

**ELABORAÇÃO DO SIGWEB DA CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À  
URBANIZAÇÃO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE: UMA  
ABORDAGEM INTEGRADA COM DADOS 2D E 3D**

Betânia Queiroz da Silva <sup>1</sup>; Roberto Quental Coutinho <sup>2</sup>

**Resumo** – O artigo apresenta o desenvolvimento de um SIGWeb da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização (CGAU) para o município de Jaboatão dos Guararapes (PE), como ferramenta de suporte ao planejamento urbano e à redução de riscos e desastres. Diante do crescimento urbano desordenado em áreas de alta suscetibilidade, o estudo busca integrar tecnologias geoespaciais 2D e 3D, promovendo cidades mais seguras e sustentáveis, em consonância com o ODS 11 e a Lei nº 12.608/2012. A metodologia envolveu a construção de um banco de dados geoespacial em ambiente SIG, com base em dados vetoriais e matriciais organizados no sistema SIRGAS2000, utilizando ferramentas do ArcGIS Enterprise. Foram integrados Modelos Digitais de Terreno (MDT), de Elevação (MDE), ortofotos e informações sobre licenciamento ambiental, deslizamentos e inundações. Os dados tridimensionais foram obtidos por LIDAR e aerofotogrametria, alcançando alta precisão cartográfica (PEC Classe A e B). O SIGWeb permitiu a visualização interativa e análise integrada de camadas, ampliando o conhecimento sobre o meio físico e subsidiando políticas públicas. O sistema oferece suporte à tomada de decisão em áreas críticas, contribuindo para a prevenção de desastres e a gestão territorial eficiente. Conclui-se que o uso de geotecnologias aplicadas à CGAU representa um avanço significativo para a resiliência urbana e o ordenamento do território em contextos urbanos vulneráveis.

**Abstract** – This paper presents the development of a WebGIS platform for the Geotechnical Urbanization Suitability Map (CGAU) of Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco (Brazil), designed as a decision-support tool for urban planning and disaster risk reduction. In light of unplanned urban growth in highly susceptible areas, the study aims to integrate 2D and 3D geospatial technologies to promote safer and more sustainable cities, in accordance with Sustainable Development Goal 11 (SDG 11) and Federal Law No. 12.608/2012. The methodology involved constructing a geospatial database within a GIS environment, using vector and raster data organized under the SIRGAS2000 reference system and implemented through ArcGIS Enterprise tools. Digital Terrain Models (DTMs), Digital Elevation Models (DEMs), orthophotos, and information on environmental licensing, landslides, and flooding were integrated. Three-dimensional data were obtained through LiDAR and aerial photogrammetry, achieving high cartographic accuracy (PEC Classes A and B). The WebGIS enabled interactive visualization and integrated spatial analysis, enhancing understanding of the physical environment and supporting public policy planning. The platform serves as a critical decision-making tool, contributing to disaster prevention and efficient land-use management. The study concludes that the application of geotechnologies to CGAU represents a significant advancement in urban resilience and territorial planning in vulnerable contexts.

**Palavras-Chave** – VANT; geotecnologias 2D e 3D; prevenção de desastres.

---

<sup>1</sup> Geógrafa, PhD em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), (81) 99986-0143, betania.queiroz@ufpe.br

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, PhD em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Pós-doutor pela University of California at Berkeley - Geotechnical Engineering Group, (81) 99132-2702, roberto.coutinho@ufpe.br

## 1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional nas grandes metrópoles brasileiras está diretamente associado ao êxodo rural, intensificado entre as décadas de 1960 e 1980. Esse fenômeno, impulsionado por fatores atrativos como a industrialização e repulsivos como a modernização agrícola, resultou em uma migração massiva de populações do campo para os centros urbanos (IBGE, 2006). No entanto, ao contrário da urbanização europeia, que foi acompanhada pela geração de empregos urbanos, o Brasil experimentou um crescimento urbano dissociado da expansão do mercado de trabalho, contribuindo significativamente para a intensificação da marginalização e das desigualdades sociais.

Segundo o Censo de 2022, 87,4% da população brasileira vive em áreas urbanas (IBGE, 2024), revelando um padrão de urbanização marcado pela ocupação desordenada e pela vulnerabilidade socioespacial. Esse cenário é agravado pela expansão urbana sobre áreas ambientalmente frágeis, como encostas e planícies de inundação, frequentemente ignorando as características físico-ambientais das bacias hidrográficas. Como consequência, cresce a exposição da população a desastres naturais, como deslizamentos e inundações.

