

Análise Determinística de Estabilidade de Encosta no Bairro do Roger João Pessoa - PB

Arthur Vinícius Freire Silva Ramos
Engenheiro Civil, UFPB, João Pessoa, Brasil, arthur_vinicios_@hotmail.com

Geovanna Karla da Silva Simões
Engenheira Civil, UFPB, João Pessoa, Brasil, geovannakarlass@gmail.com

Fábio Lopes Soares
Professor do curso de Engenharia Civil, UFPB, João Pessoa, Brasil, flseng@uol.com.br

RESUMO: O bairro do Roger, situado na cidade de João Pessoa-PB, é dividido em Alto e Baixo Roger, sendo a área mais baixa do bairro caracterizada por uma população que reside em casas de baixo padrão construtivo, tornando-se vulnerável a eventos naturais adversos. O referido estudo visa aprofundar a análise de um setor específico do Roger, em que há presença de uma fissura de comportamento sazonal ativo no topo do talude, caracterizado como uma área de "Muito Alto Risco" de deslizamento de massa, conforme indicado pelo mapa de risco da região. Um dos aspectos centrais desta investigação geotécnica é a escavação realizada para abrigar um depósito de reciclagem no talude em estudo, agravando os riscos na área, especialmente por uma via de acesso principal ao bairro, com intenso fluxo de veículos, gerando sobrecarga no topo do talude. O estudo adotou uma abordagem de pesquisa que incluiu uma análise comparativa do comportamento da fissura entre os anos de 2019 e 2024. Além disso, foram realizadas visitas de campo para avaliar as características locais, incluindo ensaios táteis visuais e coleta de amostras de solo deformadas e indeformadas para análise no laboratório de mecânica dos solos, permitindo uma análise abrangente da estabilidade do talude.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de Taludes, Análise Determinística, Investigação Geotécnica, Movimento de Massa.

ABSTRACT: The neighborhood of Roger, located in the city of João Pessoa, is divided into Upper and Lower Roger. The lower area of the neighborhood is characterized by a population residing in houses of low construction standards, making it vulnerable to adverse natural events. This study aims to deepen the analysis of a specific sector of Roger, where there is a presence of a fissure exhibiting seasonal active behavior at the top of the slope, characterized as an area of "Very High Risk" of mass movement, as indicated by the risk map of the region. One of the central aspects of this geotechnical investigation is the excavation carried out to create a recycling deposit on the slope under study, exacerbating the risks in the area, especially it is a main access road to the neighborhood, with heavy vehicle traffic, causing overload at the top of the slope. The study adopted a research approach that included a comparative analysis of the fissure's behavior between the years 2019 and 2024. Additionally, field visits were conducted to assess local characteristics, including visual-tactile surveys and collection of disturbed and undisturbed soil samples for analysis in the soil mechanics laboratory, allowing for a comprehensive analysis of slope stability.

KEYWORDS: Slope Stability, Deterministic Analysis, Geotechnical Investigation, Mass Movement.

1 INTRODUÇÃO

O bairro do Roger, situado na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba-Brasil, Figura 1, é composto por cerca de 9.649 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010). É dividido em Alto e Baixo Roger, em que a parte mais alta do bairro é caracterizada por uma área praticamente plana, apresentando inclinações nas zonas de transição para região mais baixa. Observa-se que na parte baixa

do bairro o relevo é irregular com presença de áreas com inclinações bem acentuadas, possuindo uma população de baixa renda residente em casas de baixo padrão construtivo, não só no topo, mas também ao longo e ao pé dos taludes, tornando-se vulnerável a eventos naturais adversos.

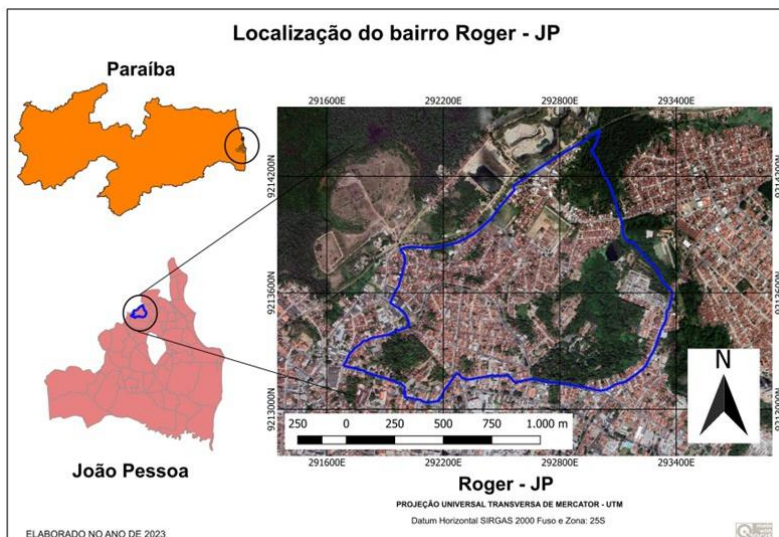


Figura 1. Mapa de localização do bairro do Roger.

