

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LOGHAN MOREIRA VASCONCELOS FERREIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO CISALHAMENTO EM LOCAIS DE
RISCO DE DESLIZAMENTO DE TALUDES NA CIDADE DO RECIFE-PE.**

RECIFE,

2023

LOGHAN MOREIRA VASCONCELOS FERREIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO CISALHAMENTO EM LOCAIS DE
RISCO DE DESLIZAMENTO DE TALUDES NA CIDADE DO RECIFE-PE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte.

Recife,

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F383v Ferreira, Loghan Moreira Vasconcelos
VARIABILIDADE ESPACIAL DO CISALHAMENTO EM LOCAIS DE RISCO DE DESLIZAMENTO DE
TALUDES NA CIDADE DO RECIFE-PE. / Loghan Moreira Vasconcelos Ferreira. - 2023.
48 f. : il.

Orientadora: Simone Mirtes Araujo Duarte.
Inclui referências e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2023.

1. Cisalhamento. 2. Barreiras. 3. Sondagem. 4. Solo. 5. Resistência. I. Duarte, Simone Mirtes Araujo, orient. II.
Título

CDD 634.9

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO CISALHAMENTO EM LOCAIS DE
RISCO DE DESLIZAMENTO DE TALUDES NA CIDADE DO RECIFE-PE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Nogueira
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Thiago Cardoso Silva
Universidade Federal de Rondônia

Orientador – Profa. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte
Universidade Federal Rural de Pernambuco

RECIFE-PE

2023

AGRADECIMENTOS

Ao longo de toda a graduação, as relações que estabeleci e o conhecimento que adquiri foram fundamentais para que essa conquista fosse alcançada. Foram tempos muito truçulentos mas com o apoio de muitas pessoas eu consegui finalizar esse ciclo.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha família, minha mãe Vany, meu pai Walter, minha irmã Sofia, a minha avó Letícia que é meu grande amor e minha maior incentivadora, a mulher que me criou junto com meus pais e que nunca mediu esforços para me dar o melhor e a minha cachorra, que é o amor da minha vida, Pérola. Sempre que precisei encontrei apoio vindo de cada um de vocês, por isso sou muito grato e feliz por estar inserido nas suas vidas.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE e ao Departamento de Ciência Florestal, por ser um ambiente que proporcionou meu desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional.

A Professora Dra. Simone, pela orientação, paciência e companheirismo durante o processo de construção desse trabalho.

Aos meus amigos mais próximos da faculdade Axcel e Gustavo, que são pessoas maravilhosas que me ajudaram a crescer e sempre estiveram comigo me ajudando a transpor momentos difíceis, saibam que eu os considero como irmãos.

Aos meus amigos de fora da Universidade, Gabriel e Bito que entraram na minha vida por meio de Axcel e hoje posso garantir que vocês não são só amigos, vocês são parte da minha família, a Daniel que é um dos meus melhores amigos desde que me entendo por gente, agora está num momento distante mas acompanhou de perto quase toda minha caminhada dentro da faculdade, a Felipe, Rafael “Gorim” e Matthew que são amigos de infância que presenciaram todo o meu desenvolvimento, são muito queridos e os carrego em minha vida até hoje, a minha antiga colega de estágio e hoje amiga que mora no meu coração Maria Eduarda que me deu um suporte além do esperado desde que nos conhecemos e mostrou ser uma pessoa maravilhosa, a minha grande amiga Josiane que conheci no IFPE e levo para vida, a Yuri e Whasengton que são um casal de amigos que me apoiam e me incentivam desde que os conheci.

Aos amigos que fiz por todos os cantos que passei, deixo uma mensagem especial a Edson e João, que me acolheram e auxiliaram desde minha passada pela SMAS, tornando-se exemplos de profissionais competentes e de pessoas maravilhosas que ajudam todos ao seu

redor, Shermesson e Yasmin que formaram o trio X-MEN comigo também na SMAS, vocês são maravilhosos, a Sílvia Fragoso que me orientou e me ensinou muito em minha passagem pela Diversa, a Jefferson Rodrigues que foi meu primeiro orientador no JBR, não tenho nem palavras para descrever o quanto você me ajudou no meu crescimento, um cara de coração enorme e de um conhecimento maior ainda, me mostrou a parte prática da minha graduação e fez com que eu me apaixonasse por esse lado.

A minha companheira Deborah, que está me dando um apoio gigantesco tanto na faculdade quanto no meu trabalho, sempre me incentivando e me colocando para cima, obrigado por não deixar que eu desista, você é um anjo na minha vida.

A Nina e Daniel que me estressam e me dão muito trabalho mas que também são seres de bastante luz e amor.

Aos meus demais colegas da graduação que sempre estiveram presente no meu dia-a-dia, saibam que vocês também fazem parte desse projeto.