O Brasil tem vivenciado eventos extremos com frequência crescente. Entre 2007 e 2011, mais de 12 milhões de pessoas foram afetadas por desastres naturais. A tragédia na Região Metropolitana do Recife (RMR), em 2022, com mais de 127 mortes e 4.000 desabrigados, e as inundações de 2024 no Rio Grande do Sul, representam exemplos recentes de catástrofes que evidenciam a urgência de políticas de ordenamento territorial e prevenção de riscos (UFSC, 2013; MARENGO et al., 2023; INMET, 2024; UFRGS, 2024).

Diante desse contexto, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), metas voltadas à construção de cidades inclusivas, resilientes e sustentáveis, conforme delineado no ODS 11. Alinhada a esse propósito, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei Federal nº 12.608/2012, estabelece diretrizes para a prevenção e mitigação de desastres, integrando instrumentos como o mapeamento de áreas de risco e a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização (CGAU).

A CGAU é uma ferramenta essencial no planejamento urbano, pois orienta o uso e a ocupação do solo com base na capacidade de suporte do meio físico, subsidiando decisões sobre licenciamento de empreendimentos e revisão de planos diretores. Estudos como os de Varnes (1974), Zuquette (1987), Cerri (1990), Coutinho (2013, 2024) e Nogueira e Canil (2017) delinearão metodologias para a elaboração dessas cartas em diferentes escalas, desde análises gerais até estudos de detalhe para projetos de engenharia.

Neste contexto, destaca-se a atuação do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (GEGEP/UFPE), que desenvolve metodologias voltadas à cartografia geotécnica e à redução de riscos em áreas urbanas. O grupo tem como objetivo incorporar novas tecnologias nas análises espaciais integradas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), utilizando dados bidimensionais e tridimensionais. Este estudo integra um projeto em fase final de desenvolvimento, que será disponibilizado ao público a posteriori.

Destarte, o objetivo principal deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um SIGWeb da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, como uma ferramenta de suporte à análise, gestão e planejamento urbano no município de Jaboatão dos Guararapes. A proposta integra dados 2D e 3D para aprimorar o conhecimento sobre o meio físico e subsidiar políticas públicas voltadas à redução de vulnerabilidades e à construção de território mais resiliente.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O município de Jaboatão dos Guararapes localiza-se ao sul da capital pernambucana e integra a Região Metropolitana do Recife (RMR), estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil (Figura 01). Ocupando uma área total de 258,724 km<sup>2</sup>, composta por zonas urbanas e rurais. A hidrografia local é dominada pelos rios Pirapama e Jaboatão, de padrão dendrítico e drenagem

perene, além de elementos hídricos de importância ambiental como a lagoa Olho d'Água, pertencente ao complexo estuarino de Barra de Jangada. No que se refere ao relevo, o município apresenta três domínios morfológicos principais: morros e colinas (denudação), terraços e planícies (acumulação), cuja distribuição estão associados aos processos geológicos e à dinâmica tectônica regional.

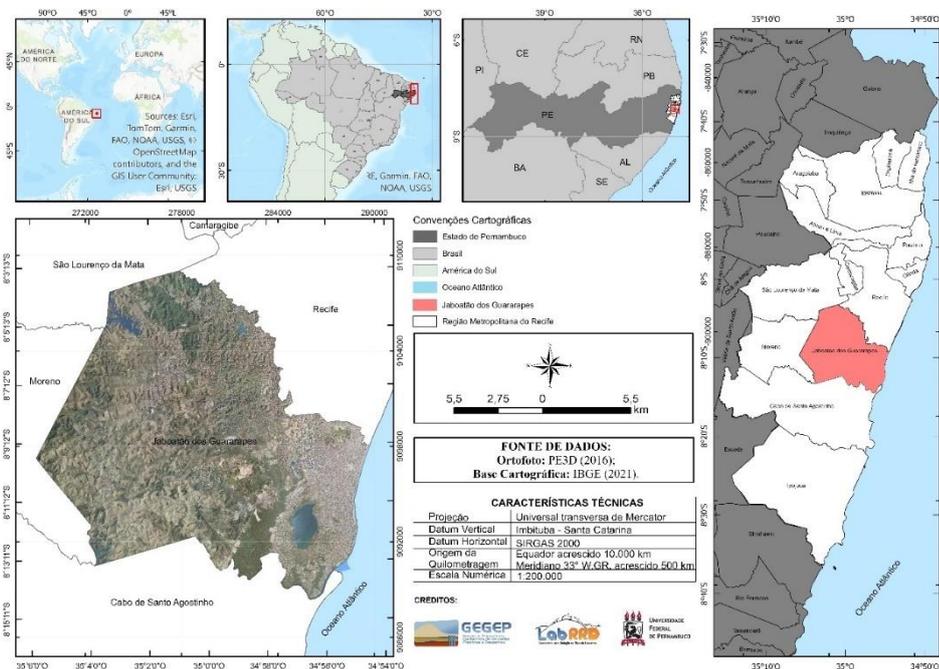


Figura 01. Localização do município do Jaboatão dos Guararapes, PE.

