chamadas de morros, do ponto de vista geomorfológico são denominadas de Tabuleiros Costeiros pertences ao domínio morfoestrutural do Planalto Sedimentar Litorâneo, essa unidade sofreu processos de rebaixamento em direção à costa permitindo assim a formação de feições sinuosas e topos arredondados, com altitudes que variam de 40m a 80m e encostas com declividade elevada (Santana, J.K, 2019).

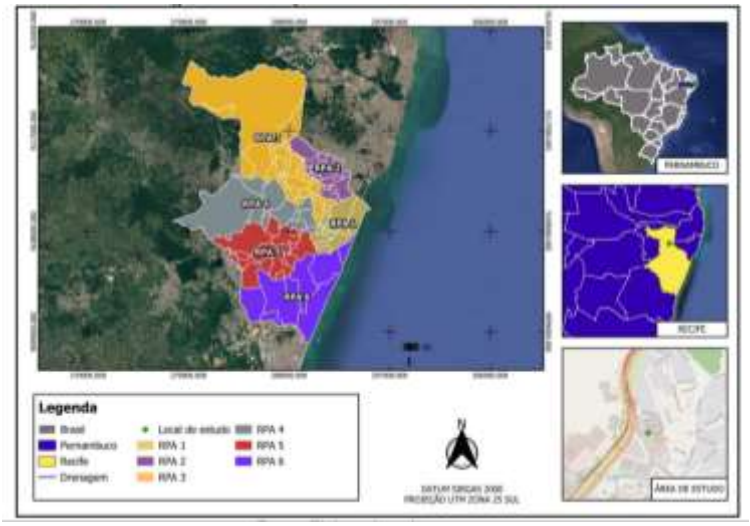


Figura 1 - Distribuição das RPAs da cidade do Recife - PE
Fonte: Autores (Adaptado de Aráujo *et al.*, 2025)

A vegetação predominante na cidade do Recife é a Mata Atlântica e o clima é tropical-úmido (PCR, 2019). É durante o período de abril a julho (quadra chuvosa) que se dão os maiores acumulados de chuva. Os sistemas meteorológicos que ocorrem nessa época são provindos do oceano e se destacam por causar chuvas mais homogêneas, acompanhadas de temperaturas mais amenas e aumento na umidade relativa do ar.

De acordo com o documento de análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e estratégia de adaptação do município do Recife (Prefeitura do Recife, 2019), considerando todos os modelos e cenários, existe alto risco de ocorrências principalmente nas RPAs 2, 5 e 6, porém, distribuído de forma não uniforme espacialmente, conforme apresenta a Figura 2. Sendo destacado a localização da área estudada no artigo.

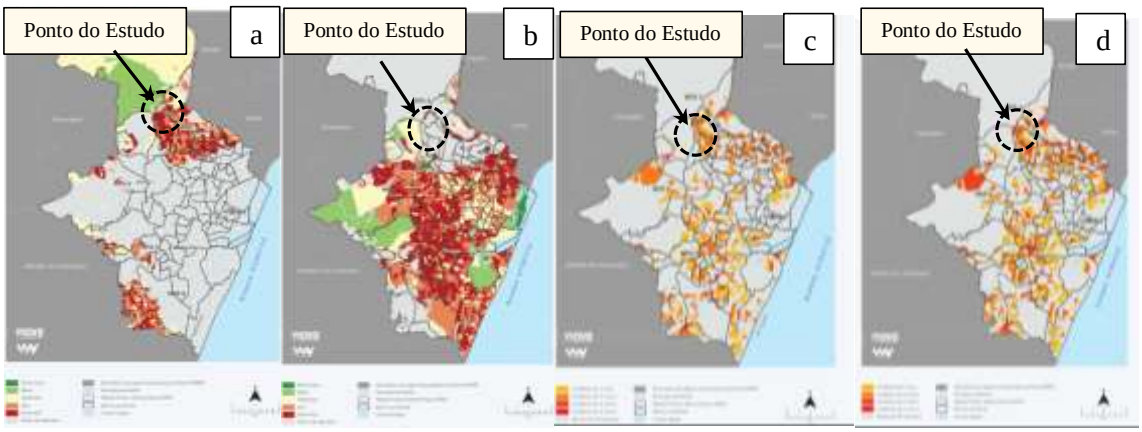


Figura 2 – Risco de Deslizamento (2a), Risco inundação (2b), Análise de riscos climáticos para o Recife/PE hoje (2c) e Projeção de riscos climáticos para o Recife/PE em 2040 (2d)
Fonte: Autores (Adaptado Prefeitura do Recife, 2019)