1.1 Mapa de Risco do Roger

O presente estudo surgiu com a análise do mapeamento de risco no bairro do Roger, na cidade de João Pessoa-PB, Figura 2, realizado por Ramos, Simões e Soares (2022), em que retrata o estudo de mapeamento das áreas de risco de deslizamento e promoção de educação ambiental. Como objeto de estudo, aprofunda-se as análises da zona Z3, em roxo no mapa, caracterizada em muito alto risco de deslizamento de massa.

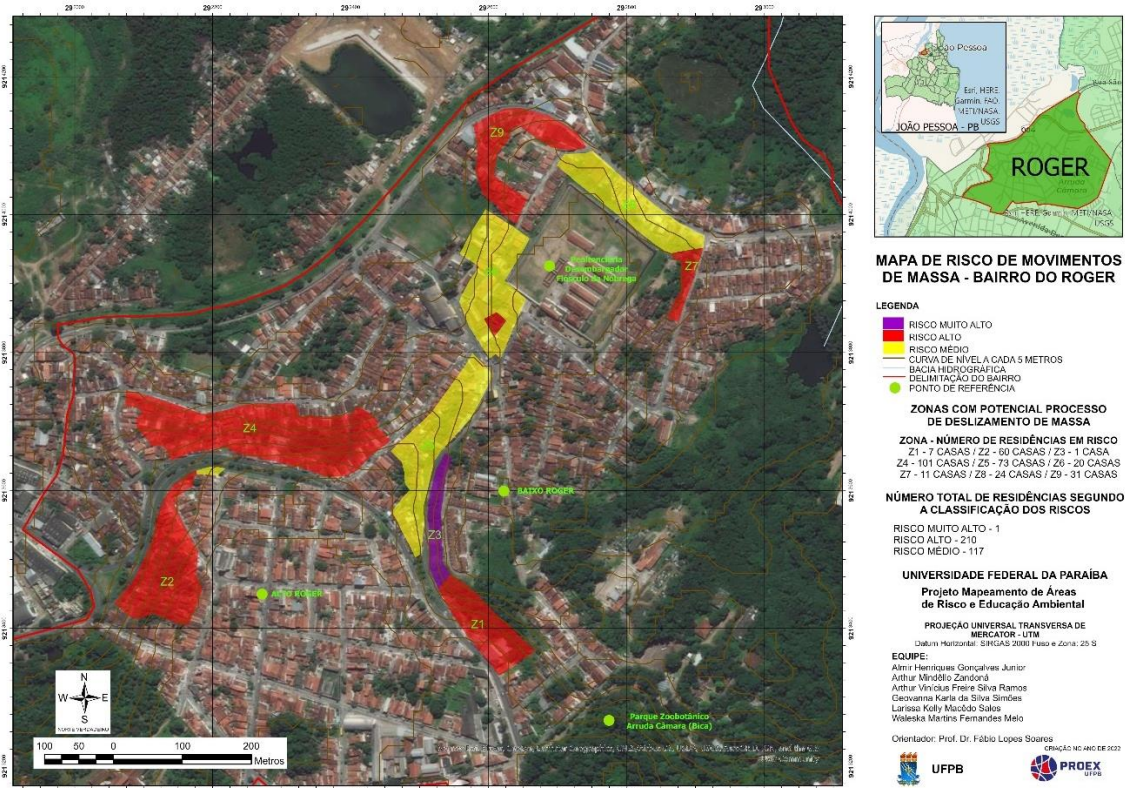


Figura 2. Mapa de risco de deslizamento do bairro do Roger.

1.2 Escavação para Depósito de Reciclagem

Durante as visitas de campo, foi observado que, abaixo da trinca localizada na via de acesso principal, existe uma escavação irregular realizada no pé da barreira para fazer um pequeno depósito de reciclagem para catadores, Figura 3, ao qual desempenha importante função financeira para a colaboração na renda familiar.

