



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**GEOLOGIA APLICADA À GESTÃO DE RISCOS EM ÁREAS URBANAS:  
ESTUDO DE TALUDE COM OCUPAÇÕES VULNERÁVEIS PRÓXIMO À  
OBRA LINEAR.**

**LEONARDO AMORIM SILVA**

Recife, Pernambuco  
2025

MONOGRAFIA DE LEONARDO AMORIM SILVA

**GEOLOGIA APLICADA À GESTÃO DE RISCOS EM ÁREAS URBANAS:  
ESTUDO DE TALUDE COM OCUPAÇÕES VULNERÁVEIS PRÓXIMO A  
OBRA LINEAR.**

Relatório final de graduação referente ao curso de Geologia realizado no Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Trabalho aplicado como um dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Claus Fallgatter

Co-orientador: Prof. Dr. Leonardo José do Nascimento Guimarães.

Recife, Pernambuco  
2025

**Silva, Leonardo Amorim**

**Geologia aplicada à gestão de riscos em áreas urbanas: estudo de taludes com ocupações vulneráveis próximo à obra linear.**

**Leonardo Amorim Silva – Recife, 2025.**

**Monografia – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Geologia.**

**1. Geologia de Engenharia. 2. Risco Geológico. 3. Estabilidade de Taludes.**

**4. Formação Barreiras. 5. Zona Norte do Recife.**

## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE GEOLOGIA

No dia 08 de agosto de 2025 às 09:00 horas, realizada remotamente via Google Meet, teve início a defesa de monografia de graduação em Geologia do aluno Leonardo Amorim Silva, intitulada: “GEOLOGIA APLICADA À GESTÃO DE RISCOS EM ÁREAS URBANAS: ESTUDO DE TALUDE COM OCUPAÇÕES VULNERÁVEIS PRÓXIMO À OBRA LINEAR”, sob orientação do Prof. Dr. Claus Fallgatter e coorientação do Prof. Dr. Leonardo José do Nascimento Guimarães. A banca examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Claus Fallgatter, pelo Prof. Dr. Virginio Henrique De Miranda Lopes Neumann (DGEO/UFPE) e pelo Geól. Winston Álvares Spencer Holanda Filho.

A seção foi aberta pelo orientador, o Prof. Dr. Claus Fallgatter, que apresentou os membros da banca examinadora e informou que o aluno teria até 30 minutos para a apresentação do trabalho. Após a apresentação, seguiu-se a arguição pelos membros da banca examinadora, que em seguida procederam a avaliação da monografia e emitiram os pareceres e as respectivas notas:

|                                                      |       |      |
|------------------------------------------------------|-------|------|
| Prof. Dr. Claus Fallgatter                           | Nota: | 10,0 |
| Prof. Dr. Virginio Henrique De Miranda Lopes Neumann | Nota: | 10,0 |
| Geól. Winston Álvares Spencer Holanda Filho          | Nota: | 10,0 |
| Média dos três examinadores                          |       | 10,0 |

### APROVADO

Desta forma, consideramos o graduando Leonardo Amorim Silva:

Prof. Dr. Claus Fallgatter

Documento assinado digitalmente  
 **CLAUS FALLGATTER**  
 Data: 11/08/2025 07:19:15-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Virginio Henrique De Miranda Lopes Neumann

Documento assinado digitalmente  
 **VIRGINIO HENRIQUE DE MIRANDA LOPES NEUM.**  
 Data: 08/08/2025 11:39:33-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Geól. Winston Álvares Spencer Holanda Filho

Documento assinado digitalmente  
 **WINSTON ALVARES SPENCER HOLANDA FILHO**  
 Data: 08/08/2025 20:51:38-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Recife, 08 de agosto de 2025.**



*Dedico essa monografia, a todos os esforços das minhas mães, que trabalharam muito para me proporcionar o privilégio da escolha. Gratidão à Lucilla e Edleuza, minhas mães, por tudo que me ensinaram direta e subjetivamente.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha trajetória conturbada no ambiente universitário, viver esse ambiente intensamente possibilitou olhar com outros olhos e sentir outras dores, este fato contribuíram na minha formação como um cidadão crítico, empático e solidário. Agradeço aos meus guias espirituais que fortaleceram e iluminaram a minha jornada, Axé.

Ao final do meu ensino médio, quando cheguei ao nível de escolaridade das minhas mães, me sentir sem saber a que caminho seguir e foi observando a trajetória de um amigo de infância, Augusto Marçal (gutininho), que estava cursando engenharia de minas que ouvi falar pela primeira vez da Geologia. Em poucos dias pesquisando já me encontrava encantado por esta profissão. Não posso esquecer de agradecê-lo por todas as prosas e incentivos na minha trajetória, te amo meu irmão.

Trajetória essa que foi muito conturbada e nela não posso deixar de agradecer as pessoas que me incentivaram nos vários momentos que estava prestes a desistir do curso; as conversas com Deyvid Carlos, Heitor Vinício, Igor Morel e Stephany, foram essenciais para fazer eu acreditar que era possível, e tomar a decisão de largar o trabalho CLT para me dedicar integralmente ao curso. Posteriormente, não posso me esquecer dos amigos que nos momentos difíceis sempre depositaram palavras de esperança em meu coração como: Daniel (Selva), Tiago Augusto, Gabriel José, Zarzinha, Winston, Sônia Agostinho, Acauã, Ian, Diniz, Sarah e Luan Dattoli. E por fim, a última vez que pensei que não seria possível, foi em meio a pandemia com a recente morte de minha mãe Lucilla. Encontrei-me destroçado e sem sentido/propósito na vida e foi o reencontro com as memórias da infância em Carne de Vaca que me fez ressignificar o luto. Junto a minha mãe Edleuza e Rebeca Gomes que pude reconectar comigo mesmo e minha ancestralidade e voltar a ver sentido nas minhas lutas do presente, amo muito vocês e vamos seguir sempre juntos.

Profissionalmente não posso deixar de agradecer a Cayo Leal e Jairo pela oportunidade de estágio no CREA-PE. A Nayara, Thales, Val e pela oportunidade de estagiar e pesquisar junto a REMINERA BRASIL onde sou imensamente grato por todo aprendizado e inspiração que tive na convivência. Ao Estágio no LGAPE, onde aprendi muito nas reuniões com Paulo e Professor João Adauto.

Não posso deixar de agradecer aos diversos encontros potentes que ocorreram no Espaço Cultural Riacho Doce e na Associação Sitio Agatha.

## RESUMO

Visando fornecer subsídios técnicos essenciais para projetos de engenharia e auxiliar na tomada de decisões dos gestores públicos, esta pesquisa avaliou detalhadamente o risco de escorregamentos no talude do Alto da Telha, em Passarinho, Recife, área com ocupação vulnerável e histórico de instabilidade. No estudo mensurou-se a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, com objetivos específicos que incluíram: mapeamento qualitativo de risco geológico com classificação de R1 a R4; análise de estabilidade nos setores críticos onde se calculou o Fator de Segurança (FS); e detalhamento da evolução fenomenológica da região, hierarquizando os mecanismos de ruptura identificados. A metodologia adotada compreendeu três etapas principais. Primeiramente, realizou-se o mapeamento de risco geológico conforme metodologia do IPT (2007), envolvendo levantamento de informações preliminares, revisão bibliográfica e visita técnica para identificação e setorização dos riscos. Em seguida, obtiveram-se parâmetros geotécnicos fornecidos em parceria pelo projeto Morros de Vontade, os dados foram obtidos por meio de ensaios de campo (SPT) e laboratoriais (umidade, granulometria, limites de consistência e cisalhamento direto). Por fim, efetuou-se modelagem numérica no software Slide2, integrando a geometria do talude e os parâmetros geotécnicos em condições naturais e saturadas. Os resultados demonstraram que a região estudada apresenta evolução do meio físico mista, combinando intervenções planejadas (cortes para construção da rodovia) e intervenções espontâneas devido ao modelo de ocupação (caracterizada por cortes e aterros irregulares, remoção da vegetação e saneamento básico deficiente) fatores estes que intensificam os riscos. Foram identificadas diversas evidências de movimentação, como inclinação de árvores, trincas em drenagens, intumescência basal, superfície de ruptura exposta e escarpa de deslizamento. A Formação Barreiras apresentou zona de contato instável na interface entre camadas arenosas e argilosas sob saturação. O mapeamento de risco classificou dois setores como Risco Muito Alto (R4), um como Alto Risco (R3) e outro como Médio Risco (R2). As simulações numéricas revelaram FS entre 1,136 e 1,349 em condições naturais, reduzindo para 0,920 a 1,115 em condições saturadas, com o perfil B-B' apresentando  $FS < 1,0$ , indicativo de ruptura iminente. Todos os valores de FS ficaram abaixo do mínimo de 1,5 exigido pela NBR 11682/2009 para áreas que demandam alto nível de segurança. Conclui-se que o talude apresenta condição crítica de instabilidade devido às heterogeneidades da Formação Barreiras, cujo contraste de permeabilidade desencadeia saturação diferencial e redução das tensões estabilizantes, especialmente nas zonas das cotas 70, 55, 50, 43, 40 e 38 metros. Mantidas as condições atuais, eventos destrutivos nas próximas chuvas são altamente prováveis, ameaçando 45 moradias na crista do talude. Conforme a Lei nº 12.608/2012 (art. 3º-A) e o Decreto nº 33.080/2019, urge a implementação de monitoramento geotécnico contínuo, medidas estruturais de contenção e reassentamento das famílias em risco elevado pelos órgãos municipais. Os escorregamentos na região resultam de planejamento urbano excludente, fiscalização inadequada e morosidade na aplicação de políticas públicas, exigindo ações imediatas para prevenir tragédias anunciadas.

Palavras-chave: Geologia de Engenharia. Risco Geológico. Estabilidade de Taludes. Formação Barreiras. Zona Norte do Recife.

## ABSTRACT

In order to provide essential technical support for engineering projects and to help public managers make decisions, this research assessed in detail the risk of landslides on the Alto da Telha slope in Passarinho, Recife. This is an area with vulnerable occupation and a history of instability. The study measured the possibility of gravitational mass movements, with specific objectives that included: qualitative mapping of geological risk with a classification from R1 to R4; stability analysis in the critical sectors where the Safety Factor (SF) was calculated; and detailing the phenomenological evolution of the region, prioritizing the rupture mechanisms identified. The methodology adopted comprised three main stages. Firstly, geological risk mapping was carried out according to the IPT methodology (2007), involving preliminary information gathering, a literature review and a technical visit to identify and sectorize the risks. Next, geotechnical parameters were obtained in partnership with the Morros de Vontade project, using field tests (SPT) and laboratory tests (humidity, granulometry, consistency limits and direct shear). Finally, numerical modeling was carried out using Slide2 software, integrating the slope geometry and geotechnical parameters under natural and saturated conditions. The results showed that the region studied has a mixed evolution of the physical environment, combining planned interventions (cuts for the construction of the highway) and spontaneous interventions due to the occupation model (characterized by irregular cuts and embankments, removal of vegetation and poor basic sanitation), factors which intensify the risks. Various signs of movement were identified, such as trees leaning, cracks in drains, basal intumescence, exposed rupture surfaces and landslide scarps. The Barreiras Formation showed an unstable contact zone at the interface between sandy and clay layers under saturation. The risk mapping classified two sectors as Very High Risk (R4), one as High Risk (R3) and another as Medium Risk (R2). Numerical simulations revealed FS between 1.136 and 1.349 under natural conditions, reducing to 0.920 to 1.115 under saturated conditions, with profile B-B' showing  $FS < 1.0$ , indicative of imminent rupture. All the FS values were below the minimum of 1.5 required by NBR 11682/2009 for areas requiring a high level of safety. It can be concluded that the slope is in a critical condition of instability due to the heterogeneity of the Barreiras Formation, whose contrast in permeability triggers differential saturation and a reduction in stabilizing tensions. This is especially true in the areas at the 70, 55, 50, 43, 40 and 38 metre levels. If the current conditions are maintained, destructive events in the coming rains are highly probable, threatening 45 homes on the crest of the slope. According to Law No. 12.608/2012 (art. 3-A) and Decree No. 33.080/2019, the implementation of continuous geotechnical monitoring, structural containment measures and resettlement of families at high risk by municipal bodies is urgent. The landslides in the region are the result of exclusionary urban planning, inadequate supervision and slow implementation of public policies, requiring immediate action to prevent announced tragedies.

**Keywords:** Engineering Geology. Geological risk. Slope stability. Barreiras Formation. North Zone of Recife.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01: Mapa de localização do bairro de Passarinho. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_18.
- Figura 02: Localização da Sub-bacia Olinda, retângulo vermelho, em relação à Província Borborema e seus terrenos litoestratigráficos. Em destaque para o Terreno Rio Capibaribe - TRC, Terreno Alto Moxotó - TAM e Terreno Alto Pajeú - TAP; sendo as rochas desses terrenos que estruturam o embasamento da Bacia Paraíba. Fonte: Barbosa, 2004. \_\_\_\_\_22.
- Figura 03: Mapa Geológico da sub-bacia Olinda. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_23.
- Figura 04: Litoestratigrafia da Bacia Paraíba, evidenciando as sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri. Fonte: Correia Filho et al, 2015. \_\_\_\_\_25.
- Figura 05: A) Mapa magnético do campo total residual. B) Mapa de sinal analítico evidenciando alinhamento N-S. C) Mapa gravimétrico residual da faixa costeira de Pernambuco. Fonte: Adaptado de Relatório SIGA - CPRM/CPRH, 2003. \_\_\_\_\_27.
- Figura 06: Agrupamento dos estereogramas publicados por TOPAN, 2018. Fonte: Adaptado pelo autor. \_\_\_\_\_28.
- Figura 07: Mapa das subdivisões da sub-bacia Olinda, Bacia Paraíba a partir da sobreposição de dados de SRTM e Aeromagnético. Fonte: TOPAN, 2017. \_\_\_\_\_29.
- Figura 08: Desenho esquemático da baía entulhada do Recife. Fonte: Oliveira, 1942. \_\_\_\_31.
- Figura 09: Suscetibilidade à erosão conforme os tipos de solo. Fonte: Lloppis Trilho, 1999). \_32.
- Figura 10: Concepção artística do processo de erosão hídrica no solo. Fonte: Meneses, 2011. \_\_\_\_\_34.
- Figura 11: Classificação dos movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Augusto Filho, 1992. \_\_\_\_\_36.
- Figura 12: Gráfico caracterizando o deslocamento pelo tempo de um escorregamento, evidenciando suas etapas envolvidas pré, durante e após o fenômeno. Fonte: Terzaghi, 1950. \_\_\_\_\_37.
- Figura 13: Fatores deflagradores de movimentos de massa. Fonte: Varnes, 1978. \_\_\_\_39.
- Figura 14: Expansão urbana do Recife. Fonte: Diário de Pernambuco, Caderno Especial, 2007. \_\_\_\_\_42.
- Figura 15: A) Carta topográfica do ano de 1975 (CONDEPE-FIDEN) georreferenciada e inserida em ambiente SIG para a análise da morfologia original. B) Base planialtimétrica extraída das curvas de nível do ano de 2013 (ESIG-Recife) utilizada para avaliar a morfologia antropogênica. Fonte: Elaborado por Santana et al., 2018. \_\_\_\_\_44.

- Figura 16: Concepção artística evidenciando a problemática das fossas sépticas nos taludes urbanizados. Fonte: Alheiros et al., 2004. \_\_\_\_\_ 45.
- Figura 17: Cartografia da sequência dos mapeamentos das Comunidades de Interesse Social (1978-2014). Fonte: SANEAR 2014. \_\_\_\_\_ 47.
- Figura 18: Médias pluviométricas da cidade do Recife em azul é em relação ao período de 1967-2017, e em amarelo a média em relação à 1990-2020 em cada mês. Fonte: APAC 2018 e 2021. \_\_\_\_\_ 50.
- Figura 19: O gráfico acima apresenta eventos de precipitação divididos em três níveis: 1) Em Azul, menor intensidade e acumulação; 2) Em Preto, precipitações intermediárias; 3) Em Vermelho, maior intensidade e acumulação. É evidenciado também (Estrela Verde), precipitação associada aos eventos ocorridos em 2022 em Jaboatão; O zoneamento em laranja apresenta os limites de alerta de risco moderado (limiar operacional) e o limite de alerta de risco alto (limiar ambiental). Fonte: De Moraes, 2023. \_\_\_\_\_ 52.
- Figura 20: Definição de risco de desastres naturais. Fonte: Modificado de UNISDR, 2016. \_\_\_\_ 53.
- Figura 21: Tabela de setorização de risco. Fonte: IPT, 2007. \_\_\_\_\_ 55.
- Figura 22: Principais métodos de cálculo. Fonte: SILVA, 2007. \_\_\_\_\_ 56.
- Figura 23: Variação do fator de segurança com o tempo. Fonte: Popescu, 1996. \_\_\_\_\_ 57.
- Figura 24: A) Nível de segurança contra danos à vida humana. B) Nível de segurança contra danos materiais e ambientais. Fonte: NBR 11682/2009. \_\_\_\_\_ 58.
- Figura 25: Valor do fator de segurança mínimo proposto pela normativa seguindo os critérios de segurança contra vidas humanas e contra danos materiais e ambientais. Fonte: NBR 11682/2009. \_\_\_\_\_ 58.
- Figura 26: Recorte da Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do Recife, em destaque o bairro de Passarinho e a área de estudo. Fonte: Modificado de CPRM, 2015. \_\_\_\_\_ 64.
- Figura 27: Mapa de declividade destacando o talude escolhido para realizar os estudos de riscos e estabilidade. Localização das ilhas de sondagens SPT do Projeto Morros de Vontade. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 65.
- Figura 28: Mapa elaborado para dar suporte a etapa da visita técnica, auxiliando na navegação através do Aplicativo Avenza Maps, onde foi possível coletar as coordenadas, fotos e fazer descrição dos pontos. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 66.
- Figura 29: Visita técnica realizada na encosta situada no Alto da Telha. A) Moradia no topo do talude com acumulação de resíduos abaixo da estrutura da casa. B) Formação de crosta

compactada no solo e lançamento de esgoto na face do Talude; C) Drenagem danificada indicando esforços passivos na base do talude. D) Drenagens comprometidas na escadaria e encanação usada para compartilhamento das águas servidas (cor azul). E) Lançamento de resíduos sólidos sobre o talude no primeiro plano e bambu na base do talude em segundo plano. F) Alto grau de saturação na base do talude, surgência de água pós-evento chuvoso.

Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 67.

Figura 30: Todas as imagens representam ângulos do mesmo contexto, localizado na parte sul do talude. A e B) Escadaria improvisada, esculpida por moradores, apresentando aspectos erosivos em seu percurso. C e D) Talude coberto por lona plástica preso no muro da residência acima e apresentando uma distância de 40 cm entre a base e a moradia à jusante. E) Perda significativa de solo abaixo da casa azul. F) Declividade acentuada da casa azul e moradia inferior a 15 cm do corte. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 68.

Figura 31. Zonas supersaturadas na base do talude apresentando surgência de águas, pós-evento chuvoso, provocadas pelo escoamento subsuperficial. Nessas zonas é comum plantas concentradoras de umidade como as Bananeiras (*Musa spp.*) e Taiobas (*Xanthosoma sagittifolium*). Fonte: produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 69.

Figura 32: A) Macaibeira. B) Embaúba. C) Bananeiras. D) Bambu na base do talude em segundo plano. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 70.

Figura 33: A) Latossolo Amarelo identificado na abertura de poço, feito por moradores para construção de fossa rudimentar. B) Contato entre Formação Barreiras e Colúvio, evidenciando a superfície de Ruptura. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 71.

Figura 34: A) Talude com alto ângulo de mergulho com evidências de um deslizamento recente apresentando escarpa do talude e os colúvios em baixo Embaúba morta inclinada. B) Escarpa do talude localizando as imagens B1 e B2. B1) Superfície de ruptura evidenciando o colúvio, em tons marrons avermelhados, e a Formação Barreiras, apresentando uma intercalação de sedimentos areia siltosa de cores variegadas e silte esbranquiçado; B2) Falhamento de bloco provocando um degrau de abatimento vertendo para o eixo central da escarpa do talude. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 72.

Figura 35. Figura esquemática da posição das fotos no talude evidenciando a superfície de ruptura, em laranja. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 73.

Figura 36: Setorização de risco foi realizada por meio de análise em áreas que apresentam fatores condicionantes similares. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 74.

- Figura 37: Classificação de riscos agrupando aspectos geológico-geotécnicos próximos a cada setor, classificados seguindo (IPT, 2007). Fonte: Elaborado pelo autor. \_\_\_\_\_ 75.
- Figura 38: Setorização de risco geológico realizado na comunidade do Alto da Telha atribuindo seguindo a metodologia do IPT, 2007. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 75.
- Figura 39: Localização da investigação SPT onde foram realizados os poços de inspeção e amostragem deformada e indeformada. Fonte: Relatório da ENSOLO. \_\_\_\_\_ 77.
- Figura 40: Variação do teor de umidade em relação à profundidade do furo, apresentando maior percentual nos níveis argilosos e siltosos. Fonte: Produzido pela equipe do projeto Morro de Vontade em 2023. \_\_\_\_\_ 78.
- Figura 41: Classificação SUCS. Fonte: DNIT, 2006. \_\_\_\_\_ 79.
- Figura 42: Caracterização geotécnica dos solos, Projeto Morros de Vontade, executado por Twany Correia. Fonte: Correia, 2023. \_\_\_\_\_ 80.
- Figura 43: Ensaio de cisalhamento direto em meio natural e inundado onde foi obtido os dos valores de coesão e ângulo de atrito através do gráfico de tensão normal x tensão cisalhante gerado plotando um gráfico XY o valor das tensões normais x tensões cisalhantes. Fonte: Elaborado pelo autor com os dados do projeto Morro de Vontade (2023). \_\_\_\_\_ 80.
- Figura 44: Resultado do perfil de sondagem realizada pela empresa ENSOLO, contratada pelo projeto Morro de Vontade. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 81.
- Figura 45: Simplificação de camadas com base nos valores de  $N_{spt}$  e granulometria. Detalhamento da referência em relação aos parâmetros utilizados na modelagem numérica em relação às camadas. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 82.
- Figura 46: Parâmetros de resistência de acordo com diferentes faixas  $N_{spt}$ . Fonte: Adaptado de JOPPERT (2007). \_\_\_\_\_ 82.
- Figura 47: Configuração simplificada dos materiais presentes no talude. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 83.
- Figura 48: A esquerda imagem em planta evidenciando quatro cortes sob o talude. À direita observamos os quatro perfis de corte com a projeção das sondagens SPT intersectando a cota equivalente da geometria 2D. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 84.
- Figura 49: Apresentando quatro modelos geológico-geotécnico produzidos, um para cada setor de risco geológico. A) Modelo equivalente ao corte A-A'. B) Modelo equivalente ao corte B-B'. C) Modelo equivalente ao corte C-C'. D) Modelo equivalente ao corte D-D'. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 85.



- Figura 50: Simulação numérica do Perfil A-A realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor. \_\_\_\_\_ 86.
- Figura 51: Simulação numérica do Perfil B-B' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor. \_\_\_\_\_ 86.
- Figura 52: Simulação numérica do Perfil C-C' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor. \_\_\_\_\_ 87.
- Figura 53: Simulação numérica do Perfil D-D' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor. \_\_\_\_\_ 87.
- Figura 54: Resultados das simulações numéricas realizadas. Fonte: Produzido pelo autor. \_88.
- Figura 55: Em primeiro plano, um escorregamento rotacional em encosta natural com superfície de ruptura de base atingindo o campo de futebol. Em segundo plano, Talude do Alto da Telha (poligonal azul). Fonte: Google Earth. \_\_\_\_\_ 89.
- Figura 56: Em primeiro plano, encosta que sofreu taludamento e posteriormente diversos escorregamentos translacionais com superfície de ruptura superficial de face. Em segundo plano, centro de treinamento do Náutico com deslizamento rotacional anteriormente descrito. Fonte: Google Earth. \_\_\_\_\_ 90.
- Figura 57: Gráfico evidenciando a variação do Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), e Teor de Umidade (W); dentre as amostras ensaiadas. A direita observasse as camadas mais basais (A3) ultrapassando o LP, cota 43 metros, contrastando com as demais camadas. Fonte: Produzido pelo autor. \_\_\_\_\_ 94.

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

**ABNT** - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS  
**APAC** - AGENCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS  
**CENAD** -CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES  
**CEMADEN** - CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS  
**CIS** - COMUNIDADES DE INTERESSE SOCIAL  
**CONPDEC** - CONSELHO NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL  
**CPRM** - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS  
**ODS** - OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
**ENSOLO** - ENGENHARIA E CONSULTORIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA  
**IBGE** - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA  
**IPCC** - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE  
**IPT** - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS  
**NBR** - NORMA BRASILEIRA DE REGULAMENTAÇÃO  
**PIBIC** - PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
**PNPDEC** - POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL  
**SANEAR** - AUTARQUIA DE SANEAMENTO DO RECIFE  
**SEDEC** - SECRETARIA DE DEFESA CIVIL  
**SGB** - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO  
**SIBCS** - SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS  
**SINPDEC** - SISTEMA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL  
**SUCS** - SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO  
**UFPE** - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**BP** - BACIA PARAÍBA  
**DOL** - DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE  
**FS** - FATOR DE SEGURANÇA  
**IP** - ÍNDICE DE PLASTICIDADE  
**LL** - LIMITE DE LIQUIDEZ  
**LP** - LIMITE DE PLASTICIDADE  
**W** - TEOR DE UMIDADE  
**MGM** - MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA  
**MDE**- MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO  
**NA** - NÍVEL D'ÁGUA  
**NSPT** - ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO NO SOLO  
**PB** - PROVÍNCIA BORBOREMA  
**RMR** - REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE  
**SPT** - STANDARD PENETRATION TEST

## SUMÁRIO

|                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                                    | <b>16</b>  |
| 1.1 APRESENTAÇÃO                                                        | 16         |
| 1.2 PROBLEMATIZAÇÃO                                                     | 16         |
| 1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO                                       | 17         |
| 1.4 OBJETIVOS                                                           | 18         |
| 1.5 JUSTIFICATIVA                                                       | 19         |
| <b>2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO</b>                                 | <b>21</b>  |
| 2.1. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA                                                 | 20         |
| 2.2. ARCABOUÇO ESTRUTURAL                                               | 26         |
| 2.3 GEOMORFOLOGIA, PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA             | 30         |
| 2.3.1 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS                                          | 30         |
| 2.3.2 AGENTES EROSIVOS                                                  | 32         |
| 2.3.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA                                | 35         |
| 2.4 DINÂMICA SOCIOESPACIAL: EXPANSÃO URBANA E INTERAÇÃO COM MEIO FÍSICO | 40         |
| 2.5 SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE CLIMÁTICA E FENÔMENOS EXTREMOS     | 59         |
| 2.6 RISCO GEOLÓGICO E O FATOR DE SEGURANÇA                              | 53         |
| <b>3. METODOLOGIA</b>                                                   | <b>60</b>  |
| 3.1 MAPEAMENTO DE RISCO GEOLÓGICO                                       | 60         |
| 3.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS                                              | 61         |
| 3.3 MODELAGEM NUMÉRICA                                                  | 62         |
| <b>4. RESULTADOS</b>                                                    | <b>63</b>  |
| 4.1. ANÁLISE QUALITATIVA DE RISCOS                                      | 63         |
| 4.1.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA ESTUDO                                       | 63         |
| 4.1.2. IDENTIFICAÇÃO, ANÁLISE E SETORIZAÇÃO DE RISCOS                   | 66         |
| 4.1.3 ELABORAÇÃO DO MAPA DE RISCO GEOLÓGICO                             | 74         |
| 4.2. INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA                                  | 76         |
| 4.2.1 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS                                           | 76         |
| 4.2.2 DEFINIÇÃO DAS CAMADAS                                             | 80         |
| 4.3 MODELAGEM NUMÉRICA COMPUTACIONAL                                    | 83         |
| 4.3.1 OBTENÇÃO DE GEOMETRIA                                             | 83         |
| 4.3.2 ELABORAÇÃO DO MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO                         | 84         |
| 4.3.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES                                | 85         |
| 4.4 EVOLUÇÃO FENOMENOLÓGICA DOS MGM                                     | 88         |
| <b>5. DISCUSSÕES</b>                                                    | <b>91</b>  |
| <b>6. CONCLUSÃO</b>                                                     | <b>97</b>  |
| <b>7. REFERÊNCIAS</b>                                                   | <b>99</b>  |
| 7.1 REFERÊNCIAS NORMATIVAS                                              | 99         |
| 7.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                          | 99         |
| <b>8. ANEXOS</b>                                                        | <b>109</b> |
| FIM                                                                     | 118        |

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Este trabalho propõe-se a analisar a possibilidade e/ou probabilidade de deflagração de movimentos gravitacionais de massa em um talude situado na comunidade do Alto da Telha, localizada no bairro do Passarinho, Zona Norte do Recife. Uma região que possui um histórico de instabilidade em suas encostas, pondo em risco a comunidade que vive nesta região. Para esta análise mensuramos, por meio da metodologia qualitativa de análise de riscos, a situação do Alto da Telha, calculando o fator de segurança para cada setor de risco que foi previamente selecionado, realizando as análises de estabilidade por meio do programa *SLIDE2* da empresa *Rocscience*.

A pesquisa realizada neste trabalho é fruto dos estudos iniciados no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), orientado pelo professor e doutor Leonardo José do Nascimento Guimarães, do departamento de Engenharia Civil da UFPE, cujo título era “Avaliação da infiltração da água da chuva na estabilidade de encostas utilizando o software RS2”. Esta pesquisa teve a finalidade de verificar a estabilidade de um talude situado no bairro de Passarinho, na zona norte de Recife, entre os anos de 2023 a 2024.

Então, foi a partir do PIBIC que tivemos contato com a realidade da comunidade do Alto da Telha, em Passarinho, e com a investigação geológica-geotécnica e os métodos de cálculos numéricos para análise de estabilidade de talude. A partir disso, decidimos continuar analisando a realidade desta região visto que a problemática persiste e tende a agravar-se diante das mudanças climáticas que vem impactando a Região Metropolitana do Recife (RMR) e vimos que algumas soluções encontradas não correlacionam o mapeamento de risco com a análise de estabilidade.

## 1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios socioambientais do século XXI, com efeitos diretos na intensificação de eventos pluviométricos extremos segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2023). No Brasil, tais fenômenos têm provocado catástrofes sem precedentes, como o desastre ocorrido em maio de 2022 na RMR, quando 258 mm de chuva em 24 horas desencadearam movimentos gravitacionais de massa, resultando em 133 mortes e mais de 6 mil desabrigados (CEMADEN, 2022). Diante desse cenário,

pesquisas que integrem análise geotécnica e mapeamento de riscos tornam-se urgentes para auxiliar a tomada de decisões, quanto a escolha do método de intervenção para estabilização dos taludes, visando reduzir vulnerabilidades em áreas urbanas.

Assim, no bairro do Passarinho, especificamente na comunidade do Alto da Telha, o monitoramento de risco é realizado com base em avaliações qualitativas de risco, sem estudos que integrem métodos quantitativos, como a análise de estabilidade de taludes ao mapeamento de risco geológico. Possibilitando uma compreensão mais precisa do comportamento geomecânico no modelo geológico-geotécnico. Diante disso, questiona-se: como os mecanismos de ruptura identificados na modelagem numérica correlacionam-se com as evidências de campo no local e quais parâmetros geotécnicos exercem controle fundamental nesses processos?

### 1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na porção leste do estado de Pernambuco, no extremo norte do município do Recife, situado no bairro de Passarinho, que faz limites geográficos com as cidades de Paulista e Olinda. O talude alvo deste estudo faz parte da comunidade do Alto da Telha, que está localizado na porção sudoeste do bairro de Passarinho, a aproximadamente a 10 km do bairro do Recife (Figura 01).

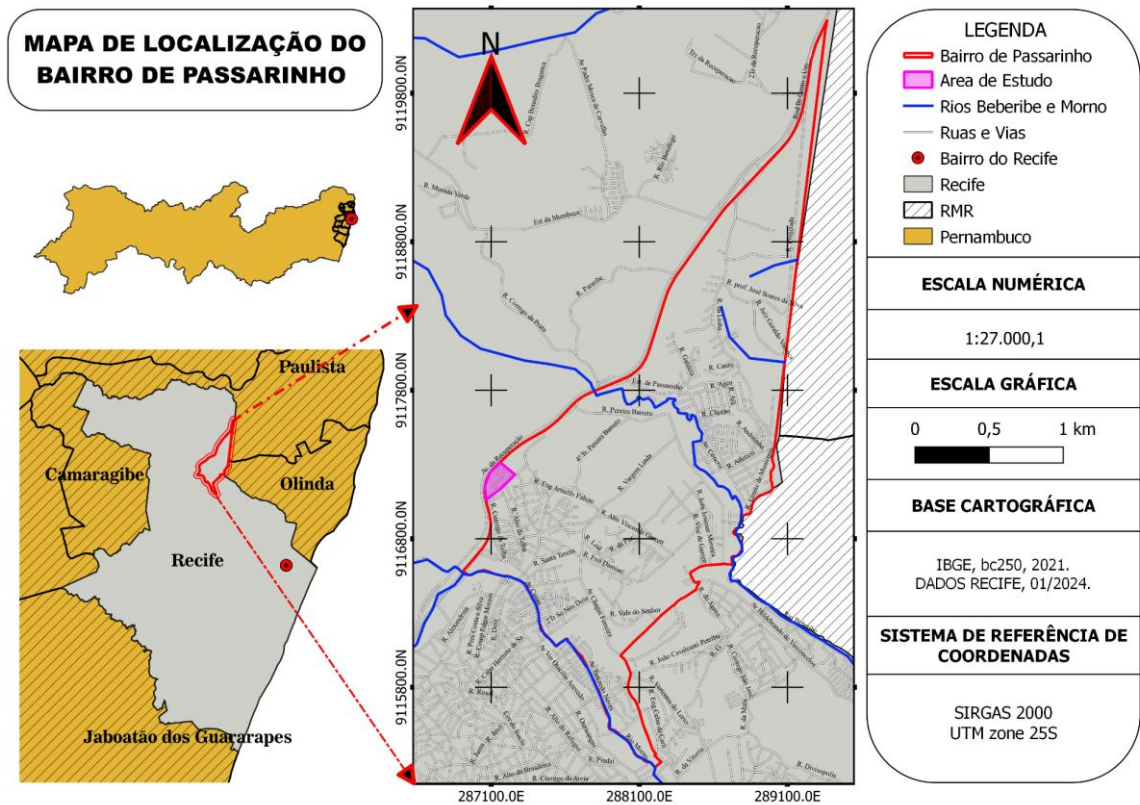


Figura 01: Mapa de localização do bairro de Passarinho. Fonte: Produzido pelo autor.

A área compreende a um polígono irregular situado entre as coordenadas UTM 287167.1 e 287059.2 Leste-Oeste, e 9117310.1 e 9117037.3 norte-sul (Datum WGS 84, zona 25 M), e coordenadas geográficas 34° 55' 51.25" e 34° 55' 54.81", e 7° 59' 00.32" e 7° 58' 51.45". Geologicamente, a área está inserida na porção sul da Folha Itamaracá, de escala 1:100.000 (CPRM, 2017).

### 1.4 OBJETIVOS

Então, para responder às questões orientadoras definimos como objetivo geral: mensurar, por meio da metodologia qualitativa de análise de riscos, a possibilidade de deflagração de movimentos gravitacionais de massa em um talude situado na comunidade do Alto da Telha, localizada no bairro do Passarinho, Zona Norte do Recife. Adicionalmente, será calculado o fator de segurança para cada setor de risco, previamente selecionado, realizando análises de estabilidade por meio do programa *Slide2* da empresa *Rocscience*.

E como objetivos específicos: 1) Realizar o mapeamento qualitativo de risco geológico em talude da comunidade do Alto da Telha, e atribuir para cada setor o devido grau de risco, conforme passos técnicos estabelecidos na metodologia elaborada pelo Instituto de Pesquisas

Tecnológicas (IPT) a pedido do Ministério das cidades (IPT, 2007); 2) Realizar análise de estabilidade nos setores críticos para cálculo do fator de segurança; 3) Elaborar a evolução fenomenológica da região hierarquizando os mecanismos de ruptura identificados.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade urgente de compreender os processos de ruptura em taludes urbanos, com foco específico na comunidade do Alto da Telha, no Recife. O estudo propõe integrar modelagem numérica com evidências empíricas de campo, respondendo diretamente à questão central. Essa integração é essencial para superar as lacunas dos métodos convencionais que frequentemente utilizam somente os métodos qualitativos para auxiliar na tomada de decisão.

Do ponto de vista técnico, a pesquisa avança ao validar quantitativamente as previsões do modelo com dados coletados in loco, como intumescências, cicatrizes de ruptura, propriedades do solo. Essa correlação permitirá identificar como os parâmetros-chave controlam a estabilidade dos taludes nos tabuleiros costeiros dissecados, feição geomorfológica que tem seu relevo sustentado pela Formação Barreiras, unidade geológica predominante na região. Tais resultados não somente enriquecem a literatura científica, mas também fornecem critérios técnicos para orientar possíveis intervenções prioritárias.

A relevância social é incontestável: o Alto da Telha é uma área de alta vulnerabilidade, onde a ocupação irregular em encostas íngremes agrava os riscos. Ao vincular os achados da modelagem com as condições reais da comunidade, o estudo gera produtos aplicáveis, como o valor do fator de segurança para cada setor de risco analisado, além da análise integrada do modelo geológico-geotécnico. Esses insumos são vitais para a Defesa Civil e gestores públicos, pois permitirão ações preventivas de intervenção baseadas em evidências, reduzindo a exposição da população a desastres.

Por fim, a pesquisa alinha-se às políticas nacionais de redução de riscos (Lei nº 12.608/2012) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11). Ao desenvolver uma metodologia replicável para áreas similares, o trabalho transcende o caso específico do Alto da Telha, oferecendo um modelo de investigação para os tabuleiros costeiros dissecados da RMR que enfrentam desafios análogos. Assim, justifica-se não somente por seu impacto local imediato, mas também por seu potencial de transformação na gestão de riscos geológicos dessa região.

Além disso, esta pesquisa se justifica devido ao avanço das mudanças climáticas que vem impactando o Brasil e mais especificamente as regiões vulneráveis, com enchentes, secas, deslizamentos e queimadas periféricas. O relatório de 2023 do IPCC, afirma a correlação entre as atividades humanas e o aumento da temperatura do planeta ocasionando nos eventos extremos e complementa afirmando que os países e comunidades que menos contribuíram com as mudanças climáticas são os que mais vem sendo negativamente afetados, sobretudo as comunidades que vivem em condições de vulnerabilidade.

Diante do exposto, fica evidente o aumento da demanda de profissionais Geólogos e Geotécnicos tanto para atuar no planejamento e mitigação dos riscos, quanto para desenvolver pesquisas que refinem o diagnóstico do fenômeno para formular melhores soluções e impactar positivamente a vida dessas populações.



## 2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

### 2.1. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo está inserida na Província Borborema (PB) especificamente na porção leste do Domínio da Zona Transversal, sobre o Terreno Rio Capibaribe (JARDIM DE SÁ, 1994; VAN SCHMUS et al., 2008; 2011). Após a evolução pré-cambriana da região, ocorreu a fragmentação do supercontinente Gondwana durante o Mesozoico, que culminou com a separação das placas tectônicas Sul-Americana e Africana (HEINE, 2013). Esse intenso rifteamento possibilitou a conexão entre os oceanos Atlântico Norte e Sul, resultando nas formações das bacias sedimentares marginais do Atlântico Sul (CHANG et al., 1992; MATOS, 1999).

Neste contexto desenvolveu-se a Bacia Paraíba (BP), limitada ao Sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco, de cinemática dextral, e ao norte pelo Alto Mamanguape, um prolongamento da Zona de Cisalhamento Patos localizado ao norte de João Pessoa (Figura 02). A oeste, a bacia é delimitada pelas rochas do Terreno Rio Capibaribe, Alto Moxotó e Alto Pajeú, que também compõem o seu embasamento. Para o Leste, a bacia se comporta como uma rampa estrutural suavemente inclinada, apresentando blocos falhados com baixo gradiente de rejeito, (MABESOONE & ALHEIROS, 1993; BARBOSA et al., 2003). Esta área, juntamente com a plataforma adjacente, apresenta uma diferenciação significativa em relação padrão de evolução típico das bacias marginais vizinhas, como a Bacia de Pernambuco e a Bacia Potiguar (BARBOSA E LIMA FILHO, 2005).

A BP foi subdividida por Mabesoone e Alheiros (1988, 1993) em duas sub-bacias: a Sub-bacia Olinda, posicionada entre a Zona de Cisalhamento Pernambuco e a Falha Goiana, e a Sub-bacia Alhandra-Miriri, entre a Falha Goiana e a Falha Mamanguape, esta última uma ramificação da Zona de Cisalhamento Patos, e esse trabalho adotou a modificação proposta por Barbosa (2007), que atualiza a compartimentação estrutural da bacia.