3 METODOLOGIA

Na área de estudo foi realizada a coleta de aeroimagens por meio de ARP - Aeronave Remotamente Pilotada (Drone aéreo) modelo DJI Mavic Air 2S munida de câmera RGB de 20 megapixels, sendo executado voo automático no Drone Harmony, mantendo uma altura constante para a superfície do terreno de 120m e sobreposição longitudinal de 80% e transversal de 75%, tendo como resultado após processamento um no programa Agisoft Metashape com GSD médio de 3,6 cm/pixel. Para o monitoramento temporal do presente estudo, foram utilizadas imagens orbitais entre os anos de 2010 até 2025 do Google Earth Pro, (Figura 3a) gerada pelo aerolevantamento com a ARP em 2026, sendo também empregado o QGIS para auxiliar nas

análises dos dados, também foram gerados os Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 3b) e Modelo Digital do Terreno (MDT) a partir do aerolevantamento executado com a ARP.

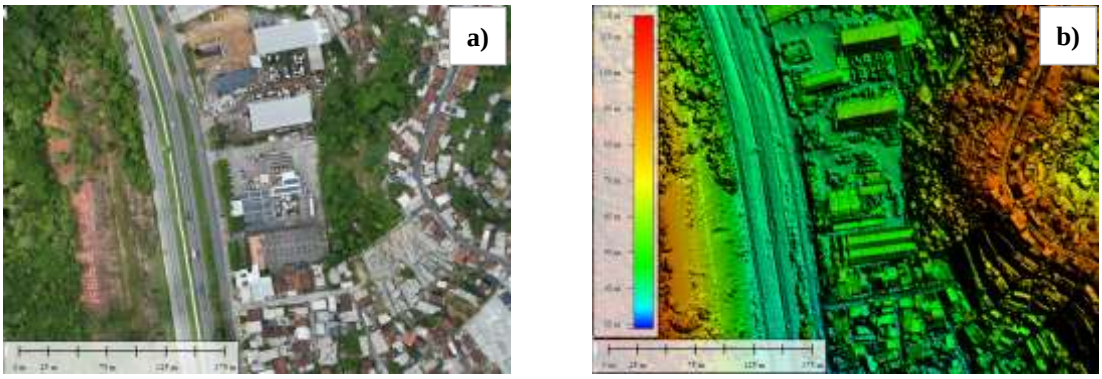


Figura 3. a) Vista da Ortoimagem (2026) e b) Modelo Digital de Elevação (MDE)
Fonte: Autores.

Também com o intuito de observar a abrangência da ocupação da área, foram coletadas aeroimagens panorâmicas com a ARP, conforme exemplificado na Figura 4a, e como resultado do processamento no programa Agisoft Metashape, também foi gerado um modelo 3D renderizado, proporcionando uma melhor visualização da encosta e possibilitando a realização de medição do modelo e geração de perfis, isso inclusive com uso do programa Agisoft Viewer, que é um aplicativo gratuito, desenvolvido pela Agisoft (Figura 4b).