## 2.1. Características Físicas e Socioeconômicas

O município está assentado sobre duas grandes unidades geológicas: o Embasamento Cristalino, com rochas pré-cambrianas como gnaisses, migmatitos e granitoides; e a Bacia Pernambuco, formada durante o Cretáceo com a abertura do Atlântico. O relevo sobre o Embasamento é colinoso, com solos espessos sujeitos a deslizamentos, agravados por ações antrópicas como cortes em encostas.

O Complexo Granitóide, a sudoeste, também exibe instabilidade, com presença de cicatrizes e cones de detritos (ASSUNÇÃO et al. 1997; COUTINHO, 2019). A Bacia Pernambuco inclui a Formação Barreiras, Terraços Marinhos Pleistocênicos e Sedimentos Aluvionares. A Formação Barreiras, com sedimentos inconsolidados, favorece aquíferos livres, porém apresenta áreas suscetíveis a deslizamentos. Os Terraços Marinhos apresentam areias pouco consolidadas e os Sedimentos Aluvionares, de margens fluviais, são usados para abastecimento de populações carentes, sendo vulneráveis a inundações e contaminações (ASSUNÇÃO et al., 1997).

O relevo apresenta declividade com 67,5% da inclinação até 11°, sendo estas áreas preferenciais para urbanização, vale ressaltar que áreas próximas as encostas são suscetíveis a processos de deposição. Por outro lado, 3,5% do território apresenta declividades superiores a 27°, configurando-se como zonas de ocupação restrita ou de preservação permanente (SILVA, 2024).

O município de Jaboatão dos Guararapes possui uma população de 664.037 pessoas, segundo o Censo de 2022. A densidade demográfica é de 2.489,28 habitantes por km<sup>2</sup>, ocupando a 5ª posição em Pernambuco. Em 2021, o PIB per capita era de R\$ 22.680,83, colocando o município na 15ª posição entre 185 no estado e 6ª na Região Metropolitana do Recife (RMR). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) era de 0,717 em 2010, considerado alto, ocupando a 5ª posição no estado e a 4ª na RMR. Quanto a infraestrutura, 45,4% dos domicílios tinham esgotamento sanitário adequado, 20,3% estavam em áreas com arborização e 19,1% em vias

urbanas adequadas, enquanto 188.026 pessoas estavam expostas a riscos de inundações e deslizamentos.

### 3. DESENVOLVIMENTO DE SIGWEB 2D E 3D DA CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO EM JABOATÃO DOS GUARARAPES, PE

O uso de geotecnologias na engenharia tem avançado significativamente, promovendo melhorias na gestão, monitoramento e desenvolvimento de projetos urbanos e de infraestrutura. A integração entre SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e BIM (Building Information Modeling) permite a interoperabilidade entre dados geoespaciais e informações construtivas, favorecendo decisões mais eficientes, especialmente em planejamento urbano, infraestruturas e gestão de riscos.

Os SIGs são essenciais para o armazenamento, análise e visualização de dados espaciais, com aplicações destacadas em geologia e geotecnia (CÂMARA et al., 2004). Entre as principais aplicações:

- Bancos de dados do GEGEP/UFPE sobre argilas moles de Recife e João Pessoa (COUTINHO et al., 1996);
- Geologia de Engenharia no Brasil: uso de SIGs para cartas geotécnicas e modelagem numérica (CELESTINO & DINIZ, 1998) e Cartas de Aptidão à Urbanização com dados georreferenciados no Paraná e Santa Catarina (FLORES et al., 2017);
- Planejamento urbano em Teerã (Irã) (RAZMYAR & ESLAMI, 2018) e Uso em emergências como no RS em 2024, com WebMapa de cicatrizes de deslizamentos (ANDRADES FILHO & MEXIAS, 2024).