A geologia da Sub-bacia Olinda é composta por um embasamento cristalino proterozoico, representado pelas rochas do Complexo Salgadinho, Vertentes e Surubim-Caroalina. Essas unidades foram recobertas pelos sedimentos fanerozoicos da Bacia Paraíba, representados pelas Formações Beberibe, Itamaracá, Gramame e Maria Farinha. Capeando essas unidades, ocorre a Formação Barreiras e os sedimentos inconsolidados do Neógeno ao Recente. Segundo o *Livro de Caracterização do Meio Físico da Região Metropolitana do Recife* (2022), esses sedimentos estão representados por terraços marinhos antigos, terraços marinhos recentes, sedimentos fluviolagunares recentes, rochas de praia, sedimentos de praia, sedimentos de mangue recentes e sedimentos aluvionares recentes (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL [SGB], 2022). Essa diversidade de unidades geológicas reflete a complexa evolução sedimentar e tectônica da região (Figura 03).

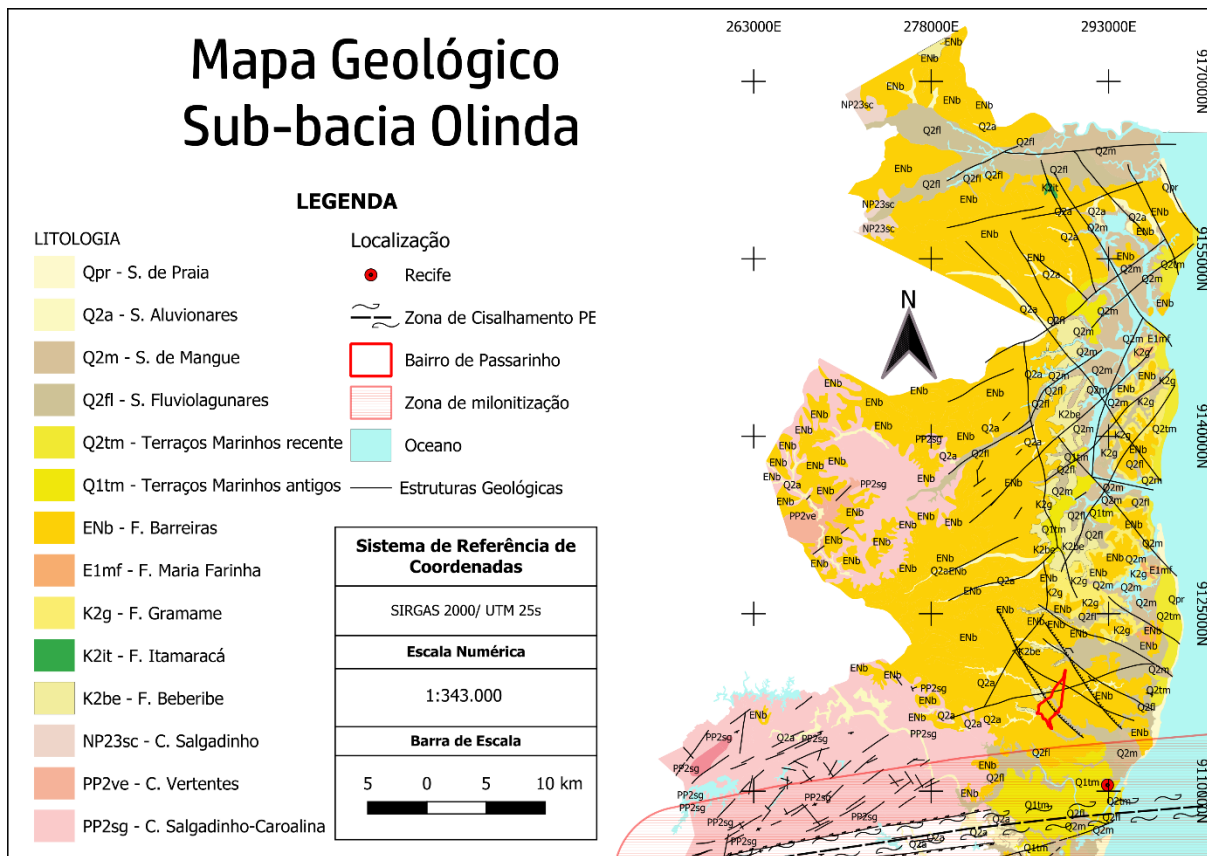


Figura 03: Mapa Geológico da sub-bacia Olinda. Fonte: Produzido pelo autor

As rochas do Complexo Salgadinho foram classificadas como ortognaisses de composição granítica a tonalítica e, em menor proporção, monzonítica, monzodiorítica e diorítica. As rochas do Complexo Vertentes foram descritas como uma sequência metavulcano-sedimentar, constituída por quartzitos, metapelitos e metavulcânicas diversas. Por fim, as rochas do Complexo Surubim-Caroalina compreendem xistos, paragnaisses, quartzitos e mármore (CPRM; SILVA, 2017).

A unidade sedimentar mais antiga da BP é a Formação Beberibe, a idade da sequência mais basal ainda é alvo de discussões, sendo inferida por Nóbrega e Alheiros (1991) como Santoniano-Campaniano de (87,5 - 74,5 Ma). Essa unidade é composta por uma sequência basal arenosa conglomerática, representada por leques aluviais costeiros, com arenitos continentais de médios a grossos, localmente conglomeráticos, e intercalações de siltitos e folhelhos (BARBOSA et al., 2007). No sentido da plataforma, os litotipos citados intercalam-se com os sedimentos de trato transgressivos da Formação Itamaracá, descrita como arenitos calcíferos, calcários com siliciclásticos e margas, de idade de sedimentação Neo-Campaniana ao Maastrichtiano inferior (KEGEL, 1954, 1955, 1957a; BARBOSA, 2007). Também foi

classificada como siltitos argilosos intercalados com arenitos finos a muito finos, arenitos calcíferos e fosforitos, apresentando forte influência de sistema fluvial em sua composição (BEURLIN 1967; VALENÇA E SOUZA, 2017). Barbosa (2007) indicou ser possível que haja uma discordância separando o topo da Formação Beberibe e a base da Formação Itamaracá, tal discordância teria idade Meso-campaniano (Figura 04).

Sobre estes estratos transgressivos, ocorrem calcários margosos e margas da Formação Gramame, depositados no Maastrichtiano em plataforma rasa, com energia de baixa a moderada, dominadas por processos de agração (BARBOSA, 2007). O topo da Formação Gramame apresenta uma discordância erosiva, que durante o Paleógeno, ocorreu a deposição da Formação Maria Farinha. Esta unidade é caracterizada por calcários nodulares detríticos, calcilutitos e margas, dando continuidade à sedimentação carbonática (VALENÇA; SOUZA, 2017).

Recobrando discordantemente tanto as rochas do embasamento cristalino, nas bordas da bacia, quanto os estratos do Cretáceo ou do Paleoceno, ocorrem os depósitos da Formação Barreiras, de idade Plio-Pleistocênica, e os sedimentos quaternários (LIMA FILHO et al., 2006). A unidade em destaque na área de estudo é a Formação Barreiras, definida como arenitos quartzosos subarcoseanos com matriz caulínica/ferruginosa, pouco consolidado e de coloração variegada (avermelhada, alaranjada, amarelada e marrom), apresentando níveis lateríticos e camadas siltico-argilosas. Essa formação apresenta três litofácies distintas: (1) Fácies de leques aluviais medianas e distais; (2) Fácies de sistemas fluviais de canais entrelaçados, a granulometria é majoritariamente de areia grossa a conglomerática, intercalada por estratos rítmicos de areia fina; (3) Fácies de planícies flúvio-lacustres, ocorrem areias médias a finas com camadas de siltito e argilito (SOUZA, 2006; BARBOSA et al., 2007).

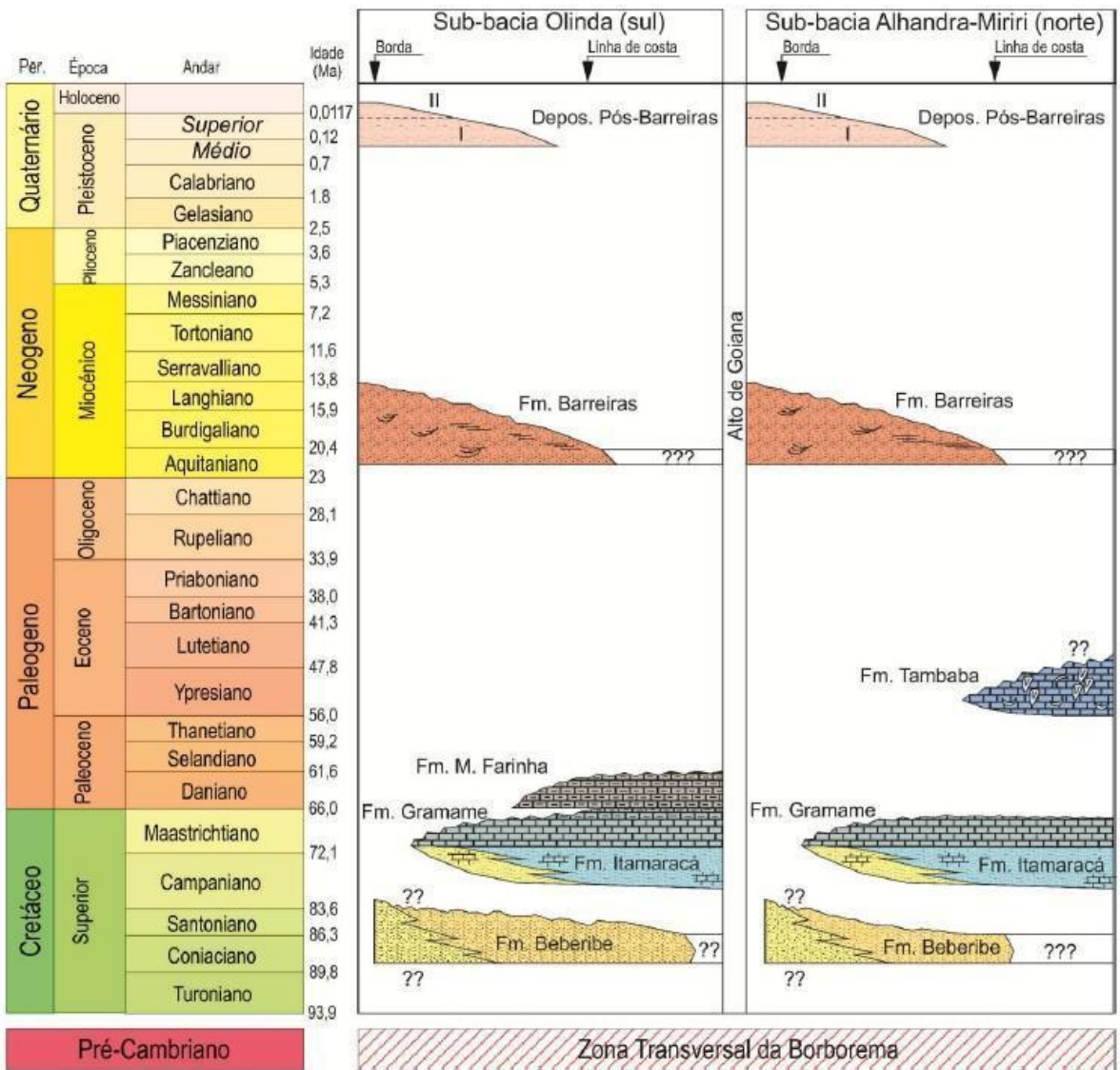


Figura 04: Litoestratigrafia da Bacia Paraíba, evidenciando as sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri. Fonte: Correia Filho et al, 2015.

Conforme o *Relatório Técnico da Folha Itamaracá* (CPRM, 2017) e o *Livro Caracterização do Meio Físico da RMR* (SGB, 2022), os representantes mais antigos dos sedimentos quaternários são os terraços fluviais, que podem ser classificados como: 1) Terraços fluviais antigos, regiões aplainadas com cota entre 7 e 10 metros, constituídas por areias quartzosas com grãos sub arredondados a arredondados e tamanho de grão variando de areia fina à média; 2) Terraços fluviais recentes, caracterizado pela cota mais baixa (1 a 3 metros) e granulometria mais fina, com a presença de fragmentos de conchas. A gênese desses terraços está associada a dois eventos de regressão marinha que ocorreram após dois períodos transgressivos durante o Pleistoceno e o Holoceno (CPRM, 2017; SGB, 2022).

Posteriormente aos terraços fluviais, ocorreu a deposição simultânea de sedimentos de ambientes distintos, compreendendo: (1) Sedimentos fluviolagunares, constituídos por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfosos; (2) Sedimentos de mangue, formados por argilas, siltes, areia finas, carapaças de diatomáceas, espículas de espongiários, restos orgânicos e fragmentos de conchas; (3) Rochas de praia, conhecidas como recifes/arrecifes, compostas por grãos de quartzo fragmentos de conchas aglutinados por cimento silicoso, carbonático ou ferruginoso; (4) Sedimento de praia, caracterizados por areias quartzosas com fragmentos de conchas e minerais resistentes; (5) Sedimentos aluvionares recentes, formados por material areno-argiloso, distribuídos ao longo dos canais e planícies de inundação dos grandes rios regionais (CPRM, 2017; SGB, 2022).

## 2.2. ARCAPOUÇO ESTRUTURAL

A análise da compartimentação estrutural do embasamento cristalino e sua relação com a evolução da Bacia Paraíba constitui um aspecto fundamental desta subseção. Busca-se compreender de que maneira essas estruturas influenciam a área em investigação, avaliando como os esforços tectônicos atuantes se manifestam na superfície e em que medida a cinemática das estruturas regionais podem contribuir para processos de instabilidade local.

De acordo com Souza (2006), a Bacia Paraíba está inserida no contexto das bacias marginais brasileiras, portanto, tem sua gênese e desenvolvimento intimamente relacionadas aos fenômenos de ruptura da litosférica, deriva divergente das placas Sul-Americana e Africana e o soerguimento do Atlântico durante a abertura oceânica.

As estruturas proterozoicas exercem controle direto na compartimentação da Bacia Paraíba. O rifteamento associado a fragmentação do Gondwana reativou as zonas de cisalhamento com trends NE-SW (sinistrais) e E-W (dextrais), durante o Jurássico Inferior e o Eo-Cretáceo, (CASTRO et al. 2008; MATOS, 1992 e 2000; ROSSETTI et al. 2011). Essas estruturas pré-existentes foram essenciais fundamentalmente importantes no controle e evolução da bacia. Após este rifteamento inicial a Bacia Paraíba foi submetida a uma reativação tectônica pós-cretácea de natureza distensional, responsável pela formação de um sistema tafrogênico ao longo das antigas zonas de cisalhamento Proterozoicas de direção E-W e ENE-WSW (BRITO NEVES et al., 2004), marcando uma nova fase na evolução estrutural da região.

Segundo Bezerra et al. (2023), com base em dados sísmicos, geofísicos, análises de campo e de subsuperfície, identificaram mudanças no campo de tensões a partir de 80 milhões de anos atrás. Essas alterações estão correlacionadas às tensões geradas pelo soerguimento



da Cordilheira dos Andes e pela atividade da Dorsal Mesoatlântica. Conforme os autores, esses processos foram responsáveis por inversões no campo de tensões em áreas intraplacas no Brasil, modificando o regime tectônico durante o Cretáceo Superior, o Paleógeno e o Neógeno-Quaternário (BEZERRA et al., 2023).

A Sub-bacia Olinda apresenta limites estruturais bem definidos, sendo delimitada ao sul pelo Lineamento Pernambuco e ao norte pela Falha Goiana. O Lineamento Pernambuco consiste em uma zona de cisalhamento de cinemática dextral, apresentando uma faixa de deformação dúctil, que gerou rochas miloníticas com uma zona influência da deformação que pode atingir até cinco quilômetros de extensão. No município do Recife, essa estrutura encontra-se encoberta por sedimentos, emergindo na linha de costa na convergência das drenagens que formam os estuários dos rios Jequiá, Tejió e Capibaribe (DAVISON et al., 1995). Ao Norte, a Zona de Cisalhamento Feira Nova, de cinemática sinistral e direção NE-SW, funde-se com a Zona de Cisalhamento Gado Bravo, de cinemática dextral e direção E-W, denominada por (LIMA et al., 2017). Após esse ponto, ela se divide em três ramos que se propagam sob os sedimentos da bacia, influenciando diretamente nas drenagens do estuário do Rio Goiana, tendo o limite norte da Sub-bacia Olinda demarcado pela Falha Goiana (LIMA et al., 2017).

A configuração do sistema de horsts e grabens, bem como os limites da borda da bacia, foram determinados por meio de estudos geofísicos pela CPRM (2003), onde foi interpretado o alinhamento das anomalias positivas nos mapas magnéticos do campo total e do sinal analítico e no mapa gravimétrico residual (Figura 05).

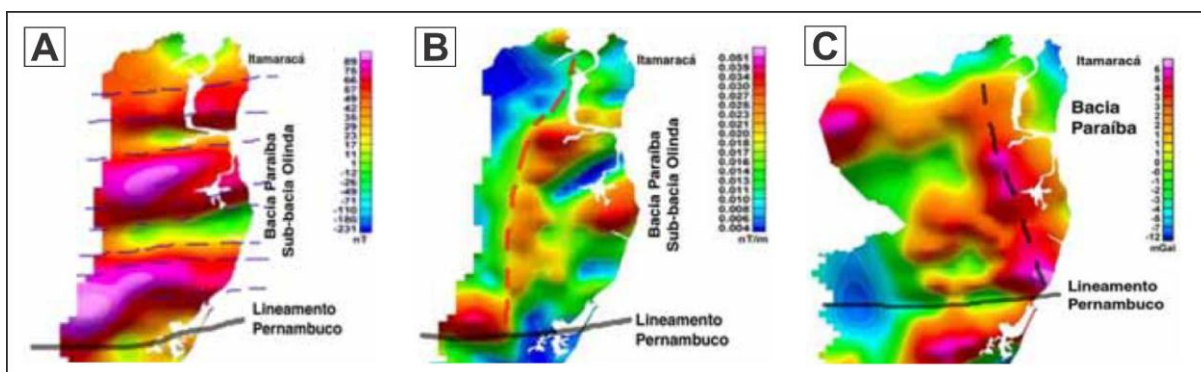


Figura 05: A) Mapa magnético do campo total residual. B) Mapa de sinal analítico evidenciando alinhamento N-S. C) Mapa gravimétrico residual da faixa costeira de Pernambuco. Fonte: Adaptado de Relatório SIGA - CPRM/CPRH, 2003.

Com base nos estudos de Topan (2018), foi traçado vários lineamentos na Sub-bacia Olinda e das unidades que compõem seu embasamento cristalino, com base nas imagens SRTM, Dz e ASA, evidenciados nos estereogramas (Figura 06).

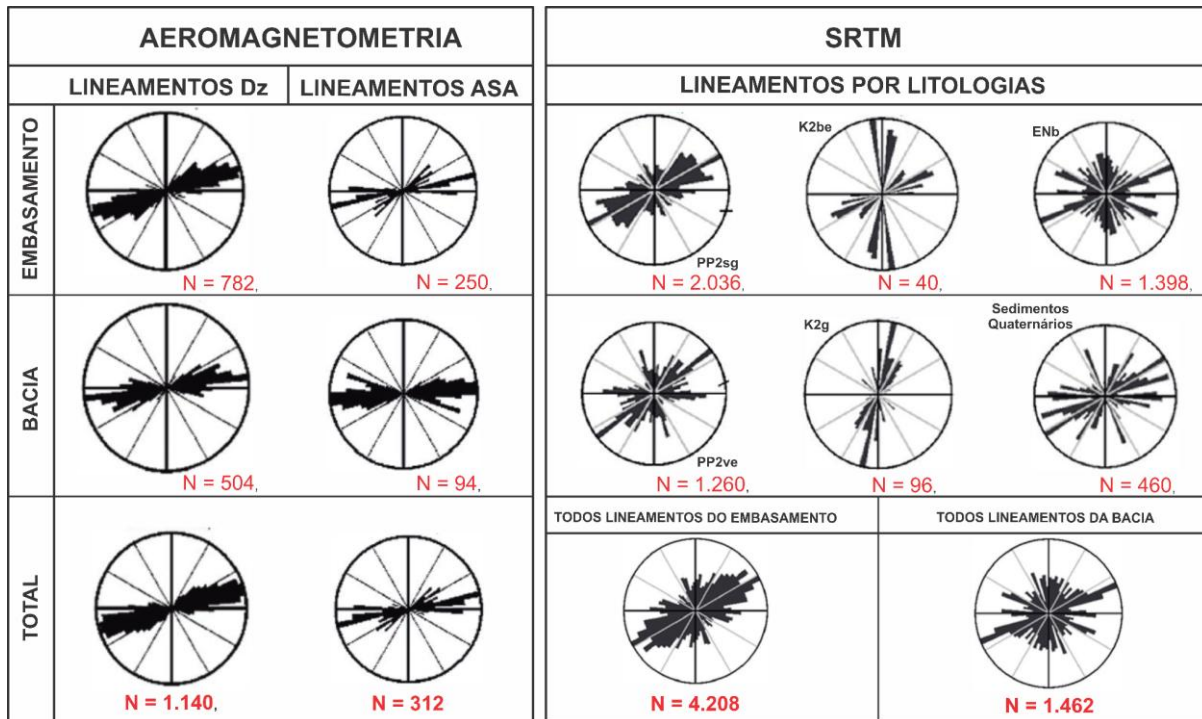


Figura 06: Agrupamento dos estereogramas publicados por Topan (2018). Fonte: Adaptado pelo autor.

Diante disso, a análise feita pelo autor confirma que o embasamento de forma geral sofreu um esforço maior WNW-ESE mais próximo NNW-SSE, corroborando com sua interpretação dos dados da primeira derivada vertical do campo magnético (Dz), onde o *trend* principal dos lineamentos são ENE-WSW indicam um possível esforço NNW-SSE. O *trend* E-W está ligado a um esforço N-S, apresentam-se bem distribuídos nas unidades e na maioria das estruturas principais, assim como o *trend* WNW-ESE está ligado a um possível esforço ENE-WSW, acredita-se na reativação de ambos trends. As unidades do embasamento possuem um forte *trend* ENE-WSW (TOPAN, 2018).

Da mesma maneira, o autor analisou os sedimentos da Sub-bacia Olinda, os *trends* ENE-WSW e E-W são relacionados a estruturas do embasamento, tanto distensionais quanto compressionais, sobre regime transcorrente (BEZERRA et al., 2008). Estas reativações das estruturas dúcteis, caracterizadas por falhas normais e transcorrentes, resultam em uma sequência de estruturas de graben e horst ao longo da planície costeira. Como são observadas fortemente na Formação Barreiras e em Sedimentos quaternários, acredita-se que estas estruturas sofreram reativações até o Pós-Mioceno. A Formação Beberibe apresenta forte



Trend N-S, relacionada à quebra do rifte, que foi responsável por falhas extensionais de direção predominante N-S (TOPAN, 2018).

Por meio de dados de poços Barbosa e Lima Filho (2006), propôs algumas subdivisões na Sub-Bacia Olinda como; o Graben Goiana; o Alto de Goiana; o Graben Itamaracá e o Graben Igarassu-Recife. Entretanto, Topan e Lima Filho (2017), amplia estas subdivisões com base nas interpretações de imagens SRTM, Dz e ASA, (Figura 07). Por consequência a reconfiguração proposta foi: (1) O Alto Goiana é limitado a norte pela Falha de Goiana e ao sul pela Falha de Tejucupapo; (2) O Graben de Itapessoca encontra-se entre a Falha de Tejucupapo a norte e a Falha de Botafogo ao sul; (3) o Graben de Itamaracá é limitado pela Falha de Botafogo, ao norte, e a Falha do Rio Timbó, no final da ilha ao sul; (4) O Graben de Igarassu-Olinda situa-se entre a Falha do Rio Timbó, limite norte, e a Falha do Rio Beberibe, limite sul. (5) O Graben de Casa Forte é delimitado pela Falha do Rio Beberibe, a norte, e a Falha do Rio Capibaribe, a sul. (6) O Alto de Afogados, delimitado a norte pela Falha do Rio Capibaribe e a sul pelos limites da Zona de Cisalhamento Pernambuco.

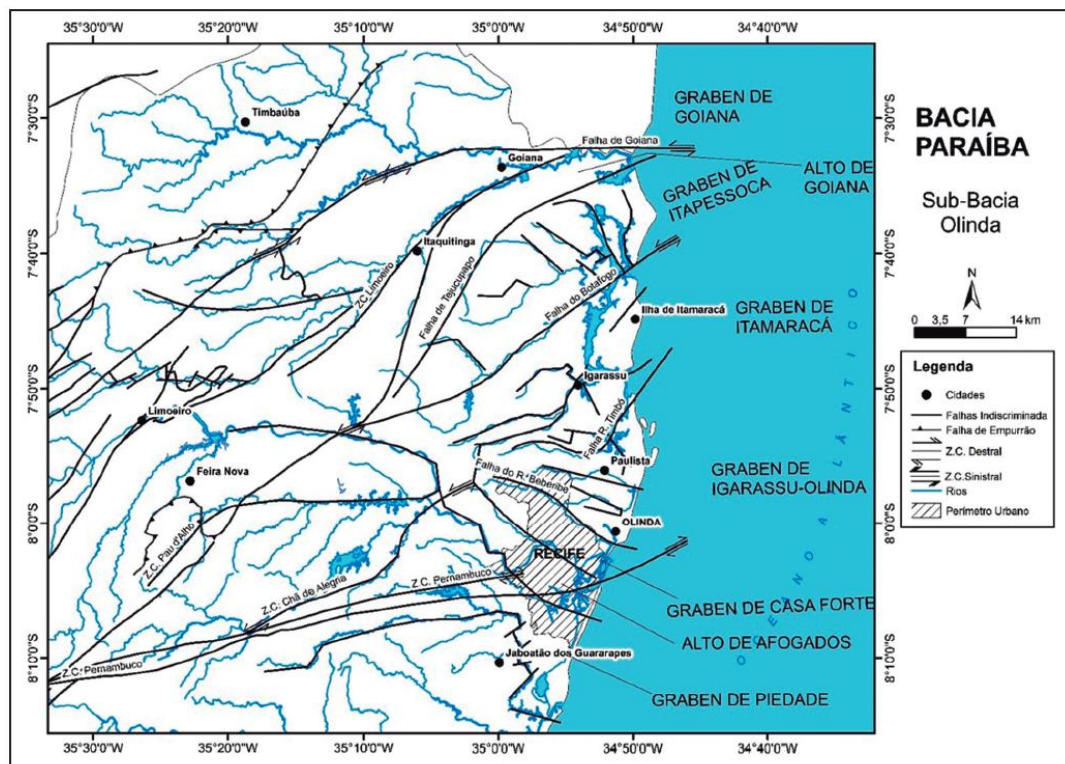


Figura 07: Mapa das subdivisões da Sub-bacia Olinda, Bacia Paraíba a partir da sobreposição de dados de SRTM e Aeromagnético. Fonte: Topan, 2017.

Nóbrega e Alheiros (1991), encontraram um afloramento a oeste da BR - 101 e a sul do Rio Beberibe, onde através da descrição sedimentologia confirmaram fácies de ambiente lagunar e fácies de sistema fluvial proveniente da Formação Itamaracá, evidenciaram uma

brusca descontinuidade lateral, sugerindo falhamentos de gravidade, com elevação do bloco onde se encontra o afloramento que expõe as fácies lagunares. Somando a este fato, com o alinhamento do curso principal do rio Beberibe, foi inferido e demarcado, a Falha do Rio Beberibe de *trend* NW-SE.

Esta pesquisa adotou a compartimentação estrutural proposta por Topan (2018). A Falha do Rio Beberibe corta ao meio o bairro de Passarinho, a porção norte do bairro está situada sobre o Graben Igarassu-Olinda, enquanto na porção sul do bairro fica o Graben Casa Forte, região onde se localiza o talude em estudo.

Esse arcabouço estrutural complexo condicionou não apenas a evolução sedimentar da bacia, mas também os processos geomorfológicos atuais. A compreensão dessa relação é essencial para avaliação de riscos geológicos e para o entendimento da dinâmica superficial da área de estudo.

## 2.3 GEOMORFOLOGIA, PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA

O estudo geomorfológico integrado as análises dos processos erosivos e movimentos massa são fundamentais para compreender a dinâmica superficial das unidades geomorfológicas, especialmente do período Terciário à Recente, onde protagonizam os Tabuleiros Costeiros por ser nessa unidade que se concentram a maioria das áreas de risco geológico da RMR. Esta análise é particularmente relevante para a avaliação dos taludes urbanizados, onde a interação entre processos naturais e ação antrópica potencializam os riscos geológicos.

### 2.3.1 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Os agentes modificadores do relevo na região podem ser classificados em endógenos e exógenos. Entre os primeiros, destacam-se os esforços tectônicos que produziram as estruturas dúcteis e rúpteis sob embasamento cristalino, bem como os movimentos epirogênicos relacionados ao soerguimento da Sub-Bacia Olinda, que influenciam diretamente no sistema de horsts/grabens e posteriormente no entalhe das unidades geomorfológicas. Esses processos são frequentemente identificáveis através da convergência dos lineamentos geofísicos e os padrões de drenagem. Por outro lado, os processos exógenos incluem fatores climatológicos (precipitação, ventos, temperatura, eustasia), bióticos (ação da fauna e flora) e antrópicos (obras, cortes no relevo, desmatamentos, acúmulo de materiais tecnogênicos), que atuam conjuntamente na modelagem da paisagem (ALHEIROS et al., 2004; SGB, 2022).

A Sub-Bacia Olinda apresenta um relevo diversificado, caracterizado por Vales Encaixados, Morros Baixos, Colinas, Tabuleiros, Tabuleiros Dissecados, Terraços Fluviais, Recifes e Planícies de diversos tipos (Fluviomarinhas, Marinhas, Lagunares e de Inundação). O clima tropical úmido (As), com índices pluviométricos que superaram a média de 1.500 mm/ano, favoreceu um intenso desenvolvimento pedogenético, resultando em solos residuais espessos nas cristas e cabeceiras (Argissolos, Latossolos e Espodossolos), enquanto nas vertentes declivosas e margens dos talvegues predominam Argissolos, Gleissolos, Neossolos e solos indiscriminados de mangue (ARAÚJO FILHO et al., 2000). As variações climáticas quaternárias tiveram impacto significativo nas taxas de intemperismo, pedogênese e erosão, contribuindo para o transporte de sedimentos em direção às planícies.

Como destacado por Cesário (2006), a região entre os morros de Olinda e Guararapes forma um anfiteatro natural de colinas esculpidas nos sedimentos cenozoicos da Formação Barreiras, que envolve a chamada “baía entulhada do Recife” (Figura 08). Esta planície aluvial flúvio-marinha foi sucessivamente alterada por processos de transgressão e regressão marinha durante o Quaternário (LINS, 1982), demonstrando a complexa interação entre processos geomorfológicos e sedimentares na região.

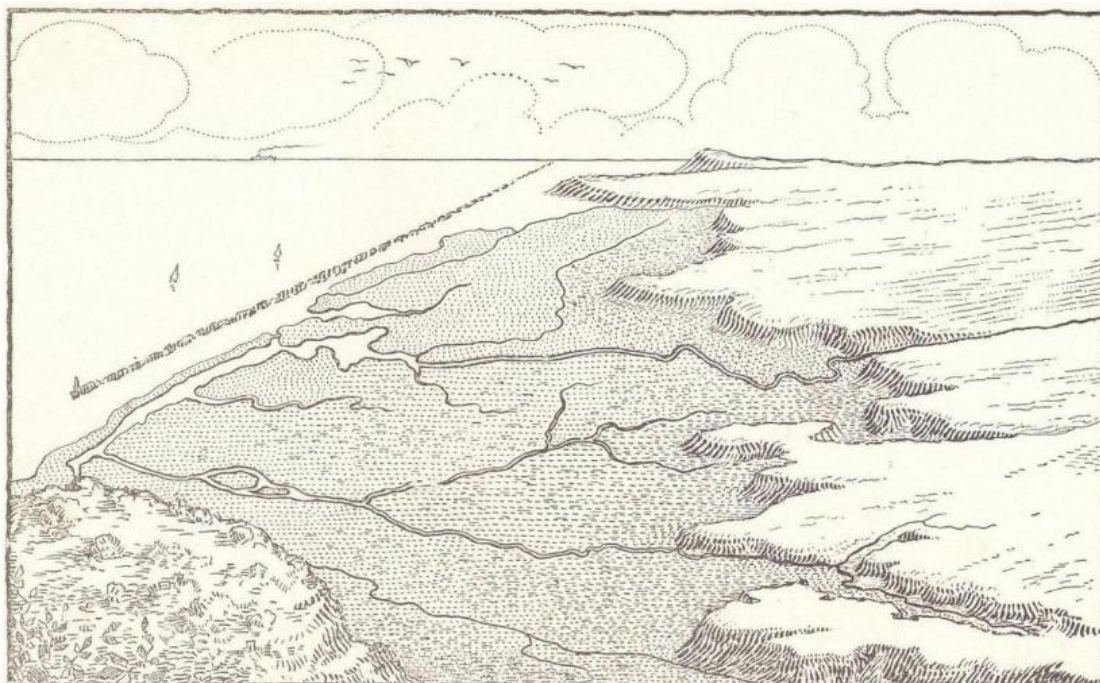


Figura 08: Desenho esquemático da baía entulhada do Recife. Fonte: Oliveira, 1942.

A dinâmica morfológica possibilitou o desenvolvimento de solos residuais espessos nos tabuleiros e formação solos transportados nas planícies do Recife, a região sofreu a influência das estruturas do embasamento onde a Falha do Rio Beberibe é um produto diretamente dos

esforços tectônicos, onde se desenvolveu rede de drenagem, guiando os processos erosivos e a configuração atual do relevo. Dessa forma, o padrão de drenagem da região mostra que o alinhamento do Rio Beberibe está intimamente relacionado a compactação estrutural bacia, que por sua vez direcionou a rede de drenagem principal, a atuação do principal agente erosivo no dessecamento dos tabuleiros.

### 2.3.2 AGENTES EROSIVOS

Neste trabalho, adotou-se o sistema de classificação amplamente reconhecido e utilizado, o Sistema Unificado de Classificação do Solo (SUCS), que fornece uma estrutura abrangente para a classificação de solos com base em suas propriedades. Llopis Trillo (1999), relacionou a classificação do solo com a sua erodibilidade, sendo considerado mais erodíveis os solos com textura predominante de areia e silte, onde a baixa parcela de coesão, em comparação aos solos argilosos, e a massa menos pesada, em comparação aos pedregulhos, facilitam o processo de desagregação e transporte dos sedimentos (Figura 09).

| SÍMBOLO | DESCRIÇÃO DO SOLO                                                                                                             | ERODIBILIDADE                                                   |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| GW      | Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos                                            | <div>Menos erodível</div> <div>↓</div> <div>Mais erodível</div> |
| GP      | Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos                                           |                                                                 |
| SW      | Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos                                                         |                                                                 |
| GM      | Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte                                                                         |                                                                 |
| CH      | Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas                                                                   |                                                                 |
| CL      | Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras |                                                                 |
| OL      | Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa                                                            |                                                                 |
| MH      | Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos                                  |                                                                 |
| SC      | Areias argilosas                                                                                                              |                                                                 |
| SM      | Areias siltosas                                                                                                               |                                                                 |
| ML      | Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plástico.  |                                                                 |

Figura 09: Suscetibilidade à erosão conforme os tipos de solo. Fonte: Lloppis Trilho, 1999.

A erosão do solo emerge como processo fundamental, ocorrendo quando as forças de remoção e transporte superam a resistência do solo (THORNES, 1980). Esse fenômeno desenvolve-se em três fases sequenciais: desagregação inicial das partículas pelo impacto de agentes erosivos (principalmente água e vento), transporte desses materiais e sua posterior deposição quando a energia do agente diminui (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014). Na região, a água destaca-se como principal agente modelador, com as chuvas intensas características do clima tropical úmido acelerando significativamente os processos erosivos.

O mecanismo da erosão hídrica depende fundamentalmente de três fatores hidrológicos inter-relacionados: a capacidade de infiltração (influenciada pela porosidade do solo e cobertura vegetal), o armazenamento de água nos poros do solo e a geração de escoamento superficial quando a intensidade pluviométrica excede a taxa de infiltração (FAO, 2019). O processo inicia-se com a erosão por salpicamento (*splash erosion*), onde o impacto das gotas de chuva pode projetar partículas do solo a distâncias de até 1,5 metros, seguido pelo desenvolvimento de escoamento em lençol (*sheet flow*) que remove camadas uniformes de solo. Com a concentração do fluxo hídrico, formam-se sulcos e ravinas que podem evoluir para boçorocas em casos mais severos. Fullen e Catt (2004), procurando diferenciar as ravinas das boçorocas afirmam, que as ravinas tendem a fazer a incisão principalmente no horizonte A, as boçorocas atingem facilmente os horizontes B e C, podendo, por vezes, atingir a rocha matriz, dependendo da força do processo erosivo. A formação de crostas superficiais, resultado do rearranjo e compactação de partículas após o impacto das chuvas, representa outro aspecto relevante ao reduzir a infiltração e intensificar o escoamento superficial. Na ilustração abaixo evidencia-se alguns dos mecanismos citados (Figura 10).



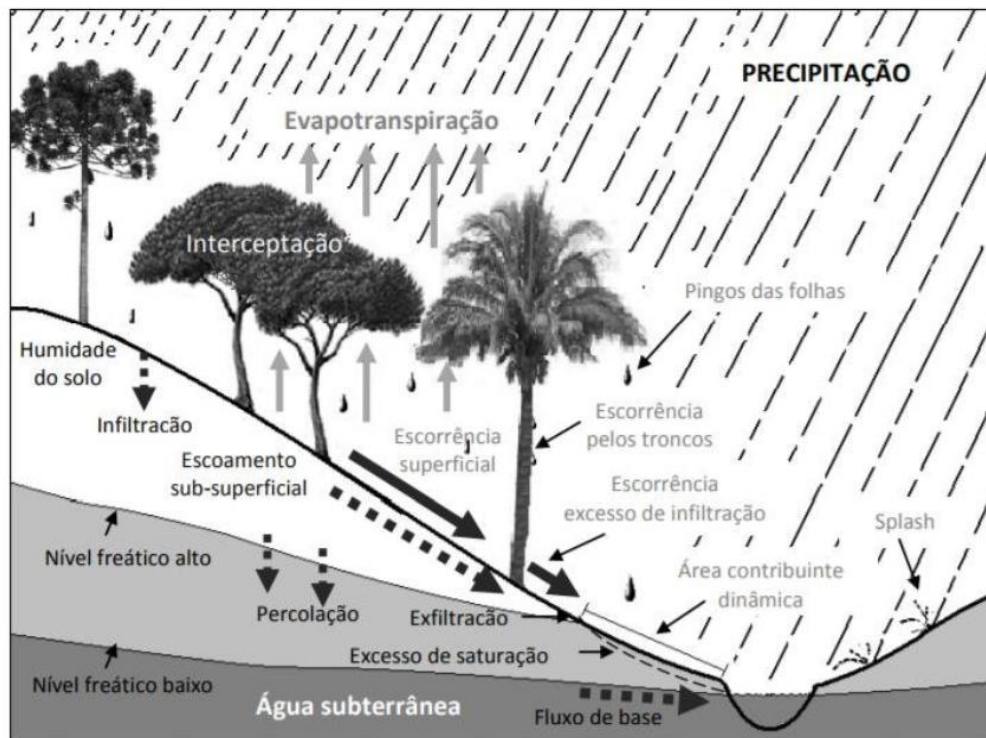


Figura 10: Concepção artística do processo de erosão hídrica no solo. Fonte: Meneses, 2011.

Os fatores que controlam a erosão podem ser divididos em naturais e antrópicos. Entre os naturais, destaca-se a erosividade das chuvas (intensidade, total precipitado, momentos e energia cinética), a erodibilidade do solo (granulometria, textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e o pH do solo), as características do terreno (declividade, comprimento e geometria da encosta), A cobertura vegetal exerce papel crucial nesse contexto, amortecendo o impacto das gotas de chuva, aumentando a infiltração e contribuindo para a formação de húmus que melhora a estrutura do solo (TEIXEIRA et al., 2008).

Contudo, os fatores antrópicos têm potencializado significativamente os processos erosivos na região. Práticas como desmatamento, agricultura inadequada e urbanização acelerada removem a proteção vegetal natural, expondo o solo à ação direta dos agentes erosivos e podendo levar à degradação irreversível em casos extremos. As chuvas intensas na região agravam ainda mais os riscos de instabilidade em encostas, pois a água infiltrada pode saturar o solo, reduzir sua coesão e aumentar significativamente seu peso. Quando a intensidade pluviométrica supera a capacidade de infiltração e percolação, o excedente hídrico flui superficialmente, intensificando diversos processos erosivos e aumentando o risco de movimentos de massa (TEIXEIRA et al., 2008).

A formação e desenvolvimento dos Tabuleiros Dissecados resultam da atuação combinada de processos naturais e intervenções humanas recentes. O processo erosivo inicia-se com a desagregação progressiva das partículas do solo, seguidas pelo transporte via escoamento superficial difuso. Esse mecanismo evolui gradualmente, transformando sulcos incipientes em ravinas e posteriormente em boçorocas de maiores dimensões, conforme evidenciado pelas feições observadas na área de estudo. A dinâmica erosiva é marcada por processos remontantes que atuam nas cabeceiras dos vales, promovendo o recuo sistemático das vertentes e o aumento da densidade de drenagem. Esse padrão intensificou-se nas últimas décadas pela remoção da cobertura vegetal original e por modificações no uso do solo. A compreensão detalhada desses processos comprova-se essencial para o desenvolvimento de estratégias adequadas de gestão territorial, visando à mitigação dos riscos geológicos associados à evolução acelerada das formas de relevo.