Por último, peço desculpas se não lembrei de todos os nomes, mas quem é importante para mim sabe, quem me conhece sabe o quão fácil é distinguir quando gosto de alguém, então para todos vocês que esqueci de colocar o nome deixo um agradecimento do fundo do meu coração.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso aborda um tema relevante, tanto para a comunidade científica, quanto para as pessoas que residem nas áreas de risco de deslizamento, ocasionado pela retirada da cobertura vegetal de áreas de terreno com relevo de elevada inclinação, acidentado e com habitações em locais impróprios, oferecendo condições propícias para os deslizamentos em encostas no período chuvoso. Com esta pesquisa, analisamos a variabilidade espacial da resistência do solo em locais de risco de deslizamento de taludes na cidade do Recife e sua relação com os eventos identificados na área de monitoramento. A área selecionada, que fica localizada no Ibura Recife – PE, para o monitoramento foi uma das acometidas pelo desastre ocorrido em maio de 2022 no Recife, PE, que causou inúmeras perdas humanas e destruição de suas residências. A determinação do cisalhamento se deu por meio de ensaio de sondagem a percussão Standart Penetration Teste (SPT) para obtenção dos dados nos locais em que ocorreu deslizamento e em suas imediações. Como resultados obtidos, analisamos a correlação pelo coeficiente de Pearson obtendo resultados positivos e significativos. Levando os resultados em consideração, tivemos várias conclusões tal como: uma correlação direta da tensão admissível de um ponto que deslizou e um ponto que não deslizou.

Palavras-chave: Cisalhamento, barreiras, sondagem, solo, resistência.

ABSTRACT

The present undergraduate thesis addresses a relevant topic, both for the scientific community and for people residing in landslide-prone areas caused by the removal of vegetation cover from areas of land with high inclination, rough terrain, and improper housing locations, offering favorable conditions for landslides on slopes during the rainy season. With this research, we analyze the spatial variability of soil resistance in landslide-prone locations of slopes in the city of Recife and its relationship with the identified events in the monitoring area. The selected area for monitoring, located in Ibura Recife - PE, was one of the areas affected by the disaster that occurred in May 2022 in Recife, PE, which caused numerous human losses and the destruction of homes. The determination of shear was done through the Standard Penetration Test (SPT) for obtaining data in the locations where landslides occurred and in their vicinity. As results obtained, we analyzed the correlation by the Pearson coefficient, obtaining positive and significant results. Taking the results into consideration, we had several conclusions, such as a direct correlation between the allowable stress of a point that slid and a point that did not slide.

Keywords: Shear, barriers, probing, soil, resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa da cidade do Recife, com a área de estudo demarcada.	18
Figura 02 – Disposição espacial dos furos de sondagem nas áreas Av. Chapada do Araripe, Rua Monte Pascoal e Rua Pico da Bandeira, respectivamente.	19
Figura 03 – Esquema de como os materiais da sondagem são colocados.	20
Figura 04 – Ensaio manual de SPT.	22
Figura 05 – Relatório simples de boletim de sondagem.	23
Figura 06 – Relação tensão admissível entre os SPT SP8 e SP7.	25
Figura 07 – Relação tensão admissível entre os SPT SP2 e SP3.	26
Figura 08 – Relação tensão admissível entre os SPT SP16 e SP17.	28
Figura 09 – Relação tensão admissível entre os SPT SP02 e SP03.	29
Figura 10 – Relação tensão admissível entre os SPT SP05 e SP06.	30
Figura 11 – Relação tensão admissível entre os SPT SP16 e SP17.	31
Figura 12 – Relação tensão admissível entre os SPT SP12 e SP13.	33
Figura 13 – Relação tensão admissível entre os SPT SP14 e SP15.	33
Figura 14 – Relação tensão admissível entre os SPT SP05 e SP03.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação tensão admissível e número de golpes.....	24
Tabela 2 – Dados dos SPT's SP7 e SP8.....	26
Tabela 3 – Dados dos SPT's SP2 e SP3.....	26
Tabela 4 – Dados dos SPT's SP16 e SP17.....	27
Tabela 5 – Dados dos SPT's SP02 e SP03.....	29
Tabela 6 – Dados dos SPT's SP05 e SP06.....	30
Tabela 7 – Dados dos SPT's SP08 e SP09.....	30
Tabela 8 – Dados dos SPT's SP13 e SP12.....	32
Tabela 9 – Dados dos SPT's SP14 e SP15.....	33
Tabela 10 – Dados dos SPT's SP05 e SP03.....	34

SUMÁRIO

1 Introdução	11
2 Objetivos	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 Referencial Teórico	14
3.1 Ensaio de sondagem	14
3.2 Coeficiente de pearson	15
3.3 Taludes brasileiros em áreas urbanas	16
3.4 importância da cobertura vegetal nos taludes.....	16
3.5 Uso e Ocupação do Solo	17
4 Material e Métodos	18
4.1 Localização e caracterização da área de estudo	18
4.2 Análise de Dados.....	22
4.2.1 Obtenção dos Dados	22
5 Resultados e Discussão	25
5.1 Avenida Chapada do araripe	25
5.2 Rua monte Pascoal	29
5.3 Rua pico da bandeira	32
5.4 Discussão dos resultados	35
6 Considerações Finais	37
7 Referências.....	38