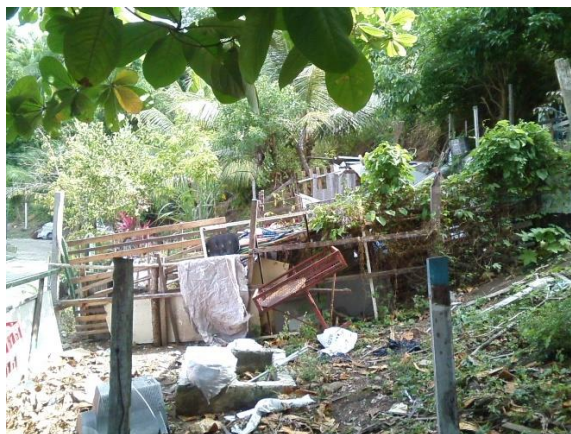


Figura 3. Escavação no pé do talude para abrigar o depósito de reciclagem.

1.3 Via de Acesso Principal ao Bairro

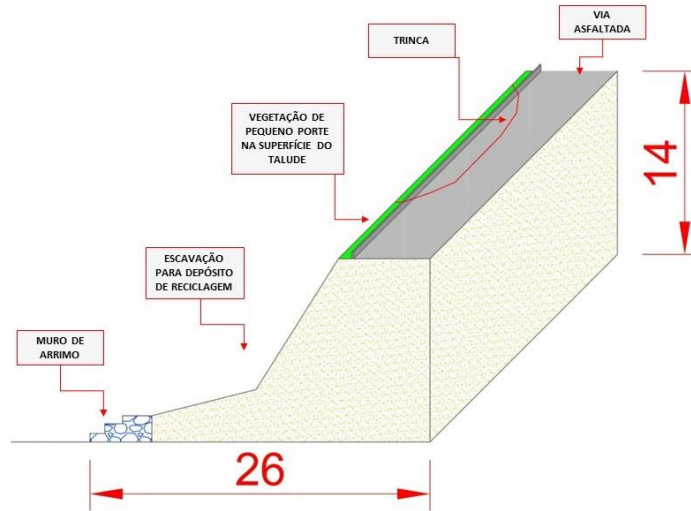
A zona roxa (Z3), de muito alto risco, é delimitada pelo topo da via de acesso principal ao bairro, R. Monsenhor José Coutinho, apresentando um intenso tráfego de veículos de pequeno e grande porte, gerando uma sobrecarga no topo do talude, Figura 4. Anteriormente, existia uma placa de sinalização na via, proibindo o acesso de veículos pesados, porém esta placa foi vandalizada, facilitando o tráfego de veículos de carga. No ano de 2023, uma nova placa foi colocada, entretanto, a cultura de desrespeito às normas de trânsito ainda é vista no local.



Figura 4. Levantamento de drone na via de acesso principal ao Baixo Roger.

1.4 Caracterização do Talude

O talude de estudo apresenta cerca de 14 metros de altura, 26 metros de comprimento e está localizado na via de principal acesso ao bairro, apresentando no topo uma fissura bem definida de comportamento sazonal ativo, que se agrava nos períodos de alta intensidade pluviométrica. Outra característica da região é a surgência de água em pontos da base do talude. A Figura 5 mostra um esquema elaborado por Simões (2023) em que fica notório a presença da fissura e da escavação para depósito de reciclagem no talude.



OBSERVAÇÃO: VIA ASFALTADA COM TRÁFEGO DE VEÍCULOS DE GRANDE PORTE, EMBORA PROIBIDO.

Figura 5. Croqui do perfil transversal do talude de estudo.

Desde o ano 2021, acompanha-se o comportamento da trinca no topo do talude, como é possível observar na Figura 6. Utilizando-se de imagens do Google VIEW, observou-se que a fissura se iniciou no ano 2017 e vem apresentando, até os dias atuais, um comportamento sazonal de aumento durante os períodos de chuva. Dessa forma, a Figura 6A retrata a primeira visita realizada no bairro no ano de 2021, já a Figura 6B retrata o aumento da trinca no ano de 2023, e a Figura 6C demonstra, no ano de 2024, a aplicação de uma capa de asfalto por cima da trinca para facilitar o tráfego na região, no entanto sem estabilizar o talude, causando a falsa sensação de segurança para os residentes locais.