### 2.3.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

A erosão dos solos e os movimentos gravitacionais de massa (MGM) são geralmente abordados e analisados separadamente, os MGM é resultado da força de cisalhamento nas encostas, são causadas pela ação da gravidade, quando o peso do material somado o da água no solo conseguem superar a resistência dos materiais, determinada pelas propriedades de coesão e ângulo de atrito do maciço terroso (GUERRA, 2017). Há algumas maneiras distintas de se classificar os movimentos de massa, as formas se baseiam na combinação de critérios como: a cinemática do movimento, à velocidade, direção e sequência dos deslocamentos em relação ao terreno estável; o tipo de material, solo, rocha, solos e rochas, detritos, depósitos, estrutura, textura, percentagem de água, etc.; e a geometria, tamanho e forma das massas mobilizadas (COUTINHO, 2014). Os MGM podem ser classificados em quatro tipos principais: as quedas, desprendimento e queda livre de blocos rochosos em vertentes íngremes; os escorregamentos, movimento rápido ao longo de superfícies de ruptura definidas; o rastejo, movimento lento e contínuo de solos; e os fluxos, movimento fluidificado como corridas de detritos. A classificação proposta por Augusto Filho (1992), considera o mecanismo, a velocidade e o material envolvido no MGM, (Figura 11).

| CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS, AUGUSTO FILHO (1992) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROCESSOS                                          | CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| RASTEJO<br>(CREEP)                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamento (internos).</li> <li>• Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes c/ a profundidade.</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes.</li> <li>• Solo, depósito, rocha alterada/fraturada.</li> <li>• Geometria indefinida.</li> </ul>                                                                                                                                            |
| ESCORREGAMENTOS<br>(SLIDES)                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamentos (externos).</li> <li>• Velocidades média (m/h) a altas (m/s).</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material.</li> <li>• Geometria e materiais variáveis:</li> <li>• PLANARES = solos poucos espessos, solos e rochas c/ um plano de fraqueza;</li> <li>• CIRCULARES = solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</li> <li>• EM CUNHA = solos e rochas com dois planos de fraqueza.</li> </ul> |
| QUEDAS<br>(FALLS)                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamentos.</li> <li>• Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado.</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s).</li> <li>• Material rochoso.</li> <li>• Pequenos a médios volumes.</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.</li> <li>• ROLAMENTO DE MATAÇÃO</li> <li>• TOMBAMENTO</li> </ul>                                                                                                 |
| CORRIDAS<br>(FLOWS)                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa em movimentação).</li> <li>• Movimento semelhante ao de um líquido viscoso.</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens.</li> <li>• Velocidades médias e altas.</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água.</li> <li>• Grandes volumes de material.</li> <li>• Extenso raio de alcance mesmo em áreas planas.</li> </ul>                                |

Figura 11: Classificação dos movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Augusto Filho, 1992.

Considerando os tipos de movimento de massa conhecidos, os escorregamentos são os mais frequentes na RMR. Normalmente, após sua deflagração, esses processos são facilmente reconhecidos pela população em geral, que, comumente, os denominam desbarrancamento ou queda de barreira (TOMINAGA, 2015).

Terzaghi (1950), analisou a dinâmica de um escorregamento (Figura 12). No gráfico, o ponto “O” representa o momento em que o agente causador do escorregamento começa a atuar. A partir do ponto “a”, ocorre a deflagração do movimento propriamente dito, em alta velocidade, até atingir o ponto “b”, onde as forças responsáveis pelo movimento diminuem gradualmente, levando a massa a alcançar posições mais estáveis. O deslocamento entre os pontos “O” e “a” pode gerar fendas de tração na parte superior da área de escorregamento, caracterizando uma fase de sinais premonitórios. Após o deslocamento da massa, quando as diferenças entre as forças atuantes são equilibradas (entre os pontos “b” e “c”), o movimento assume uma característica de rastejo. Esse fenômeno depende das alterações na estrutura interna do material provocadas pelo movimento gravitacional, sendo o rastejo mais comum em



materiais tixotrópicos “materiais que apresentam uma pseudo elasticidade quando submetidos as tensões cisalhantes e que retomam suas características quando a tensão é removida”, essa condição pode prolongar o rastejo por vários anos.

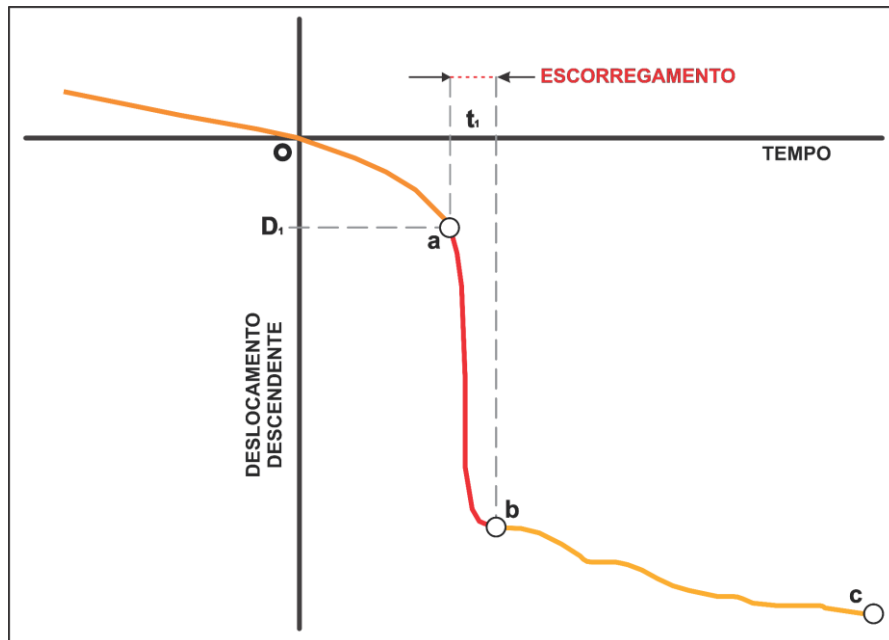


Figura 12: Gráfico caracterizando o deslocamento pelo tempo de um escorregamento, evidenciando suas etapas envolvidas pré, durante e após o fenômeno. Fonte: Terzaghi, 1950.

Quando a superfície de ruptura é curvada no sentido superior com movimento circular em materiais superficiais homogêneos, solos, rochas sedimentares ou maciços rochosos intensamente fraturados, supondo que a tensão e resistência ao cisalhamento sejam uniformemente distribuídas ao longo da superfície de ruptura, o movimento de massa é classificado como escorregamento rotacional ou circular. Geralmente a superfície de ruptura atinge um limite de posição inferior, podendo ser uma rocha, uma argila muito dura ou algum contraste abrupto entre resistências, pois a ruptura segue o caminho de menor resistência. Entretanto, se as massas de solo ou rocha possuírem anisotropias acentuadas em seu interior, os escorregamentos irão provavelmente apresentar plano de movimentação condicionado às anisotropias, favorecendo o movimento de translação, caso as estruturas apresentem sentido de mergulho para fora do talude. Nos escorregamentos planares ou translacionais, a massa que escorrega apresenta geralmente o formato tabular, e o movimento de curta duração, velocidade elevada e grande poder de destruição (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

Enquanto nos escorregamentos rotacionais ocorrem em taludes mais íngremes e possuem extensão relativamente limitada, os escorregamentos translacionais podem ocorrer em taludes mais abatidos e são geralmente extensos, (KRYRINE e JUDD, 1957; VARGAS,

1972; GUIDICINI e NIEBLE, 1983). Ambos fenômenos são amplamente verificados nas encostas brasileiras, e os mais comuns em relação aos movimentos de massa ocorridos na RMR, produzindo grandes danos quando ocorrem em zonas densamente habitadas, desencadeando a morte por soterramento e comprometendo o imóvel pelo dano a diversas estruturas, (PREFEITURA DO RECIFE, 2024).

Segundo Pfaltzgraff (2007), aponta que na RMR os escorregamentos mais letais são os do tipo planar ou translacionais, que se caracterizam pelo movimento para frente e para baixo, do material deslizando ao longo de uma superfície mais ou menos plana. Se localizam principalmente sobre as áreas constituídas por sedimentos da Formação Barreiras, e são típicos em camadas de solo pouco espessas separadas por planos de fraqueza, tais como, o contato entre duas camadas de composições diferentes. Já os escorregamentos rotacionais são característicos em solos mais espessos e homogêneos como os solos residuais (normalmente).

Para definir a solução adequada de redução de risco é necessário possuir um claro entendimento dos mecanismos e fatores deflagradores dos movimentos, que segundo Coutinho (2014):

Os processos de movimentos de massa podem ocorrer devido a três grandes situações: i) Aumento das tensões cisalhantes: relacionado à remoção do suporte lateral (erosões, fluxos d'água, "pipping"), adição de materiais no topo da encosta, explosões, passagem de veículos pesados, forças tectônicas, etc.; ii) Contribuição para baixas resistências ao cisalhamento: relacionado tanto a características inerentes do material envolvido quanto à presença de fissuras, falhas e/ou descontinuidades na massa de rocha / solo; iii) Redução na resistência do material: relacionado principalmente a materiais argilosos ao sofrerem processos de intemperismo, reações físico-químicas (hidratação de argilominerais - perda de coesão), saturação.

Varnes (1978), relacionou os principais mecanismos de deflagração de movimentos de massa, reconhecendo os fatores que aumentam as solicitações e os que diminuem a resistência dos terrenos, com os respectivos fenômenos naturais e antrópicos a que estão associados (Figura 13).

| Ação                   | Fatores                               | Fenômenos Naturais / Antrópicos                                                                                                                                                                                  |
|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUMENTO DA SOLICITAÇÃO | Remoção de massa                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão, escorregamentos;</li> <li>Cortes</li> </ul>                                                                                                                       |
|                        | Sobrecarga                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Peso da água de chuva, neve, granizo, etc.;</li> <li>Acúmulo natural de material;</li> <li>Peso da vegetação;</li> <li>Construção de estruturas, aterros, etc.</li> </ul> |
|                        | Solicitações dinâmicas                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Terremotos, ondas, vulcões, etc.;</li> <li>Explosões, tráfego, sismos induzidos.</li> </ul>                                                                               |
|                        | Pressões laterais                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Água em trincas, congelamento, expansão, etc.</li> </ul>                                                                                                                  |
| REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA | Características inerentes ao material | <ul style="list-style-type: none"> <li>Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais.</li> </ul>                                                                                          |
|                        | Mudanças ou fatores variáveis         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito;</li> <li>Elevação do nível d'água.</li> <li>Aumento do grau de saturação</li> </ul>                                    |
|                        | Outras causas                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo;</li> <li>Ação das raízes das árvores e buracos de animais.</li> </ul>                                                      |

Figura 13: Fatores deflagradores de movimentos de massa. Fonte: Varnes, 1978.

Os taludes do bairro Passarinho estão inseridos nos Tabuleiros Dissecados, apresentando camadas sedimentares da Formação Barreiras com suave mergulho para leste. Estes depósitos exibem composição variável, com predominância de areias finas e siltes mais suscetíveis à erosão, intercalados com camadas argilosas que dificultam a infiltração. A estratificação sub-horizontal desses sedimentos, que incluem desde materiais finos até seixos rolados de quartzo, foi transformada por processos pedogenéticos em solos residuais profundos do tipo Argissolos e Latossolos (LIMA, 2002).

A alternância entre camadas arenosas e argilosas na Formação Barreiras cria zonas de contato instáveis que favorecem escorregamentos translacionais, os solos com menor coesão classificados como areias argilosas e areias argilo-siltosas, apresentam comportamento hidrogeológico crítico, com formação de aquíferos temporários “lençóis suspensos” em

camadas superficiais durante eventos pluviométricos que potencializam os deslizamentos (ANDRADE et al., 2023).

Os estudos de Gusmão Filho et al. (1997), realizados na COHAB, confirmam que os escorregamentos na região são predominantemente rasos e translacionais, com superfícies de ruptura paralelas ao talude nos primeiros 3 metros de profundidade, onde ocorrem as maiores variações de umidade. Este padrão é visível tanto nas cicatrizes de deslizamentos antigos quanto nos eventos recentes, evidenciando a necessidade urgente de medidas de monitoramento contínuo e estabilização das encostas urbanizadas.

## 2.4 DINÂMICA SOCIOESPACIAL: EXPANSÃO URBANA E INTERAÇÃO COM MEIO FÍSICO

A fim de superar abordagens empiristas presentes no senso comum que culpam o indivíduo, este tópico adota uma perspectiva interdisciplinar, próxima à visão miltoniana de análise socioespacial (SANTOS, 1996), visando compreender a realidade multifacetada da área em estudo. Partindo do entendimento de como se deu a expansão urbana e sua interação com o meio físico, busca-se desvendar os processos históricos e estruturais que compostos na problemática em questão, reconhecendo que a problemática atual do espaço, “[...] é um híbrido de natureza e sociedade, indissociável em sua dinâmica” conforme Santos (1996).

O Recife adquiriu suas primeiras características de cidade, inclusive mercantil, quando o vilarejo passou a abrigar algumas obras de engenharia, como aterros de mangues e drenagem de alagados, com técnicas incorporadas do Brasil Holandês, descrito por Rezende (2002). Segundo Moreira (2015), às más condições edáficas das planícies litorâneas para o plantio de cana-de-açúcar contribuíram para que se plantassem inicialmente ao longo do rio Capibaribe, onde encontraram excelentes solos nas várzeas fluviais, essas regiões serviram para expansão dos engenhos.

Posteriormente, com a crise do açúcar, que se estendeu do último quartel do século XVII ao começo do século XIX, houve uma redução drástica do contingente populacional na região, “quanto menos favoráveis fossem as condições da economia açucareira, maior seriam as tendências migratórias para o interior” (FURTADO, 2003). Desse modo, o cultivo da cana deixa de ser praticado nas planícies fluviais e adentra a zona da mata com o surgimento das Usinas e refinarias.

Diante do processo de concentração de terras, no final do século XIX, desencadeado pelo conjunto das Leis de Terras e da Lei Áurea, proporcionou o primeiro surto de migração

para a cidade do Recife após 1888, expulsando os indígenas, caboclos e afrodescendentes que viviam em condições de escravidão. Segundo Silva e Bitoun (2007), “Os subúrbios mais pobres da cidade e os mocambos logo se encheram de miseráveis que se assentavam nas encostas e nos alagados das periferias. Muitos bairros se desvalorizaram e perderam seus moradores mais abastados, em consequência dos pobres que chegavam”. Decorrente deste processo, gradualmente os engenhos do Recife transformaram-se em bairros periféricos, porém boa parte dessas localidades ainda mantém os seus nomes originais, como Madalena, Casa Forte, Apipucos, Caxangá, Cordeiro, Tamarineira, Casa Amarela, entre outros; (MOREIRA, 2015).

Entre o final do século XIX e início do século XX, sua população teve um crescimento expressivo: dos 113 mil habitantes, em 1900, passou para aproximadamente 239 mil habitantes, em 1920, sendo o crescimento populacional alimentado pelas migrações da zona rural, onde desencadeou uma acirrada especulação imobiliária (MOREIRA, 2015). Conforme as interpretações de Rezende (2002):

Entre os anos de 1939 e 1945, 13.345 mocambos foram demolidos. Há de se registrar que, em 1939, 63,7% dos prédios da cidade eram considerados mocambos [...] em 1940, a população da cidade era de 348,4 mil pessoas, aumentando para 524,7 mil habitantes em 1950, tendo o município do Recife expandido sua área territorial na década de 50, de 180 km<sup>2</sup> para 209 km<sup>2</sup>. A cidade adquiriu, nesse período, a forma urbana atual.

As ações expressas anteriormente foram executadas pela Liga Social Contra o Mocambo, criada em 1939, visava eliminar os mocambos, pois eram considerados um problema social e sanitário pela elite recifense. Foi uma política pública com dupla face: por um lado, buscou resolver a questão habitacional e sanitária dos mocambos; por outro, foi um instrumento de controle social e de remoção da população mais pobre do centro da cidade (ARAÚJO, 2023).

Nas décadas de 40 e 50, além das enchentes somadas à proibição e demolição dos mocambos na região central do Recife, a expansão acelerada da cidade fez com que as áreas de manguezais fossem intencionalmente suprimidas. Os sucessivos aterros nas margens dos rios e a expulsão dos mocambos “cederam” o lugar às boas moradias da classe média/alta. Em consequência, as habitações pobres prosseguem o seu “nomadismo” à procura por terrenos menos valorizados, encontrando-os nos morros ou na periferia da planície (MELO, 1958). Iniciou-se então, na década de 40, a transferência não planejada, em alguns momentos planejada, dos moradores expropriados dessas habitações para os morros de Casa Amarela

(futuramente dividida em vários bairros), Beberibe e Água Fria, impulsionando a ocupação sistemática dos morros da zona norte do Recife. (ALHEIROS et al., 2007; GALDINO, 2010). Um panorama do processo de ocupação territorial da região está ilustrado abaixo (Figura 14).

O crescimento populacional continuou na cidade do Recife, em 1960 atingiu uma população de 797,2 mil habitantes, progredindo posteriormente, em 1970, para a casa de um milhão de habitantes, (MELO, 1978).

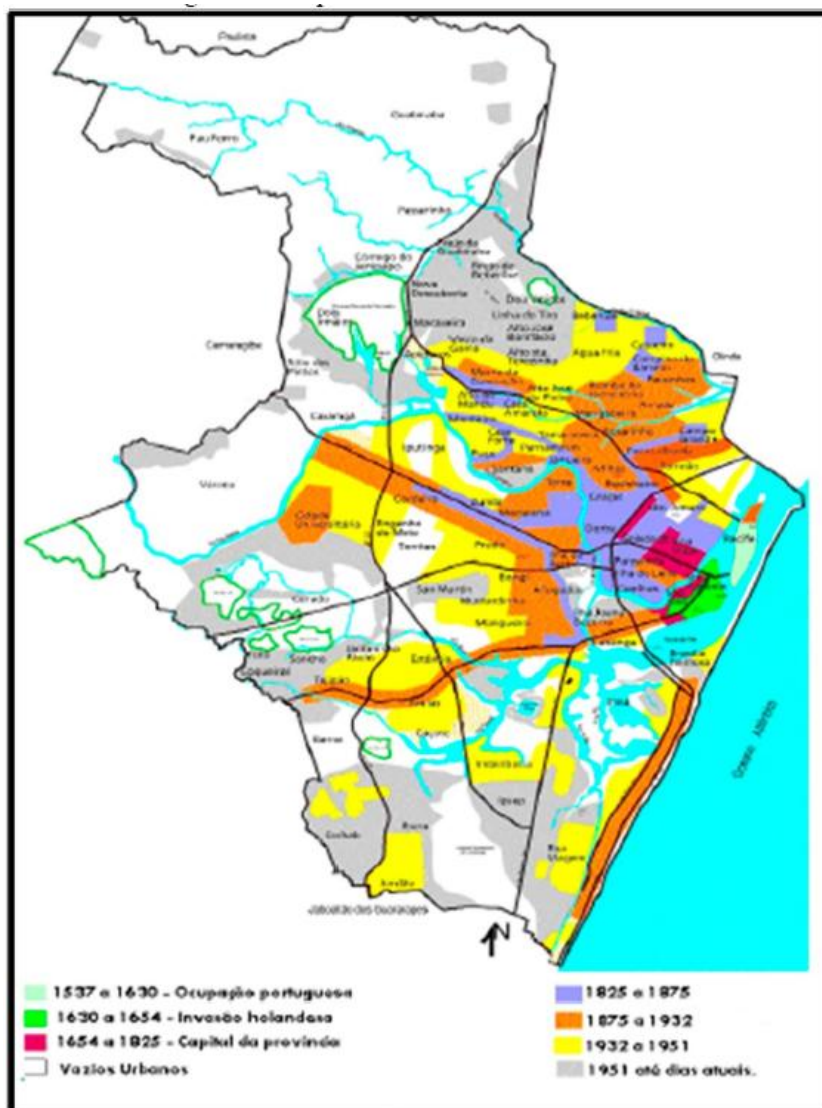


Figura 14: Expansão urbana do Recife. Fonte: Diário de Pernambuco, Caderno Especial, 2007.

Segundo dados do IBGE (2022), a cidade do Recife possui em torno de 1.488.920 milhões de habitantes distribuídos em 218 km<sup>2</sup> de área urbana, entretanto 35% das famílias do município moram em áreas de morro (PREFEITURA DO RECIFE, 2024). Desse modo, por possuir uma topografia desafiadora, esta cidade ocupa a posição de 5ª maior população em áreas de risco no país isso gira em torno de uma população de 206.761 pessoas expostas a

áreas de riscos, marcadas por inundações e deslizamentos contabilizados, sobretudo, nos municípios considerados críticos a desastres naturais no país e monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), como o bairro de Passarinho, em Recife (PREFEITURA DO RECIFE, 2024).

O primeiro registro da região que atualmente é definida como Passarinho, denominada devido à Estrada do Passarinho, principal via do bairro, aconteceu em 19 de novembro de 1878, no Diário de Pernambuco, tratando-se de um pequeno anúncio de venda de um terreno (DANTAS, 2024). Embora a ocupação histórica mais massiva desse território tenha sido marcada pela chegada de uma população de baixíssima renda, décadas depois que, segundo Cruz (1962), houve intensas secas no Nordeste e enchentes no Recife que foram as principais impulsionadoras da ocupação dessa região, entre os anos de 1950 e 1960. A ocupação da região também é documentada em matéria jornalística do veículo *Brasil de Fato* (2019), que apresenta entrevista com liderança comunitária local descrevendo o processo de realocação da comunidade após 1980.

Ela conta que tudo no bairro foi conquistado pela luta da população. A própria existência do bairro é fruto das reivindicações populares. Nos anos 1980, centenas de famílias que viviam em situação precária no Morro da Conceição se organizaram no bairro, realizaram caminhadas e pressionaram o então governador Miguel Arraes para que tivessem atendido seu direito à moradia digna. “A maioria das pessoas vivia de aluguel, estavam desempregadas, tinham filhos. E morávamos em beira da barreira, com medo da chuva”, recorda Ediclêa. O movimento tomou força e famílias dos altos José Bonifácio e Santa Terezinha, que viviam em condições similares, se somaram às reivindicações. O governo do estado entregou lotes apenas terraplanados, com encanamento para abastecimento de água e esgotamento sanitário. Energia elétrica só por meio de gambiarra. “Mas era melhor vir para cá para construir uma casa do que ficar lá, porque o que construímos aqui é nosso”, afirma Clêa, que se mudou de vez para o bairro em 1997. Foram sorteadas 800 famílias dos dois altos e do Morro para morarem no Passarinho.

Todas as migrações para as áreas de morros, citadas anteriormente, passaram por dois modos de ocupação distintos sendo: i) uma realocação direcionada pelo estado através da construção planejada de habitacionais, ou semi planejada como os loteamentos terraplanados, rememorados na entrevista com a liderança, ambas posicionadas no topo dos tabuleiros litorâneos ou nas planícies fluviais; ii) e ocupações irregulares ou espontâneas, ocupação desordenadamente sem acompanhamento profissional, sendo está a mais comum em toda região metropolitana (ALHEIROS et al. 2004). As construções foram inicialmente realizadas nas áreas mais planas, enquanto as zonas que demandavam maior conhecimento técnico (como as encostas dos morros), bem como investimentos mais elevados para garantir condições



adequadas de ocupação, foram relegadas às camadas sociais mais pobres (PFALTZGRAFF, 2007; SANTOS e GOMES, 2016).

Santana et al. (2018), ao analisarem as alterações morfológicas das encostas no Córrego Nova Descoberta (a sul do bairro Passarinho) entre 1975 e 2013, identificaram dois estágios distintos: pré e pós-perturbação antrópica. Este último intensificou-se a partir do final da década de 1980, com a densificação da ocupação. Os autores constataram a formação de uma morfologia antropogênica decorrentes de cortes e aterros excessivos, que alteraram os padrões naturais de drenagem (Figura 15).

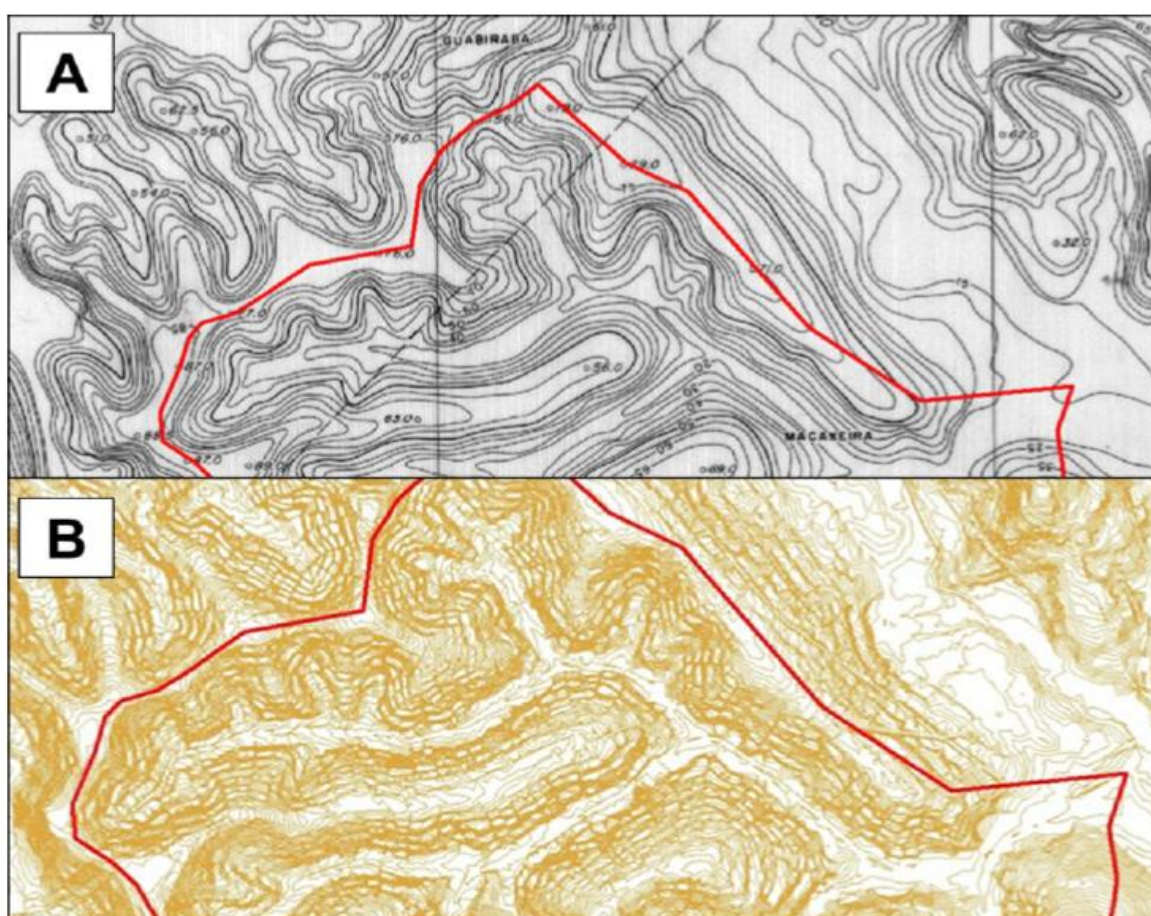


Figura 15: A) Carta topográfica do ano de 1975 (CONDEPE-FIDEN) georreferenciada e inserida em ambiente SIG para a análise da morfologia original. B) Base planialtimétrica extraída das curvas de nível do ano de 2013 (ESIG-Recife) utilizada para avaliar a morfologia antropogênica. Fonte: Santana et al., 2018.

Diversas características marcam as ocupações espontâneas, sendo as mais relevantes, conforme Alheiros et al. (2004), as seguintes: 1) Ocupação desordenadas; 2) rede viária descontínua e sem hierarquização; 3) corte da barreira para criar terreno; 4) aumento do talude de corte para ampliação de terreno; 5) lançamento de aterro não compactado na borda da encosta; 6) remoção da vegetação Natural; 7) árvores de grande porte no talude e na crista da



encosta; 8) baixo padrão construtivo das habitações; 9) fossa localizada na borda da encosta; 10) deficiência do sistema de coleta de lixo domiciliar; 11) obstrução da drenagem pelo lixo jogado sobre os taludes e canaletas; 12) a inexistência de reserva de áreas de servidão; 13) inexistência de calhas, de biqueiras, de impermeabilização do entorno da casa, de canaletas para a drenagem das águas servidas e pluviais, e de redes de coleta e tratamento de esgotos.

Para o esgoto doméstico são construídas fossas artesanais (Figura 16), ou é lançado diretamente nas encostas, prática comum em muitas residências locais, potencializando significativamente o risco de escorregamentos mesmo em períodos de estiagem (SANTANA et al., 2018). Esta condição geotécnica, associada à elevada pluviometria e à ação antrópica, justifica a densidade de encostas em condições de risco geológico, alto a muito alto.

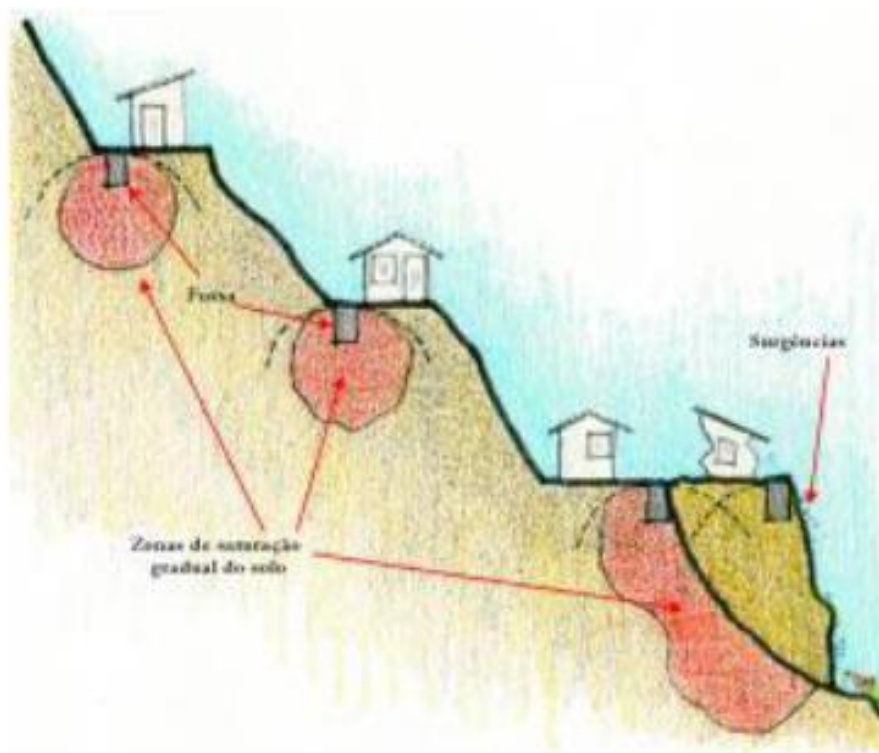


Figura 16: Concepção artística evidenciando a problemática das fossas sépticas nos taludes urbanizados. Fonte: Alheiros et al. (2004).

Os modelos de ocupação apresentados por Alheiros et al. (2004) derivados do modo de ocupação espontânea são facilmente encontrados na zona norte do Recife e podem ser: a) radial, quando os acessos principais cortam o morro no sentido perpendicular a curvas de nível, formando um sistema radial convergente para o topo, onde derivam os caminhos secundários; b) ou em Patamares, quando os acessos principais são paralelos às curvas de nível, gerando lotes dispostos ao longo da via, configurando uma paisagem que alternam entre zonas de casa e zonas de ruas; c) e uma relação mista entre esses modelos.

Tucci e Collischonn (2000), destacam que a taxa de erosão varia conforme a fase de urbanização, uma vez que, além da remoção da cobertura vegetal, a atividade antrópica mobiliza grandes volumes de terra, desestruturando a camada superficial do solo. Contudo, à medida que a ocupação urbana se consolida, as taxas de produção de sedimentos tendem a diminuir. De acordo com Nir (1983), áreas de urbanização não consolidadas, como ocupações irregulares e favelas, encontram-se em estágio intermediário de urbanização, fase esta que apresenta os maiores índices de processos morfodinâmicos, mobilizando grandes volumes de sedimentos assoreando as drenagens locais contribuindo para as enchentes e inundações locais.

Parte da população de Passarinho habita áreas elevadas, como os altos topográficos e interflúvios, enquanto outras residências ocupam os talwegues, regiões baixas entrecortadas pelas microdrenagens. Essas áreas receberam denominações como “Alto” ou “Córrego”, seguidas de um complemento local que refletindo sua configuração/posição geográfica, como, por exemplo: Alto da Telha, Córrego da Telha, Alto da Bica, Córrego da Bica, Córrego do Carroceiro entre outras. Atualmente o bairro é subdividido em 14 Comunidades de Interesse Social (CIS), é um termo que designado a área predominantemente ocupadas por populações de baixa renda e com precariedade de infraestrutura urbana (especialmente saneamento ambiental), segundo o *Atlas de Infraestrutura e Comunidades de Interesse Social do Recife* (Figura 17), elaborado a cargo da Autarquia de Saneamento do Recife (SANEAR, 2014). Além disso, muitas habitações se localizam nos vales fluviais dos rios Beberibe e Morno, tornando a região especialmente suscetível a enchentes e inundações durante períodos de chuvas intensas.

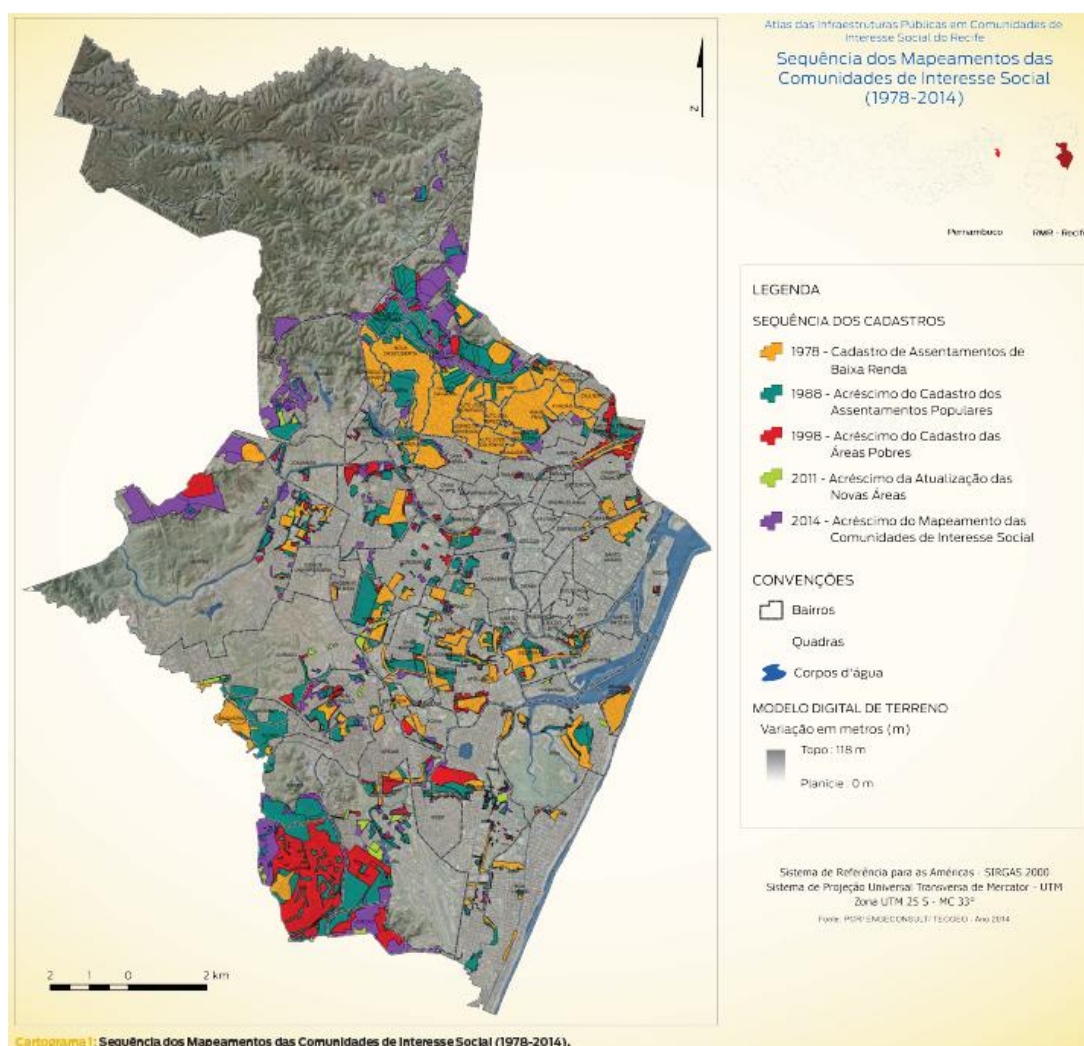


Figura 17: Cartografia da sequência dos mapeamentos das Comunidades de Interesse Social (1978-2014). Fonte: SANEAR 2014.

Segundo o Censo do IBGE (2010), o bairro de Passarinho ocupa uma área de aproximadamente 6,5 quilômetros quadrados e possui uma população de 20.305 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 3.124 habitantes por quilômetros quadrados. O bairro é caracterizado por marcantes vulnerabilidades sociais e econômicas, sendo predominantemente habitado por famílias de baixa renda. Uma parte significativa da população vive em condições precárias, em ocupações irregulares, estando entre os bairros mais pobres da cidade, com um rendimento nominal médio de apenas R\$ 510,75 (IBGE, 2022).

A ocupação na parte noroeste do município de Recife foi potencializada após a construção da BR-101, rodovia que limita a oeste o bairro de Passarinho, o trecho entre os quilômetros (51,3 - 67,6) teve sua primeira fase finalizada em 1966 e sendo duplicada em 1980 (ARAÚJO, 2013). A construção de uma rodovia, como a BR-101, pode gerar diversos impactos geotécnicos influenciados tanto pela construção quanto pela operação das vias. A

pavimentação e a compactação do solo alteram o regime de infiltração de água, aumentando a pressão nos taludes adjacentes e elevando o risco de ruptura. Além disso, as vibrações provocadas pelo tráfego de veículos pesados, induzem tensões dinâmicas que podem acelerar processos erosivos e deslizamentos (PINTO, 2006).

A estabilidade de taludes em obras rodoviárias é diretamente impactada pelas intervenções, a execução de cortes e aterros altera significativamente a configuração natural do terreno, reduzindo sua capacidade de suporte e aumentando a predisposição a movimentos de massa, prescrito na NBR 11682 (ABNT, 2009). Outro fator crítico é a erosão superficial, intensificada pela remoção da vegetação e pela impermeabilização do solo, comprometendo a estabilidade a longo prazo (GUERRA, 2017).

A análise desenvolvida revela a importância histórica dos períodos Colonial, Imperial e Republicano na formação socioespacial da RMR, evidenciando como os processos de adensamento urbano e as formas de intervenção no meio físico foram se transformando ao longo do tempo. Destaca-se particularmente o papel da Liga Social Contra o Mocambo, cujas diretrizes influenciaram significativamente as políticas públicas urbanas, estabelecendo paradigmas que permanecem relevantes até os dias atuais. Essa continuidade histórica demonstra como as concepções urbanísticas e sociais de cada período contribuíram para moldar a realidade contemporânea da RMR, revelando tanto permanências quanto transformações na organização do espaço metropolitano.

O marco no que tange a proteção e defesa civil no Brasil se dá com a instituição do Sistema Nacional de Defesa Civil em 1988, que estabelece a competência da união, estados e municípios em proteção e defesa civil, e com a promulgação da Lei Nº 12.608 (2012), que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), também criou o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC). A PNPDEC visa reduzir os riscos de desastres no país, dentre eles o geológico. Para isso, a lei prevê ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. A lei supracitada altera as Leis nº 12.340, 10.257, 6.766, 8.239, e 9.394. A alteração na Lei nº 12.340 de 2010, acrescentou os artigos 3º-A, 3º-B, e 5º-A. O artigo 3º-A, prevê o cadastro nacional de todos os municípios com áreas suscetíveis a fenômenos geológicos e hidrológicos e atribui a responsabilidade municipal as etapas de planejamento, fiscalização e mitigação de riscos com o apoio do estado e da união, com ações como: elaborar plano de implantação de obras, criar mecanismos de controle e fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis, como a elaboração de carta geotécnica de aptidão à

urbanização e carta de suscetibilidade, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo, entre outras (BRASIL, 2012).