A estruturação do SIGWeb da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Jaboatão dos Guararapes envolveu a criação de um banco de dados geoespacial em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Utilizando ferramentas do ArcGIS Enterprise e ArcGIS Image Server (Figura 02). A separação do processamento da análise de raster distribuída e papéis de hospedagem de serviços de imagem permite que os recursos sejam dedicados a tarefas específicas sem interrupção. No Geoportal se buscou garantir a gestão, análise e interoperabilidade dos dados. Os dados foram organizados em geodatabases, adotando o sistema de referência SIRGAS2000 e a projeção cartográfica UTM 25S, nos formatos vetoriais e matriciais (shapefiles e GeoTIFFs). Além disso, os atributos dos dados foram inseridos ao longo de todo o processo de elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, permitindo um aprimoramento contínuo dos dados geoespaciais, desde a coleta até a finalização do produto no SIG. Essa estruturação contribui para a otimização de decisões, planejamento, monitoramento e compreensão da aptidão a urbanização do município.

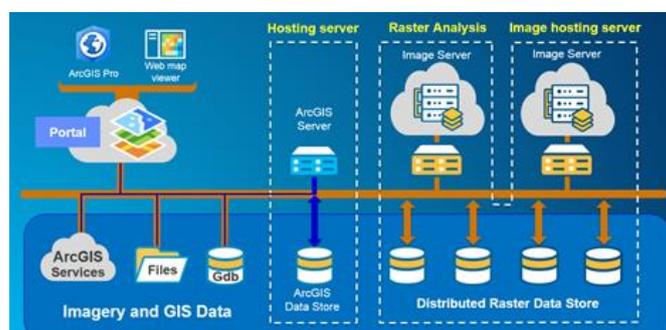


Figura 02. Modelo da implantação do Geoportal.

O Geoportal criado serve como uma plataforma interativa para visualização e análise espacial integrada, permitindo a sobreposição de camadas 2D — como Unidades de Aptidão à Urbanização, registros de deslizamentos e inundações de 2022, e ortofotos — e camadas 3D, incluindo Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e arquivos tridimensionais no formato. slpk. Essa integração facilita a interpretação do relevo, a identificação

de áreas de risco e o planejamento urbano baseado em dados técnicos e geoespaciais de alta resolução. A simbologia seguiu os padrões da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização proposta por Coutinho et al (2024).

A iniciativa está em consonância com a Lei nº 12.608/2012, o Marco de Sendai (2015), o Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) e o Decreto nº 10.306/2020, permitindo a integração entre SIG e BIM e alinhando-se às diretrizes da ODS 11 (meta 5), voltadas à construção de cidades sustentáveis, resilientes e seguras. Esse avanço tecnológico é essencial para a gestão territorial e prevenção de desastres, conforme destacado por Câmara, Monteiro e Medeiros (2004), CURSINO et al. (2020) e DNIT (2024).

### 3.1 Dados tridimensionais

Os dados de sensoriamento por LIDAR (Light Detection and Ranging) são obtidos por um sistema ativo que emite pulsos laser e mede o tempo de retorno do sinal refletido na superfície. Esse sistema é composto por um Laser Scanner, um GPS/GNSS para georreferenciamento preciso e um Sistema de Navegação Inercial (INS) para registrar a orientação do sensor (HUISING & GOMES, 1998).

Já a Fotogrametria, conforme definição da ISPRS, é a ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre objetos e o meio ambiente a partir de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética (COLWELL, 1983). Baseia-se em quatro resoluções essenciais: espacial, radiométrica, espectral e temporal (NOVO, 1992).

O Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D, 2015), utilizou a metodologia do mapeamento para representar os dados cartográficos no sistema geodésico de referência SIRGAS2000, projetadas para UTM fuso 25S. Os dados utilizados para elaboração do SIGWeb são ortofotos digitais articuladas e disponibilizadas em formato GeoTIFF; MDE (ASCII) – Modelo Digital de Elevação apresentado em formato XYZ, com as coordenadas de todos os pontos coletados pelo laser; MDT (RASTER) – Modelo Digital de Terreno obtido através do MDE ASCII, excluindo áreas com elevações como vegetação, edifícios, pontes, apresentado em formato GeoTIFF. O Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) dos dados planimétricos estão classificados na PEC Classe A (erro  $\leq 0,5$  m para 1:1.000;  $\leq 2,5$  m para 1:5.000). E altimétricos com o erro máximo de 10 cm (1:1.000) e 25 cm (1:5.000) (PE3D, 2015).