Figura 6. Histórico da trinca no talude de estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Influência do Tráfego de Veículos no Deslizamento de Massa

A sobrecarga gerada pelo tráfego de veículos no topo dos taludes causa comportamentos físicos vibratórios, elevando as tensões atuantes no solo. Esses comportamentos podem ser analisados levando em consideração variáveis como aceleração, carga aplicada, inclinação e distribuição no solo (SILVA, 2006).

2.2 Análise do Fator de Segurança pela ABNT NBR 11682/2009

A sobrecarga gerada pelo tráfego de veículos no topo dos taludes causa comportamentos físicos vibratórios, elevando as tensões atuantes no solo. Esses comportamentos podem ser analisados levando em consideração variáveis como aceleração, carga aplicada, inclinação e distribuição no solo (SILVA, 2006). A resposta dos solos coesivos e não coesivos a essas cargas é distinta: enquanto os solos coesivos, mais rígidos, sofrem pouca degradação, os solos não coesivos, por serem mais elásticos, apresentam grandes deformações.

2.3 Histórico de Deslizamento da Região

Conforme mencionado por Silva (2018), o bairro do Roger sofreu a ocorrência de quatro deslizamentos de massa durante o período compreendido entre 1983 e 2016. Segundo a Defesa Civil de João Pessoa, este bairro é o sexto com maior incidência de eventos relacionados a movimentos de massa. Entretanto, conforme evidenciado por Simões (2023), é plausível que os números de deslizamentos sejam substancialmente superiores devido às subnotificações na região.

2.4 Tipos de Movimento de Massa

Movimentos de massa são descritos como fenômenos naturais de caráter geológico que envolve o deslocamento de grandes quantidades de solo, rocha, detritos e outros materiais em encostas ou taludes. Para a compreensão e análise dessas ocorrências, as quais podem provocar consequências para o meio ambiente e a sociedade, Augusto Filho (1992) propôs a classificação dos principais deslocamentos a serem observados, levando em consideração o tipo de material envolvido e a cinemática do movimento, descrito como:

2.4.1 Quedas

Envolve o desprendimento de solos ou rochas de penhascos ou planos inclinados, como observado por Guimarães *et al.* (2008). Os deslocamentos costumam acontecer a velocidades muito altas, apresentando também geometrias variadas, tais quais placas, blocos ou lascas.

2.4.2 Tombamentos

Movimento no qual blocos com perfis subverticais giram em torno de um ponto abaixo do ponto de gravidade. Podem acontecer com uma velocidade lenta ou muito rápida, de modo contínuo ou abrupto.

2.4.3 Escorregamentos

Também conhecidos como slides, são movimentos de massas com volumes definidos, em que o centro de gravidade se desloca para baixo e para fora da encosta ou talude (AUGUSTO FILHO, 1992). Possui uma duração moderadamente curta.

2.4.4 Corridas

Caracterizadas por grande velocidade e alto potencial destrutivo. São influenciados pelas propriedades hidrodinâmicas, afetadas pela presença excessiva de água ao qual acarreta a redução significativa do coeficiente de atrito. Além disso, podem abranger uma área extensa (RAMOS, 2023).

2.4.5 Rastejo

Movimento lento que avança poucos centímetros por ano, sem apresentar clara superfície de ruptura (GERSCOVICH, 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Investigação Geotécnica

Durante as visitas de campo ao local onde o talude apresenta instabilidade, observou-se que o movimento é gradual, deslocando-se poucos centímetros por ano nos períodos de chuva acumulada, apresentando uma superfície de ruptura claramente definida. Dessa forma, foi crucial obter uma caracterização detalhada do solo para a compreensão da dinâmica do solo na área estudada. Para isso, foram extraídas 3 amostras indeformadas e 4 kg de amostras deformadas, Figura 7.



Figura 7. Coleta de amostras.

As amostras foram cuidadosamente transportadas para o laboratório do grupo de Engenharia Geotécnica/UFPB – GEGEO/UFPB, onde uma série de ensaios de caracterização foi conduzida. Além dos ensaios de granulometria e determinação dos limites de Atterberg, foram realizados ensaios de densidade natural e ensaios de cisalhamento direto para obter as propriedades mecânicas do solo.