## 2.5 SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE CLIMÁTICA E FENÔMENOS EXTREMOS

Um estudo de suscetibilidade visa entender a predisposição dos terrenos de um município ao desenvolvimento de fenômenos ou processos no meio físico, classificando em baixa, média e alta probabilidade de ocorrência, baseando-se na observação dos fatores predisponentes, sendo eles: geologia local, declividade, erodibilidade, presença de vegetação, condições climático-hidrológicas, geomorfologia. Regiões classificadas com suscetibilidade baixa não significa que os processos não ocorrerão em seu domínio, pois atividades antrópicas podem modificar sua dinâmica, a presença de feições associadas aos processos geológicos e hidrológicos podem alterar localmente a classe indicada. Deste modo, uma carta de suscetibilidade apresenta aspectos do meio físico para auxiliar na tomada de decisão do poder público, instrumentalizando-os em suas ações de planejamento, gestão territorial e de prevenção de desastres naturais (IPT/CPRM, 2014).

A *Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação da cidade do Recife* (CPRM, 2015), evidencia que Passarinho está majoritariamente suscetível a fenômenos ou processos no meio físico, tanto hidrológico quanto geológico. A correlação da suscetibilidade, evidenciado na carta citada, com a zona de ocupação urbana, representada pela densidade de ruas no bairro, define assim a zona de elementos expostos, a qual deve ser objeto de análises específicas em relação ao perigo e ao risco.

Quando os fatores socioeconômicos e geográficos são combinados em Passarinho, é evidenciado que a população está inserida em uma situação de vulnerabilidade a desastres climáticos. A ocupação desordenada e a falta de planejamento urbano agravam esse cenário, pois muitos imóveis estão localizados em áreas de risco, como encostas e margens de córregos, aumentando a probabilidade de desastres naturais (PREFEITURA DO RECIFE, 2023).

Dentre as fragilidades impostas à comunidade de Passarinho está a vulnerabilidade climática que diz respeito à incapacidade de uma pessoa ou comunidade de responder, com seus próprios meios, às ameaças, os processos ou os fenômenos ocasionados pelo clima, principalmente diante das mudanças climáticas. No caso de Passarinho, a infraestrutura urbana precária, com ruas sem pavimentação e sistemas de drenagem inadequados, agrava as

condições de vida da população. Muitos moradores ainda enfrentam dificuldades no acesso a serviços essenciais, como saúde, educação, coleta de lixo e saneamento básico. Esta vulnerabilidade é particularmente intensa em bairros periféricos, como Passarinho, que surgiram a partir de ocupações espontâneas (ALHEIROS et al., 2004). Além disso, atividades antrópicas, como cortes em taludes, aterros, depósitos de lixo, modificações na drenagem e desmatamentos contribuem para um cenário de maior fragilidade das comunidades. A presença de residências construídas com materiais precários, como madeira e taipa, ao lado de construções de alvenaria, aumenta ainda mais a vulnerabilidade da região diante de eventos climáticos extremos.

A RMR apresenta um clima tropical úmido com estação chuvosa entre os meses de abril à julho e possui uma amplitude térmica de 3° com uma temperatura média de 25° (APAC, 2018 e 2021). Com média anual precipitação na cidade do Recife registrada pela APAC de 1967 a 2017, identificou valores de 1566 mm/ano, já a média dos últimos 30 anos da cidade do Recife até 2020 identificaram valores de 2457 mm/ano, como está exposto abaixo (Figura 18):

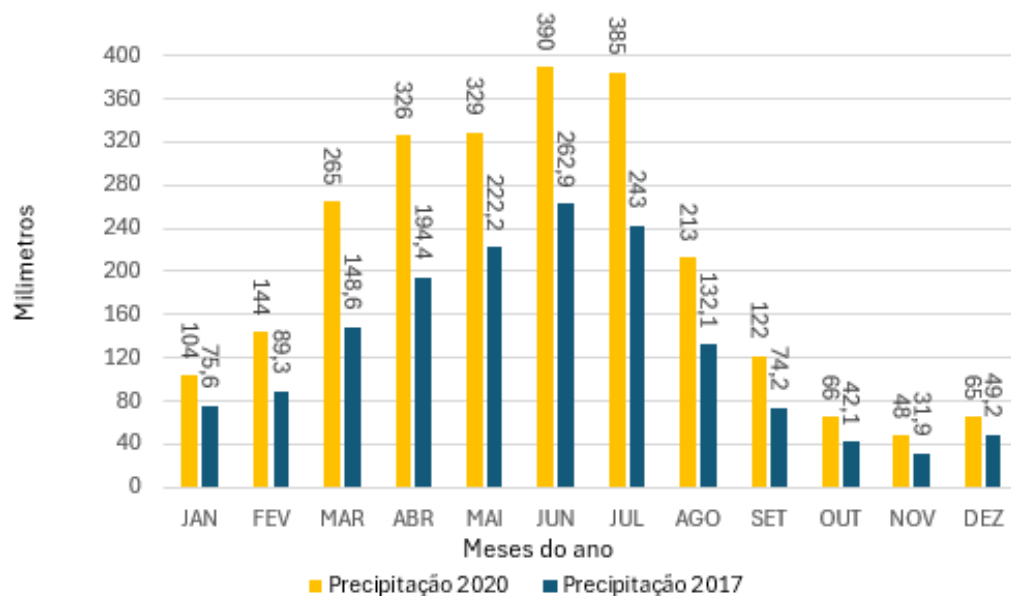


Figura 18: Médias pluviométricas da cidade do Recife em azul é em relação ao período de 1967-2017, e em amarelo a média em relação à 1990-2020 em cada mês. Fonte: APAC 2018 e 2021.

Consoante os estudos realizados por GUIDICINI e IWASA (1976), as precipitações acumuladas superiores a 20% da precipitação média anual indicam uma alta probabilidade de desencadear grandes deslizamentos. Ainda segundo estes autores, o valor de precipitação alarmante seria entre 313,2 e 491,4 mm/dia, aumentando a probabilidade de grandes movimentos gravitacionais de massa. SOUZA et al. (2012) observou que volumes diários de

chuva superiores a 55 mm estão frequentemente relacionados a pequenos e médios deslizamentos nas encostas, porém, quando há registros de precipitação em dias consecutivos com um acumulado superior a 30 mm já podem ocorrer escorregamentos. Grandes volumes de chuva também ocorrem fora dos períodos de maior concentração pluviométrica, de março a agosto (SOUZA et al., 2012).

Conforme o Quarto Relatório do IPCC (2007), o município do Recife encontra-se vulnerável ao aumento médio do nível do mar, dos níveis de precipitação das chuvas e da elevação da temperatura média, considerando a alta densidade populacional, o percentual elevado de impermeabilização do solo e a sua baixa altitude. Nos últimos anos o planeta vem sendo impactado pela intensificação dos ciclos das chuvas provocadas pelas mudanças climáticas, o que vem resultando em desastres naturais que atingem, principalmente, a população mais vulnerável.

Assim, devido ao aumento das chuvas, muitas regiões do país estão precipitando um volume previsto para o mês inteiro em um único dia, como aconteceu em maio de 2022, o município do Recife, que superou a média histórica, registrando no mês de maio um acumulado de 686,40 mm de chuvas, quando a média histórica para o mesmo período é de 291,00 mm. Ressalta-se que 65% dessa chuva foi concentrada entre os dias 24 e 28 de maio, em decorrência do evento extremo conhecido como Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) ou “Distúrbio de Ondas de Leste” que ocorre quando as águas do oceano atlântico estão mais quentes que o normal promovendo o aumento da temperatura das camadas atmosféricas inferiores, permitindo tanto a maior evaporação do oceano quanto a retenção da maior quantidade de umidade, sendo transportada pelos ventos alísios de sudeste (MARENGO et al., 2023).

Diversos estudos identificaram uma média de 23 DOLs por ano, aparentando ter menor frequência durante o *El Niño* e maior durante o *La Niña*, causando perdas humanas, desalojando e desabrigando inúmeras famílias, ocasionando prejuízos materiais e ambientais, além de econômicos e sociais à população da cidade do Recife (PONTES DA SILVA, 2011; GOMES et al., 2019).



Desse modo, os eventos de precipitação extrema no litoral pernambucano são formados por um conjunto de cinco sistemas atmosféricos, DOLs, frentes frias, conglomerados convectivos da costa oeste da África, zona de convergência intertropical e vórtice ciclônicos de alto nível potencializados durante o período de influência do evento climático *La Niña* (MARENGO et al., 2023). Esses altos índices pluviométricos encontram o Recife com um planejamento urbano que não foi dimensionado para precipitações extremas com um percentual elevado de impermeabilização do solo, sistemas de drenagens assoreados, encostas e taludes com baixo fator de segurança entre outras condições que, quando combinados, contribuem com a probabilidade de ocorrência deslizamentos e enchentes.

Visando criar um sistema de alerta para Jaboatão dos Guararapes e Recife, De Moraes (2023), realizou uma análise de cluster, visando compreender a relação entre escorregamentos e os acumulados de precipitação (6h e 72h) no Recife. Este fato, possibilitou subdividir os dados em três grupos de comportamento distintos em relação à intensidade e acumulação pluviométrica. Trouxe um destaque para o evento anômalo de maio de 2022, associado a 133 fatalidades e 6.000 pessoas deslocadas (Figura 20). Este trabalho permitiu comparar e identificar os padrões críticos para emissão preventiva de alertas operacionais e ambientais.

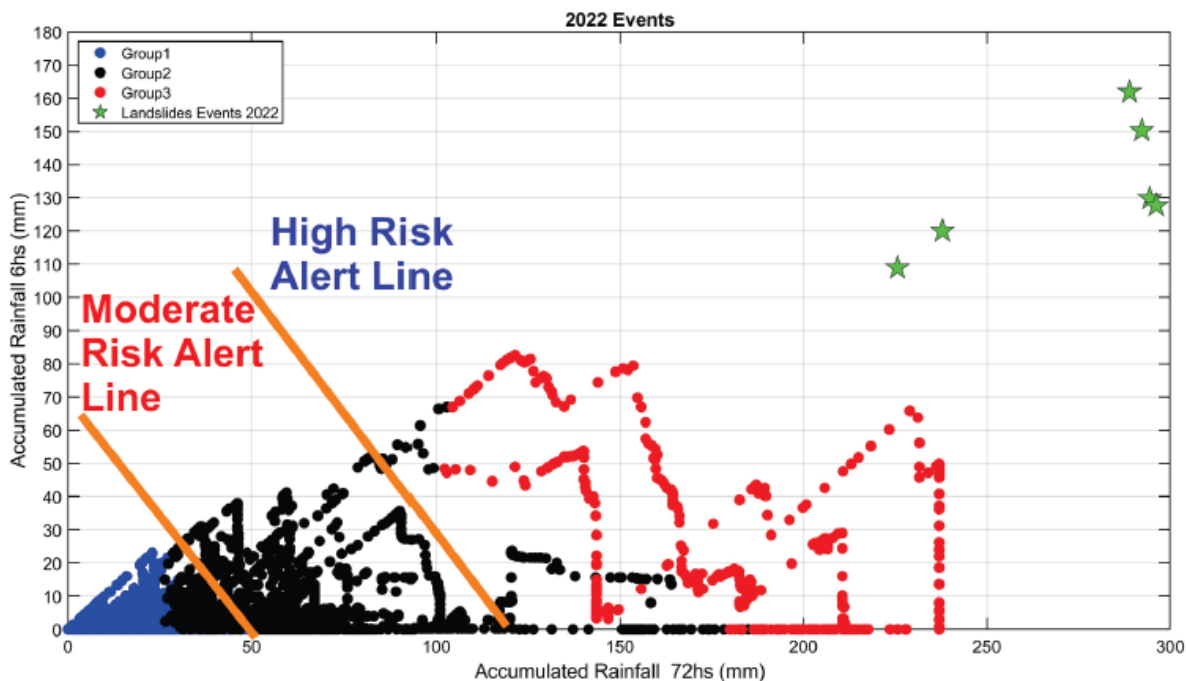


Figura 20: O gráfico acima apresenta eventos de precipitação divididos em três níveis: 1) Em Azul, menor intensidade e acumulação; 2) Em Preto, precipitações intermediárias; 3) Em Vermelho, maior intensidade e acumulação. É evidenciado também (estrelas verdes), precipitação associada aos eventos ocorridos em 2022 em Jaboatão; O zoneamento em laranja apresenta os limites de alerta de risco moderado (limiar operacional) e o limite de alerta de risco alto (limiar ambiental). Fonte: De Moraes, 2023.



## 2.6 RISCO GEOLÓGICO E O FATOR DE SEGURANÇA

Para compreender os critérios qualitativos e quantitativos envolvidos na temática, esta seção pretende, deixar claro o que tange os riscos geológicos e o cálculo do fator de segurança e como esses fatores transpassam a realidade do bairro de Passarinho.

Para que se defina uma condição de risco geológico, é necessária uma relação entre a vulnerabilidade das construções e a exposição a uma possível deflagração de um movimento de massa caracterizando a condição de perigo. As setorizações de áreas de risco geológico são desenvolvidas exclusivamente em regiões onde existem imóveis nos quais há permanência humana, como casas, edifícios, hospitais, escolas, estabelecimentos comerciais, dentre outros (Figura 19). Dessa forma, regiões inabitadas não são objeto de mapeamento. Salienta-se a importância de englobar nos mapeamentos as áreas de riscos localizadas em margens de estradas e rodovias, pois a relação destas obras com a ocupação urbana pode estar potencializando os riscos (CPRM, 2021).



Figura 19: Definição de risco de desastres naturais. Fonte: Modificado de UNISDR, 2016.

Chuvas prolongadas e de pouca intensidade tendem a se infiltrar mais no solo, ao contrário das chuvas rápidas e de grande intensidade, que tendem a se escoar pela superfície, a mecânica dos deslizamentos induzidos são caracterizados tanto por uma ação progressiva e outra instantânea. A ação progressiva é representada pela gradativa saturação do solo pelas chuvas contínuas e pouco intensas. Esta chuva infiltra-se no solo aumentando seu peso específico, diminuindo sua coesão e resistência à compressão e ao cisalhamento. A diminuição da coesão, como consequência do aumento da saturação do solo, é um fator importante na deflagração dos deslizamentos. Caracterizando a mecânica do deslizamento induzido pelas chuvas fortes e de curta duração, se relacionam aos fenômenos instantâneos deflagradores de movimentos de massa devido: a elevação brusca do nível d'água (NA), erosão, subpressão em descontinuidades e pressão das gotas de chuva e do vento atuando sobre a encosta (PFALTZGRAFF, 2007).

Os fatores de risco geológico resultam da interação entre processos naturais e intervenções humanas, sendo classificados em três categorias principais: (1) fatores geológicos naturais, como características litológicas, estruturas geológicas e processos dinâmicos (VARNES, 1984); (2) fatores antrópicos, incluindo modificações de declives, alterações hidrológicas e vibrações induzidas (DNIT, 2006); e (3) fatores desencadeantes, como precipitação intensa e eventos sísmicos. A avaliação integrada desses elementos é essencial para determinar o potencial de instabilidade e estabelecer medidas de mitigação adequadas, conforme preconizado pela NBR 11682 (ABNT, 2009), para análise de estabilidade de encostas.

A Setorização de Risco utilizada por esta pesquisa, se baseia na metodologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, empregada na classificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa (IPT, 2007). Com base em critérios técnicos específicos essa ferramenta considera quatro níveis de risco (R1 a R4), definidos pela probabilidade de ocorrência de eventos e pelo potencial de danos associados, avaliando fatores como: (1) características geológico-geotécnicas (tipo de solo, declividade, presença de afloramentos rochosos); (2) histórico de eventos na área; (3) ocupação humana (densidade populacional, tipo de edificações); e (4) indicadores de instabilidade (trincas, solo exposto, inclinação de árvores). A classificação R1 (baixo risco) indica áreas estáveis com intervenções preventivas simples, enquanto R4 (risco muito alto) sinaliza necessidade de realocação urgente devido à iminência de colapsos. A aplicação sistemática e periódica da metodologia permite priorizar ações emergenciais e planejamento urbano (Figura 21).

| Grau de Probabilidade       | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R1 Baixo ou semrisco</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>R2 Médio</b>             | <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/ evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</li> <li>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.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>R3 Alto</b>              | <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>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.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>R4 Muito Alto</b>        | <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>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.</li> </ol> |

Figura 21: Tabela de setorização de risco explicando os critérios utilizados na pesquisa. Fonte: IPT, 2007.

Um dos conceitos fundamentais para o cálculo do Fator de Segurança (FS) na análise da estabilidade de taludes se baseia na teoria de equilíbrio limite e em caso de estudo bidimensional, o estado de ruptura dos materiais é definido pelo critério de Mohr-Coulomb. Essa teoria parte da hipótese de que uma massa de solo, considerada como um corpo rígido-plástico, está em equilíbrio no momento em que se encontra na iminência de deslizar ao longo de uma superfície de ruptura potencial. A estabilidade de taludes está diretamente relacionada à razão entre a resistência ao cisalhamento do solo e as tensões atuantes, que podem induzir à ruptura, ou seja, o FS é definido como a relação entre o equilíbrio das forças e/ou momentos resistentes e aqueles que promovem o deslizamento (TERZAGHI, 1943). Segundo Silva (2017), os principais métodos de cálculo são divididos em lineares e não lineares, sendo esse último subdividido em métodos para superfícies circulares e métodos para quaisquer tipos de superfície (Figura 22). Um FS maior que 1 indica estabilidade, enquanto um valor igual a 1, sugere instabilidade e inferior, risco de colapso (DAS, 2019).

| MÉTODOS      |                     |                                                                                                                            |
|--------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LINEARES     |                     | Método do momento $p/\phi=0$<br>Taludes infinitos<br>Método de Culman<br>Método de Rendulic<br>Método do círculo de atrito |
| NÃO LINEARES | Superfície circular | Método de Fellenius<br>Método de Bishop<br>Método de Bishop Modificado                                                     |
|              | Superfície qualquer | Método de Spencer<br>Método de Morgenstern e Price<br>Método de Janbu<br>Método de Sarma<br>Método dos Blocos              |

Figura 22: Principais métodos de cálculo. Fonte: Silva, 2007.

A principal diferença entre os métodos de cálculos são a distribuição das forças atuantes entre as fatias. Como normalmente o estado de tensões é desconhecido, hipóteses simplificadoras são adotadas com relação ao tipo e a magnitude de das forças internas e externas atuantes numa fatia. Para uma análise de estabilidade, fatores de segurança encontrados com uma margem de valores de aproximadamente 6% entre os métodos de cálculo mais confiáveis é considerado satisfatório (DUNCAN, 1996).

O cálculo do FS requer a obtenção de parâmetros físicos e mecânicos que caracterizam o comportamento do solo. Esses parâmetros são determinados por meio de ensaios de campo, como o *Standard Penetration Test* (SPT), e ensaios laboratoriais, como cisalhamento direto, umidade e granulometria, entre outros. Esses ensaios permitem avaliar tanto as propriedades físicas do solo, como peso específico, umidade e distribuição granulométrica, quanto suas propriedades mecânicas, como coesão e ângulo de atrito interno, que refletem a resistência e a deformabilidade do material sob carregamentos (LAMBE; WHITMAN, 1979).

Além dos ensaios, a revisão bibliográfica de estudos com proximidade geográfica e condições de contorno similares é essencial para embasar a análise. A integração desses dados permite a elaboração de um perfil geológico-geotécnico mais robusto, contribuindo para um cálculo mais preciso do FS do talude (PINTO, 2006).

Para os autores GUIDICINI e NIEBLE (1983), as causas e os agentes condicionantes dos movimentos de massa podem ser classificados em internos, externos e intermediários, sendo: as causas internas, as oscilações térmicas e a diminuição dos parâmetros de resistência; às causas externas, as mudanças na geometria do sistema, os efeitos de vibrações

e as mudanças naturais nas inclinações das encostas; as causas intermediárias, elevação do nível d'água em massas homogêneas e em discontinuidades, rebaixamento rápido do lençol freático, erosão subterrânea retrogressiva (*Piping*) e a diminuição do efeito de coesão aparente. Diante disso, a observação e análise realizada, poderá agrupar quais os condicionantes que melhor interferem para estabilidade do talude em estudo e correlacionar com caracterização do meio físico, podendo assim apresentar a melhor proposta de intervenção local para garantir sua estabilidade com valores do FS com níveis de segurança aceitáveis.

A depender dos fatores predisponentes atuando sobre o maciço, podemos ter variações do FS com o tempo (Figura 23). Agentes como processos erosivos, precipitações intensas e carregamento sobre o talude potencializam a instabilidade do mesmo ao longo do tempo (POPESCU, 1996).

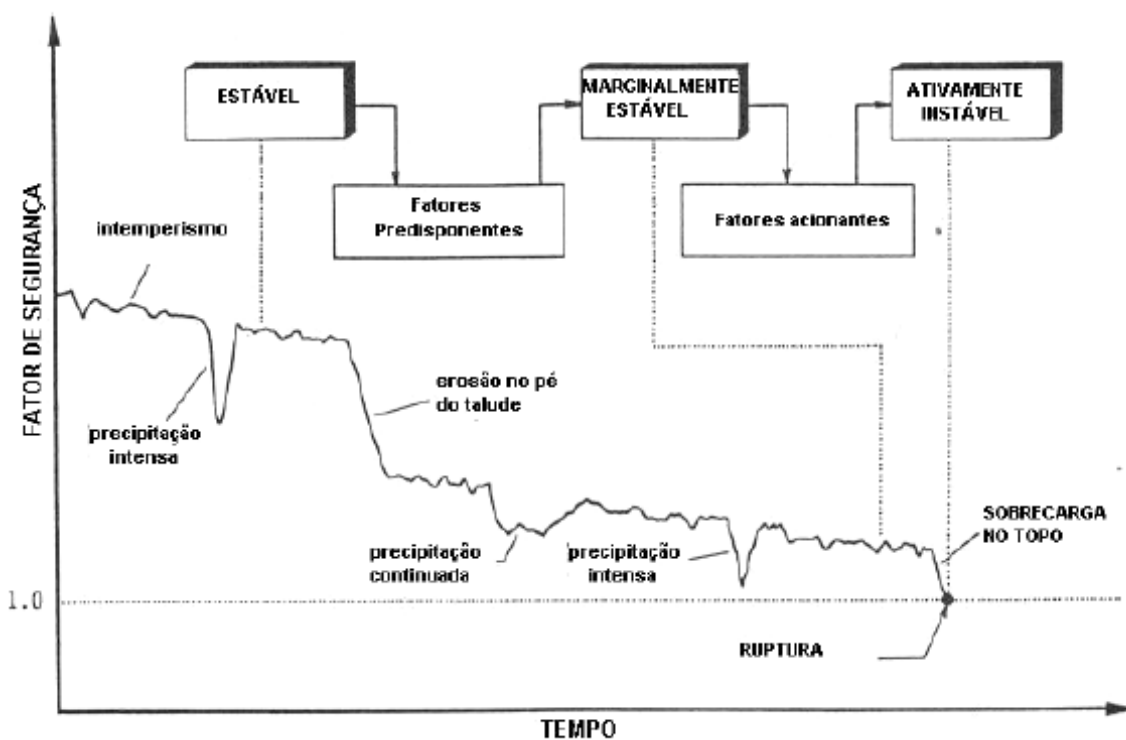


Figura 23: Variação do fator de segurança com o tempo. Fonte: Popescu, 1996.

A NBR 11682 (ABNT, 2009) estabelece diretrizes para a análise e projeto de estabilidade de taludes e terraplenos, focando na estabilidade e segurança de obras em engenharia geotécnica. A validação da análise de estabilidade de taludes, especialmente em relação ao FS, deve ser contextualizada com base nos níveis de segurança estabelecidos por esta norma (Figura 24 e 25).

| Nível de segurança | Crítérios                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alto               | Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas<br>Ferrovias e rodovias de tráfego intenso |
| Médio              | Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas<br>Ferrovias e rodovias de tráfego moderado                                                                                                                                                 |
| Baixo              | Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas<br>Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido                                                                                                                                                 |

| Nível de segurança | Crítérios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alto               | Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais<br>Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos |
| Médio              | Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado<br>Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados                                                                                                                                                                                       |
| Baixo              | Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido<br>Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos                                                                                                                                                                                       |

Figura 24: A) Nível de segurança contra danos à vida humana. B) Nível de segurança contra danos materiais e ambientais. Fonte: NBR 11682/2009.

| Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas | Nível de segurança contra danos a vidas humanas |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------|-------|
|                                                                                                          | Alto                                            | Médio | Baixo |
| Alto                                                                                                     | 1,5                                             | 1,5   | 1,4   |
| Médio                                                                                                    | 1,5                                             | 1,4   | 1,3   |
| Baixo                                                                                                    | 1,4                                             | 1,3   | 1,2   |

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$ , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Figura 25: Valor do fator de segurança mínimo proposto pela normativa seguindo os critérios de segurança contra vidas humanas e contra danos materiais e ambientais. Fonte: NBR 11682/2009.

Os critérios na NBR 11682, em relação a danos contra vida humana, o nível de segurança na área de estudo tem de ser o mais alto, e também em relação ao nível de segurança contra danos materiais e danos ambientais (ABNT, 2009). Os níveis de segurança devido à ocupação urbana do bairro de Passarinho oscilam em relação à posição do setor de risco onde pode ser deflagrado o movimento de massa, colocam o contexto do bairro de

Passarinho com um requisito mínimo para o FS no valor superior ou igual de 1,5. Esta pesquisa adotou como referência os critérios de segurança estabelecidos pela norma supracitada, que determina um fator de segurança mínimo de 1,5 para o talude em estudo (Figura 25).

A integração entre análise geotécnica, avaliação de risco e normas técnicas é essencial para a gestão de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais. O FS, embora simplificado, é uma ferramenta robusta quando associada a modelos hidrogeológicos e monitoramento contínuo.

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho adotou uma metodologia dividida em três etapas principais: o mapeamento de risco geológico, a obtenção de parâmetros geotécnicos e a modelagem numérica computacional.

#### 3.1 MAPEAMENTO DE RISCO GEOLÓGICO

A primeira etapa consistiu em no mapeamento de risco geológico, seguindo a metodologia elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas a pedido do Ministério das Cidades (IPT, 2007). Essa metodologia foi criada para servir de roteiro no treinamento dos profissionais da rede municipal, sendo amplamente aplicada e reconhecida pelo seu rigor técnico-científico.

O mapeamento foi realizado em três passos: (1) Levantamento de informações preliminares e revisão bibliográfica, visando delimitar a área de estudo e contextualizar a problemática da ocupação do solo em áreas de risco. Foram coletados dados cartográficos, históricos de processos pretéritos, grau de vulnerabilidade das ocupações, geometria do talude, cartas de suscetibilidade e geotécnica, além da malha urbana, plano diretor e imagens de sensoramento remoto. Paralelamente, realizou-se uma ampla revisão bibliográfica, abrangendo artigos científicos, trabalhos de autores consagrados, documentos técnicos e dados institucionais do IBGE, CENAD, CEMADEN, SEDEC, APAC, Defesa Civil, PE3D e Prefeitura Municipal, bem como das Cartas de Vulnerabilidade, Hidrogeológica e Geológica da região. Essa etapa permitiu consolidar o estado da arte sobre o tema, fundamentando a análise crítica das condições de risco e ocupação do território em estudo.; (2) visita técnica para identificação, análise e setorização dos riscos, a identificação se dá através do reconhecimento das ameaças e perigos envolvidos, considerando agentes deflagradores (como chuvas intensas) e fatores condicionantes (como declividade e tipo de solo); já a análise de risco gera um zoneamento preliminar, com base em parâmetros como declividade, tipologia dos processos, posição da ocupação e vulnerabilidade das construções. A metodologia apresenta em anexo uma ficha de campo que sistematizam e registram em um documento todas as informações obtidas na visita técnica, imprescindíveis na setorização de risco, melhor avaliando os possíveis cenários conforme o tipo e a dispersão do movimento gravitacional de massa; e (3) elaboração do mapa de risco, utilizando fichas de campo e correlacionando com o quadro



de critérios, apresentado pela metodologia, classificando em graus de risco (Muito Alto - R4; Alto - R3; Médio - R2 e Baixo - R1) a cada setor.

### 3.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os resultados dos ensaios de campo e laboratoriais utilizados neste trabalho, foram fornecidos executado pelo projeto Morros de Vontade, desenvolvido em 2024. A colaboração garantiu acesso a resultados confiáveis e tecnicamente embasados, seguindo rigorosamente as normas técnicas brasileiras.

A segunda etapa da metodologia consistiu na obtenção dos parâmetros geotécnicos, realizada por meio de ensaios de caracterização, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O critério para a coleta das amostras foi seguido à risca com base na NBR 9604, abertura de poços e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas, e para as sondagens SPT, foi seguido a NBR 6484 (ABNT, 2024 e 2020). Para a preparação das amostras, ensaios de caracterização e umidade, adotou-se a NBR 6457 (ABNT, 2016). A análise granulométrica foi conduzida conforme a NBR 7181, a determinação do limite de liquidez pela NBR 6459, enquanto o limite de plasticidade fundamentado na NBR 7180 (ABNT, 2018; 2017; e 2016).

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento, incluindo o ângulo de atrito e a coesão, foram obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto, realizado conforme a ASTM (2023). Esse ensaio permitiu a caracterização do comportamento mecânico do solo sob diferentes condições de tensão, fornecendo dados essenciais para as análises de estabilidade em condições saturadas e não saturadas.

A adoção dessas normas assegurou a padronização dos procedimentos e a qualidade dos parâmetros obtidos, atendendo aos requisitos técnicos necessários para a consistência científica da pesquisa. Dessa forma, os resultados apresentam reprodutibilidade e validade, fundamentais para as conclusões do estudo.

### 3.3 MODELAGEM NUMÉRICA

A terceira etapa consistiu na modelagem numérica computacional dos setores de risco identificados, utilizando o software Slide2 da Rocscience. Essa ferramenta foi selecionada por sua eficiência na análise de estabilidade de taludes e por ser amplamente utilizada em estudos geotécnicos. Para a modelagem, foi elaborado um modelo geológico-geotécnico integrando a geometria do talude com os parâmetros físicos e mecânicos de cada camada do solo, como

coesão ( $c$ ), ângulo de atrito ( $\phi$ ) e peso específico ( $\gamma$ ), detalhado na seção 3.2 anteriormente. Em seguida, os dados foram importados para o software, permitindo a simulação numérica e o cálculo do FS.

Por fim, a metodologia adotada buscou integrar abordagens teóricas, práticas e computacionais, garantindo uma análise robusta e multidisciplinar da problemática. A revisão bibliográfica forneceu o embasamento teórico necessário, o mapeamento de risco permitiu a identificação e classificação dos setores críticos, e a modelagem numérica computacional ofereceu uma avaliação quantitativa da estabilidade dos taludes. Contudo, é importante destacar que a metodologia apresenta limitações, como a dependência da qualidade dos dados de entrada e a simplificação de alguns aspectos geotécnicos. Apesar disso, o trabalho contribui significativamente para a compreensão dos riscos associados à ocupação do solo em áreas de encosta, oferecendo subsídios para a gestão e prevenção de desastres naturais.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISE QUALITATIVA DE RISCOS

#### 4.1.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA ESTUDO

Para escolha de um talude ou encosta a ser estudada foi realizado uma análise de multicritérios considerando principalmente: áreas com intensa declividade, proximidade em relação às sondagens realizadas pelo Projeto Morro de Vontade, locais com elevada densidade populacional, áreas de média a alta suscetibilidade, entre outros critérios, que juntos evidenciam a relevância do mapeamento de risco e análise de estabilidade nesse talude.

Para a definição da área de estudo, realizou um recorte na carta de suscetibilidade do Recife elaborada pela CPRM (2015), onde se pode observar que o bairro está majoritariamente suscetível a fenômenos ou processos no meio físico, tanto hidrológico quanto geológico, com valores de média a alta suscetibilidade nas encostas (Figura 26). A declividade do relevo foi apontada tomando como base os recortes usados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), que classifica a declividade do terreno a partir de um Modelo Digital de Terreno definindo-a em 6 classes distintas (Figura 27), sendo a declividade da região de interesse, as encostas, apontada de fortemente ondulado a montanhoso, apresentando de 20% a 75% de declividade do terreno (EMBRAPA, 2018).

A correlação entre a suscetibilidade com a zona de ocupação urbana, representada pela densidade de ruas na parte sudoeste no bairro, define se assim a zona de elementos expostos (Figura 26). Somando ao fato de a região apresentar um terreno de fortemente ondulado a montanhoso, e estarem posicionados ao lado das sondagens SPT feito pelo projeto Morros de Vontade. O talude escolhido está posicionado entre a BR-101, na base do talude, e a comunidade do Alto da Telha, no topo do talude. Caracterizado como um talude de corte que apresenta uma geometria convexa, a área da face exposta mede 8.587 metros quadrados, oscilando entre os 305 metros de sua extensão entre zonas divergentes a convergentes.

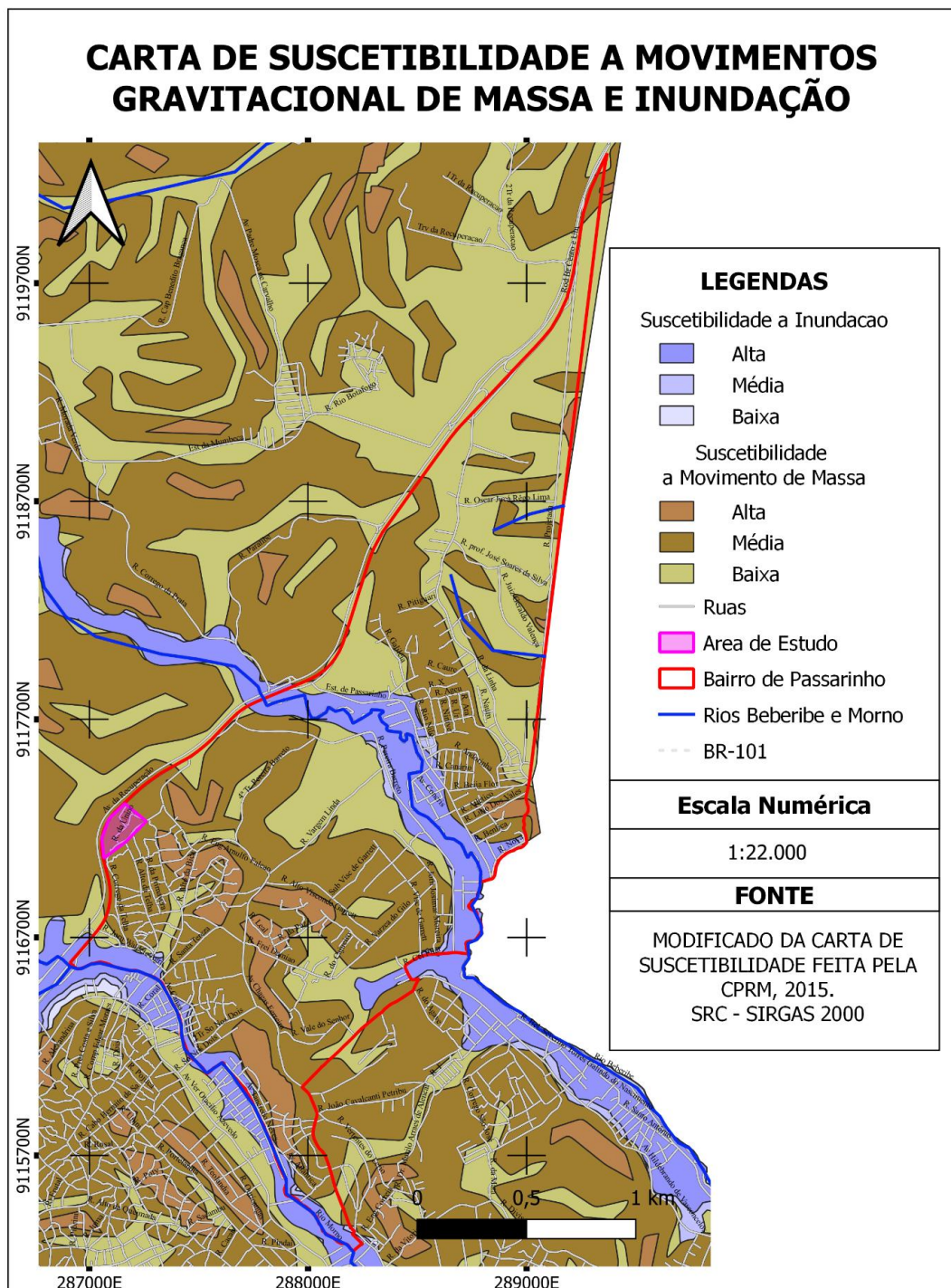


Figura 26: Recorte da Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do Recife, em destaque o bairro de Passarinho e a área de estudo. Fonte: Modificado de CPRM, 2015.



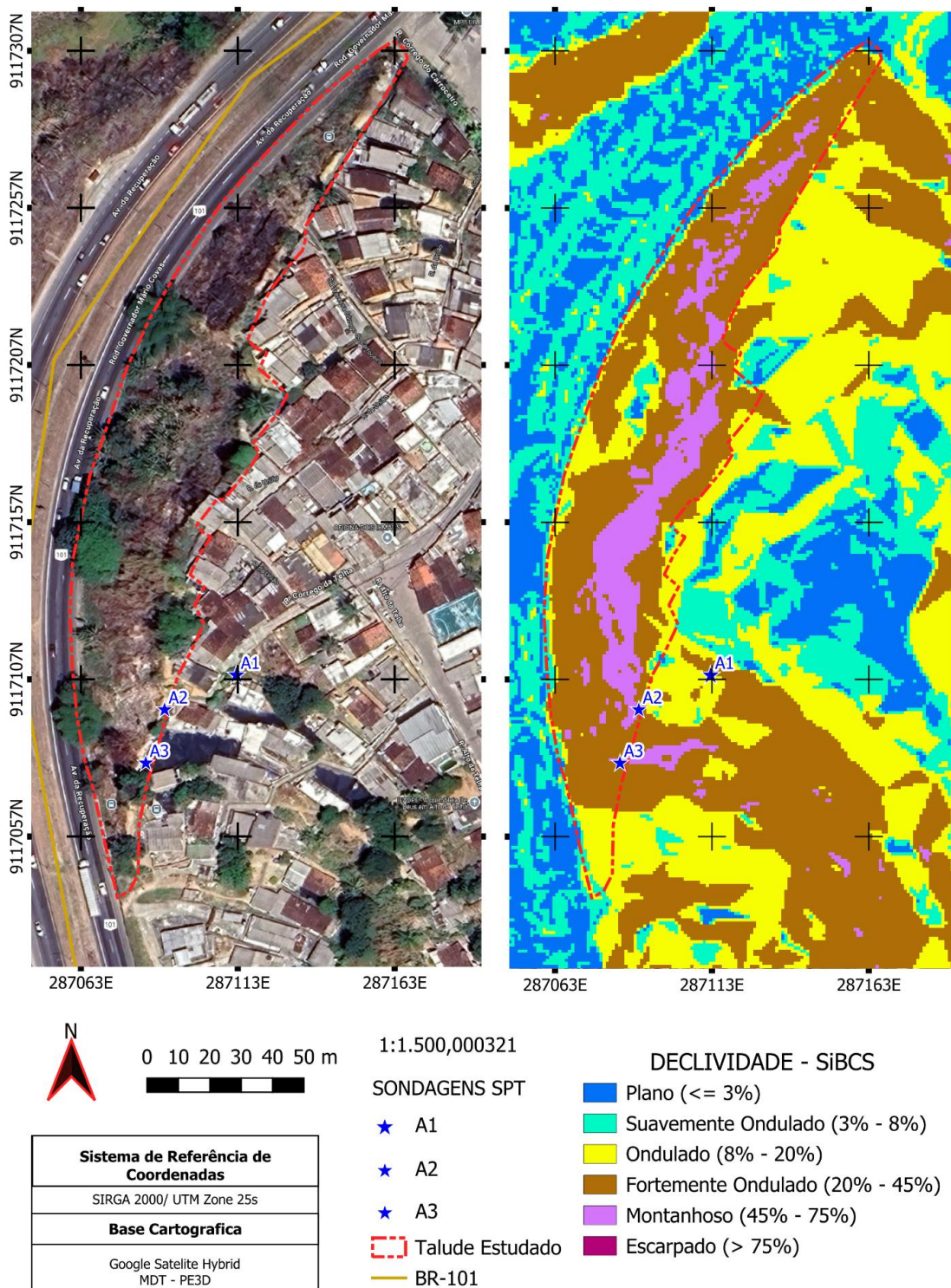


Figura 27: Mapa de declividade destacando o talude escolhido para realizar os estudos de riscos e estabilidade. Localização das ilhas de sondagens SPT do Projeto Morros de Vontade. Fonte: Produzido pelo autor.

Um pré-mapa foi elaborado com dados de localização, planialtimétricos, modelo digital de terreno e ortoimagem (Figura 28). No qual se pode gerar curvas de nível, traçar drenagens,

vias de acesso e apontar alvos a serem visitados. Sendo de extrema importância na visita técnica onde foi corriqueiramente consultado pelo aplicativo do Avenza Maps.