O levantamento aerofotogramétrico com VANT de uma área de interesse foi realizado com o drone DJI MAVIC 2 Enterprise Dual-Thermal, conforme as diretrizes da instrução ICA 100-40 (DECEA, 2023). O planejamento do voo seguiu duas etapas principais, de acordo com a legislação vigente. A primeira incluiu a solicitação de autorizações junto à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e a verificação das condições atmosféricas.

Na segunda etapa, o planejamento do voo foi feito no software Drone Deploy, com ativação de opções para detecção de terreno e modelagem 3D, ajustando a altitude de voo e compensando variações do terreno. Com uma altura de voo de 75 metros, cobriu uma área de 2,3 hectares, resultando em uma resolução de 1,7 cm/px e capturando 570 imagens em aproximadamente 31 minutos.

Para obter a precisão cartográfica desejada, foi realizado o levantamento de 11 (doze) pontos de controle e checagem, obtidos com GNSS geodésico, via Ntrip, tendo como base a Estação PERC – Recife, PE, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). A metodologia seguiu as normas da NBR 13.133/2021; NBR 14166/2022; IBGE/2017. A checagem de validação e classificação PEC-PCD do voo foi realizada no complemento do software livre QGIS para classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

Os dados obtidos no levantamento aerofotogramétrico foram processados, com 9 (nove) pontos de controle, no software Agisoft Metashape, de propriedade do GEGEP/UFPE, resultando nos seguintes produtos: MDT, MDE, Ortofoto, Nuvem de Pontos e Modelo 3D. A qualidade planialtimétrica dos dados foi realizada com 2 (dois) pontos de checagem/validação, nos quais foi obtida a classificação PEC-PCD Classe A, na escala 1:1000, para a planimetria, com RMSE de

0,136 m e 0,175 m, e Classe B, na escala 1:1000, para a altimetria, com RMSE de 0,237 m, de acordo com os resultados do processamento apresentado na Figura 03.

Check Points

	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	Projection Error (pixels)	Status
pod mbg	0,175	0,090	-0,273	0,969	8/8
ponto topo da obra	0,082	0,057	-0,194	0,813	7/7
RMSE	0,136	0,075	0,237		
Min	0,082	0,057	-0,273		
Max	0,175	0,090	-0,194		
Median	0,175	0,090	-0,194		
Mean	0,128	0,073	0,073		

Figura 03 – Validação dos produtos aerofotogramétricos obtido com o VANT.

#### 4. ESTRUTURAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO SIG WEB 2D E 3D

A elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Jaboatão dos Guararapes foi substancialmente aprimorada com a implementação de um banco de dados geográfico estruturado em ambiente SIG Web, com suporte à visualização bidimensional (2D) e tridimensional (3D). Esta infraestrutura tecnológica viabilizou a organização, análise e disseminação de informações espaciais de forma integrada, promovendo avanços significativos no planejamento urbano sustentável e na gestão de riscos geotécnicos. As principais contribuições da plataforma podem ser sintetizadas a seguir:

- Análise integrada dos resultados do Grau de Aptidão à Urbanização, das áreas com restrições ambientais, da base cartográfica e dos registros de ocorrências da Defesa Civil municipal, consolidando essas informações em um ambiente unificado, bidimensional e acessível a técnicos, planejadores e gestores públicos (FIGURA 04). Essa centralização de dados não apenas facilita a consulta, como também permite a atualização contínua das informações, qualificando significativamente o processo de tomada de decisões técnicas e estratégicas voltadas ao ordenamento territorial.
- O SIGWeb possibilita uma integração multidimensional de dados geoespaciais, onde diferentes camadas de informação - como base cartográfica, ortofotos, modelos digitais de terreno e elevação (MDT e MDE) do município e modelo 3D de uma área de interesse, além de registros de processos de deslizamentos e áreas suscetíveis a inundações - podem ser sobrepostas e analisadas de forma integrada (FIGURA 05). Essa capacidade de cruzamento de dados espaciais heterogêneos favorece análises mais detalhadas e interativas, essenciais para uma avaliação abrangente das aptidões urbanísticas e das limitações ambientais do território, observados no modelo 3D da área do levantamento aerofotogramétrico.
- Os resultados demonstraram que a abordagem adotada proporcionou ganhos em três dimensões principais: na eficiência operacional, com redução de tempo e recursos no gerenciamento de informações; na precisão técnica, com análises espaciais mais confiáveis e completas; e na governança territorial, fortalecendo os mecanismos de fiscalização e planejamento urbano-ambiental, alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11), promovendo um território mais seguro, resiliente e sustentável. A plataforma mostrou-se particularmente valiosa por permitir visualizações interativas e análises espaciais avançadas, que pode subsidiar a formulação de políticas públicas mais embasadas e a identificação de áreas prioritárias para intervenção observadas nas Figuras 06a, 06b e 06c.