Para a extração dos parâmetros físicos, coesão e ângulo de atrito, o ensaio de cisalhamento direto foi realizado nas condições naturais e inundada, visto que representa as variações de umidade sofridas pelo solo dessa região ao longo do ano. Para a situação inundada, simulou-se uma chuva intensa de 5 minutos. A Tabela 1 apresenta os índices físicos e as propriedades mecânicas do solo.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do solo.

Características Físicas	Natural	Inundado	Varição (%)
Coesão (KPa)	15	7	53,3
Ângulo de Atrito (°)	36	22	38,9
Peso específico (KN/m ³)	17	19	11,8

Observa-se uma variação de 53,3% na coesão e 38,9% no ângulo de atrito para o solo natural e inundado. Estas variações são decorrentes do fato de que a água infiltrada acarreta o aumento da saturação do solo, diminuindo a coesão e o ângulo de atrito, resultando, assim, na redução significativa da resistência do solo.

Já em relação a granulometria, o solo foi classificado como SC, ou seja, areia com finos, de acordo com a classificação do Sistema Unificado de Classificação dos solos - SUCS.

3.2 Modelagem do Talude

Após obter os dados dos ensaios de laboratório, foi possível realizar a modelagem da barreira no *software* comercial SLIDE da Rocscience.

Primeiramente, foi elaborado o levantamento topográfico do terreno, o qual foi obtido por meio de visitas de campo e utilizando o georreferenciamento por meio do programa Google Earth.

Posteriormente à representação da topografia da barreira, procedeu-se à modelagem do talude utilizando os dados das características físicas do solo. Foram inseridas as cargas móveis, simbolizando o tráfego de veículos de grande porte na região, de acordo com a NBR 7188/2013. Em seguida, realizou-se uma análise detalhada no modelo computacional, dessa forma, a investigação foi programada pelo critério de estabilidade de Mohr-Coulomb, e analisada pelo método de limite de equilíbrio de Morgenstern-Price.

3.3 Avaliação do Fator de Segurança

Durante a análise de estabilidade, desenvolveu-se um modelo computacional que representa as características reais do solo. Esse modelo contemplou tanto os ensaios de solo natural quanto os de solo inundado. Através de uma análise probabilística detalhada, foi possível analisar o fator de segurança, variando a coesão e o ângulo de atrito do solo. A Figura 8 ilustra os resultados obtidos da análise.

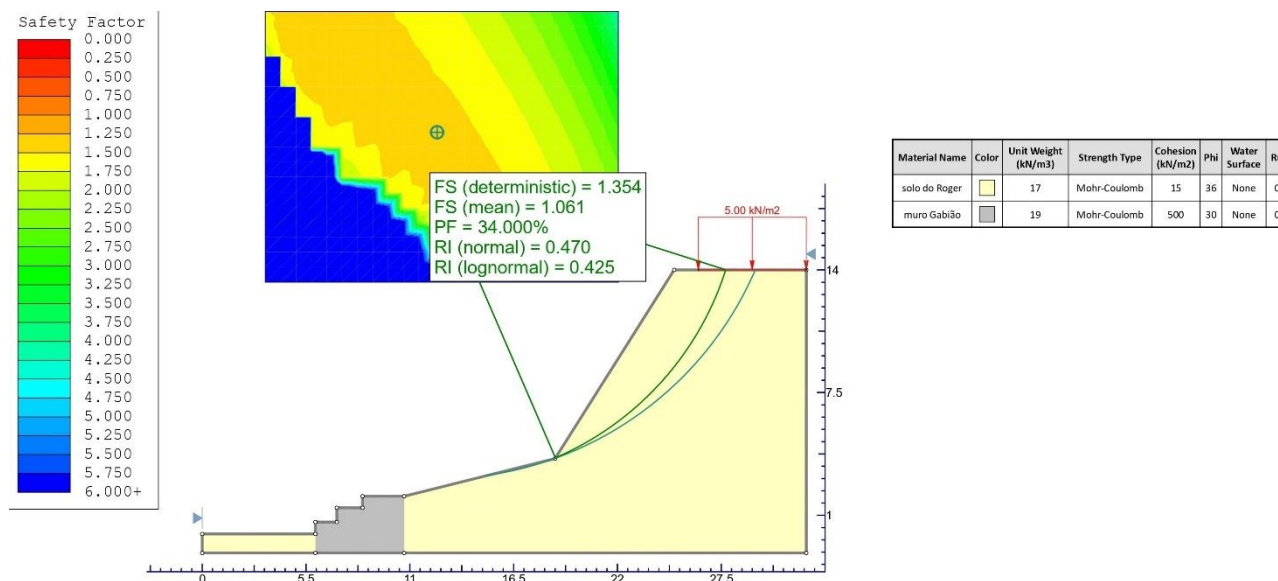


Figura 8. Resultado da análise determinística de estabilidade.