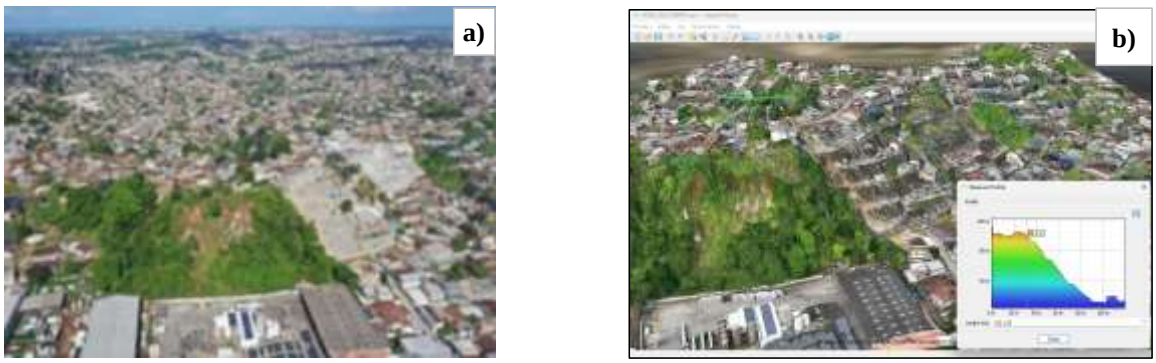


Figura 4. a) Vista da Aeroimagem Panorâmica 2026 e b) Modelo 3D renderizado no programa Agisoft
Fonte: Autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Expansão da ocupação antrópica na área estudada

Conforme, figura 5, ao longo de 13 anos, de junho de 1997 a novembro de 2010, é possível observar a evolução antrópica nos morros dos bairros estudados, no Alto do Reservatório Nova Descoberta, Recife/PE.

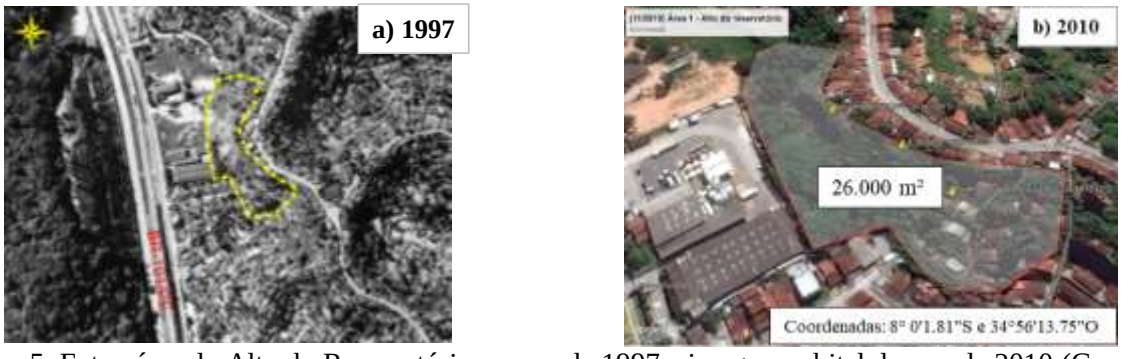


Figura 5. Foto aérea do Alto do Reservatório no ano de 1997 e imagem orbital do ano de 2010 (Google).
Fonte: Autores.

A expansão das moradias no Alto do Reservatório, no bairro de Nova Descoberta, em Recife (PE), ocorreu de forma desordenada e sem planejamento urbano. Esse processo resultou na evolução da ocupação e da estrutura urbana da área, incluindo a realização de cortes no talude da encosta, associados ao crescimento populacional decorrente de fluxos migratórios e à consequente apropriação inadequada do ambiente natural. A análise temporal para os anos de 2010, 2014, 2017 e 2025 evidencia que, além do avanço da urbanização, houve a implementação de infraestrutura, bem como a desapropriação de áreas próximas às margens da BR-101 e redução da vegetação nativa, conforme ilustrado no trecho em destaque (Figuras 6a, 6b, 6c e 6d).



Figura 6 – a) Cortes na encosta; b) Novas Construções, c) Deslizamento e Lonas d) Obra de Contenção.
Fonte: Autores

4.2 Aplicações de Lonas em áreas de encostas

Na Figura 7, observa-se a presença de lonas plásticas instaladas nas encostas, utilizadas pelo poder público como medida emergencial para reduzir a infiltração de água no solo argiloso do talude. A Figura 7a indica que a implantação dessas lonas ocorreu em meses anteriores a julho de 2017. No entanto, entre agosto e dezembro do mesmo ano, muitas dessas lonas já se encontravam danificadas, reduzindo sua eficácia em menos de dois meses após a instalação (Figura 7b).