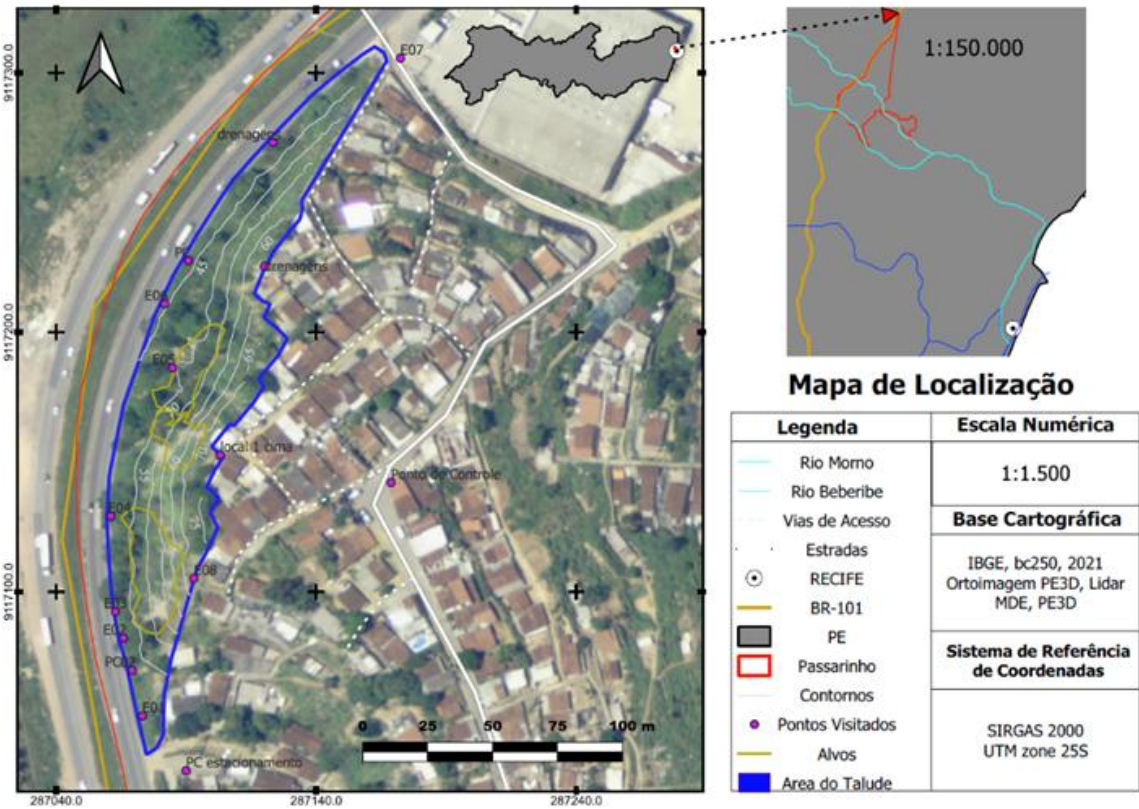


Figura 28: Mapa elaborado para dar suporte a etapa da visita técnica, auxiliando na navegação através do aplicativo Avenza Maps, onde foi possível coletar as coordenadas, fotos e fazer descrição dos pontos. Fonte: Produzido pelo autor.

4.1.2. IDENTIFICAÇÃO, ANÁLISE E SETORIZAÇÃO DE RISCOS

Por meio da visita técnica realizada na manhã do dia nove de março de 2024, foi possível realizar a caracterização das ocupações da localidade e sua interação com o meio físico, vegetação, água e sinais de movimentação. Foi percorrido todo o perímetro do talude passando pela BR 101, 5ª Travessa do Córrego do Carroceiro, Rua da União e Rua Córrego da Telha até retornar a BR 101. Os limites do talude são de fácil identificação, sendo marcados, ao norte, pela escadaria da 5ª Travessa do Córrego do Carroceiro, e ao sul, apresenta uma transição abrupta para um talude côncavo convergente no fim da Rua Córrego da Telha (Figura 29 e 30).





Figura 29: Visita técnica realizada na encosta situada no Alto da Telha; A) Moradia no topo do talude com erosão e acumulação de resíduos abaixo da estrutura da casa; B) Formação de crosta compactada no solo e lançamento de esgoto na face do Talude; C) Drenagem danificada indicando esforços passivo na base do talude; D) Drenagens comprometidas na escadaria e encanação usada para compartilhamento das águas servidas (cor azul); E) Lançamento de resíduos sólidos sobre o talude no primeiro plano e bambuzal na base do talude em segundo plano; F) Alto grau de saturação na base do talude com surgência de água. Fonte: Produzido pelo autor.

As ocupações do Alto da Telha estão posicionadas no topo dos tabuleiros litorâneos e margeiam toda a crista do talude em estudo, apresentando um relevo de plano a ondulado (0-20%), na porção central, e de fortemente ondulado a montanhoso (20-75%), nas demais regiões (Figura 26). Atualmente a região encontra-se parcialmente consolidada com um saneamento básico de precário à ausente, onde foi identificado fossas rudimentares e o lançamento dos efluentes sobre o talude. O modelo construtivo é misto, sendo, em patamares nas regiões de relevo plano a ondulado, e radial nas partes de maior declividade, onde se marca a construção das escadarias, autoconstruída inicialmente pela população até a finalização pelos órgãos competentes. As edificações são em sua maior parte de alvenaria, contudo são autoconstruções espontâneas sem acompanhamento técnico-profissional. Observou-se que nas porções mais declivosas, as moradias estão posicionadas a distâncias ínfimas umas das outras, em relação ao topo e base dos cortes realizados no talude para sua construção,

ocupando as bermas, esculpidas sem muito critério na construção. Diante disso, esses fatores corroboram para uma maior vulnerabilidade local (Figura 29).



Figura 30: Todas as imagens representam ângulos do mesmo contexto, localizado na parte sul do talude. A e B) Escadaria improvisada, esculpida por moradores, apresentando aspectos erosivos em seu percurso. C e D) Talude coberto por lona plástica preso no muro da residência acima e apresentando uma distância de 40 cm entre a base e a moradia à jusante. E) Perda significativa de solo abaixo da casa azul. F) Declividade acentuada da casa azul e moradia inferior a 15 cm do corte. Fonte: Produzido pelo autor.

O Alto da Telha encontra-se num divisor hidráulico, aonde parte das águas superficiais vertem para noroeste, sentido ao Rio Beberibe, e parte para sul/sudeste, nas nano-drenagens do Rio Morno, sendo este afluente do Rio Beberibe, integrando a bacia hidrográfica homônima. O escoamento superficial gradativamente tem sua energia cinética aumentada, devido ao impermeabilização do solo pelos moradores com o uso de cimento, aonde parte da infraestrutura local possui canaletas para vetorizar o escoamento superficial, o qual é o caso da parte central e norte da comunidade, entretanto na parte sul do talude as canaletas findam e o fluxo superficial encontra o solo exposto, com uma alta energia cinética, e em sequência convergem tanto para face sul do talude em estudo, quanto para a face de outro talude, a sudeste, vertendo para o Córrego da Telha. A zona de interflúvio entre esses taludes é uma pequena faixa estreita de quatro metros na crista do talude, e menos de um metro no meio da



encosta onde é improvisada uma escada pela comunidade e volta a apresentar quatro metros sentido a base (Figura 30).

A nomenclatura geomorfológica da área de estudo são os Tabuleiros Dissecados, que já evidenciam a forte atuação dos processos erosivos a longo do tempo e atuantes até o presente na área de influência do talude. Os processos erosivos evidenciados são: (1) Salpicamento, quando o impacto da água da chuva, atuando diretamente sobre solo exposto desagregando os seus sedimentos, impermeabilizando e formando crostas compactadas; (2) Escoamento superficial, além de transportar por gravidade o material desagregado sob o talude, no trajeto, com o aumento da energia cinética, modela o solo desprotegido podendo produzir canais e progressivamente as ravinas; (3) Escoamento Subsuperficial, as linhas de fluxos carregam material durante o processo de infiltração/percolação, saturando e surgindo em alguns pontos na face do talude pós-evento pluviométrico, região marcada pela presença de plantas concentradoras de umidade (Figura 31).



Figura 31. Zonas supersaturadas na base do talude apresentando surgência de águas, pós-evento chuvoso, provocadas pelo escoamento subsuperficial. Nessas zonas é comum plantas concentradoras de umidade como as Bananeiras (*Musa spp.*) e Taiobas (*Xanthosoma sagittifolium*). Fonte: produzido pelo autor.

A cobertura vegetal do talude é predominantemente herbácea, com espécies como capim (*Poaceae spp.*) e taiobas (*Xanthosoma sagittifolium*), que exibem rápido crescimento e baixa capacidade de estabilização do solo. Na base do talude, observa-se a presença de vegetação arbustiva e arbórea, incluindo bananeiras (*Musa spp.*), bambu (*Bambusoideae*), embaúbas (*Cecropia pachystachya*) e macaibeiras (*Acrocomia aculeata*), ilustrada na figura 32.

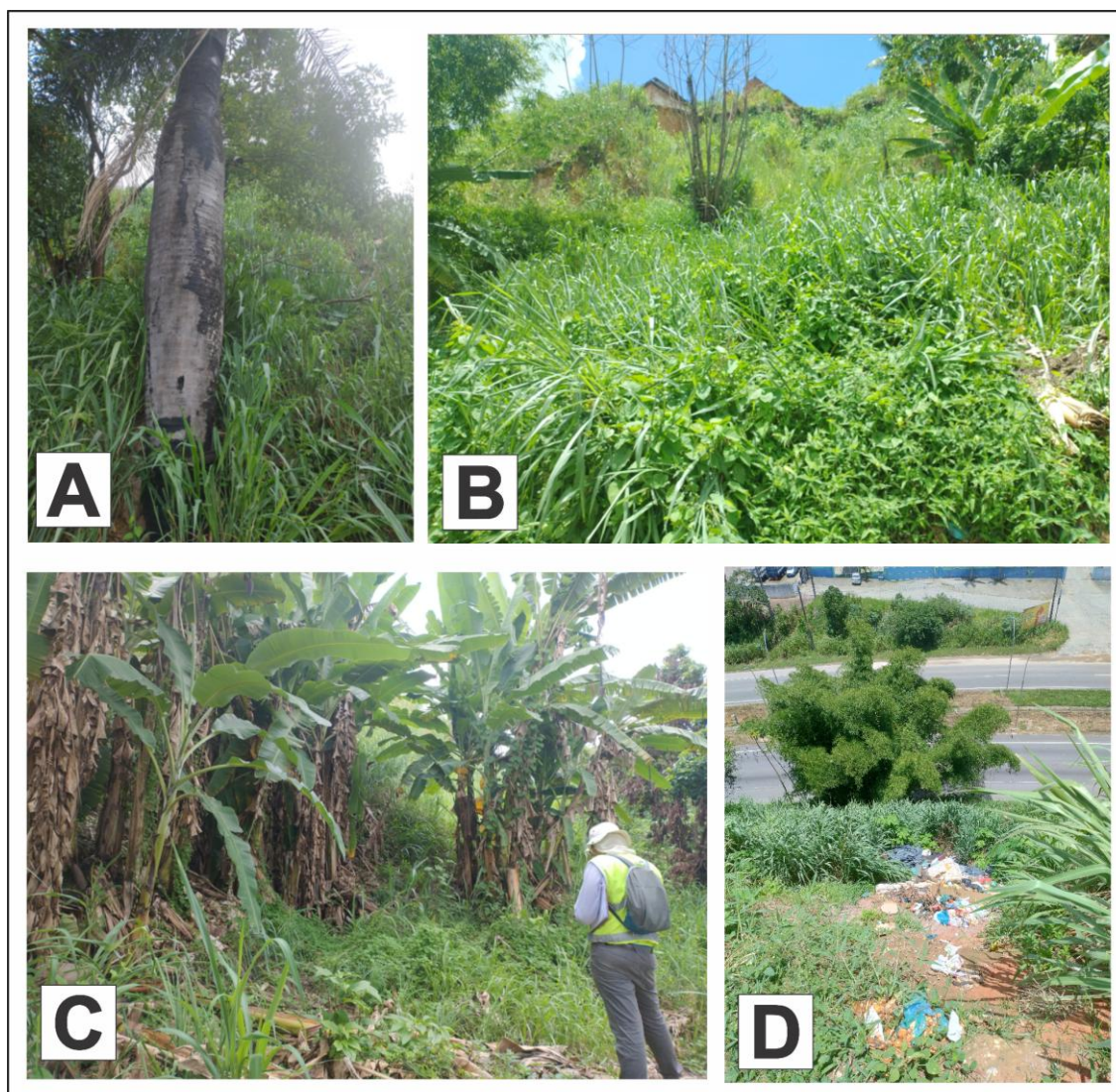


Figura 32: A) Macaibeira. B) Embaúba. C) Bananeiras. D) Bambu na base do talude em segundo plano. Fonte: Produzido pelo autor.

A unidade geológica aflorante é a Formação Barreiras, definida por Barbosa et al. (2007), como arenitos quartzosos sub arcoseanos com matriz caulínítica/ferruginosa, pouco consolidado e de coloração variegada, apresentando níveis lateríticos e camadas siltico-argilosas. Sobreposta a Formação Barreiras encontrasse um solo residual apresentando o contato entre horizonte A e o horizonte B, classificado pelo SGB (2021) como Latossolo Amarelo. Foi observado solos coluvionares na face do talude, o contato entre a zona coluvial e a Formação Barreiras (Figura 33).



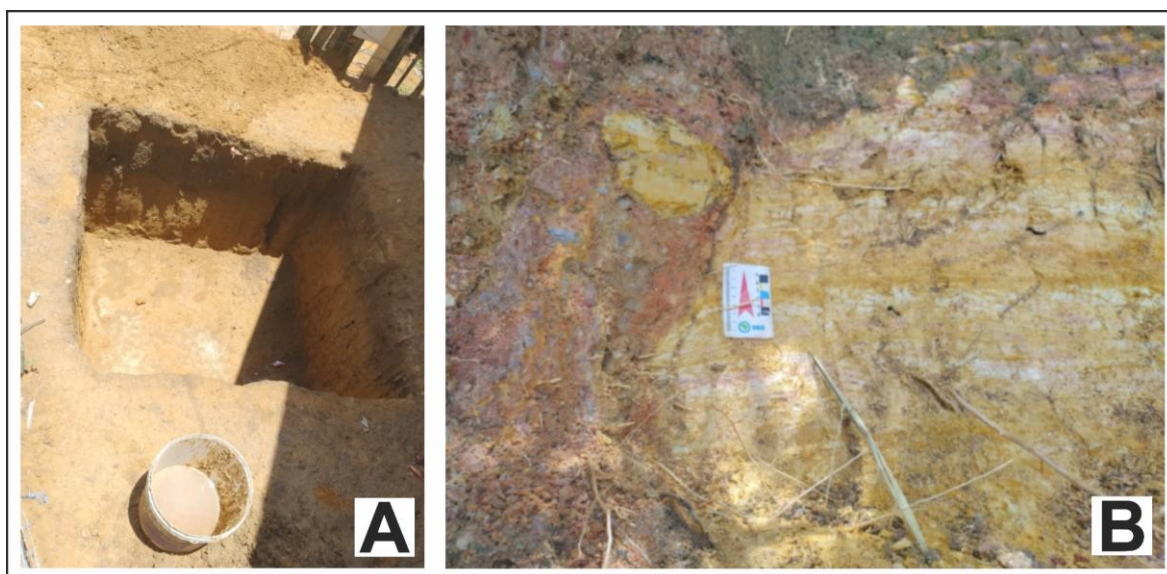


Figura 33: A) Latossolo Amarelo identificado na abertura de poço, feito por moradores para construção de fossa rudimentar. B) Contato entre Formação Barreiras e solo coluvial, evidenciando a superfície de Ruptura. Fonte: Produzido pelo autor.

Evidências de movimentação no talude foram identificadas por múltiplos indicadores, tanto superficiais quanto geotécnicos. Na superfície, observou-se a inclinação de árvores e rachaduras de pequeno porte nas paredes de residências, alinhadas à direção do movimento do terreno. Os aspectos geotécnicos incluíram uma escarpa de deslizamento recente, degrau de abatimento de aproximadamente 0,40 centímetros de altura, exibindo a Formação Barreiras (Figura 34).

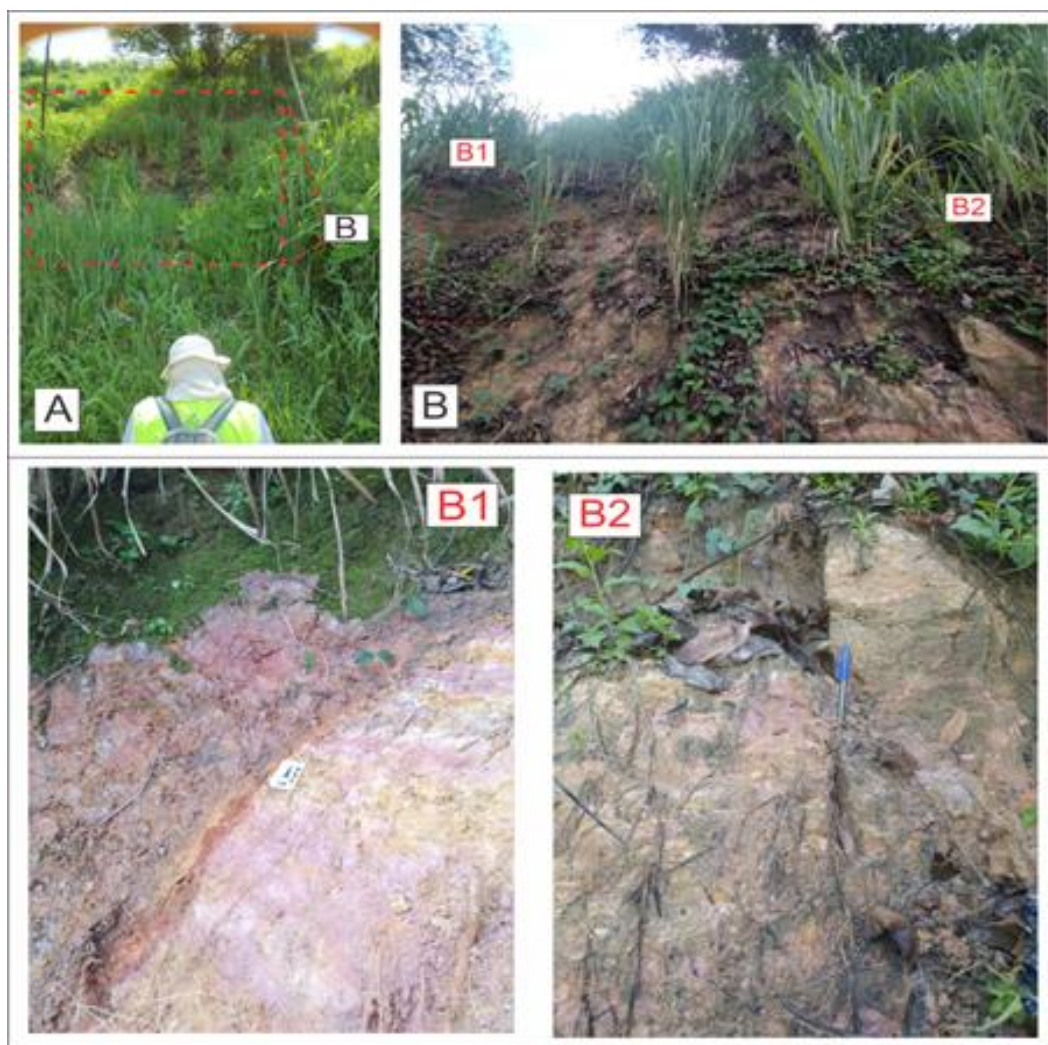


Figura 34: A) Talude com alto ângulo de mergulho com evidências de um deslizamento recente apresentando escarpa do talude e os colúvios em baixo Embaúba morta inclinada. B) Escarpa do talude localizando as imagens B1 e B2. B1) Superfície de ruptura evidenciando o colúvio, em tons marrons avermelhados, e a Formação Barreiras, apresentando uma intercalação de sedimentos areia siltosa de cores variegadas e silte esbranquiçado; B2) Falhamento de bloco provocando um degrau de abatimento vertendo para o eixo central da escarpa do talude. Fonte: Produzido pelo autor.

Identificou-se ainda, na parte sul do talude, uma clara superfície de ruptura exibindo 1,5 metros de colúvio e a interface com a Formação Barreiras. A base do talude evidencia-se a zona de esforços passivos, marcados pelas rachaduras nas drenagens e intumescência no pé do talude, uma concepção artística foi elaborada para ilustrar tais fatos (Figura 35).

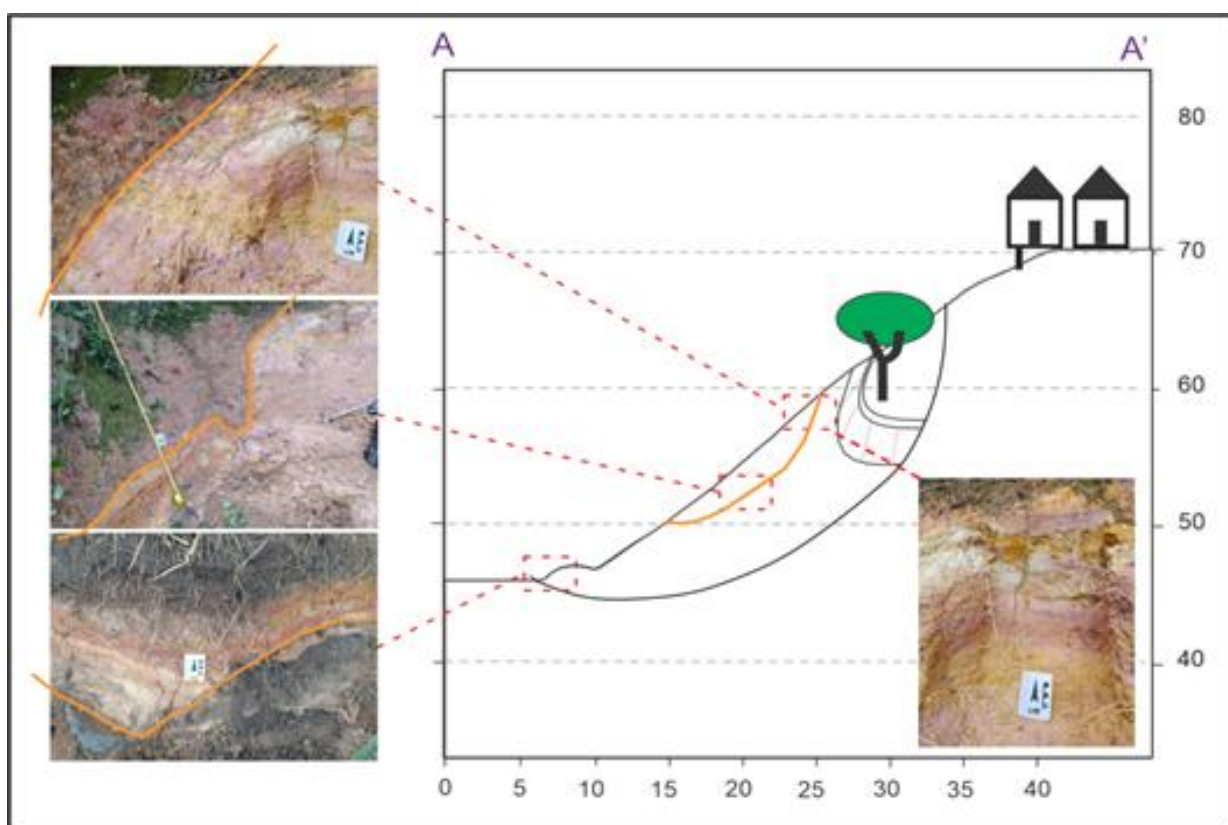


Figura 35. Figura esquemática da posição das fotos no talude evidenciando a superfície de ruptura, em laranja. Fonte: Produzido pelo autor.

O talude foi dividido em quatro setores de risco, numerado de sul para norte, com geometria e fatores condicionantes próximos (Figura 21), sendo observado como área crítica as 45 residências próximas em média 20 metros da crista talude, e a área de dispersão se deflagrado o fenômeno, tem possibilidade de atingir à rodovia abaixo gerando o bloqueio da BR-101, sentido norte, ocasionando o isolamento do trânsito da única via expressa que garantiria o acesso ao resgate (Figura 36).



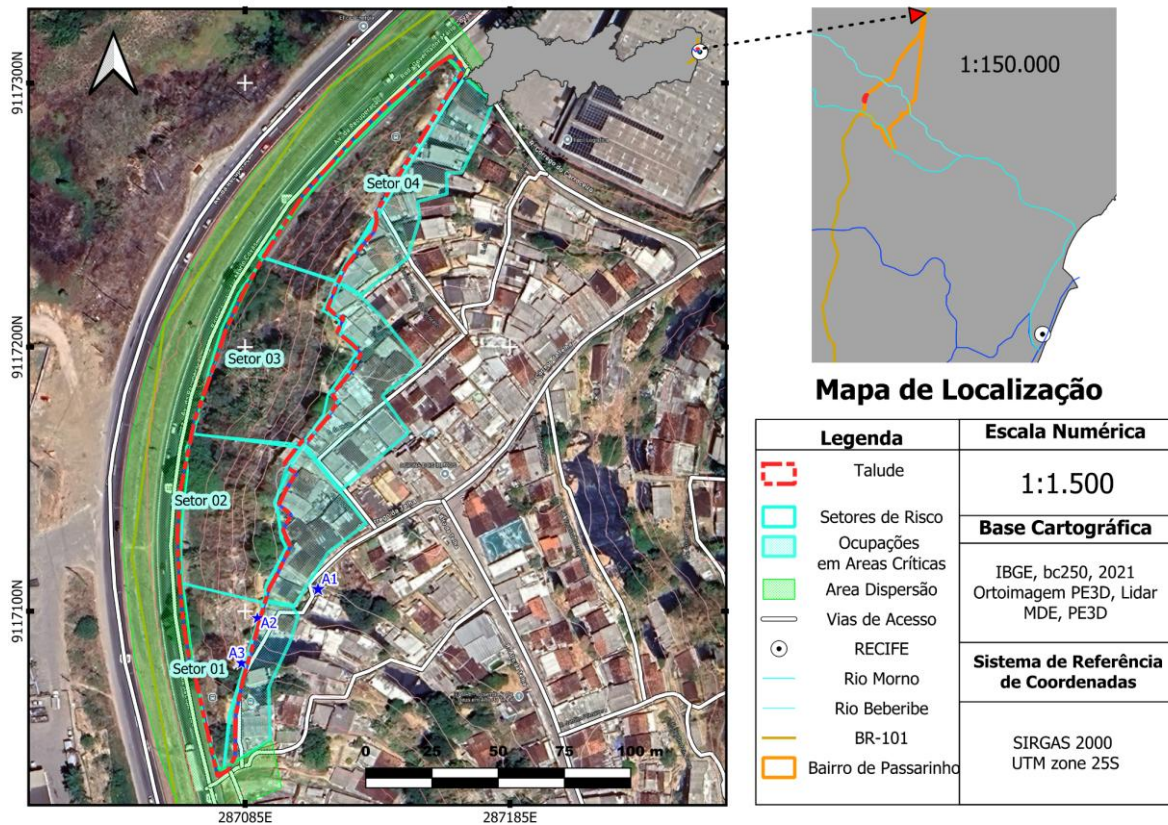


Figura 36: Setorização de risco foi realizada mediante a análise em áreas que apresentam fatores condicionantes similares. Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.1.3 ELABORAÇÃO DO MAPA DE RISCO GEOLÓGICO

Após a caracterização detalhada do meio físico e setorização do talude em diferentes níveis de criticidade, conforme sua predisposição a processos de instabilidade, executou-se a classificação de risco geológico com auxílio da tabela elaborada pelo IPT (Figura 21). Dois setores foram classificados como Risco Muito Alto (R4), um setor foi definido como Risco Alto (R3) e um setor foi classificado como Risco Médio (R2), apresentando diversas evidências detalhadas na figura 37.

| Classificação de Riscos                                    |                           |                    |                     |                |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|----------------|
|                                                            | Setor 01                  | Setor 02           | Setor 03            | Setor 04       |
| Geometria do Talude                                        | Convexa Divergente        | Convexa Divergente | Concava Convergente | Convexa Planar |
| Padrão Construtivo das Ocupações                           | Alvenaria                 | Alvenaria          | Alvenaria           | Alvenaria      |
| Distância Entre Moradia e o Talude de Corte (Pior Cenário) | Topo: 0,4m; Base: 0,05 m. | Topo: 0,5 m        | Topo: 0,5 m         | Topo: 3 m      |
| Inclinação                                                 | 50,35°                    | 56°                | 39°                 | 50,35°         |
| Presença de Agua                                           | NÃO                       | SIM                | SIM                 | SIM            |
| Sinais de Movimentação                                     | SIM                       | NÃO                | NÃO                 | NÃO            |
| Grau de Probabilidade (R1, R2, R3 E R4)                    | (R4) Muito Alto           | (R4) Muito Alto    | (R3) Alto           | (R2) Médio     |

Figura 37: Classificação de riscos agrupando aspectos geológico-geotécnicos próximos a cada setor, classificados seguindo (IPT, 2007). Fonte: Elaborado pelo autor.

Um mapa de risco geológico foi elaborado (Figura 38), considerando os critérios sugeridos pela metodologia do IPT, 2007.

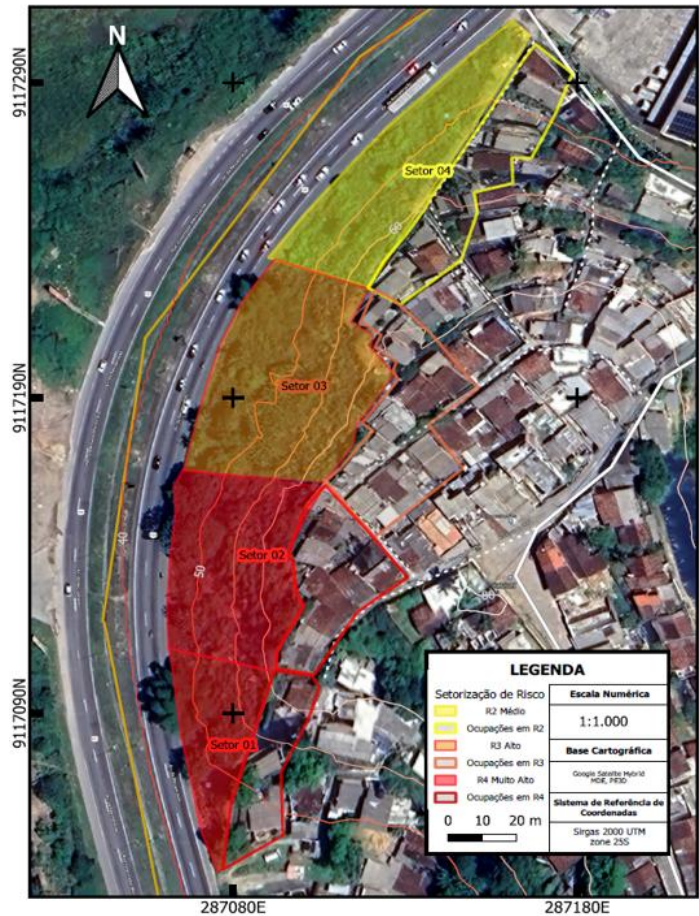


Figura 38: Setorização de risco geológico realizado na comunidade do Alto da Telha atribuindo seguindo a metodologia do IPT, 2007. Fonte: Produzido pelo autor.



## 4.2. INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Para complementar a investigação geológico-geotécnica superficial descrita na seção anterior, que culminou na elaboração do mapa de risco geológico, foi necessária a investigação em subsuperfície para obtenção dos parâmetros e compor o modelo geológico-geotécnico. Essa etapa contou com a colaboração do Projeto Morros de Vontade, vinculado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que realizou todas as amostragens e os ensaios geotécnicos, tanto em campo quanto em laboratório, nas adjacências da região de interesse.

Em virtude da proximidade geográfica e das similaridades geotécnicas entre as áreas estudadas, os dados do referido projeto, incluindo resultados de ensaios laboratoriais e sondagens, foram disponibilizados para esta pesquisa. Essas informações subsidiaram a caracterização detalhada do subsolo, permitindo uma análise mais robusta da estabilidade de encostas na área em estudo.

### 4.2.1 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS

Para a realização desta etapa o projeto Morros de Vontade contratou uma empresa especializada, a Engenharia e Consultoria de Solos e Fundações LTDA (ENSOLO), que executou o plano de sondagens e amostragem necessárias para os ensaios laboratoriais, durante o mês de março de 2023.

Dos seis pontos analisados no projeto, três foram realizados nas proximidades do talude estudado para uma melhor correlação: SPT 01, SPT 02 e SPT 03, com cotas na boca do furo de +77 m, +61 m e +45 m, respectivamente (Figura 39). A única investigação realizada totalmente em campo é o SPT, e nele pode-se compreender o comportamento de cada camada de solo/rocha através do índice de resistência à penetração no solo ( $N_{spt}$ ), visando se inferir contatos relativos conforme a variação da resistência à penetração no solo para cada avanço da sondagem. Os boletins de sondagens se encontram nos anexos 01 à 03.

Para complementar a investigação, foram abertos dois poços de inspeção próximos aos furos SPT 01 e SPT 02, visando à retirada de blocos indeformados em cada poço, na profundidade de 1,20 a 1,80 metros, além disso, no ponto SPT 03, foram coletadas quatro caixinhas de amostras indeformadas próximas à superfície. Amostras deformadas também foram retiradas tanto dos poços de inspeção, 01 e 02, quanto na superfície do furo de sondagem 03, sendo 25 kg aproximadamente, consoante a NBR 9604.

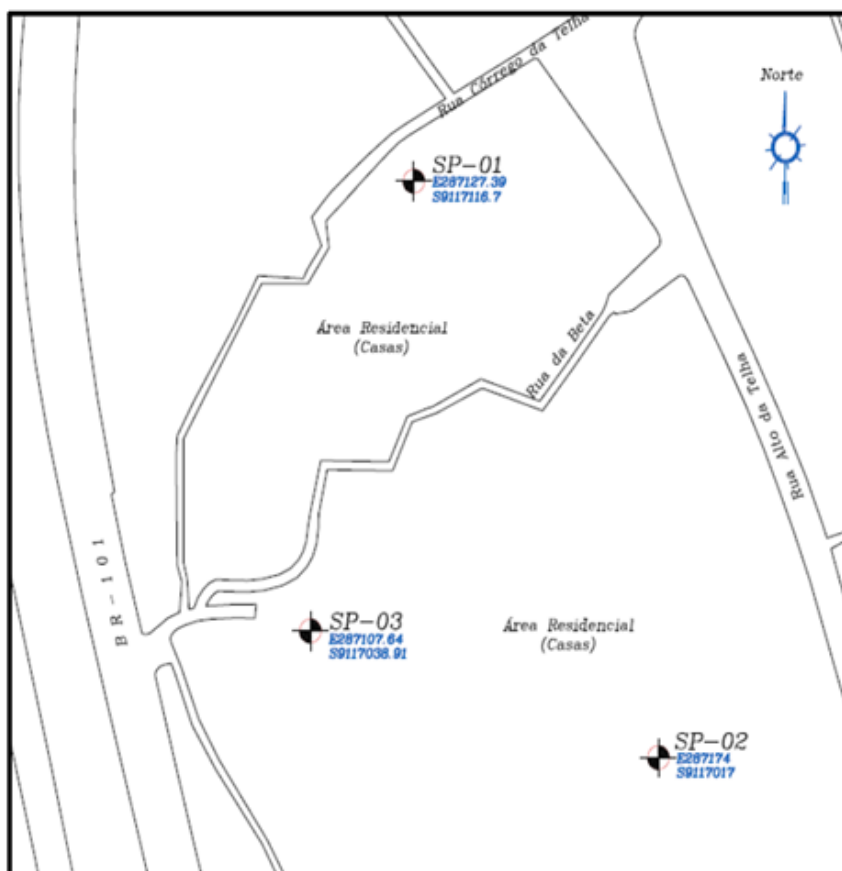


Figura 39: Localização da investigação SPT onde foram realizados os poços de inspeção e amostragem deformada e indeformada. Fonte: Relatório da ENSOLO.

Os demais parâmetros foram obtidos através dos ensaios laboratoriais, realizados pela equipe do projeto Morro de Vontade, onde foram feitos os ensaios de umidade, granulometria, limites de consistência (LP e LL) e cisalhamento direto. Desse modo, foi possível obter o teor de umidade (W), a caracterização geotécnica do solo e o ângulo de atrito.

À medida que se executava a manobra da sondagem foi-se recolhendo cápsulas amostrais para obtenção do teor de umidade no laboratório medindo o peso de imediato e depois na estufa, onde foi possível calcular a diferença do peso do solo úmido e o peso do solo seco, dividido pelo peso seco menos o peso da cápsula, multiplicando o resultado por 100 é obtido os valores percentuais expressos abaixo (Figura 40), apresentando os resultados do furo SPT-01 como A1, SPT-02 como A2 e SPT-03 como A3.

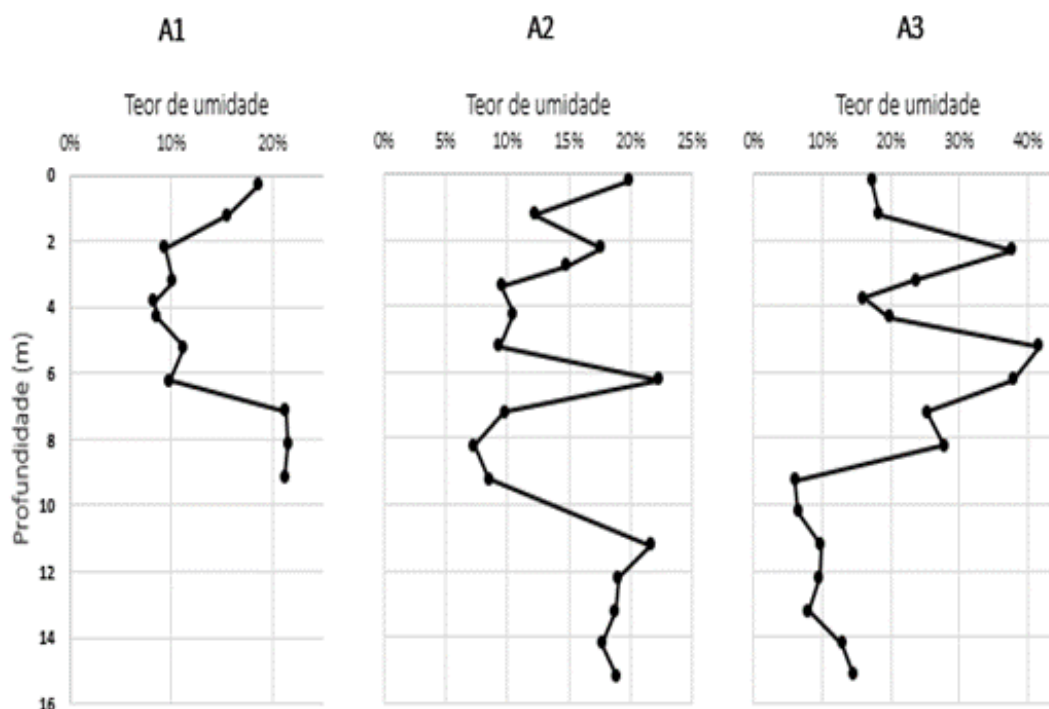


Figura 40: Variação do teor de umidade em relação à profundidade do furo, apresentando maior percentual nos níveis argilosos e siltosos. Fonte: Produzido pela equipe do projeto Morro de Vontade em 2023.

A caracterização do solo seguiu todas etapas previstas pela ABNT para metodologias de coleta e ensaios, detalhados anteriormente na seção 3.2, e posteriormente classificando-as através do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), categorizações dos solos com base em suas propriedades texturais e plásticas, visando prever seu comportamento geotécnico. Nessa classificação, cada tipo de solo é identificado por um código de duas letras, que reflete sua granulação (pedregulhos, areias e frações finas) e características de plasticidade (limites de liquidez e plasticidade). A distinção entre solos grossos (como areias e pedregulhos) e finos (argilas e siltes) é determinada por critérios específicos, incluindo a análise da curva granulométrica e ensaios de compressibilidade (DNIT, 2006). A tabela abaixo ilustra essa classificação hierárquica, destacando os parâmetros-chave para cada grupo (Figura 41).

|                                                                             |                                                                  |                      |    |                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA:</b><br>mais de 50% retido na peneira nº 200   | Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4 | Pedregulho sem finos | GW | Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.                 |
|                                                                             |                                                                  |                      | GP | Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.                  |
|                                                                             |                                                                  | Pedregulho com finos | GM | Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.                                          |
|                                                                             |                                                                  |                      | GC | Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.                                        |
|                                                                             | Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4    | Areias sem finos     | SW | Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.                         |
|                                                                             |                                                                  |                      | SP | Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.                         |
|                                                                             |                                                                  | Areias com finos     | SM | Areias siltosas - Misturas de areia e silte.                                                    |
|                                                                             |                                                                  |                      | SC | Areias argilosas - Misturas de areia e argila.                                                  |
| <b>SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA:</b><br>50% ou mais passando pela peneira nº 200 | SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50                                     |                      | ML | Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.                    |
|                                                                             |                                                                  |                      | CL | Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas. |
|                                                                             |                                                                  |                      | OL | Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.                            |
|                                                                             | SILTES e ARGILAS com LL > 50                                     |                      | MH | Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos.                                    |
|                                                                             |                                                                  |                      | CH | Argilas inorgânicas de alta plasticidade.                                                       |
|                                                                             |                                                                  |                      | OH | Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.                                                 |
|                                                                             | Solos Altamente Orgânicos                                        |                      | PT | Turfas e outros solos altamente orgânicos.                                                      |

Figura 41: Classificação SUCS. Fonte: DNIT, 2006.