Dessa forma, observou-se que o fator de segurança do local varia de 0,738 a 1,354, abrangendo dois cenários distintos: o talude em condições normais de umidade e o mesmo talude em condição de solo parcialmente saturado. Essa análise abarca as diversas condições atuantes na região. Em todas as análises realizadas, o talude apresentou um fator de segurança abaixo do valor de 1,4 recomendado pela ABNT 11682/2009 para um nível alto de segurança contra danos e perdas humanas, em relação a um nível baixo de segurança contra danos materiais e ambientais. A Tabela 2 apresenta os fatores de segurança encontrados.

Tabela 2. Resultado do Fator de Segurança analisado.

Fator de Segurança	
FS Determinístico	1,354
FS Médio	1,061
FS Mínimo	0,738

Durante o estudo, foi realizada uma retroanálise, considerando que a encosta exibe sinais evidentes de instabilidade e uma trinca bem visível. O objetivo foi obter as características do solo quando o $FS \approx 1$, obtendo-se o ângulo de atrito de 30° , a coesão de 10 KPa e o peso específico de 18 KN/m^3 . Esses dados são cruciais para planejar futuras intervenções visando estabilizar a área.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, por meio de visitas de campo e ensaios de laboratório, indicam que o talude localizado no bairro do Roger apresenta uma trinca ativa com comportamento sazonal, a qual vem aumentando desde o ano 2017. Esses dados foram essenciais para a realização de um estudo estatístico no *software* comercial SLIDE, proporcionando uma análise abrangente das possíveis variações de coesão e ângulo de atrito aos quais o talude está exposto. Essa variação, que ocorre ao longo do ano, influenciada pela ação da chuva acumulada, ocasiona a redução significativa das foças resistente do solo da região estudada e a diminuição do Fator de Segurança (FS) do talude.

Essa análise evidenciou que a região não atende aos requisitos de segurança da norma, principalmente devido à escavação realizada por moradores para abrigar um centro de reciclagem, somada à passagem de veículos de grande porte sobre o talude. Diante dessa situação, é necessária uma ação de obra estabilizadora por parte das autoridades estaduais para garantir a segurança da área e evitar possíveis deslizamentos ou danos a vidas e materiais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos técnicos do laboratório do grupo de Engenharia Geotécnica/UFPB – GEGEO/UFPB e à acadêmica de engenharia civil da UFPB, Catarina Bispo Lobão, por nos ajudar com os ensaios de laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2009). NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 33 p.
- AUGUSTO FILHO, O e VIRGILI, J. C. (1998) “*Estabilidade de taludes, Cap. 15 - Geologia de Engenharia*”. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE. Editora Oficina de textos, pp. 147-241.
- GERSCOVICH, D. M. S., (2012) *Estabilidade de Taludes*, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.
- GOOGLE. Google Earth. website. <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro/>, 2023.
- GUIMARÃES, R. F. *et al.* (2008) *Movimentos de Massa*. In: FLORENZANO, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos. Cap. 6, p. 159 – 184.
- RAMOS, A. V. F. S. (2023) *Análise e Proposta de Baixo Custo para Estabilização de Talude no Bairro São José em João Pessoa-PB – Estudo de Caso*. Graduação em Engenharia Civil / UFPB, João Pessoa.
- RAMOS, A. V. F.; SIMÕES, G. K. S.; SOARES, F. L. (2022) *Mapeamento de Risco e Educação Ambiental no bairro do Roger na cidade de João Pessoa*, COBRAE, ABMS, Pernambuco, v.3. pp. 237-244.
- SILVA, F. T.; ÁVILA, J. I. S. L. (2006) *Vibrações em encostas produzidas por tráfego de veículos*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Recife.
- SILVA, F. T. (2006) *Vibrações em encostas produzidas por tráfego de veículos*. 2006. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Recife.
- SILVA, Natieli Tenório da. (2018) *As Chuvas no município de João Pessoa: Impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental*. JOÃO PESSOA, PB.
- SIMÕES, G. K. S. (2023) *Gestão de Risco de Movimento de Massa na Cidade de João Pessoa-PB*. Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.