Figura 7 – a) Aplicações de Lonas em áreas de encostas; b) Lonas danificadas
Fonte: Autores

4.3 Acidentes e obra de contenção com tela argamassada

Em 2023, em decorrência de fortes chuvas, ocorreu um deslizamento na área estudada (Figura 8a). Posteriormente, em março de 2024, foram iniciadas as obras de contenção por meio da implantação de tela argamassada (Figura 8b), cuja execução teve duração aproximada de oito meses, sendo concluída em novembro de 2024 (Figura 8c). No entanto, em agosto de 2025 já é possível observar o crescimento de vegetação e a presença de novas construções sobre a área estabilizada, o que pode comprometer o desempenho da estrutura implantada (Figura 8d).

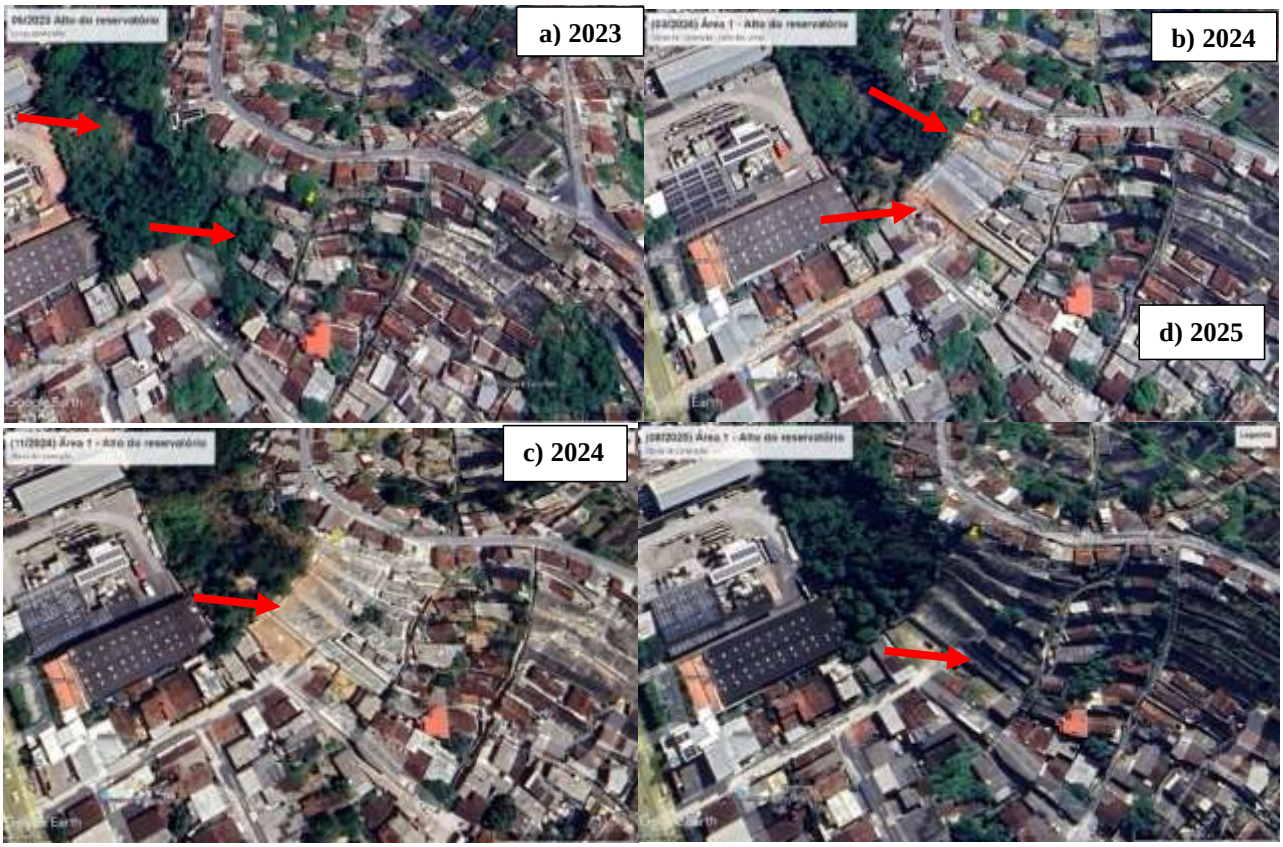


Figura 8- a) deslizamento; b) início das obras de contenção; c) obra de contenção e d) novas construções.
Fonte: Autores