O ensaio de granulometria das amostras é dividido em duas etapas, sendo elas a etapa do peneiramento e a etapa da sedimentação, que pode ser realizada com e sem defloculante. Os gráficos do ensaio de granulometria estão apresentados em onze anexos, do anexo 04 ao 14. Das onze amostras analisadas foram classificadas em quatro grupos, sendo eles: CH, argilas inorgânicas de alta plasticidade; CL, argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade; SC, areias argilosas; e ML-OL, Areia muito fina e argilas siltosas.

Os limites de consistência são propriedades que definem a quantidade de água necessária para o solo atingir estados específicos de consistência. Os ensaios de limite de consistência realizados foram o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). O limite de liquidez possibilita determinar o teor de umidade onde o solo passa do estado plástico para o estado semilíquido, já o limite de plasticidade por sua vez é definido como o teor de umidade abaixo do qual o solo se torna rígido e quebradiço, não sendo mais moldável. O índice de plasticidade ( $IP = LL - LP$ ) indica a faixa de umidade no qual o solo apresenta plasticidade, foram encontrados dois grupos com IP distintos, sendo um de alta plasticidade com valores entre 25 e 30% e outro com IP de 17 a 22%. Todos os resultados dos ensaios geotécnicos dos solos estão expressos abaixo (Figura 42).

| Nome | Profundidade        | LL (%) | LP (%) | IP (%) | Classificação SUCS |
|------|---------------------|--------|--------|--------|--------------------|
| A1   | Poço (1,20 m)       | 44     | 24     | 20     | CL                 |
|      | SPT (0,65 - 1,00 m) | 42     | 22     | 20     | CL                 |
|      | SPT (1,45 - 2,00 m) | 38     | 19     | 19     | SC                 |
|      | SPT (2,45 - 3,00 m) | 38     | 20     | 18     | SC                 |
|      | SPT (3,45 - 3,60 m) | 39     | 19     | 20     | SC                 |
| A2   | Poço (1,20 m)       | 49     | 24     | 25     | CL                 |
|      | SPT (0,45 - 1,00 m) | 55     | 25     | 30     | CH                 |
|      | SPT (1,00 - 1,45 m) | 49     | 24     | 25     | CL                 |
|      | SPT (1,45 - 2,00 m) | 42     | 20     | 22     | SC                 |
| A3   | SPT (0,45 - 1,00 m) | 35     | 18     | 17     | SC                 |
|      | SPT (1,00 - 2,00 m) | 37     | 19     | 18     | SC                 |
|      | SPT (2,65 - 3,00 m) | 48     | 30     | 18     | ML-OL              |

Figura 42: Caracterização geotécnica dos solos, Projeto Morros de Vontade, executado por Twany Correia. Fonte: Correia, 2023.

Através dos blocos indeformados e das caixinhas foram realizados os ensaios de cisalhamento direto onde foi possível obter o ângulo de atrito e coesão da camada relativa a sua amostragem através do gráfico de (Tensão Normal X Tensão Cisalhante), tanto para o material em condições naturais quanto para o material inundado em condições saturadas (Figura 43).

## CISALHAMENTO DIRETO

|    | CONDIÇÃO NATURAL |                   |                            |                  | CONDIÇÃO SATURADA |                   |                            |                  |
|----|------------------|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|------------------|
|    | Tensão Normal    | Tensão Cisalhante | Coesão                     | Ângulo de Atrito | Tensão Normal     | Tensão Cisalhante | Coesão                     | Ângulo de Atrito |
| A1 | 0                |                   |                            |                  | 0                 |                   |                            |                  |
|    | 58,45            | 59,19             | 32<br>kN/m <sup>2</sup>    | 30°              | 59,00             | 53,00             | 19 kN/m <sup>2</sup>       | 28°              |
|    | 116,56           | 104,99            |                            |                  | 117,00            | 80,00             |                            |                  |
|    | 174,41           | 143,56            |                            |                  | 175,00            | 115,00            |                            |                  |
|    | 232,32           | 158,75            |                            |                  | 233,00            | 147,00            |                            |                  |
| A2 | 0                |                   |                            |                  | 0                 |                   |                            |                  |
|    | 58,38            | 78,70             | 42,24<br>kN/m <sup>2</sup> | 33°              | 58,47             | 53,76             | 18,47<br>kN/m <sup>2</sup> | 27°              |
|    | 116,61           | 120,36            |                            |                  | 116,78            | 75,27             |                            |                  |
|    | 174,29           | 153,75            |                            |                  | 174,96            | 93,84             |                            |                  |
|    | 231,82           | 192,26            |                            |                  | 232,52            | 145,35            |                            |                  |
| A3 | 0                |                   |                            |                  | 0                 |                   |                            |                  |
|    | 58,39            | 55,77             | 24 kN/m <sup>2</sup>       | 28°              | 58,50             | 44,88             | 14 kN/m <sup>2</sup>       | 29°              |
|    | 116,47           | 87,77             |                            |                  | 116,74            | 80,32             |                            |                  |
|    | 174,27           | 116,65            |                            |                  | 174,79            | 109,49            |                            |                  |
|    | 231,69           | 150,86            |                            |                  | 232,57            | 141,77            |                            |                  |

Figura 43: Ensaio de cisalhamento direto em meio natural e inundado onde foi obtido os dos valores de coesão e ângulo de atrito através do gráfico de tensão normal x tensão cisalhante gerado plotando um gráfico XY o valor das tensões normais x tensões cisalhantes. Fonte: Elaborado pelo autor com os dados do projeto Morro de Vontade.

#### 4.2.2 DEFINIÇÃO DAS CAMADAS

O boletim de sondagem realizado pela ENSOLO, empresa responsável pela sondagem, apresentava múltiplas camadas com valores de  $N_{spt}$  médio variando de 1 a 47, composta por materiais com percentual de tamanho de grão misto entre argila e areia média, grau de compactação variável e níveis intercalados com cores variegadas (Figura 44). Entretanto, só em três camadas foram possíveis obter os parâmetros mecânicos através do ensaio de cisalhamento direto (Figura 45). Diante disso, de modo a simplificar as numerosas camadas foi utilizado a subdivisão em relação ao valor do  $N_{spt}$  e a propriedade do material baseado em JOPPERT (2007), que atribui os parâmetros físicos e mecânicos de alguns tipos de solo de acordo com diferentes faixas de valores de  $N_{spt}$  (Figura 46). Baseando nos critérios anteriormente apresentados, a classificação simplificada finalizou com 11 camadas (Figura 47).

| Configuração Original do perfil de sondagem recebida da ENSOLO |       |           |                                                                                                                                     |                   |     |                |           |
|----------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|----------------|-----------|
| A1 - COTA 77                                                   |       |           |                                                                                                                                     |                   |     |                |           |
| Início                                                         | Fim   | Espessura | Descrição                                                                                                                           | Cor               | SPT | Amostragem SPT | SPT médio |
| 0,00                                                           | 1,00  | 1         | Aterro de areia média c/ p.c.a areia fina c/ resto de construção e m.o                                                              | Cinza Escuro      | 1   | 1              | 1         |
| 1,00                                                           | 2,00  | 1         | Areia fina c/p.c.a. areia média, p.c.o. siltosa, p.c.o. Argilosa                                                                    | Vermelho          | 4   | 2              | 4,0       |
| 2,00                                                           | 5,00  | 3         | Areia média c/p.c.a. areia fina c/mt.o. p.c.a. areia grossa, mto p.c.o siltosa, mto. p.c.a. argilosa                                | Vermelho          | 38  | 3 a 6          | 9,5       |
| 5,00                                                           | 6,00  | 1         | Areia fina c/p.c.a. areia média, mto. p.c.o siltosa, mto p.c.o. argilosa                                                            | Creme             | 13  | 7              | 13,0      |
| 6,00                                                           | 7,00  | 1         | Areia média c/ p.c.a. areia fina c/ mto. p.c.a. areia grossa, mto. p.c.o. siltosa, mto. p.c.o. argilosa,                            | Roxo              | 23  | 8              | 23,0      |
| 7,00                                                           | 9,00  | 2         | Argila siltosa, c/mt.o. p.c.a. areia fina. Plasticidade baixa de consistência dura                                                  | Roxo Claro        | 93  | 9 e 10         | 46,5      |
| 9,00                                                           | 10,00 | 1         | Areia fina c/p.c.a. areia média, argilosa, siltosa                                                                                  | Roxo              | 47  | 11             | 47,0      |
| 10,00                                                          | 10,30 | 0,3       | Argila siltosa, c/mt.o. p.c.a. areia fina. Plasticidade baixa e consistência dura                                                   | Roxo Claro        | 45  | 12             | 45,0      |
| A2 - COTA 61                                                   |       |           |                                                                                                                                     |                   |     |                |           |
| Início                                                         | Fim   | Espessura | Descrição                                                                                                                           | Cor               | SPT | Amostragem SPT | SPT médio |
| 0,00                                                           | 1,00  | 1         | Areia fina c/p.c.a. areia média, siltosa, argilosa                                                                                  | Creme             | 7   | 1              | 7,0       |
| 1,00                                                           | 2,00  | 1         | Areia fina c/p.c.a. areia média, mto. p.c.o siltosa                                                                                 | creme             | 6   | 2              | 6,0       |
| 2,00                                                           | 3,10  | 1,1       | Areia fina c/mt.o. areia média, siltosa, argilosa                                                                                   | Pardo             | 29  | 3 e 4          | 14,5      |
| 3,10                                                           | 6,00  | 2,9       | Areia fina c/mt.o. p.c.a. areia média, mto p.c.o. siltosa                                                                           | creme             | 26  | 5 a 7          | 8,7       |
| 6,00                                                           | 7,00  | 1,00      | Argila siltosa, c/mt.o. p.c.a. areia fina. Plasticidade baixa e consistência mto. rija, variegada                                   | creme             | 21  | 8              | 21,0      |
| 7,00                                                           | 8,00  | 1,00      | Areia fina c/mt.o. p.c.a. areia média, mto p.c.o. siltosa                                                                           | creme             | 8   | 9              | 8,0       |
| 8,00                                                           | 11,00 | 3,00      | Areia média c/p.c.a. areia fina c/mt.o. p.c.a. areia grossa, mto p.c.o siltosa                                                      | Creme c/ Velos    | 28  | 10 a 12        | 9,3       |
| 11,00                                                          | 15,45 | 4,45      | Areia fina c/p.c.a. areia média, p.c.o. siltosa, p.c.o. argilosa                                                                    | Creme             | 78  | 13 a 17        | 15,6      |
| A3 - COTA 45                                                   |       |           |                                                                                                                                     |                   |     |                |           |
| Início                                                         | Fim   | Espessura | Descrição                                                                                                                           | Cor               | SPT | Amostragem SPT | SPT médio |
| 0,00                                                           | 0,40  | 0,40      | Aterro de areia fina c/ p.c.a areia média c/ resto de construção e m.o                                                              | Cinza Escuro      | 14  | 1              | 7,0       |
| 0,40                                                           | 2,00  | 1,60      | Areia média c/p.c.a. areia fina c/mt.o. p.c.a areia grossa, siltosa, p.c.o. argilosa                                                | Pardo             | 2   | 2              | 2,0       |
| 2,00                                                           | 3,00  | 1,00      | Areia média c/p.c.a. areia fina c/mt.o. P.c.a areia grossa, p.c.o siltosa, mto p.c.o. Argilosa, c/ p.c.o.s, nódulos concre... <25mm | Pardo             | 4   | 3 e 4          | 2,0       |
| 3,00                                                           | 3,55  | 0,55      | Areia fina, siltosa, argilosa                                                                                                       | Roseo             | 7   | 5              | 7,0       |
| 3,55                                                           | 4,10  | 0,55      | Areia fina c/ areia média, c/ p.c.a. Areia grossa, c/ mto. p.c.o. pedregulho <4mm, mto p.c.o. siltosa mto p.c.o. argilosa           | Creme             | 9   | 6              | 9,0       |
| 4,10                                                           | 7,00  | 2,90      | Areia fina c/mt.o. areia média e grossa, p.c.o. siltosa, p.c.o. argilosa                                                            | Creme             | 28  | 7 a 9          | 9,3       |
| 7,00                                                           | 8,00  | 1,00      | Areia média c/ p.c.a. areia fina e grossa, c/p.c.o. pedregulho <10 mm, p.c.o. siltosa, p.c.o. argilosa,                             | Creme             | 13  | 10             | 13,0      |
| 8,00                                                           | 9,05  | 1,05      | Areia fina c/p.c.a. areia média, p.c.o. siltosa, p.c.o. argilosa                                                                    | Pardo             | 23  | 11             | 23,0      |
| 9,05                                                           | 14,90 | 5,85      | Areia média c/ p.c.a. areia fina c/ mto p.c.a. areia grossa, mto p.c.o. siltosa                                                     | Vermelho C/ Velos | 134 | 12 a 17        | 22,3      |
| 14,90                                                          | 15,35 | 0,45      | Areia fina c/p.c.a. areia média, c/mt.o. p.c.a. areia grossa, siltosa, p.c.o. argilosa,                                             | Roseo C/ Velos    | 24  | 18             | 24,0      |

Figura 44: Resultado do perfil de sondagem realizada pela empresa ENSOLO, contratada pelo projeto Morro de vontade. Fonte: Produzido pelo autor.



| ID  | Nº Camada | Descrição do material                                              | Nspt Médio | SUCS        | Referencia dos parâmetros por: |
|-----|-----------|--------------------------------------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|
| AM1 | 1         | Areia média, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                     | 2,00       | SC          | (Joppert, 2007)                |
| AF1 | 2         | Areia fina, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                      | 4,00       | CL          | Cisalhamento Direto, A1        |
| AO2 | 3         | Aterro, pco. compacto                                              | 7,00       | CH          | Cisalhamento Direto, A3        |
| AF2 | 4         | Areia fina c/ mto. pco. siltosa, pco. compactada                   | 7,34       | ML-OL/CL/SC | Cisalhamento Direto, A2        |
| AM3 | 5         | Areia média, mto. pco. siltosa e medte. compacta                   | 10,6       | SC          | (Joppert, 2007)                |
| AF3 | 6         | Areia fina pco. siltosa e pco. argilosa, medte. compactada         | 12,28      |             | (Joppert, 2007)                |
| AR5 | 7         | Argila siltosa, consistencia mto. rija                             | 21,00      | ?           | (Joppert, 2007)                |
| AM4 | 8         | Areia média mto pco. Siltosa, mto pco.argilosa e compactada.       | 22,65      |             | (Joppert, 2007)                |
| AF4 | 9         | Areia fina pco. siltosa, pco.argilosa e compactada                 | 23,50      |             | (Joppert, 2007)                |
| AD6 | 10        | Argila siltosa, consistencia dura                                  | 45,75      | ?           | (Joppert, 2007)                |
| AF5 | 11        | Areia fina c/pca. areia média, argilosa, siltosa e mto. Compactada | 47,00      |             | (Joppert, 2007)                |

Figura 45: Simplificação de camadas com base nos valores de Nspt e Granulometria. A direita correlação com a caracterização SUCS e as referências em relação à fonte dos parâmetros utilizados na modelagem numérica (ângulo de atrito, peso específico e coesão), para cada camada. Fonte: Produzido pelo autor.

| Tipo de solo                        | Faixa SPT     | Peso específico |                  | Ângulo de Atrito $\phi$ (°) | Coesão efetiva (kN/m²) |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------------------|------------------------|
|                                     |               | Natural (kN/m³) | Saturado (kN/m³) |                             |                        |
| Areia pouco siltosa/ pouco argilosa | 0 - 4         | 17,00           | 18,00            | 25,00                       | 0,00                   |
|                                     | entre 5 e 8   | 18,00           | 19,00            | 30,00                       | 0,00                   |
|                                     | entre 9 e 18  | 19,00           | 20,00            | 32,00                       | 0,00                   |
|                                     | entre 19 e 41 | 20,00           | 21,00            | 35,00                       | 0,00                   |
|                                     | > 41          | 20,00           | 21,00            | 38,00                       | 0,00                   |
| Areia média a fina muito argilosa   | 0 - 4         | 17,00           | 18,00            | 25,00                       | 0,00                   |
|                                     | entre 5 e 8   | 18,00           | 19,00            | 28,00                       | 5,00                   |
|                                     | entre 9 e 18  | 19,00           | 20,00            | 30,00                       | 7,50                   |
|                                     | entre 19 e 41 | 20,00           | 21,00            | 32,00                       | 10,00                  |
| Argila siltosa pouco arenosa        | 0 - 2         | 17,00           | 18,00            | 20,00                       | 7,50                   |
|                                     | entre 3 e 5   | 18,00           | 19,00            | 23,00                       | 15,00                  |
|                                     | entre 6 e 10  | 19,00           | 19,00            | 24,00                       | 20,00                  |
|                                     | entre 11 e 19 | 19,00           | 19,00            | 24,00                       | 30,00                  |
|                                     | entre 20 e 30 | 20,00           | 20,00            | 25,00                       | 40,00                  |
|                                     | > 30          | 20,00           | 20,00            | 25,00                       | 50,00                  |

Figura 46: Parâmetros de resistência de acordo com diferentes faixas Nspt. Fonte: Adaptado de JOPPERT (2007).

| Configuração Simplificada |           |                                                                      |            |
|---------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| A1 - COTA 77              |           |                                                                      |            |
| Camada                    | Espessura | Descrição                                                            | Médias SPT |
| AO1                       | 1,00      | Aterro de areia média c/ pca areia fina c/ resto de construção e m.o | 1,00       |
| AF1                       | 1,00      | Areia fina, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                        | 4,00       |
| AM3                       | 3,00      | Areia média, mto. pco. siltosa e medte. compacta                     | 10,60      |
| AF3                       | 1,00      | Areia fina pco. siltosa e pco. argilosa, medte. compactada           | 12,28      |
| AM4                       | 1,00      | Areia média mto pco. Siltosa, mto pco.argilosa e compactada.         | 22,65      |
| AD6                       | 2,00      | Argila siltosa, consistencia dura                                    | 45,75      |
| AF5                       | 1,00      | Areia fina c/pca. areia média, argilosa, siltosa e mto. Compactada   | 47,00      |
| AD6                       | 0,30      | Argila siltosa, consistencia dura                                    | 45,75      |
| A2 - COTA 61              |           |                                                                      |            |
| Camada                    | Espessura | Descrição                                                            | Médias SPT |
| AF2                       | 2,00      | Areia fina c/ mto. pco. siltosa, pco. compactada                     | 7,34       |
| AF3                       | 1,10      | Areia fina pco. siltosa e pco. argilosa, medte. compactada           | 12,28      |
| AF2                       | 2,90      | Areia fina, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                        | 7,34       |
| AR5                       | 1,00      | Argila siltosa, consistencia mto. rija                               | 21,00      |
| AF2                       | 1,00      | Areia fina, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                        | 7,34       |
| AM3                       | 3,00      | Areia média, mto. pco. siltosa e medte. compacta                     | 10,60      |
| AF3                       | 4,45      | Areia fina pco. siltosa e pco. argilosa, medte. compactada           | 12,28      |
| A3 - COTA 45              |           |                                                                      |            |
| Camada                    | Espessura | Descrição                                                            | Médias SPT |
| AO2                       | 0,40      | Aterro de areia fina c/ pca areia média c/ resto de construção e m.o | 7,00       |
| AM1                       | 2,60      | Areia média, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                       | 2,00       |
| AF2                       | 0,55      | Areia fina, fofa, pco. siltosa e pco.argilosa                        | 7,34       |
| AF3                       | 3,45      | Areia fina pco. siltosa e pco. argilosa, medte. compactada           | 12,28      |
| AM3                       | 1,00      | Areia média, mto. pco. siltosa e medte. compacta                     | 10,60      |
| AF4                       | 1,05      | Areia fina pco. siltosa, pco.argilosa e compactada                   | 23,50      |
| AM4                       | 5,85      | Areia média mto pco. Siltosa, mto pco.argilosa e compactada.         | 22,65      |
| AF4                       | 0,45      | Areia fina pco. siltosa, pco.argilosa e compactada                   | 23,50      |

Figura 47: Perfil de sondagem com a configuração simplificada dos materiais. Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.3 MODELAGEM NUMÉRICA COMPUTACIONAL

A modelagem numérica foi desenvolvida utilizando o software SLIDE 2D para análise de estabilidade de taludes. O processo de simulação envolveu três etapas fundamentais: (1) obtenção da geometria bidimensional do perfil estudado, (2) construção do modelo geológico-geotécnico representativo das condições do local, e (3) seleção da metodologia de cálculo mais adequada para a análise de estabilidade. Essa abordagem sistemática permitiu uma avaliação confiável do comportamento do talude frente às diferentes condições impostas.

##### 4.3.1 OBTENÇÃO DE GEOMETRIA

Para obtenção da geometria do talude de interesse, foi utilizado os softwares AUTOCAD e QGIS, onde inicialmente se obteve a geometria da região através do modelo digital de elevação (MDE) produzido pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), donde se

extraíu as curvas de nível evidenciando as cotas a cada metro, importando as curvas de nível e a poligonal da área de estudo para o AUTOCAD. Com base nisto foi possível realizar quatro cortes, um para cada setor de risco, visualizando o desnível em perfil. Na imagem abaixo observamos a região em planta baixa e quatro perfis relativos aos cortes A-A', B-B', C-C' e D-D', (Figura 48).

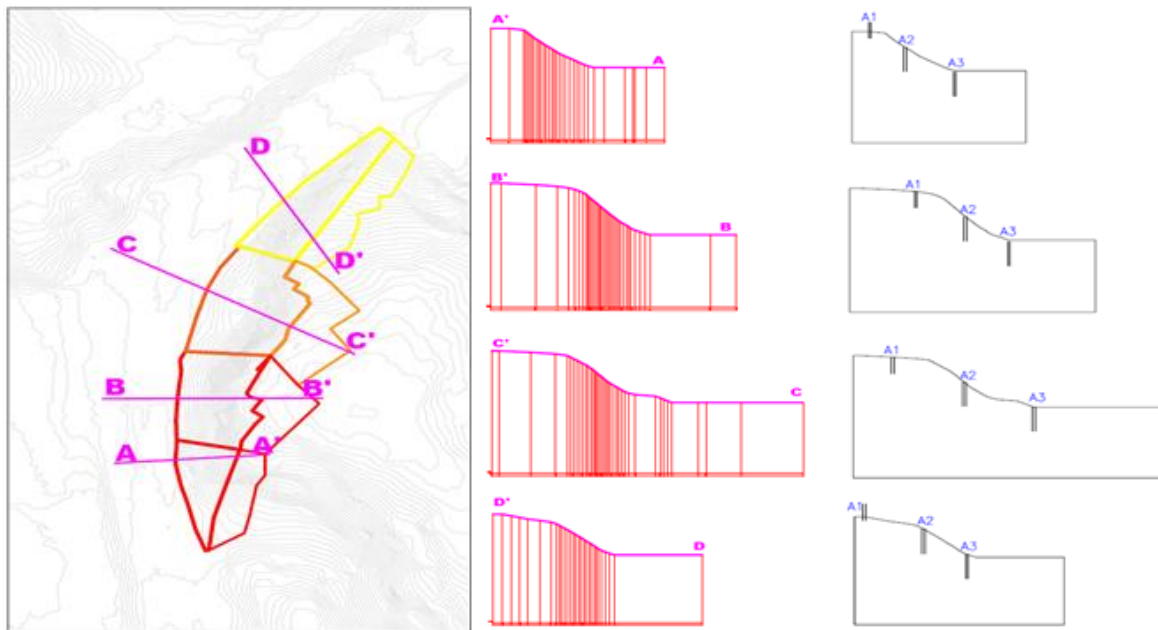


Figura 48: A esquerda imagem em planta evidenciando quatro cortes sob o talude. À direita observamos os quatro perfis de corte com a projeção das sondagens SPT intersectando a cota equivalente da geometria 2D. Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.3.2 ELABORAÇÃO DO MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

O modelo geológico-geotécnico apresenta a configuração simplificada dos materiais (Figura 47), integrando cada camada e seus respectivos parâmetros físicos e mecânicos, dados esses obtidos por meio de sondagens SPT, ensaios laboratoriais e revisão bibliográfica, complementados por observações de campo durante o mapeamento superficial. Todas essas informações são consolidadas em uma representação bidimensional que serve como base para as análises subsequentes.

Através do software CorelDRAW foi possível importar a geometria elaborada anteriormente no AUTOCAD, inserir as sondagens SPT e colorir conforme as camadas definidas anteriormente. Para elaboração dos quatro perfis geológico-geotécnico foram realocados os furos de sondagem do local de origem para a cota representativa dentro do perfil projetado lateralmente (Figura 49).

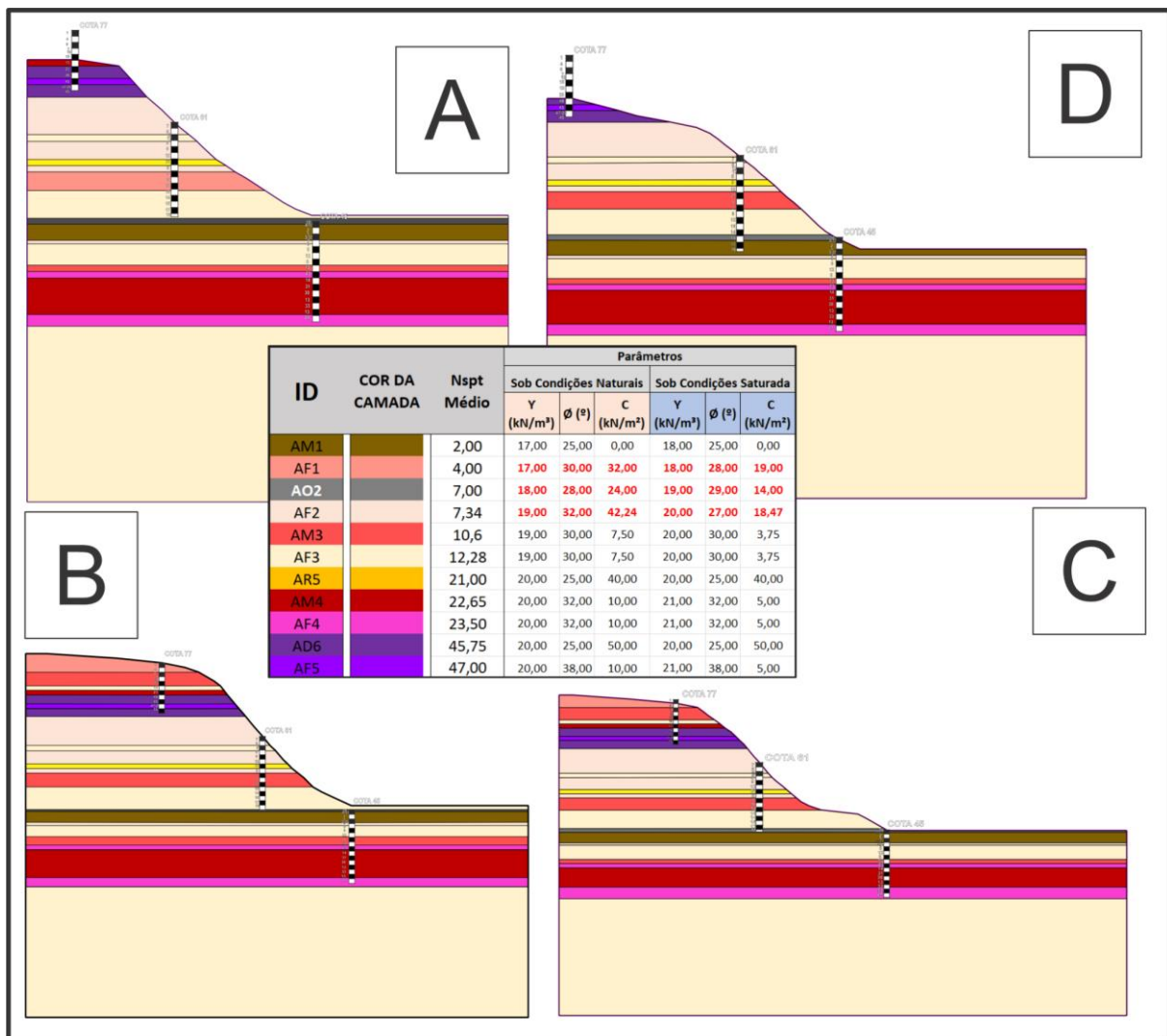
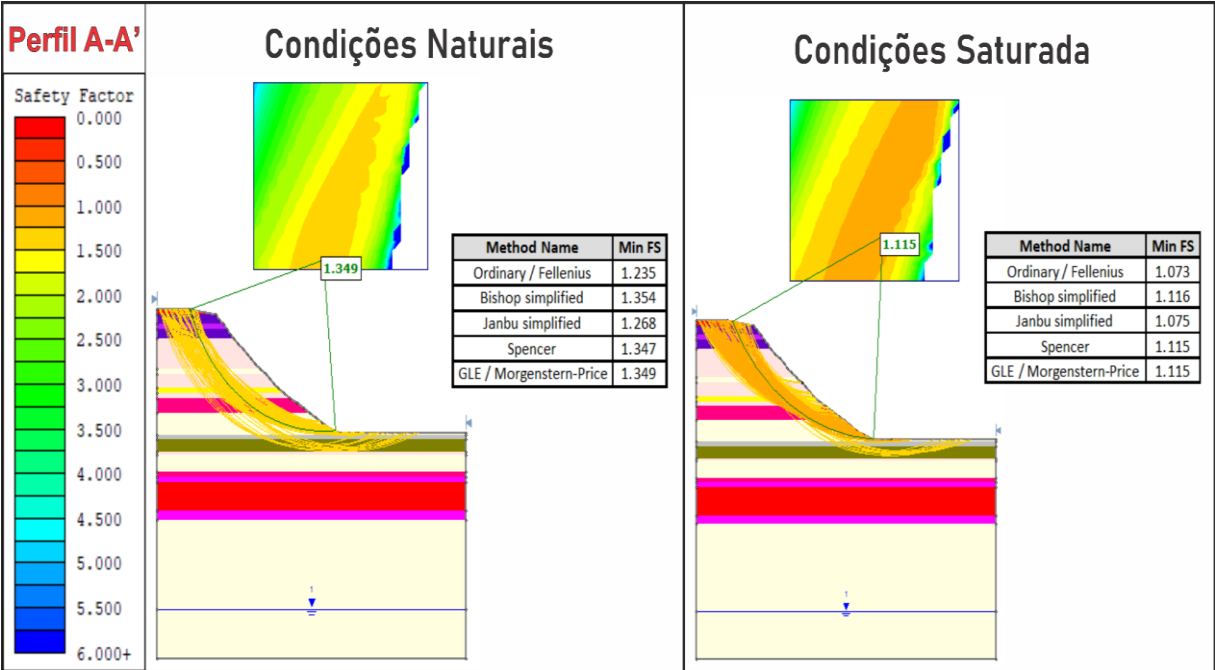


Figura 49: Apresentando quatro modelos geológico-geotécnico produzidos, um para cada setor de risco geológico. A) Modelo equivalente ao corte A-A'. B) Modelo equivalente ao corte B-B'. C) Modelo equivalente ao corte C-C'. D) Modelo equivalente ao corte D-D'. Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.3.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Para realização da análise de estabilidade foram importadas para o software *SLIDE2* as geometrias dos quatro cortes realizados, onde foi atribuído os parâmetros encontrados para cada camada, tanto sob condições naturais quanto saturadas, totalizando oito simulações numéricas distintas, desenvolvidas no *SLIDE2* (Figuras 50, 51, 52 e 53). Com a simulação numérica, foi possível calcular os valores do fator de segurança por cinco metodologias de cálculos de estabilidade, sendo: Ordinary/Fellenius e Bishop Simplified, específicos para superfícies de ruptura circular; Janbu, Spencer e Morgenstern-Price, utilizados para qualquer superfície de ruptura.



Figura

50: Simulação Numérica do Perfil A-A' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor.

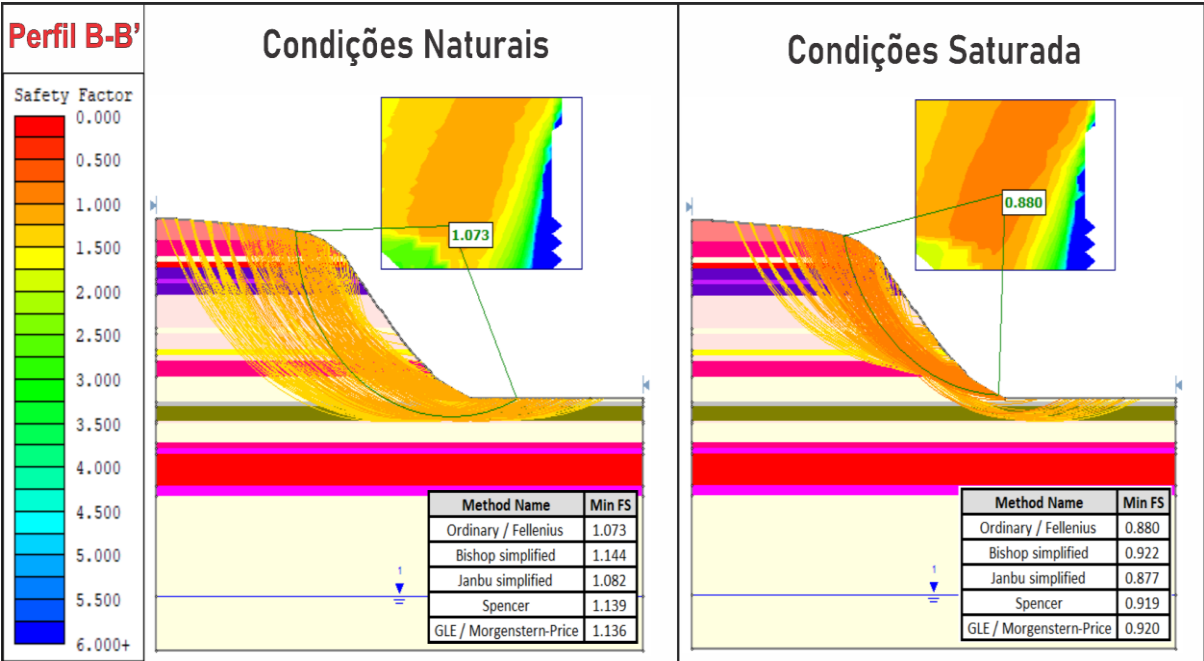


Figura 51: Simulação Numérica do Perfil B-B' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor.

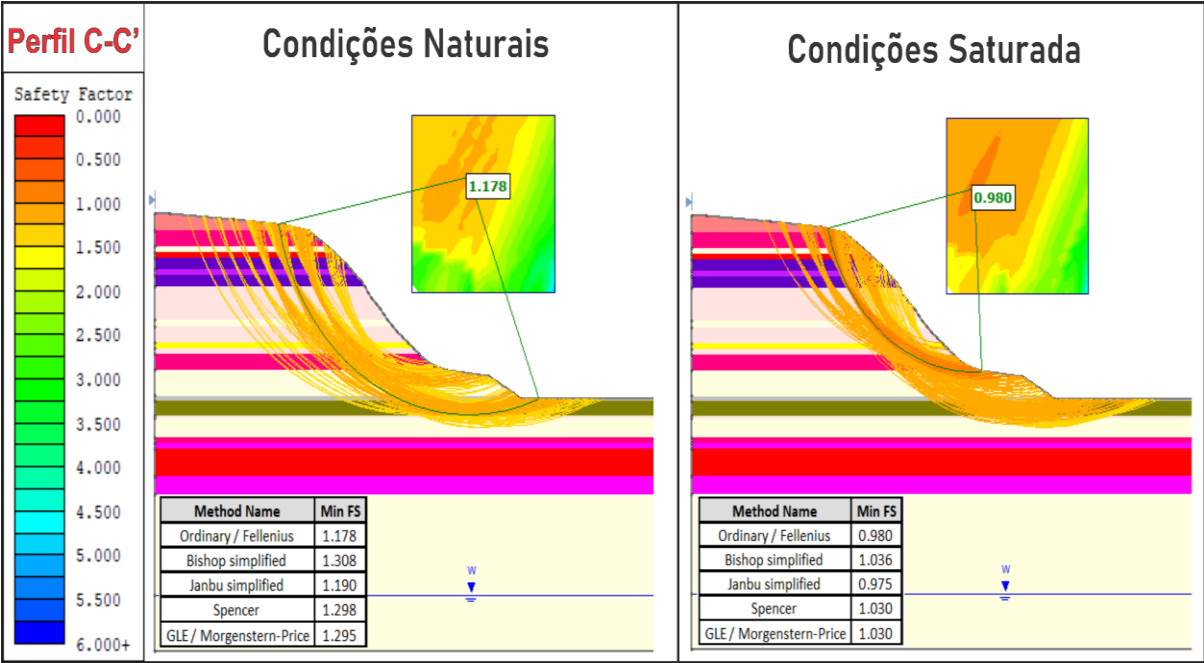


Figura 52: Simulação Numérica do Perfil C-C' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor.

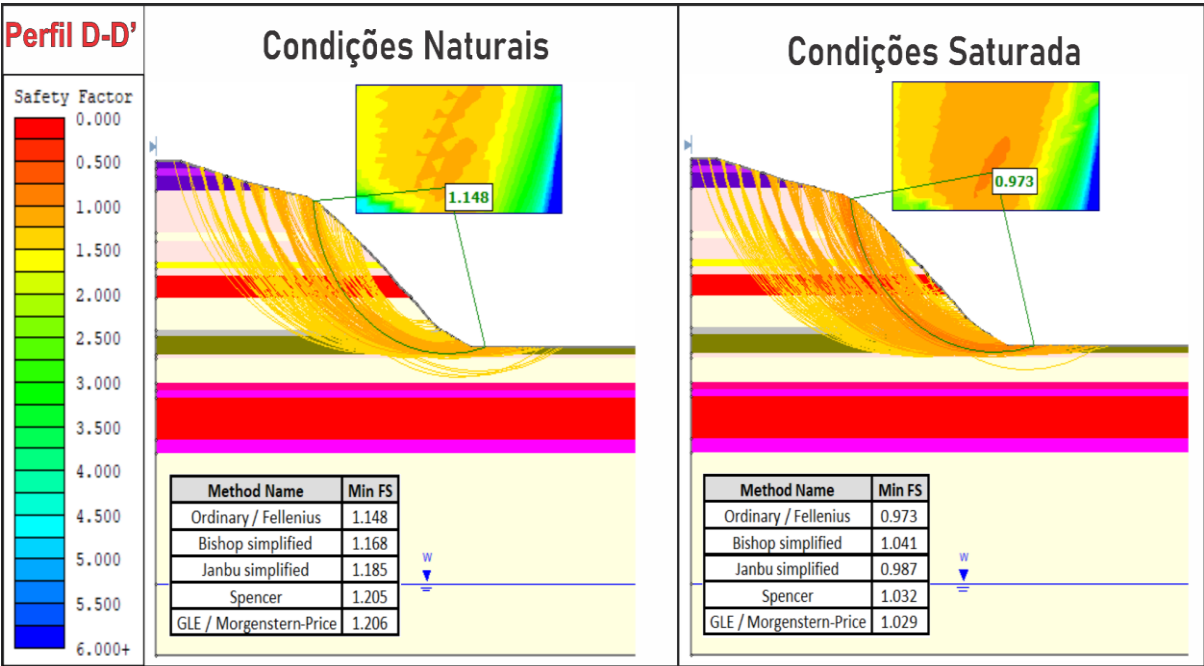


Figura 53: Simulação Numérica do Perfil D-D' realizada para condições naturais e saturada no software Slide2. Fonte: Produzido pelo Autor.

Na análise dos perfis estudados, uma queda de aproximadamente 0.222 do fator de segurança sob condições saturadas foi revelada (Figura 54). Foi inserido um filtro, para evidenciar apenas as superfícies de ruptura com FS abaixo de 1.5, facilitando a visualização. O resultado do fator de segurança do Perfil B-B' apresentou um FS abaixo de 1.0, sendo um indicativo de ruptura.



| FATOR DE SEGURANÇA |          |                    |         |          |           |           |
|--------------------|----------|--------------------|---------|----------|-----------|-----------|
| ID                 | Condição | Métodos de Cálculo |         |          |           |           |
|                    |          | Morgenstern -Price | Spencer | Janbu S. | Bishop S. | Fellenius |
| Perfil A-A'        | NATURAL  | 1.349              | 1.347   | 1.268    | 1.354     | 1.235     |
|                    | SATURADA | 1.115              | 1.115   | 1.075    | 1.116     | 1.073     |
| Perfil B-B'        | NATURAL  | 1.136              | 1.139   | 1.082    | 1.144     | 1.073     |
|                    | SATURADA | 0.920              | 0.919   | 0.877    | 0.922     | 0.880     |
| Perfil C-C'        | NATURAL  | 1.295              | 1.298   | 1.190    | 1.308     | 1.178     |
|                    | SATURADA | 1.030              | 1.030   | 0.975    | 1.036     | 0.980     |
| Perfil D-D'        | NATURAL  | 1.206              | 1.205   | 1.185    | 1.168     | 1.148     |
|                    | SATURADA | 1.029              | 1.032   | 0.987    | 1.041     | 0.973     |

Figura 54: Resultados das simulações numéricas realizadas. Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.4 EVOLUÇÃO FENOMENOLÓGICA DOS MGM

A caracterização fenomenológica dos movimentos gravitacionais de massa visa contribuir para a previsão dos comportamentos esperados para o maciço terroso, considerando condições de contorno análogas às detalhadas nesta pesquisa. Diante das observações de campo, interpretações da análise de estabilidade e as características evidenciadas pela evolução do meio físico, apresentadas na Seção 2.4, busca-se estabelecer um quadro fenomenológico que detalhe como ocorre e a evolui os escorregamentos na zona norte do Recife, partindo de uma condição ambiental preservada até as etapas subsequentes de intervenção antrópica.