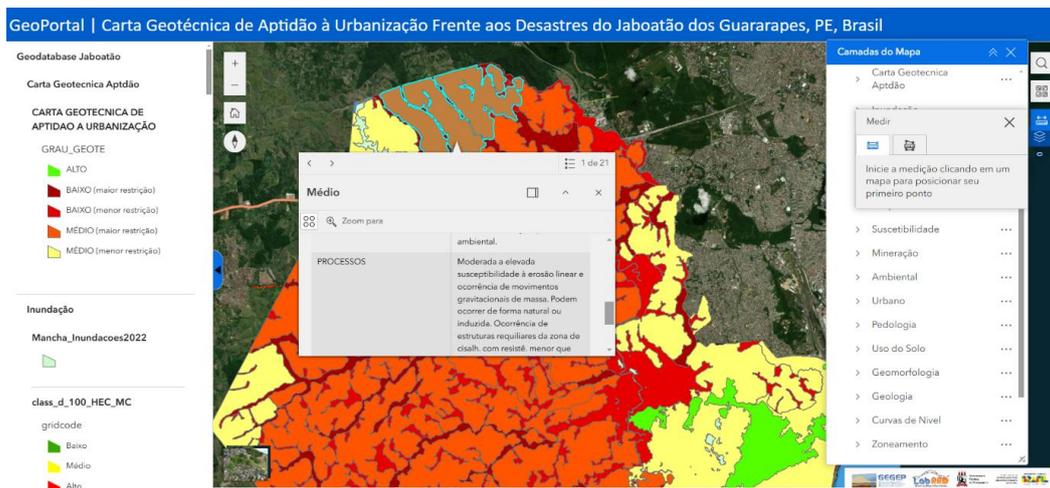


Figura 04 – Integração de mapas temáticos com as Unidades de Aptidão à Urbanização

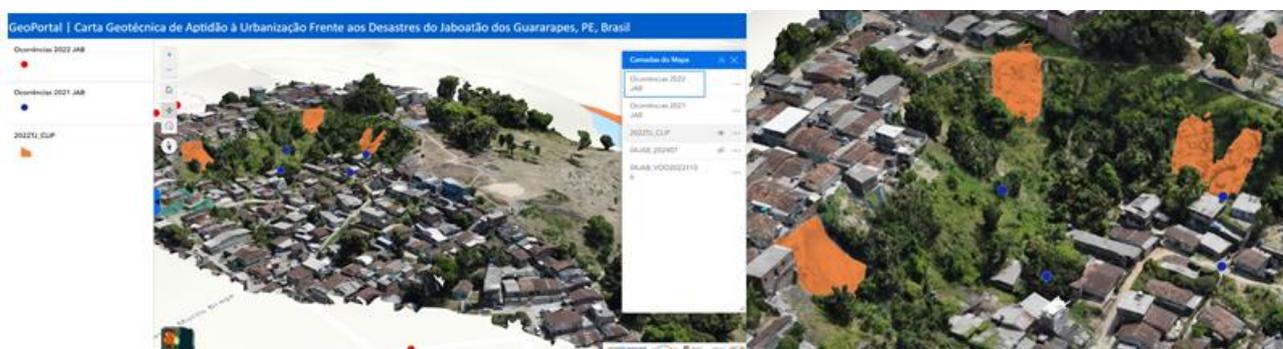


Figura 05 – Modelo 3D com polígonos das cicatrizes e pontos das ocorrências de deslizamentos



Figuras 06: Modelos 3D: a) Contenção de encostas; b) Descarte de resíduos sólidos no topo da encosta; c) Geometria das edificações e escadarias

Os dados da modelagem 3D, na área de 2,3 hectares, também auxiliaram na atualização e detalhamento do inventário de processos de deslizamentos da CGAU, com informações precisas de geometria das cicatrizes cobertas por lona ou vegetação, obras de contenção (Figura 06a), além de área de passivo ambiental nas encostas (descarte de resíduos sólidos) (Figura 06b), geometria e pavimentos das edificações, além do monitoramento das condições das escadarias (6c).