Em 2018, ocorreu um acidente próximo ao local do deslizamento registrado em 2023, evidenciando a recorrência de instabilidades na área. Situações como essa poderiam ser melhor monitoradas por meio de

acompanhamento *in loco* e pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto, conforme ilustrado na Figura 9. Observam-se ainda fatores antrópicos que contribuem para a instabilidade da encosta, como o descarte irregular de resíduos, o desmatamento da vegetação natural, a ocupação irregular e a ausência de ações sistemáticas de planejamento de curto e médio prazo por parte do poder público para prevenir ou mitigar movimentos de massa na área.



Figura 9 –a) Vegetação preservada; b) Lançamento de resíduos e Desmatamento na movimentação da encosta
Fonte: Autores

A Figura 10 apresenta imagens da área obtidas nos anos de 2010, início das análises, e de 2025. Percebe-se que grande parte das construções foi atingida pelo deslizamento ocorrido em 2023 e, posteriormente, substituída pela obra de contenção em tela argamassada.



Figura 10 – a) Construções antes do deslizamento; b) Depois do acidente e obra de contenção argamassada
Fonte: Autores

4.4 Comparação de áreas com vegetação e com ação antrópica

Próximo da encosta do outro lado da BR 101, há uma área de proteção ambiental, onde não teve ações antrópicas durante o período de análise e que a vegetação foi preservada não foram observados indícios evidentes de movimentos de massa nas imagens analisadas, o que pode estar associado, entre outros fatores, à manutenção da cobertura vegetal. (Figuras 11)



Figura 11 – Influência da vegetação nas movimentações de massas em encostas
Fonte: Autores

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o uso combinado de geotecnologias, aerofotogrametria e análise temporal constitui ferramenta essencial para compreender a dinâmica de áreas suscetíveis a deslizamentos, representa a etapa de validação prática das metodologias de aquisição, processamento e integração de dados geoespaciais em ambientes urbanos complexos. O conjunto de produtos gerados — ortomosaico, base cartográfica, Modelos Digitais de Superfície (MDS) e de Terreno (MDT) e mapas temáticos, apresenta uma base cartográfica de alta resolução, tecnicamente validada e aplicada de forma interdisciplinar. Esses resultados evidenciam não apenas o potencial do uso de drones de baixo custo, softwares livres e ferramentas de coleta georreferenciada, mas também a viabilidade de padronização e validação de geotecnologias voltadas ao planejamento urbano e ambiental em áreas de vulnerabilidade socioambiental fornecendo subsídios técnicos indispensáveis para auxiliar o poder público na tomada de decisões para a mitigação de riscos e a proteção da população local.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da UFPE e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio ao projeto com processo nº 408102/2023-3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, L.F.G. *et al.* (2025). *Panorama Geral Das Ocorrências Associadas A Movimentos De Massa Em Encostas Na Cidade Do Recife* – PE. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, *14*(2), e1764.

Ferreira, S.R.M.; Lima, A.F. (2002) Análise de estabilidade de uma encosta da Formação Barreiras no Recife-PE In: XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, São Paulo. *Anais*...ABMS, v.2, p.1183 – 1192.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Cidades e Estados: Recife*. Censo 2022.

Tominaga, L. K. *et al*. *Desastres naturais conhecer para prevenir*. 1ed. Instituto Geológico. São Paulo, 2009.

Prefeitura da Cidade do Recife (PCR) *et al*. *Análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e estratégia de adaptação do município do Recife – PE*. Recife: out. 2019.

Santana J.K.R. *Análise evolutiva da ocupação dos morros da cidade do recife*. In: Anais do XVI Simpósio Nacional de Geografia Urbana - XVI SIM-PURB, 2019.

Secretaria Executiva de Defesa Civil do Recife – SEDEC (2025) *Plano de contingência 2025*. Recife, 147 p