Nas áreas em estágio natural, com cobertura de Mata Atlântica e fauna preservada, a precipitação não atinge diretamente o solo, sendo inicialmente interceptada pelo dossel florestal, que reduz gradativamente sua velocidade, estrato por estrato, até alcançar o solo, minimizando os efeitos da erosão superficial. O solo, por sua vez, apresenta-se densamente coberto por uma espessa camada de matéria orgânica e pelas árvores, onde desenvolvem suas raízes, atravessando os estratos inferiores do solo residual e por vezes do maciço terroso, otimizando a percolação. Contudo, à medida que a vegetação é suprimida, intensificam-se os processos erosivos, acarretando a perda de matéria orgânica e sedimentos, bem como a compactação do solo, promovendo a remodelação progressiva do relevo.

Na fase de intervenção, seja para fins habitacionais ou obras lineares, as áreas de relevo plano são prioritárias, evitando-se inicialmente as encostas. Entretanto, cortes realizados na base das encostas alteram as tensões estabilizantes, potencializando a deflagração de grandes escorregamentos. Devido ao perfil de solo espesso, esses deslizamentos possuem uma superfície de ruptura circular, caracterizando os escorregamentos como rotacionais (Figura 55).



Figura 55: Escorregamento rotacional em encosta natural com superfície de ruptura de base atingindo o campo de futebol. Ao fundo, talude do Alto da Telha (em azul). Fonte: Google Earth, 2025.

Com o tempo, essas encostas naturais podem ser ocupadas pela população de baixa renda ou incorporadas a grandes projetos de engenharia. As formas de intervenção variam conforme os recursos disponíveis, podendo incluir retaludamento integral ou pequenos cortes e aterros devido às ocupações espontâneas. Ambos os cenários elevam a declividade e alteram o uso e ocupação do solo. No estágio pós-perturbação, observa-se aumento na taxa de erosão, resultando no adelgaçamento dos solos residuais. Essa condição, somada à mudança no regime de percolação devido à migração eluvial, que reduz o índice de vazios e induz anisotropia vertical em certas camadas, favorece a formação de aquíferos temporários, denominados *lençóis suspensos* (ANDRADE et al., 2023). Consequentemente, a fenomenologia da ruptura modifica-se, tornando-se gradualmente mais rasa até assumir características de escorregamentos translacionais, tipicamente superficiais. Sua deflagração pode mobilizar tanto o solo residual quanto o maciço terroso, especialmente em zonas com

contraste reológico, as quais, sob intensa saturação, sofrem efeito de descamação do talude (Figura 56).



Figura 56: Encosta parcialmente retaludada com escorregamentos translacionais apresentando superfícies de ruptura superficiais de face. Ao fundo, centro de treinamento do Náutico com deslizamento rotacional previamente descrito. Fonte: Google Earth, 2025.



## 5. DISCUSSÕES

Na elaboração do modelo geológico-geotécnico, as camadas apresentadas nos perfis consistem em uma análise lateral, devido à continuidade lateral, ou seja, não foi encontrado nenhuma descontinuidade física. Contudo, as sondagens SPT não apresentaram uma correlação em profundidade, não produzindo valores entre a cota 66 - 61 e a cota 46.5 - 45. A falta desta informação gerou uma aproximação entre as camadas inferior e superior preenchendo o modelo (Anexo 01 a 03). A classificação do material contida nos boletins de sondagem não considerou parâmetros como: a descrição mineralógica, grau de seleção, esfericidade, arredondamento; que são relevantes para o entendimento geológico dos depósitos, dificultando a caracterização faciológica e uma possível aproximação as fácies caracterizadas na literatura da Formação Barreiras. Não foi possível o acesso aos testemunhos de sondagens para realizar uma nova classificação. Apesar da sondagem atingir até a cota 29, não foi obtido o Nível d'água (NA). Para a modelagem numérica, assume-se uma aproximação da cota de 20 metros encontrada nos rios Morno e Beberibe.

A uma clara correlação nas regiões em que foram modificadas antropicamente, que ocorre entre a declividade dos Tabuleiros Dissecados e a compartimentação do solo (Figura 27), se caracteriza por: 1) nas regiões que possuem o relevo plano nos altos topográficos ( $\leq 3\%$ ), a maior espessura do perfil de latossolo essa correlação se dá pela menor intensidade da ação erosiva devido à declividade; 2) nas regiões da crista do talude que possuem o relevo de suavemente ondulado a ondulado ( $3\% - 20\%$ ), há um claro adelgaçamento do solo devido ao aumento da intensidade erosiva produzindo a remoção dos horizontes O, A e por vezes o B; 3) nas regiões em que foram caracterizadas de montanhoso a escarpado ( $> 45\%$ ), na face superior do talude, está associado a antigas cicatrizes de deslizamentos apresentando o maciço terroso aflorante ou geralmente próximo à superfície; 4) nas regiões com relevo fortemente ondulado ( $20\% - 45\%$ ), foi identificado material coluvionar diretamente sob a Formação Barreiras, atingindo uma espessura de até 1,5 metros, (Figura 35, página 70).

Confrontando a bibliografia com as observações de campo, no que tange o aspecto hidrogeológico no contexto da compartimentação apresentada anteriormente, sugere-se a uma interpretação da percolação para cada material, como, por exemplo: 1) A Formação Barreiras é caracterizada por sua heterogeneidade, contém materiais com granulometrias distintas, em relação a cada camada, varia suas proporções da fração argila até areia média, contribuindo para uma forte anisotropia vertical (Z); 2) O Latossolo apresenta-se com uma espessura

variante próximo ao talude, entre três metros de profundidade com potencial a atingir centímetros ou ser inexistente, próximo à crista, devido à intensidade dos processos erosivos, caracterizada por uma anisotropia vertical somente na interface do horizonte A com o B devido à migração eluvial. 3) Entretanto, na sua zona mais conservada, sem a remoção da mata atlântica, pode atingir seis metros devido ao elevado grau de maturidade dos latossolos, possuindo em seus espessos horizontes uma infiltração isotrópica, com a percolação potencializada pelas raízes pivotantes da mata atlântica; 4) Nos solos coluviais, à perda da estrutura original devido à ruptura, e a deposição desse material contribui para uma disposição preferencial das partículas, de diferentes tamanhos e orientações, levando a ser caracterizado como o material mais heterogêneo e anisotrópico do contexto em estudo. Entretanto, por estarem sobre a superfície de ruptura é esperado a migração dos fluidos pela base, produzindo diversas zonas saturadas que apresentam surgência após período chuvoso.

Diante disso, a principal anisotropia em pequena escala é a orientação de minerais de argila, que não foram mineralologicamente definidas neste trabalho e podem possuir índice de vazios distintos em relação ao tipo do mineral de argila (DAS, 2007). Contudo, os efeitos da migração eluvial podem contribuir para a cimentação ou redução do índice de vazios fornecendo uma isotropia transversal (X, Y) acima dos níveis argilosos, chamando atenção para as cotas 70 e 55, que pela descrição da sondagem são classificados como argila siltosa de consistência dura e argila siltosa de consistência muito rija, respectivamente as camadas (AD6 e AR5) do modelo geológico-geotécnico.

Os parâmetros físicos obtidos através dos ensaios de campo e laboratoriais, proporcionaram as seguintes interpretações: 1) os teores de umidade apresentam pico em seis cotas topográficas (70, 55, 50, 43, 40 e 38 metros) sendo as três primeiras cotas, por apresentarem picos de umidade de 20%, no topo e no meio do talude, e as demais cotas apresentam picos de umidade entre 42% - 28%, na base do talude, (Figura 40, página 79). Essas cotas se equivalem respectivamente às camadas (AD6, AR5, AF3, AM1, AF3 e AF4) do modelo geológico-geotécnico; 2) os materiais que foram superficialmente amostrados e ensaiados de modo a obter uma previsão do seu comportamento geotécnico, foram classificadas em quatro grupos (CH, CL, SC e ML-OL). Dos resultados destacam-se CH e CL, sendo argilas de alta à média plasticidade, a camada ML-OL, são areias muito finas/argilas siltosas de baixa plasticidade, e a camada SC, classificada como uma mistura entre areia e argila. As camadas ensaiadas se equivalem pela cota com as camadas (AO1, AF1, AF2, AM3, AF3 e AM1) do modelo. 3) Com base nos resultados dos ensaios para obtenção dos limites de

consistência, é identificado dois grupos com Limite de Liquidez contrastando: um entre (35 - 42%), associado ao material (SC), e outro entre (44 - 55%), associado aos materiais (CH, CL e ML-OL). Quando observado em relação ao índice de plasticidade verifica-se dois materiais de alta plasticidade, um com IP variando entre (17 - 22%), representados pelos materiais (SC e ML-OL) e outro entre (25 - 30%), pelos materiais (CH e CL), (Figura 42, página 81).

Perante o exposto, as camadas com mesmo teor de umidade (W) tendem a apresentar comportamentos distintos, devido a esse fato, é observado como teor de umidade crítico valores próximos a 18%, quando o LP começa a ser ultrapassado, e de 37% para o LL. Quando as camadas atingem o primeiro limite crítico parte delas iniciam o comportamento plástico enquanto outras continuam com comportamento semissólido, este contraste do comportamento geotécnico entre as camadas gera o aumento do volume e da poropressão e a diminuição da sucção matricial. Este contraste se repete novamente quando o W ultrapassa o segundo limite crítico, com parte das camadas apresentando um comportamento plástico enquanto outras no estado líquido. É sob esses contrastes que se delineia gradativamente as superfícies potenciais de ruptura que, somada a outros fatores (naturais e antrópicos), se deflagram os movimentos gravitacionais de massa.

Dentre as seis cotas que apresentaram pico de umidade, somente uma camada, na cota 43, foi detalhada por todos os métodos de ensaio utilizado nessa pesquisa. A camada AM1 está posicionada na base do talude, sendo aferido um teor de 38% de umidade, posicionando à amostra acima do seu limite de plasticidade que é de 30%, gerando um contraste em relação ao comportamento geotécnico com as demais camadas, figura 57. Em campo foi observado que as drenagens na base do talude estavam em vários pontos fraturadas e no 1º setor/perfil A-A' verificou-se uma intumescência basal, evidenciando além do comportamento plástico na camada basal do talude que a mesma já sofreu movimentação.



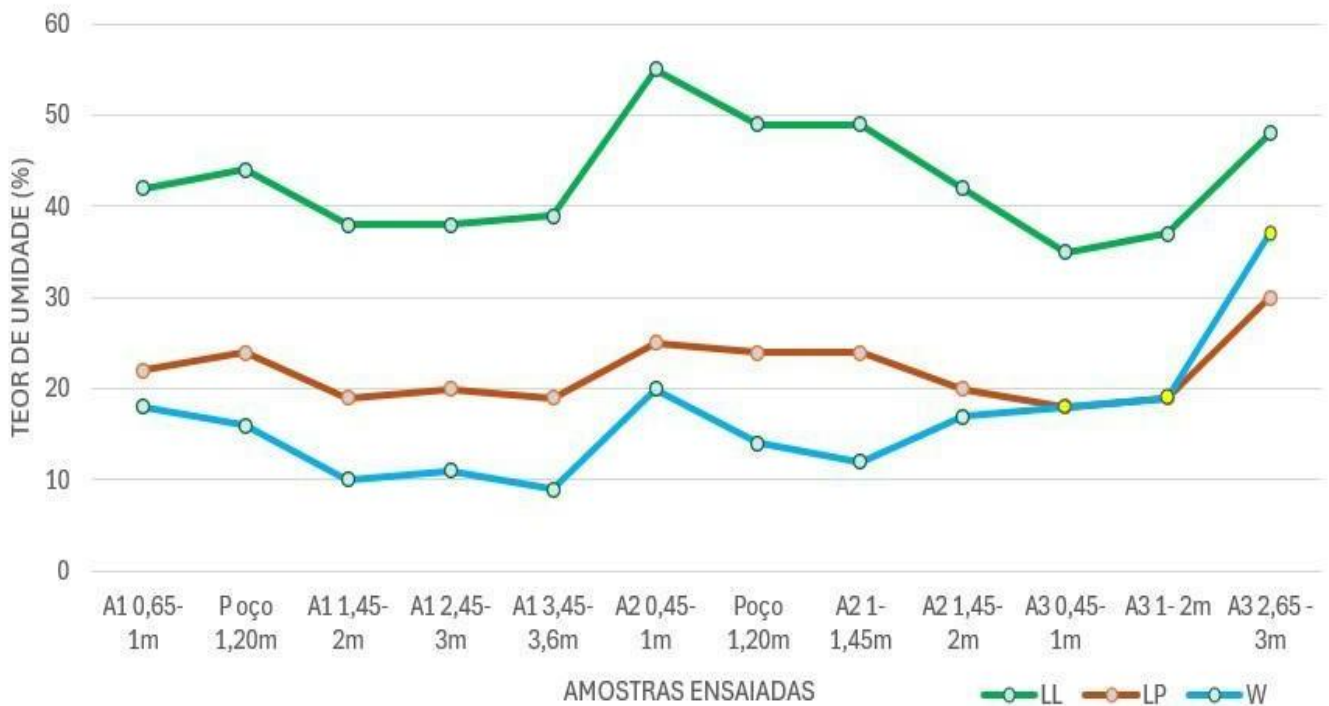


Figura 57: Gráfico evidenciando a variação do Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), e Teor de Umidade (W); dentre as amostras ensaiadas. A direita observasse as camadas mais basais (A3) ultrapassando o LP, cota 43 metros, contrastando com as demais camadas. Fonte: Produzido pelo autor.

Como formulado no problema desta pesquisa, buscava-se compreender como os mecanismos de ruptura identificados na modelagem numérica correlacionam-se com as evidências observadas em campo, além de identificar os parâmetros geotécnicos determinantes nesses processos.

Nos resultados das modelagens numéricas, adotaremos para este caso o calculado pelo método de Morgenstern & Price, por ser mais rigoroso e servir para qualquer superfície de ruptura. O FS para condições naturais, está variando entre 1.136 e 1.349 nos diferentes perfis analisados (Figuras 50 à 53). Nessas condições, observa-se um maior volume de material potencialmente mobilizável, delimitado pela superfície de ruptura de base, com as maiores concentrações de esforços localizadas no pé do talude e na berma ocupada pela BR-101. Já em condições saturadas, os valores de FS apresentam uma redução significativa, variando entre 0.920 à 1.115 nos perfis avaliados (Figuras 50 à 53). Nesse cenário, verifica-se um adelgaçamento no volume do material suscetível à mobilização, caracterizado por superfícies de rupturas de face e por vezes superficiais de face. Nessas condições, as forças cisalhantes atuam predominantemente sob a face e o pé do talude, indicando uma redistribuição das zonas críticas de instabilidade desenhando círculos de face e de pé.

Durante a visita técnica, foram identificadas evidências (Figura 35), que confirmam as condições obtidas na modelagem numérica de ruptura sob estado saturado, uma ruptura superficial de face. Observa-se também nessa concepção artística, uma intumescência na base do talude, demonstrando uma possível correlação com a atuação dos esforços em condições naturais nessa região. Verificou-se um empilhamento do horizonte orgânico do solo com restos de lona plástica sobre a rocha sedimentar mobilizada, sobreposto novamente por material orgânico. Desse modo, essas observações indicam que os esforços atuantes geram deslocamentos significativos, podendo resultar em movimentos distintos de profundidade variável, ou progressivo a depender do grau de saturação do maciço. Contudo, observa-se uma relação diretamente associada à variação do FS a saturação, variando a profundidade da zona onde os esforços se concentram com maior intensidade.

Segundo o gráfico elaborado por Terzaghi (1950), ilustrado na figura 12, o escorregamento propriamente dito é caracterizado por um grande deslocamento descendente abrupto, entre os pontos a-b. Entretanto, observa-se também uma movimentação lenta, tanto pré-ruptura quanto pós-ruptura, com uma característica semelhante a um rastejo.

Diante disso, visando temporalizar os dados apresentados na figura 35 e contribuir para o posicionamento no quadro fenomenológico, sugere-se que previamente foi deflagrado o escorregamento rotacional raso, produzindo uma superfície de ruptura superficial de face bem definida, entre a zona coluvial com aproximadamente 1,5 m de espessura na região mais espessa e a Formação Barreiras, e só posteriormente a intumescência foi desenvolvida devido à nova configuração de equilíbrio pelo aumento da carga do material mobilizado. Por consequência desse escorregamento raso, ocorreu uma mudança na geometria do sistema, tornando o relevo escarpado a montante e fortemente ondulado a jusante, produzindo a configuração topográfica atual. Após esse episódio prévio, que possibilitou o acúmulo de material coluvionar na face do talude, fatores como: dilatações térmicas anuais, vibrações induzidas pelo tráfego intenso, deposição de materiais tecnogênicos, e a saturação do meio; evidenciam que a região está sob uma compressão progressiva. Dessa forma, a intumescência basal e as trincas nas estruturas de drenagem, observadas na figura 29-C, podem ser interpretadas de duas formas: uma como resultantes de um processo de “rastejo” causado na zona de empuxo passivo; e outra por uma superfície de ruptura base, desenhando o círculo de ruptura a alguma distância abaixo do pé do talude, ilustradas na análise de estabilidade.

O setor de risco 03, perfil C-C', apresenta na modelagem numérica um valor do FS 1.03 com superfície de ruptura acima da berma, região onde reúne o pior cenário do setor de risco.

O resultado do FS do Perfil B-B' apresentou um FS abaixo de 1.0, sendo um indicativo de ruptura, contudo, o talude nessa região está repleto de árvores como Bambu, Macaíba e outras espécies arbóreas, que podem estar aumentando a suas tensões estabilizantes impedindo a ruptura do talude. Na análise numérica dos perfis estudados, todos os quatro apresentam um fator de segurança abaixo do valor permitido pela NBR 11682/2009 de 1.5, indicando que o talude precisa de uma intervenção no local para garantir a segurança das vidas e evitar as perdas materiais (Figura 54).

## 6. CONCLUSÃO

A análise integrada entre dados de campo e modelagem numérica permitiu uma avaliação abrangente da estabilidade do talude do Alto da Telha, evidenciando um cenário de risco crítico que demanda intervenções urgentes. O mapeamento de risco geológico, qualitativo, baseado na metodologia do IPT (2007), identificou claros indícios de instabilidade, como movimentações superficiais, escarpas de deslizamento e zonas saturadas, corroborados pela setorização de risco que classificou dois setores como Risco Muito Alto (R4), um como Alto Risco (R3) e outro como Médio Risco (R2). A modelagem numérica no software SLIDE 2D reforçou esses dados, revelando que todos os fatores de segurança estavam abaixo do mínimo normativo estabelecido pela NBR 11682/2009, especialmente em condições saturadas, com valores entre 0,920 e 1,115, sendo o Perfil B-B' o mais crítico ( $FS < 1,0$ ).

Diante da análise do modelo geológico-geotécnico, esta pesquisa trouxe como contribuição o direcionamento das investigações em subsuperfície para áreas correlatas, nas proximidades das cotas 70, 55, 50, 43, 40 e 38 metros, devido à ocorrência de níveis que possuem elevada umidade, trazendo um contraste de permeabilidade das demais camadas do modelo. Entretanto, somente para as camadas superficiais até três metros de profundidade foram ensaiadas para obtenção tanto dos parâmetros físicos em campo quanto em laboratório, dentre estas, a camada (AM1) na cota de 43 metros chamou atenção por apresentar: i) Baixa resistência a penetração, com um NSPT médio igual a dois; ii) teor de umidade de 38%, valor este 8% acima do limite de plasticidade, evidenciando-se no estado plástico. É importante ressaltar que caso se identifique mergulho das camadas, se evidenciaria nessa direção uma área crítica à deflagração dos escorregamentos devido à migração preferencial dos fluidos.

Para diminuir as incertezas, estudos posteriores podem se complementar, como: 1) Uma análise de estabilidade probabilística, garantiria uma compreensão melhor da variação dos parâmetros geomecânicos em relação à estabilidade; 2) Obter os parâmetros de resistência para as demais camadas, evitando a aproximação aos parâmetros de JOPPERT, 2007; 3) Aprimorar o modelo geológico-geotécnico, obtendo NA, uma descrição mais detalhada da sondagem SPT e investigar as cotas que ficaram sem dados; 4) Obter os parâmetros hidrogeológicos de cada material e suas camadas.

A correlação entre os dados de campo e os resultados obtidos do modelo destaca a importância e precisão dos parâmetros, como a baixa permeabilidade das argilas (CH/CL) e a heterogeneidade da Formação Barreiras, que influenciam diretamente na migração de fluidos

sob estas camadas, criando zonas supersaturadas acima, gerando contrastes dos estados geotécnicos formando as zonas instáveis que se delineia as superfícies potenciais de ruptura. Embora a vegetação local possa exercer um papel estabilizador e redutor da erosão, medidas estruturais como (retaludamento, drenagem profunda e contenção com gabiões) são imprescindíveis para mitigar riscos.

Em síntese, este estudo evidencia que a estabilidade do talude do Alto da Telha exige ação imediata e coordenada do poder público municipal, conforme determina o artigo 3º-A da Lei nº 12.608/2012, que atribui aos municípios a responsabilidade primária na implementação de políticas de prevenção de desastres. O Recife, que reconheceu formalmente a emergência climática através do Decreto nº 33.080/2019, tem o dever institucional de: 1) Implementar medidas estruturais urgentes (retaludamento, sistemas de drenagem e monitoramento geotécnico) para proteger as 45 moradias em risco iminente (Figura 36); 2) Concretizar políticas de reassentamento para famílias em áreas críticas, conforme previsto no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001); 3) Fortalecer programas de educação ambiental que promovam a resiliência comunitária, alinhados aos ODS 11 e ao Plano Municipal de Adaptação Climática.

Como demonstram os dados, uma omissão do poder público na aplicação dessas medidas, apesar do reconhecimento formal da emergência climática desde 2019, configura violação ao princípio da precaução estabelecido na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Os deslizamentos no Passarinho não são fenômenos naturais, mas consequências diretas de: (a) planejamento urbano excludente; (b) fiscalização inadequada de ocupações de risco; e (c) morosidade na implementação do Decreto nº 33.080/2019. Restava agora transformar esse arcabouço jurídico em ações concretas que protejam vidas antes que a próxima estação chuvosa transforme alertas científicos em novas tragédias sociais.

## 7. REFERÊNCIAS

### 7.1 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: **Solo - Determinação do limite de liquidez**. Versão corrigida. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: **Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604: **Solo - Abertura de poço ou trincheira de inspeção, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização. Versão corrigida**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. (Vencida em 2024).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. (Vencida em 2025).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASTM, 2023. **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**. D3080/D3080M-23. [https://store.astm.org/d3080\\_d3080m-23.html](https://store.astm.org/d3080_d3080m-23.html)

### 7.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHEIROS, M.M.; BITOUN, J.; SOUZA, M.A.A.; MEDEIROS, S.M.G.M., JUNIOR, W.M.A. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife: FIDEM, 2004.

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico**. Dados do período de 1967-2017. Recife-PE, 2018. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>.

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico**. Dados do período de 1990-2020. Recife-PE, 2021. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>.



ANDRADE, M.; BORTOLOZO, C.; MENDES, R.; METODIEV, D.; MENDES, T.S.G.; SAN'TANA, G.M. **Análise da chuva e umidade do solo monitorados pela PCD Geotécnica UR12 COHAB II no desastre de maio de 2022 em Recife–PE**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Viamão, 2023.

ARAÚJO, F.C. Análise dos acidentes na BR 101 - PE: Trecho do contorno do Recife e subtrecho do KM 68 ao KM70. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Engenharia Civil, Recife, 2013.

ARAUJO, J. M. CICATRIZES DO RECIFE: A LIGA SOCIAL CONTRA OS MOCAMBOS. In: Anais do IV Cilitur - **Colóquio Internacional sobre Cidades Litorâneas e Turismo**. Anais... Fortaleza–CE SEBRAE-CE, 2023.

ARAUJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R.; PARAHYBA, R. da B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, F. B. R.; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11.).

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização Geológico-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica. In: **Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas**, Rio de Janeiro. (1992). ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp.721-733.

BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 13, p. 89–108, 2003.

BARBOSA, J. A. **Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil**. 2004. 230 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. F. Evolução tectono-sedimentar da Bacia Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 287-300, 2005.

BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. F. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 287-306, 2006.

BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; LIMA FILHO, M.; SOUZA, E. D.; MORAES, M. D. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 17, n. 2, p. 3-30, 2007.

BARBOSA, J. A. **A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos, PE**. 2007. 114 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

BEURLIN, K. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. **Boletim Geológico**. São Paulo–SP. 1967. 16(1): 43-53.

BEZERRA, F.H.; MARQUES, F.O.; VASCONCELOS, D.L.; ROSSETTI, D.F.; TAVARES, A.C.; MAIA, R.P.; CASTRO, D.L.; NOGUEIRA, F.C.; FUCK, R.A.; MEDEIROS, W.E. Revisão da inversão tectônica de bacias sedimentares no NE e N do Brasil: análise de mecanismos, tempo e efeitos sobre estruturas e relevo. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 126, p. 104356, 2023.

BEZERRA, F.H.R., NEVES, B.B.B., CORREA, A.C.B., BARRETO, A.M.F., SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariat'a trough, northeastern Brazil. **Geomorphology** **V.97**, 555–582, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.09.008>.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 9. Ed. São Paulo: Editora Ícone – Coleção Brasil Agrícola, 2014. 355p.

BRASIL. Lei n.º 12.608, de 2012. Instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil PNPDEC. 2012. **Diário Oficial da União**. 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm)

BRASIL DE FATO. **Reportagem**: Tudo o que temos é fruto do trabalho e luta do povo que mora aqui. Vinícius Sobreira, Recife–PE. 2019. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2019/12/23/tudo-o-que-temos-e-fruto-do-trabalho-e-da-luta-do-povo-que-mora-aqui/>

BRITO NEVES, B.B.; RICCOMINI, C.; FERNANDES, T.M.G. & SANTANNA, L.G. O sistema Tafrogênico Terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: Um legado Proterozoico. **Revista Brasileira de Geociências**, 34: 127-134. 2004.

CASTRO, D.L., BEZERRA, F.H.R., CASTELO BRANCO, R.M.G. Geophysical evidence of crustal-heterogeneity control of fault growth in the Neocomian Iguatu Basin, NE Brazil, 2008. **Journal of South American Earth Sciences** 26: 271–285

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES, 2022. NATURAIS. **Relatório do desastre de Recife**. 2022. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br>.

CESÁRIO, M.F.P. **Um estudo da previsão do uso turístico do Rio Capibaribe no Recife**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2006.

CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; BENDER, A.A.; FIGUEIREDO, A.M.F. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. **Tectonophysics**, v. 213, n. 1-2, p. 97-138, 1992.

CORREIA, T. M. Avaliação geotécnica de cenários de estabilidade de taludes do Alto da Telha na Região Metropolitana do Recife. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2023.

COUTINHO, R.Q. Módulo 5: Processos gravitacionais de massa e processos erosivos. **Curso de Capacitação**, 2014. p. 58. Disponível em: [http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Curso\\_Gestao\\_Mapeamento\\_Riscos\\_Socioambientais.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Curso_Gestao_Mapeamento_Riscos_Socioambientais.pdf)

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Informações Geoambientais da RMR**, Região Metropolitana do Recife - SIGA. Recife: CPRM, 2003. 119 p.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Geologia e recursos minerais da Folha Itamaracá**, SB.25-Y-C-VI: estados de Pernambuco e da Paraíba: texto explicativo. Recife, 2017. 50p. 1 mapa. Escala 1:100.000. (Programa Geologia do Brasil; Levantamentos Geológicos Básicos).

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. Volume 3 - **Setorização de áreas de risco**. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial / CPRM, 2021.

CORREIA FILHO, O.J., ALENCAR M.L., BARBOSA, J.A., NEUMANN, V.H. Proposta de formalização da formação Tambaba, Eoceno da bacia Paraíba, NE do Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 25, n. 2, p. 61-81, 2015.

CRUZ, L., Dois Unidos: uma comunidade rurbana do Recife. Recife: **Fundação de Promoção Social**, 1962.

DANTAS, R. Ocupação dos bairros de Dois Unidos e Passarinho no final do século XIX e início do século XX, registrados nos jornais do Recife (1870-1930). **Revista Rural e Urbano**, v. 9, n. 1, p. 40-60, 2024.

DAS, B.M. Mecânica Avançada do Solo, Quinta Edição (5ª ed.). **CRC Press**, 2019. <https://doi.org/10.1201/9781351215183>

DAVISON, I., MCCARTHY, M.; POWELL, D.; TORRES, H.H.F.; SANTOS, C.A. Laminar flow in shear zones: the Pernambuco Shear Zone, NE-Brazil. **Journal of Structural Geology**, v. 17, n. 2, p. 149-161, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação. 3. ed.** Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DE MORAES, M.V., PAMPUCH, L.A., BORTOLOZO, C.A., MENDES, T.S.G., DE ANDRADE, M.R.M., METODIEV, D. AND PRYER, T. Thresholds of Instability: Precipitation, Landslides, and Early Warning Systems in Brazil. (2023) **International Journal of Geosciences**, 14, 895-912. <https://doi.org/10.4236/ijg.2023.1410048>

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. Como o Recife virou o Recife. **Diário de Pernambuco**, Caderno Especial, Recife, 30 mar. 2007.

DUNCAN, J. M. Soil slope stability analysis. Landslides investigation and mitigation. Cap. 13. Editores - Turner, A. K. & Schuster, R. L. **National Academy Press, Special Report 247**. Washington, pp. 337 - 370. 1996.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

FAO. Guidelines for urban landslide risk management. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2019.

- FULLEN, M. A. & CATT, J. A. Soil Management: Problems and Solutions (1st ed.). Routledge. **Oxford University Press**, 2004. 269 p. <https://doi.org/10.4324/9780203770962>
- FURTADO, C. Formação econômica do Brasil. 32. ed. São Paulo: **Companhia Editora Nacional**, 2003. Disponível em: <http://www.afoiceeomartelo.com.br>.
- GALDINO, D. Nova Descoberta: Recortes dos Territórios e Territorialidades em um Bairro da Cidade do Recife. **Web Artigos**, 2010. <https://www.webartigos.com/artigos/nova-descoberta-recortes-dos-territorios-e-territorialidades-em-um-bairro-da-cidade-do-recife/55205>
- GOMES, H.B, AMBRIZZI, T., DA SILVA, B.F.P, HODGES, K., DIAS, P.L.S, HERDIES, D.L, GOMES, H.B. **Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. Climate. Dynam.** 53, 1393–1411. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7>, 2019.
- GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: a review. **Pedosphere**, China, v. 27, p. 27-41, 2017.
- GUIDICINI, G.; IWASA, O. **Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido**. São Paulo: IPT, 1976. p. 48.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M., 1983. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.
- GUSMÃO FILHO, J.A.; FERREIRA, S.R.M. e AMORIM, JR, W. M., 1997. Escorregamentos em morros urbanos do Recife: o caso do Boleiro. In: **SIMPÓSIO PANAMERICANO DE DESLIZAMENTOS**, Rio de Janeiro, ABMS 1997. Vol.2., Anais. p. 985-994.
- HEINE, C.; ZOETHOUT J.; MULLER, R.D. Kinematics of the South Atlantic rift. **Solid Earth**, v. 4, n. 2, p. 215-253, 2013.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, **Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers**. IPCC Geneva, 2007.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. **Climate Change 2023: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Relatório AR6 (2023): <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- 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. 2007.
- IPT/CPRM. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa** / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília–DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

JARDIM DE SÁ, E.F. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia brasileira/paleozoica. 1994. **Tese (Doutorado em Geologia)** - Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

JOPPERT JR, I. **Fundações e Contensões de Edifícios** – São Paulo:Pini, ISBN 978-85-7266-177-5, 2007. 221p.

KEGEL, W. Nota sobre microfósseis do fosfato de Pernambuco. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo. 1954. v. 3, n. 1, p. 73-76.

KEGEL, W. Geologia do Fosfato de Pernambuco. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro. 1955. n. 157, 54 p.

KEGEL, W. Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. **Boletim DGM-DNPM**, Rio de Janeiro, n. 170, 52 p., 1957.

KRYRINE, D.P.; JUDD, W.R. **Landslides and other crustal displacements. In: Principles of engineering geology and geotechnics**. Tóquio: McGraw-Hill, 1957. p. 636-671.

LAMBE, T.W.; WHITMAN, R.V. **Soil Mechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1979.

LIMA, J.C.F.; BEZERRA, F.H.R.; ROSSETTI, D.F.; BARBOSA, J.A.; MEDEIROS, W.E.; DE CASTRO, D.L.; VASCONCELOS, S.L. Reativação de falhas neogênicas-quaternárias influencia a sedimentação e o relevo da bacia costeira na margem continental do NE do Brasil. **Quaternary International**, v. 438, p. 92-107, 2017.

LIMA FILHO, M.F.; BARBOSA, J.A.; SOUZA, E.M. Eventos tectônicos e sedimentares nas bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebramento do Gondwana e correlação com a Bacia do Rio Muni. **Geociências**, v. 25, n. 1, p. 117-126, 2006.

LIMA, J.R.S. Caracterização Geotécnica da Formação Barreiras na Região Metropolitana do Recife. Recife: **Editora Universitária**, 2002.

LINS, R.C. Alguns aspectos originais do sítio Urbano do Recife. In: ANDRADE, M. C. (org.). Capítulos de Geografia do Nordeste. Recife: **União Geográfica Internacional**, 1982.

LLOPIS TRILHO, G. **Control de la Erosión y Obras de Desague: Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes**. Madri: Entorno Grafico, 1999.

MABESOONE, J.M.; ALHEIROS, M.M. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, 1988. 18: 476-482.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M.M. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. **Geologie en Mijnbouw, Kluwer Academic Publishers**. 1993.

MATOS, R.M.D. The northeast Brazilian rift system. **Tectonophysics**, (11) 4 766-791., 1992.

MATOS, R.M.D. History of the Northeast Brazilian Rift System: Kinematic implications for the breakup Brazil and West Africa. The oil and gas habitats of the South Atlantic. **Geological Society**, 153(Special Publication): 55-73., 1999.

MATOS, R.M.D., 2000. Tectonic evolution of the equatorial South Atlantic. Atlantic Rifts and Continental Margins: In: Mohriak, W., Talwani, M. (Eds.), **Geophysical Monograph**, 115: 331–354

MARENGO, J. A. et al. 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**, v. 39, p. 100545, 2023.

MELO, M.L. Paisagens do Nordeste em Pernambuco e Paraíba. Recife: **Cepe**, 1958.

MELO, M.L. Metropolização e subdesenvolvimento: o caso do Recife. Recife: UFPE, 1978.

MENESES, B. M. D. C. S. **Erosão Hídrica de Solos, Caso de Estudo do Concelho de Tarouca** (Doctoral dissertation, Faculdade), 2011.

MOREIRA, M.F. Tapacurá estourou: a vulnerabilidade da cidade anfíbia (Recife–PE) aos episódios de inundações e o bairro da Madalena. 2015. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NIR, D. Man a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalem: Ketem, 1983.

NÓBREGA, V.A.; ALHEIROS, M.M., 1991. Petrografia do arenito Beberibe, Bacia Pernambuco-Paraíba. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE**, 11., 1991. Natal. Atas. Natal: SBG-NE, 1991. p. 75-77.

OLIVEIRA, V. **Geologia da planície do Recife**. 1942. 97 f. Tese (doutorado) – História Natural da Escola Normal Oficial de Pernambuco, Recife–PE, 1942.

PFALTZGRAFF, P.A.S. **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife**. 2007. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

PINTO, C.S. Curso básico de mecânica dos solos. 3. ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2006.

PONTES DA SILVA, L.F. **Contribution of Eastern Wave Disturbances to rainfall in the East of Northeast Brazil: average synoptic evolution and simulations numerical**. University of São Paulo, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, São 04102011-221401. MS Dissertation., 2011.

POPESCU, M.E. From landslide causes to landslide remediation. **7th International Symposium on Landslides**, Trondheim. Vol. 1, pp.75-96., 1996.

PREFEITURA DO RECIFE. **Relatório de Vulnerabilidade Socioambiental de Recife, 2023**. Disponível em: <https://www.recife.pe.gov.br>.



PREFEITURA DO RECIFE. **Plano de Contingência: Alerta 2024**. Secretaria Executiva de Defesa Civil. Recife, 2024.

REZENDE, A.P. Histórias de uma cidade. Recife: Fundação de Cultura Cidade do Recife, 2002. (**Coleção Malungo**; 6)

ROSSETTI, D.F., BEZERRA, F.H.R., GÓES, A.M., VALERIANO, M.M., ANDRADES-FILHO, C.O., MITTANI, J.C.R., TATUMI, S.H., NEVES, B.B.B. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: Landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin, 2011. **Revista Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 300: 191–204.

SANTANA, J.K.R.; LISTO, F.L.R. Alterações morfológicas de encostas e deflagração de escorregamentos em áreas densamente urbanizadas: Uma análise evolutiva em uma sub-bacia do município de Recife–PE. **Revista de Geografia**, Recife. V.35, n.º3, 2018.

SANEAR. Atlas de infraestrutura e comunidades de interesse social do Recife. Recife: **Prefeitura do Recife**, 2014. Disponível em: <https://planodiretor.recife.pe.gov.br>.

SANTOS, M.A. **Natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1996.

SANTOS, O.; GOMES, E.T.A. A questão do desenvolvimento e os desdobramentos recentes do processo de fragmentação do espaço urbano em Recife–PE - o caso do “projeto novo Recife”. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 379-398, 2016.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Caracterização do meio físico da Região Metropolitana do Recife**. 2022. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br>.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Volume 3 - **Setorização de áreas de risco geológico: Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**. 2021.

SILVA, L.H.; BITOUN, J. Espaço, história e política: atores e ações no bairro da Madalena. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 3, 2007. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br>.

SILVA, V.L. Mapeamento geológico da região da Faixa Feira Nova, Domínio Rio Capibaribe: município de Feira Nova–PE, Nordeste do Brasil. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2017.

SILVA, M. M., 2007. **Estudo geológico-geotécnico de uma encosta com problemas e instabilidade no município de Camaragibe–PE**. Tese UFPE, 2007.

SOUZA, E.M. **Estratigrafia da Sequência clástica Inferior (Andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e Suas Implicações Paleogeográficas**. 2006. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P.V.; ARAÚJO, L.E. Classificação diária e impactos decorrentes dos desastres associados as chuvas na cidade do Recife–PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V.2, p. 250-268, 2012.

TEIXEIRA, A.J.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 8. ed. Rio de Janeiro, 2008.

TERZAGHI, K. **Theoretical Soil Mechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1943.

TERZAGHI, K. Mecanismo dos Escorregamentos de Terra, publicado pela escola Politécnica da USP. 1967. Tradução de Ernesto Pichler. Título original: **Mechanism of Landslides** (1950).

THORNES, J.B. Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint in soil erosion. In: KIRBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. (Ed.). **Soil erosion**. 1980. p. 129-182.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. 196 p. ISBN 978-85-87235-09-1. Disponível em: [https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/05/Conhecer\\_para\\_Prevenir\\_3ed\\_2016.pdf](https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/05/Conhecer_para_Prevenir_3ed_2016.pdf).

TOPAN, J.G.O & LIMA FILHO, M. Estudo Aeromagnetométrico e Morfotectônico da Sub-Bacia Olinda, Bacia Paraíba, e do Embasamento Adjacente. **Anuário do Instituto de Geociências** - UFRJ, 2017. DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_3\\_281\\_293](http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_281_293)

TOPAN, J.G.O. **Caracterização tectono-estratigráfica da sub-bacia Olinda, bacia Paraíba e embasamento adjacente, NE do Brasil** / João Gabriel De Oliveira. - 2018. 129folhas, Il.; e Tab.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. **Drenagem urbana e controle de erosão**. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D. L. M. (Org.). Avaliação e controle de drenagem urbana. Porto Alegre: UFRGS, 2000. v. 1, p. 113-127.

UNISDR. THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2015. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. Geneva: United Nations, 2016. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/conferencia-de-sendai-adota-novo-marco-para-reduzir-riscos-de-desastres-naturais-no-mundo>.

VALENÇA, L.M.M.; SOUZA, E. M. Estratigrafia e sedimentologia da Formação Maria Farinha. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 47, n. 3, p. 321-335, 2017.

VAN SCHMUS, W.R. OLIVEIRA, E.P.; DA SILVA FILHO, A.F.; TOTEU, S.F.; PENAYE, J.; GUIMARÃES, I.P. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. **Geological Society of London, Special Publications**, v. 294, n. 1, p. 69-99, 2008.