Os dados geoespaciais obtidos por tecnologias como LIDAR contribuem para o planejamento e mapeamento de fatores críticos à estabilidade de encostas; enquanto a aerofotogrametria com VANT possibilita mapeamento 2D e 3D de áreas impermeabilizadas, cargas adicionais (ex. caixas d'água), vegetação nos taludes e lançamento de águas servidas — elementos que aumentam a suscetibilidade a deslizamentos em áreas sem infraestrutura adequada (Figura 07). Essas informações qualificam as recomendações da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, orientando ações preventivas e mitigadoras.



Figura 07 - Detalhamento dos dados cicatrizes de deslizamentos a partir do modelo 3D.

O SIGWeb permite a atualização dinâmica de dados, essencial para monitorar mudanças no uso do solo e os impactos de desastres climáticos. Trata-se de uma ferramenta estratégica para a gestão de áreas vulneráveis, como regiões sujeitas a deslizamentos e inundações. A experiência demonstra que a integração de tecnologias geoespaciais em sistemas web fortalece a gestão territorial, promovendo transparência, colaboração e eficácia no planejamento urbano. A interoperabilidade com modelos tridimensionais e ambientes BIM representa um avanço, permitindo análises mais precisas e sustentáveis em contextos urbanos com restrições ambientais.

## CONCLUSÕES

A integração de dados 2D e 3D permitiu uma abordagem mais precisa e abrangente no planejamento e gestão do território de Jaboatão dos Guararapes, PE. Essa estratégia consolidou a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização em um banco de dados estruturado em ambiente SIGWeb, ampliando a capacidade de análise espacial e suporte à tomada de decisão.

Os dados 2D permitiram a análise integrada de mapas temáticos, uso e ocupação do solo, drenagem e áreas com restrições ambientais, oferecendo suporte direto ao ordenamento territorial. Os dados 3D possibilitaram a modelagem detalhada do relevo, edificações, taludes e cicatrizes de deslizamentos, contribuindo para o monitoramento de riscos e atualização de inventários de processos.

Essa infraestrutura SIG fortalece o planejamento urbano sustentável e a gestão de riscos, alinhando-se à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e aos ODS 11, promovendo um território mais seguro e resiliente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério das Cidades e ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional pelo financiamento do projeto, bem como à CAPES, ao CNPq e à FACEPE pelo apoio à pesquisa e concessão de bolsas. Agradecem ainda ao Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (GEGEP/UFPE) pelo suporte técnico e institucional ao desenvolvimento do trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13133/2021: Execução de levantamento topográfico – Procedimento*. Rio Janeiro, 57 p.

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 14166/2022: Rede de referência cadastral municipal: Requisitos e procedimento*. Rio Janeiro: ABNT, 2022. 23 p.
- ANDRADES FILHO, C. de; MEXIAS, L. S. F. (Editores) (2024). *WebMapa de Movimento de Massa para equipes de apoio a situação de calamidade – RS – Maio de 2024*. Lab. Latitude – CEP SRM/PPGSR / DEGD / IGeo / UFRGS. Disponível em: <https://arcg.is/0KCHn80>
- ASSUNÇÃO, P. R. S. de.; COSTA, A. C.; AMARAL, C. de.; ASSIS, H. M. B. de.; MIRANDA, J. L. F. de.; PFALTZGRAFF, P. A. dos S. *Atlas do Meio Físico do Município do Jaboatão dos Guararapes. Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife – Projeto SINGRE*. Recife: CPRM/FIDEM, 1997.
- BRASIL. *Lei nº 12.608*, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e defesa civil - PNPDEC.
- BRASIL. *Lei nº 14.026*, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.
- BRASIL. *Decreto nº 10.306*, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling - BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizadas pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 64, p. 3, 3 abr. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm). Acesso em: 21 mar. 2025.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. *Introdução a Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: [s.n.], 2004.
- CELESTINO, T. B.; DINIZ, N. C. *Informática*. In: ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (Org.). *Geologia de Engenharia*. [S.l.]: [s.n.], 1998, p. 163–19
- CERRI, L. E. S. *Carta Geotécnica: contribuições para concepção voltada as necessidades brasileiras*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, Salvador, 1990. Anais ... Salvador, ABGE, v.1, p. 309-317.
- COLWELL, R. N. *Manual of Remote Sensing*. 2 ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry (ASP&RS). 1983. 2440p.
- COUTINHO, R. Q. (Coord./Org.). *Elaboração e Uso da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização*. Ministério de Integração e Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Ministério das Cidades. UFPE/GEGEP. Brasília, DF, 2024.
- COUTINHO, R. Q. (Coord.). *Elaboração das cartas de aptidão à urbanização face aos desastres naturais para a área de intervenção dos municípios de Abreu e Lima, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes, PE*. Convênio: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) / Ministério do Desenvolvimento Regional / UFPE / GEGEP. Recife, PE, 2019.
- COUTINHO, R. Q. (Coord./Org.). *Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais*. Documento Técnico. Convênio Ministério das Cidades. Recife: GEGEP / UFPE, 2013.
- COUTINHO, R.Q.; MONTEIRO, C. F. B.; OLIVEIRA, A. T. J. *Banco de Dados das Argilas Orgânicas Moles/Médias do Recife*. (ABMS -Núcleo Nordeste, Org.). São Paulo - Brasil: [s.n.], 1996. p. 105–116.
- CURSINO, P. L. S.; MACHADO, F. A.; SCHEER, S. *A interface GIS/BIM na mitigação de riscos de enchentes em áreas urbanas*. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 3., 2021, Uberlândia. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1- 15. DOI: <https://doi.org/10.46421/sbtic.v3i00.602>.
- DECEA, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. *ICA 100-40. Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro*. 15 maio 2023. Disponível em: <[https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg\\_noticia&materia=decea-atualiza-normas-de-acesso-de-drones-ao-espaco-aereo-brasileiro](https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=decea-atualiza-normas-de-acesso-de-drones-ao-espaco-aereo-brasileiro)>
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Caderno de Requisitos Técnicos BIM do DNIT*. (Instrução Normativa 32/2021) Portaria nº 7177, de 21 de dezembro de 2023.
- FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. R. G. M.; ABREU, J. J. DE; HIGASHI, R. A. DOS R. *Metodologia Utilizada na Elaboração de Cartas Geotécnicas da Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres*