VAN SCHMUS, W.R.; KOZUCH, M.; BRITO NEVES, B.B. The Borborema Province, NE Brazil: A review of its evolution and the role of major crustal boundaries. **Precambrian Research**, v. 189, n. 1-2, p. 1-29, 2011.

VARGAS, M. **Mecânica dos Solos**. São Paulo: EPUSP, 1972.

VARNES, D. J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO, 1984. 63p.

VARNES, D.J. Slope movement types and processes. In: Landslides: analysis and control. Washington: TRB, 1978. p. 11-33. **(Special Report 176)**.

## 8. ANEXOS

Anexo 01: Boletim de Sondagem Ilha A1. Fonte: Produzido pela ENSOLO.

| OBRA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                             | Estudo Geotécnico para o Alto e Córrego da Telha (Processo Facepe APQ-1543-3.07/22) |                  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LOCAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                             | Rua Alto da Telha, s/nº, 208 e 1374 - Passarinho - Recife - PE                      |                  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| INTERESSADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                             | Sávia Gavazza dos Santos Pessoa                                                     |                  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| FURO Nº                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | SP-01                       | COTA                                                                                | +77,00           |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| INÍCIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 02/03/23                    | TÉRMINO                                                                             | 07/03/23         |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| RELATÓRIO Nº                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | S-030/23                    |                                                                                     |                  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| POSIÇÃO DO REVESTIMENTO DE PROFUNDIDADE                                                                                                                                                                                                                                                                                    | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) |                                                                                     |                  | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA                                                                                                                                                                                                                                  | AMOSTRAS E CONDIÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1ª                          | 2ª                                                                                  | 3ª               |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min)                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| TC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1/00                        | 120                                                                                 | 1                | 1                                                   | 2/55             |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2                           | 2                                                                                   | 4                |                                                     |                  | 1,00                                                                                                                                                                                                                                          |                      | Aterro de areia média c/ p.c.a. areia fina c/ mto. p.c.a. areia grossa, mto. p.c.o. silteosa, c/ p.c.o. resto de construção, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 1).       |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3                           | 3                                                                                   | 6                |                                                     |                  | 2,00                                                                                                                                                                                                                                          |                      | Areia fina c/ p.c.a. areia média, p.c.o. silteosa, p.c.o. argilosa, fofa, vermelho escuro. (AMOSTRA 2).                                                                            |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3                           | 4                                                                                   | 7                |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      | Areia média c/ p.c.a. areia fina c/ mto. p.c.a. areia grossa, mto. p.c.o. silteosa, mto. p.c.o. argilosa, de p.c.o. compacta a medte. compacta, vermelho escuro. (AMOSTRAS 3 a 6). |
| CA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3                           | 4                                                                                   | 10               |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| CL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 5                           | 7                                                                                   | 15               |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      | Areia fina c/ p.c.a. areia média, mto. p.c.o. silteosa, mto. p.c.o. argilosa, medte. compacta, creme claro. (AMOSTRA 7).                                                           |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 5                           | 8                                                                                   | 13               |                                                     |                  | 5,00                                                                                                                                                                                                                                          |                      |                                                                                                                                                                                    |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 10                          | 13                                                                                  | 23               |                                                     |                  | 6,00                                                                                                                                                                                                                                          |                      | Areia média c/ p.c.a. areia fina c/ mto. p.c.a. areia grossa, mto. p.c.o. silteosa, mto. p.c.o. argilosa, compacta, roxo. (AMOSTRA 8).                                             |
| 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15/9                        | 15/6                                                                                | 48               |                                                     |                  | 7,00                                                                                                                                                                                                                                          |                      | Argila silteosa, c/ mto. p.c.a. areia fina. Plasticidade BAIXA de consistência dura, roxo claro. (AMOSTRAS 9 e 10).                                                                |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15/10                       | 15/5                                                                                | 45               |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      | Areia fina c/ p.c.a. areia média, argilosa, silteosa, mto. compacta, roxo. (AMOSTRA 11).                                                                                           |
| 17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15/9                        | 15/5                                                                                | 47/29            |                                                     |                  | 9,00                                                                                                                                                                                                                                          |                      | Argila silteosa, c/ mto. p.c.a. areia fina. Plasticidade BAIXA de consistência dura, roxo claro. (AMOSTRA 12).                                                                     |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 15/10                       | 15/5                                                                                | 45               |                                                     |                  | 10,00                                                                                                                                                                                                                                         |                      |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  | 10,30                                                                                                                                                                                                                                         |                      |                                                                                                                                                                                    |
| <p>LIMITE DA SONDAÇÃO: 10,30 m.<br/>Por solicitação do interessado.</p> <p>Na ocasião da sondagem não foi observada a presença do NA. Todavia este NA poderá ocorrer em maior ou menor profundidade, a depender de influências externas ou quando em épocas de chuvas, as águas infiltradas formarem um NA temporário.</p> |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| OBS. NÍVEL D'ÁGUA                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                             | TC                                                                                  |                  | TRADO CONCHA                                        |                  | DADOS TÉCNICOS                                                                                                                                                                                                                                |                      |                                                                                                                                                                                    |
| INICIAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | NE m                        | TH                                                                                  | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO                                           | 50,8 mm          | <b>ENGENHARIA E CONSULTORIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA.</b><br>Avenida Flor de Sant'Ana, 104 - Parnamirim<br>Fones: 268-5514 - 268-5977 - Recife - PE<br> |                      |                                                                                                                                                                                    |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -                           | CL                                                                                  | CIRCULAÇÃO LAMA  | Ø INTERNO                                           | 34,9 mm          |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| FINAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | NE m                        | CA                                                                                  | CIRCULAÇÃO ÁGUA  | COMPRIMENTO                                         | 781,17 mm        |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -                           | LT                                                                                  | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO                                                | 65 kg            |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| APÓS 24h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | - m                         | NE                                                                                  | NÃO ENCONTRADO   | ALTURA QUEDA                                        | 75 cm            |                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -                           | AL                                                                                  | ALAGADO          | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO                           | 63,5 mm          | Engº Resp<br>Sondador<br>Severino Matias                                                                                                                                                                                                      |                      |                                                                                                                                                                                    |
| OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.                                                                                                                                                                                                                                                        |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  | Desenho nº<br>03/05                                                                                                                                                                                                                           |                      |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  | Data<br>03/03/23                                                                                                                                                                                                                              |                      |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  | Escala<br>1/100                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  | Verificação<br>John Costa                                                                                                                                                                                                                     |                      |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                             |                                                                                     |                  |                                                     |                  | Desenho<br>John Costa                                                                                                                                                                                                                         |                      |                                                                                                                                                                                    |

## Anexo 02: Boletim de Sondagem Ilha A2. Fonte: Produzido pela ENSOLO.

|                    |  |                                                                                     |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
|--------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------|--|---------------|--|---------------|--|-----------------|--|----------------|--|-----------------|--|---------------------|--|-----------------|--|
| <b>OBRA</b>        |  | Estudo Geotécnico para o Alto e Córrego da Telha (Processo Facepe APQ-1543-3.07/22) |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
| <b>LOCAL</b>       |  | Rua Alto da Telha, s/nº, 208 e 1374 - Passarinho - Recife - PE                      |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
| <b>INTERESSADO</b> |  | Sávia Gavazza dos Santos Pessoa                                                     |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
| <b>FURO Nº</b>     |  | <b>SP-02</b>                                                                        |  | <b>COTA</b> |  | <b>+61,00</b> |  | <b>INÍCIO</b> |  | <b>13/03/23</b> |  | <b>TÉRMINO</b> |  | <b>15/03/23</b> |  | <b>RELATÓRIO Nº</b> |  | <b>S-030/23</b> |  |

| POSIÇÃO DO REVESTIMENTO | PENEIRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | PENEIRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | S.P.T. | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONDIÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|--------|------------------|--------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                             |                                                     |        |                  |              |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| TC                      | 2                           | 3                                                   | 4      | 7                |              | 1                    | Areia fina c/ p.c.a. areia média, siltsosa, argilosa, p.c.o. compacta, creme. (AMOSTRA 1).                                                                                                                                                                                                                                    |
|                         | 2                           | 3                                                   | 3      | 6                |              | 2                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 3                           | 5                                                   | 7      | 12               |              | 3                    | Areia fina c/ p.c.a. areia média, mto. p.c.o. siltsosa, p.c.o. compacta, creme. (AMOSTRA 2).                                                                                                                                                                                                                                  |
| CA                      | 4                           | 7                                                   | 10     | 17               |              | 4                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| CL                      | 1/25                        | 2                                                   | 3      | 5                |              | 5                    | Areia fina c/ mto. p.c.a. areia média, siltsosa, argilosa, medte. compacta, variegada (pardo). (AMOSTRAS 3 e 4).                                                                                                                                                                                                              |
|                         | 4                           | 4                                                   | 5      | 9                |              | 6                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 2                           | 5                                                   | 7      | 12               |              | 7                    | Areia fina c/ p.c.a. areia média, mto. p.c.o. siltsosa, de p.c.o. compacta a medte. compacta, creme. (AMOSTRAS 5 a 7).                                                                                                                                                                                                        |
|                         | 6                           | 8                                                   | 13     | 21               |              | 8                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 2                           | 4                                                   | 4      | 8                |              | 9                    | Argila siltsosa, c/ mto. p.c.a. areia fina. Plasticidade BAIXA de consistência mto. rija, variegada (creme). (AMOSTRA 8).                                                                                                                                                                                                     |
|                         | 2                           | 3                                                   | 4      | 7                |              | 10                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 3                           | 4                                                   | 5      | 9                |              | 11                   | Areia fina c/ mto. p.c.a. areia média, mto. p.c.o. siltsosa, p.c.o. compacta, creme. (AMOSTRA 9).                                                                                                                                                                                                                             |
|                         | 3                           | 5                                                   | 7      | 12               |              | 12                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 3                           | 6                                                   | 10     | 16               |              | 13                   | Areia média c/ p.c.a. areia fina c/ mto. p.c.a. areia grossa, mto. p.c.o. siltsosa, de p.c.o. compacta a medte. compacta, creme c/ velos creme claro. (AMOSTRAS 10 a 12).                                                                                                                                                     |
|                         | 3                           | 5                                                   | 9      | 14               |              | 14                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 4                           | 7                                                   | 8      | 15               |              | 15                   | Areia fina c/ p.c.a. areia média, p.c.o. siltsosa, p.c.o. argilosa, medte. compacta, variegada (creme). (AMOSTRAS 13 a 17).                                                                                                                                                                                                   |
|                         | 4                           | 7                                                   | 10     | 17               |              | 16                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         | 5                           | 7                                                   | 9      | 16               |              | 17                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                         |                             |                                                     |        |                  |              |                      | <p>Limite da Sondagem: 15,45 m.</p> <p>Por solicitação do interessado.</p> <p>Na ocasião da sondagem não foi observada a presença do NA. Todavia este NA poderá ocorrer em maior ou menor profundidade, a depender de influências externas ou quando em épocas de chuvas, as águas infiltradas formarem um NA temporário.</p> |

|                          |    |   |    |                     |                           |           |  |                       |  |  |  |
|--------------------------|----|---|----|---------------------|---------------------------|-----------|--|-----------------------|--|--|--|
| <b>OBS. NÍVEL D'ÁGUA</b> |    |   |    | <b>TRADO CONCHA</b> |                           |           |  | <b>DADOS TÉCNICOS</b> |  |  |  |
| INICIAL                  | NE | m | TH | TRADO HELICOIDAL    | Ø EXTERNO                 | 50,8 mm   |  |                       |  |  |  |
| -                        | -  |   | CL | CIRCULAÇÃO LAMA     | Ø INTERNO                 | 34,9 mm   |  |                       |  |  |  |
| FINAL                    | NE | m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA     | COMPRIMENTO               | 781,17 mm |  |                       |  |  |  |
| -                        | -  |   | LT | LAVAGEM P/ TEMPO    | PESO                      | 65 kg     |  |                       |  |  |  |
| APÓS 24h                 | -  | m | NE | NÃO ENCONTRADO      | ALTURA QUEDA              | 75 cm     |  |                       |  |  |  |
| -                        | -  |   | AL | ALAGADO             | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm   |  |                       |  |  |  |

OBS: Entre as profundidades de 4,00 m e 15,00 m houve perda de lama betônica na razão de 50,0 L/m.

|                                                                                       |             |                 |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|---------|
| <b>ENGENHARIA E CONSULTORIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA.</b>                            |             |                 |         |
| Avenida Flor de Sant'Ana, 104 - Panamirim<br>Fones: 268-5514 - 268-5977 - Recife - PE |             |                 |         |
| Engº Resp                                                                             |             | Sondador        |         |
| Desenho nº                                                                            |             | Severino Mattos |         |
| 05/05                                                                                 | Data        | 15/03/23        | Escala  |
| 1/00                                                                                  | Verificação | John Costa      | Desenho |
|                                                                                       |             | John Costa      |         |

## Anexo 03: Boletim de Sondagem Ilha A3. Fonte: Produzido pela ENSOLO.

|                    |  |                                                                                     |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
|--------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------|--|---------------|--|---------------|--|-----------------|--|----------------|--|-----------------|--|---------------------|--|-----------------|--|
| <b>OBRA</b>        |  | Estudo Geotécnico para o Alto e Córrego da Telha (Processo Facepe APQ-1543-3.07/22) |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
| <b>LOCAL</b>       |  | Rua Alto da Telha, s/nº, 208 e 1374 - Passarinho - Recife - PE                      |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
| <b>INTERESSADO</b> |  | Sávia Gavazza dos Santos Pessoa                                                     |  |             |  |               |  |               |  |                 |  |                |  |                 |  |                     |  |                 |  |
| <b>FURO Nº</b>     |  | <b>SP-03</b>                                                                        |  | <b>COTA</b> |  | <b>+45,00</b> |  | <b>INÍCIO</b> |  | <b>09/03/23</b> |  | <b>TÉRMINO</b> |  | <b>10/03/23</b> |  | <b>RELATÓRIO Nº</b> |  | <b>S-030/23</b> |  |

| POSIÇÃO DO REVESTIMENTO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONDIÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL |    |                                                                                                                                                                            |    |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|---------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                         |                             |                                                     |                  |              |                      |                           | 1º | 2º                                                                                                                                                                         | 3º |
|                         |                             |                                                     |                  |              |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |
| TC                      | 5                           | 5                                                   | 4                | 10           | 4/15                 | 0,40                      | NE | Atorro de areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltoza, c/ resto de construção, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 1).             |    |
| 1                       | 1                           | 1                                                   | 2                | 2            |                      | 2,00                      |    | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, siltoza, pco. argilosa, de pco. compacta a fofa, pardo. (AMOSTRAS 2 e 3).                                        |    |
| 1/30                    | 120                         | 2                                                   | 3/05             | 1            |                      | 3,00                      |    | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltoza, mto. pco. argilosa, c/ pcos. nódulos concrecionados (Ø < 25mm), fofa, pardo. (AMOSTRA 4).          |    |
| 2                       | 3                           | 4                                                   | 7                | 7            |                      | 3,55                      |    | Areia fina, siltoza, argilosa, pco. compacta, róseo. (AMOSTRA 5).                                                                                                          |    |
| 2                       | 4                           | 5                                                   | 9                | 9            |                      | 4,10                      |    | Areia fina c/ areia média, c/ pca. areia grossa, c/ mto. pco. pedregulho (Ø < 4mm), mto. pco. siltoza, mto. pco. argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRA 6).            |    |
| 2                       | 4                           | 4                                                   | 8                | 8            |                      | 7,00                      |    | Areia fina c/ mto. pca. areia média e grossa, pco. siltoza, pco. argilosa, de pco. compacta a medte. compacta a pco. compacta, creme. (AMOSTRAS 7 a 9).                    |    |
| 5                       | 5                           | 7                                                   | 12               | 12           |                      | 8,00                      |    | Areia média c/ pca. areia fina e grossa, c/ pco. pedregulho (Ø < 10mm), pco. siltoza, mto. pco. argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRA 10).                            |    |
| 2                       | 3                           | 5                                                   | 8                | 8            |                      | 9,05                      |    | Areia fina c/ pca. areia média, pco. siltoza, pco. argilosa, compacta, pardo. (AMOSTRA 11).                                                                                |    |
| 3                       | 5                           | 8                                                   | 13               | 13           |                      |                           |    | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltoza, de medte. compacta a compacta a medte. compacta, vermelho c/ veios creme. (AMOSTRAS 12 a 17). |    |
| 6                       | 9                           | 14                                                  | 23               | 23           |                      | 14,90                     |    | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, siltoza, pco. argilosa, compacta, róseo c/ veios creme. (AMOSTRA 18).                                            |    |
| 5                       | 7                           | 7                                                   | 14               | 14           |                      | 15,35                     |    |                                                                                                                                                                            |    |
| 7                       | 13                          | 18                                                  | 31               | 31           |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |
| 11                      | 18                          | 12                                                  | 30               | 30           |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |
| 6                       | 6                           | 7                                                   | 13               | 13           |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |
| 7                       | 13                          | 20                                                  | 33               | 33           |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |
| 5                       | 6                           | 7                                                   | 13               | 13           |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |
| 6                       | 11                          | 13                                                  | 24               | 24           |                      |                           |    |                                                                                                                                                                            |    |

LIMITE DA SONDAÇÃO: 15,35 m.  
Por solicitação do interessado.

Na ocasião da sondagem não foi observada a presença do NA. Todavia este NA poderá ocorrer em maior ou menor profundidade, a depender de influências externas ou quando em épocas de chuvas, as águas infiltradas formarem um NA temporário.

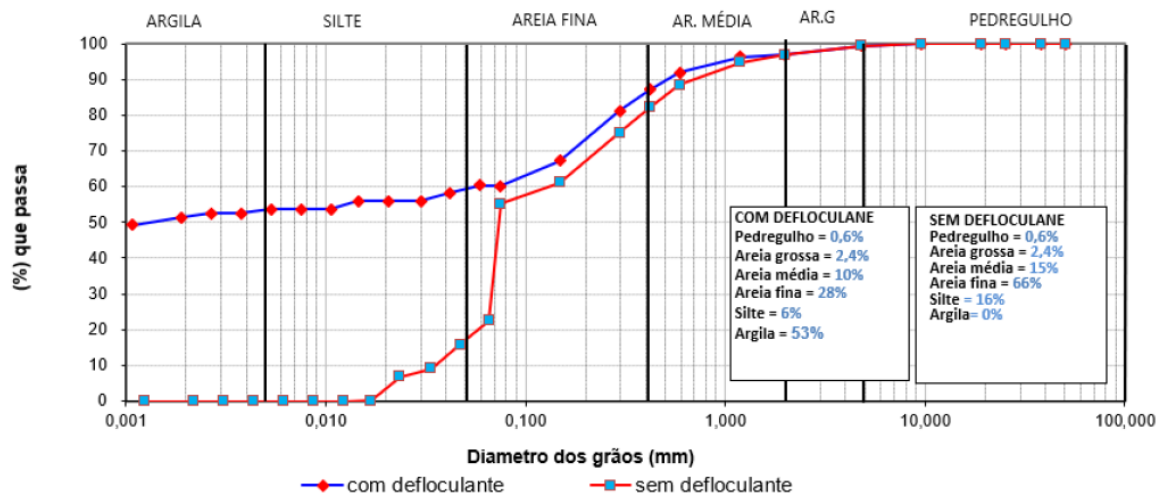
|                          |    |           |    |                     |                           |                       |                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------|----|-----------|----|---------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBS. NÍVEL D'ÁGUA</b> |    | <b>TC</b> |    | <b>TRADO CONCHA</b> |                           | <b>DADOS TÉCNICOS</b> |                                                                                                                                                                                                                                               |
| INICIAL                  | NE | m         | TH | TRADO HELICOIDAL    | Ø EXTERNO                 | 50,8 mm               | <b>ENGENHARIA E CONSULTORIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA.</b><br>Avenida Flor de Sant'Ana, 104 - Parnamirim<br>Fones: 268-5514 - 268-5977 - Recife - PE<br> |
| -                        | -  | -         | CL | CIRCULAÇÃO LAMA     | Ø INTERNO                 | 34,9 mm               |                                                                                                                                                                                                                                               |
| FINAL                    | NE | m         | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA     | COMPRIMENTO               | 781,17 mm             |                                                                                                                                                                                                                                               |
| -                        | -  | -         | LT | LAVAGEM P/ TEMPO    | PESO                      | 95 kg                 |                                                                                                                                                                                                                                               |
| APÓS 24h                 | -  | m         | NE | NÃO ENCONTRADO      | ALTURA QUEDA              | 75 cm                 |                                                                                                                                                                                                                                               |
| -                        | -  | -         | AL | ALAGADO             | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm               |                                                                                                                                                                                                                                               |

OBS: A presença de resto de construção altera o S.P.T.

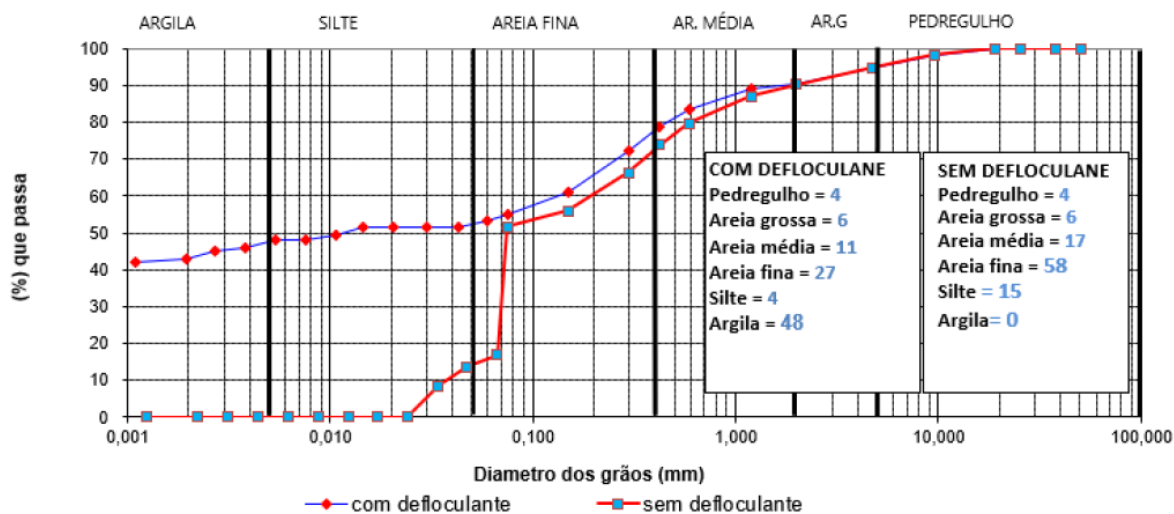
|                 |          |                 |             |
|-----------------|----------|-----------------|-------------|
| Engº Resp       |          | Sondador        |             |
| Severino Matias |          | Severino Matias |             |
| Desenho nº      | Data     | Escala          | Verificação |
| 04/05           | 13/03/23 | 1/100           | John Costa  |
| Desenho         |          | Desenho         |             |
| John Costa      |          | John Costa      |             |



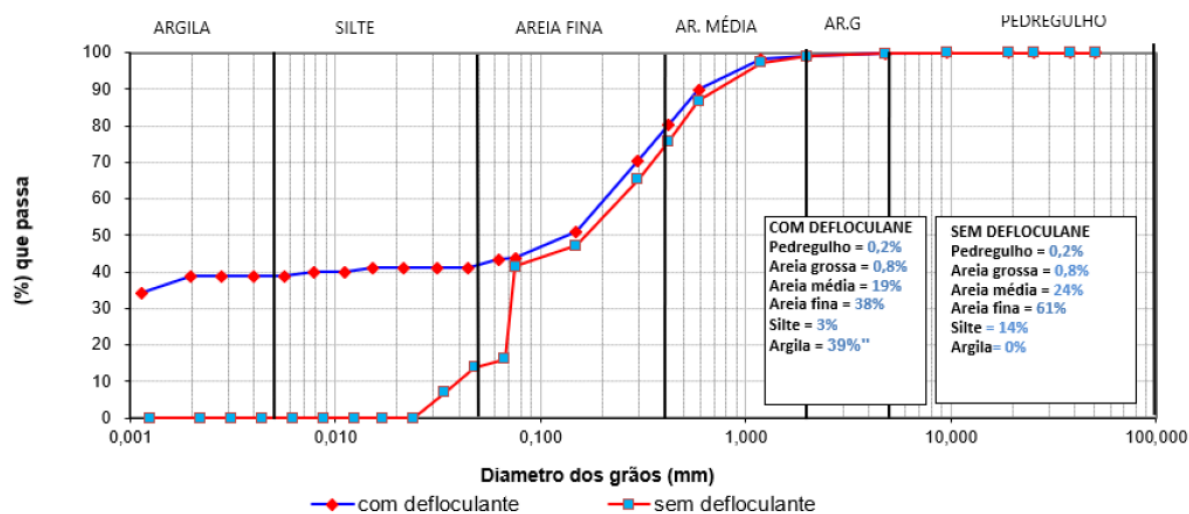
Anexo 04: Ensaio de Granulometria do SPT de A1 (0,65 - 1,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



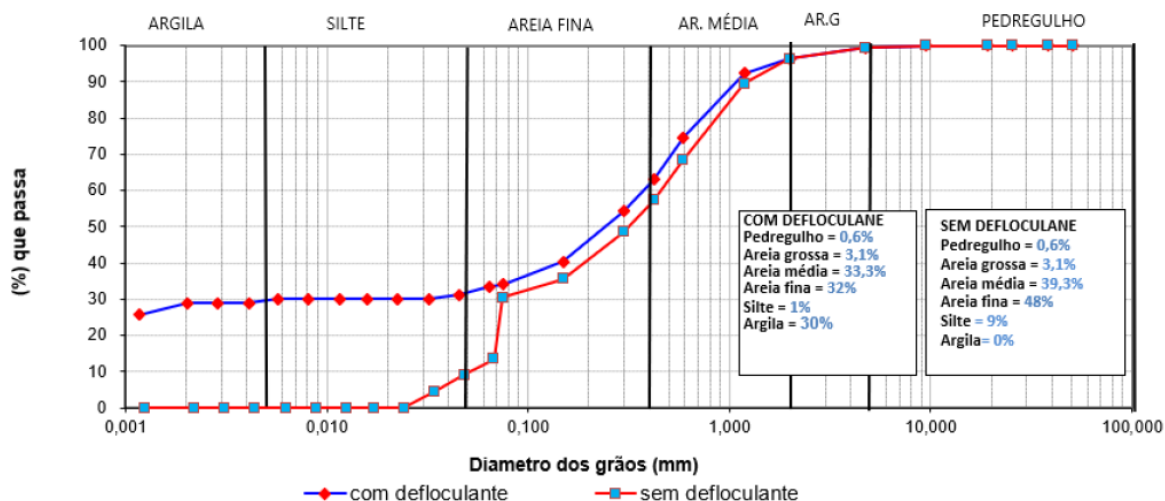
Anexo 05: Ensaio de Granulometria do SPT de A1 (1,20 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



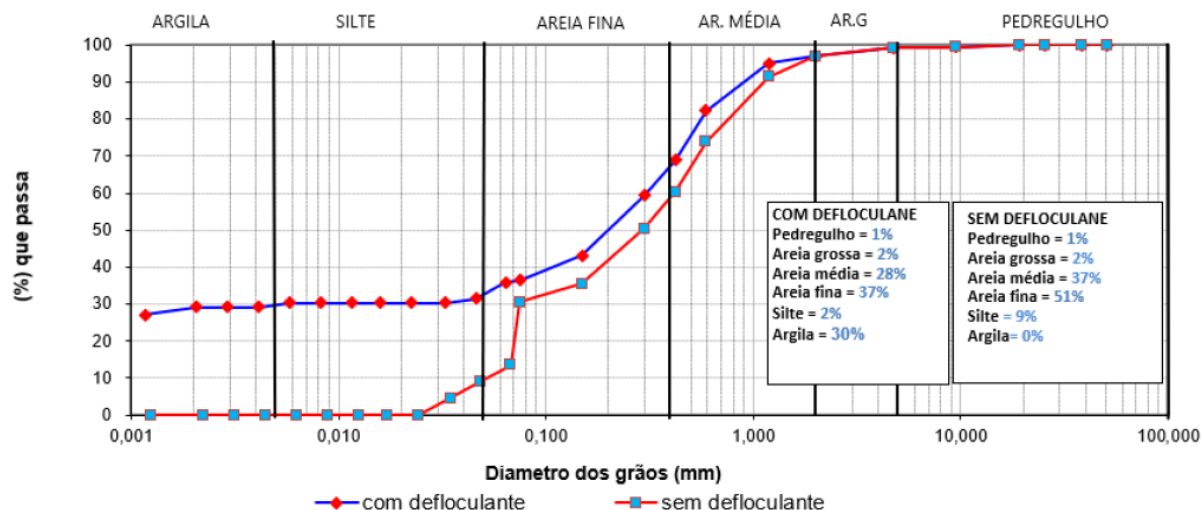
Anexo 06: Ensaio de Granulometria do SPT de A1 (1,45 - 2,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



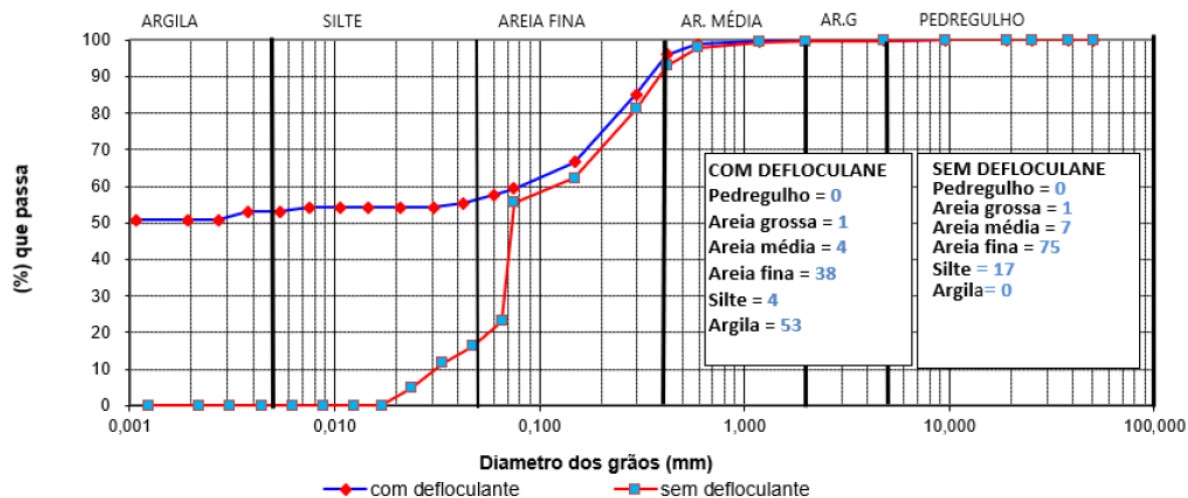
Anexo 07: Ensaio de Granulometria do SPT de A1 (2,45 - 3,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



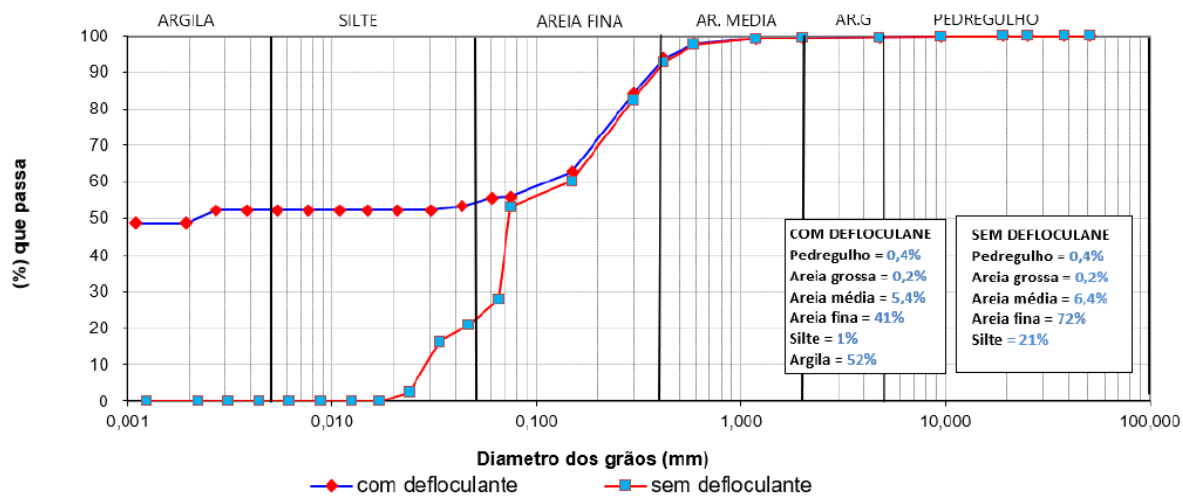
Anexo 08: Ensaio de Granulometria do SPT de A1 (3,45 - 3,60 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



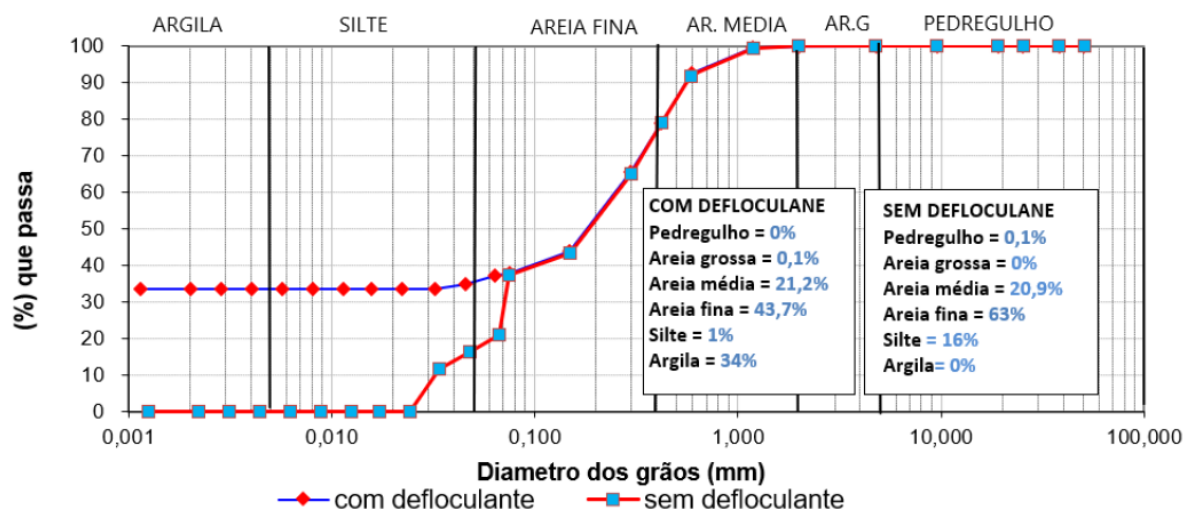
Anexo 09: Ensaio de Granulometria do SPT de A2 (1,20 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



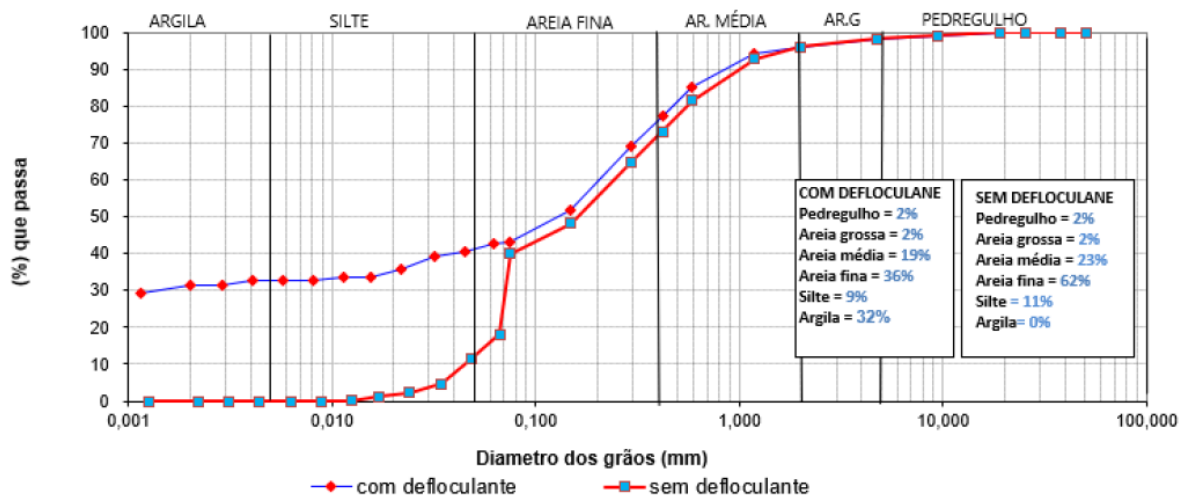
Anexo 10: Ensaio de Granulometria do SPT de A2 (1,00 - 1,45 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



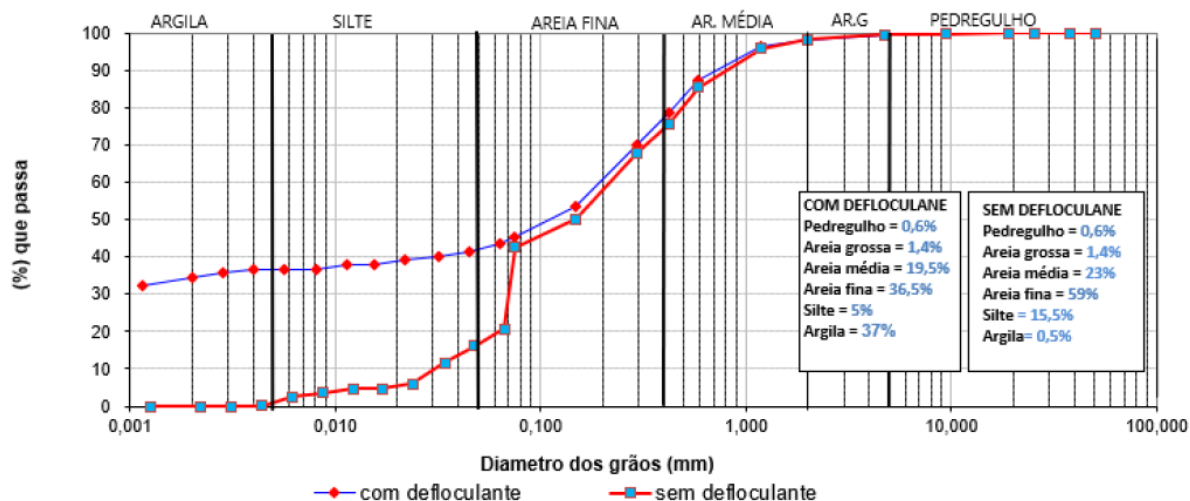
Anexo 12: Ensaio de Granulometria do SPT de A2 (1,45 - 2,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



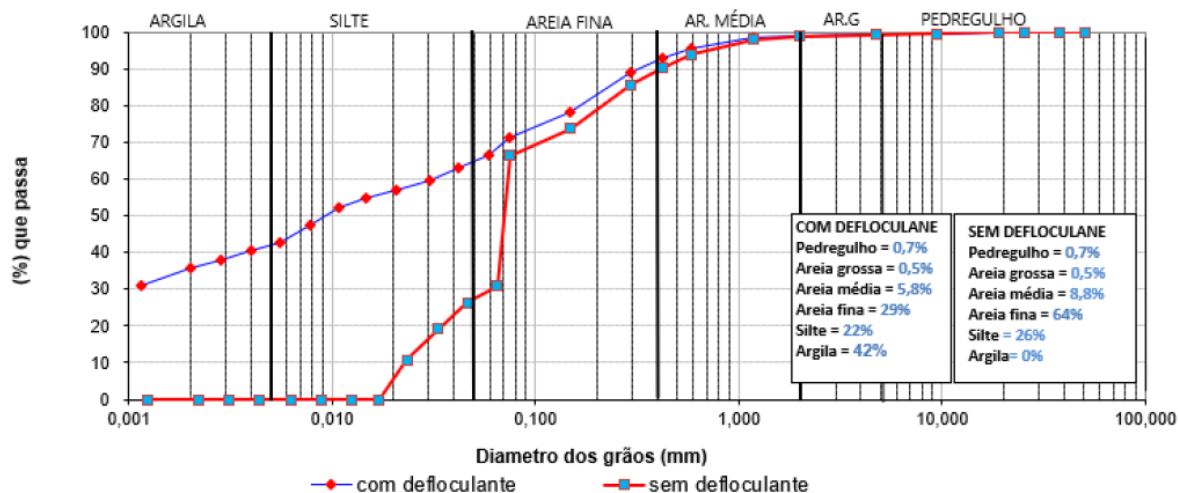
Anexo 13: Ensaio de Granulometria do SPT de A3 (0,45 - 1,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



Anexo 14: Ensaio de Granulometria do SPT de A3 (1,00 - 2,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.



Anexo 15: Ensaio de Granulometria do SPT de A3 (2,60 - 3,00 m). Fonte: Produzido pelo projeto Morros de Vontade, 2023.





Anexo 16: Carta Inventário da Investigação Geológico-Geotécnica. Fonte: Produzido pelo Autor.







FIM