Naturais nos Estados de Santa Catarina e Paraná. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. São Paulo. 2017. DOI: 10.20396/sbgfa.v1i2017.2560.

HUISING, E.J.; GOMES, L.M.P. Errors and accuracy estimates of LASER data acquired by various LASER scanning systems for topographic applications. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.53, n.5, p. 245-261, 1998.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do município do Jaboatão dos Guararapes. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>. Acesso em: 28 set. 2024.

IBGE. Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro, 2017. [https://geofp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/normas\\_levantamentos\\_geodesicos.pdf](https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf). Acesso em: 05 mai. 2023.

IBGE. Estatísticas do Século XX. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, 2006.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Informativo Meteorológico N°20/2024 Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/informativo-meteorol%C3%B3gico-n-20-2024>. Acesso em: 18 jul. 2024.

MARENGO, JOSE & ALCANTARA, ENNER & CUNHA, A.P. & SELUCHI, M. & NOBRE, CARLOS & DOLIF, G. & GONÇALVES, DEMERVAL & DIAS, M. & CUARTAS, LUZ & BENDER, FABIANI & RAMOS, ANDREA & MANTOVANI, JOSE & ALVALÁ, REGINA & MORAES, O.L.. (2023). Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*. 39. 100545. 10.1016/j.wace.2022.100545.

NOGUEIRA, F. R. & CANIL, K. Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres e para a gestão do uso do solo. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR, 17, 2017. Anais... São Paulo: FAU-USP, 2017. v. 1. p. 1-15.

PE3D, Pernambuco Tridimensional. 2015. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br>. Acesso em 10 set. 2021.

RAZMYAR, A.; ESLAMI, A. Evaluating the Geotechnical and Geophysical Characteristics of Expanding Districts in Tehran Using Field Experiments. *Civil Engineering Journal*, 2018. v. 4, n. 2, p. 363.

SILVA, B. Q. da. Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Jaboatão dos Guararapes-PE com integração de base de dados em SIGWEB para planejamento urbano. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 420p. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologias e Geociências, Recife, 2024.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As estimativas dos custos de reconstrução de um evento climático: como fazer as contas? 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/fce/as-estimativas-dos-custos-de-reconstrucao-de-um-evento-climatico-como-fazer-as-contas/>. Acesso em 10 out. 2024

UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

UNISDR, The United Nations Office For Disaster Risk Reduction. Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 – 2030. 2015. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/conferencia-de-sendai-adota-novo-marco-parareduzir-riscos-de-desastres-naturais-no-mundo>. Acessado em: 15 de junho de 2021.

VARNES, D. J. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. U. S. Geological survey, 1974. Professional paper 837.

ZUQUETTE, L. V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. 1987. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1987.