1 INTRODUÇÃO

O deslizamento de taludes é um fenômeno geotécnico comum que pode ter consequências significativas, tanto em termos de perda de vidas quanto de danos à propriedade. De acordo com um estudo de Rokni et al. (2017), os deslizamentos de taludes são causados por uma variedade de fatores, incluindo precipitação intensa, aumento do nível de água subterrânea, atividade sísmica e alterações na geometria do talude.

A monitoramento do talude pode ajudar a identificar sinais precoces de instabilidade. De acordo com o estudo de Rokni et al. (2017), a utilização de técnicas de monitorização, como a inclinometria e a medição de deformações, pode ajudar a identificar a movimentação do talude antes que ocorra um deslizamento. Essas técnicas também podem ajudar a avaliar o risco potencial de deslizamentos de talude.

O deslizamento de taludes é um fenômeno geotécnico que ocorre quando a massa de solo ou rocha em um talude perde sua estabilidade e se move para baixo. De acordo com Reichenbach et al. (2018), o deslizamento de taludes pode ser desencadeado por uma série de fatores, incluindo a inclinação do talude, a natureza e a estrutura geológica do solo ou rocha, a presença de água e ações humanas como a remoção excessiva de terra ou a construção de edifícios nas encostas.

A água é um dos fatores mais importantes que influenciam a ocorrência de deslizamentos de taludes. De acordo com Lu et al. (2020), a água pode enfraquecer o solo ou rocha, reduzir a coesão e a resistência ao cisalhamento e aumentar o peso do talude. Além disso, a água pode infiltrar-se nas fissuras e fraturas do solo ou rocha, causando pressão hidrostática que pode levar ao colapso do talude.

O entendimento das causas de deslizamentos é de suma importância, fenômeno provocado pelo escorregamento de materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e construção ao longo de encostas, ocasionando inúmeros impactos socioeconômicos no local desses eventos.

O crescimento da população está cada vez mais acelerado, devido a isso e, a desigualdade social, a ocupação de áreas de risco para habitação humana (morros) faz parte do cotidiano da população desassistida pelo poder público, com isso, observa-se mais pessoas convivendo diariamente com essa problemática que não só pode causar danos materiais, mas perdas de vidas, sendo os deslizamentos entendidos como desastres anunciados por aqueles que

tem quaisquer ligações com o acontecimento.

As intervenções antrópicas para apropriação das áreas de morro provocam problemas na instabilidade do terreno, retirada de vegetação e corte no terreno também são fatores que acentuam o problema. A época de ocorrência dos deslizamentos coincide com o período das chuvas, intensas e prolongadas, visto que as águas escoadas e infiltradas vão desestabilizar as encostas.

No mês de maio de 2022, que houve a tragédia no Recife, verificou-se índice pluviométrico de 786,3 mm, enquanto o normal para o mês seria de 317,1 mm, ou seja, um excedente de 469,2 mm (INMET, 2022). As chuvas somadas as ações antrópicas e a falta de políticas públicas para atender a população menos afortunada, podem ser ditos como potenciais causas para os deslizamentos nas áreas em questão.

A problemática associada a retirada da vegetação é algo que influencia nos deslizamentos, já que deixa o solo mais exposto à infiltração e erosão causados pela precipitação. O processo de erosão hídrica envolve a degradação do solo, transporte e deposição de sedimentos. Essa falta de cobertura também gera uma camada superficial mais desgastada e compacta que facilitará a erosão e o deslizamento do material solto. As plantas também servem para fixar o solo com suas raízes, por isso é indicado que as árvores existentes nos locais de morro sejam preservadas, já que quanto maior sua raiz melhor seu “poder” de fixação.

Segundo o estudo de Souza et al. (2019), os deslizamentos de taludes são um dos principais problemas enfrentados em obras de engenharia civil e mineração. A análise de estabilidade de taludes é um procedimento importante para prevenir e mitigar esses deslizamentos. De acordo com o estudo, a utilização de métodos numéricos, como o Método dos Elementos Finitos (MEF), tem sido uma ferramenta útil para a análise de estabilidade de taludes, permitindo a consideração de diversos fatores que afetam a estabilidade.

Ao fim do trabalho poderemos discutir melhor sobre a relevância da resistência do solo e saber se é possível correlacionar a resistência com os deslizamentos que ocorreram.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Esse estudo será conduzido com o objetivo analisar a variabilidade espacial da resistência do solo em locais de risco de deslizamento de encostas no Recife e sua relação com os eventos identificados na área de monitoramento

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter a variabilidade da resistência do solo em área definida;
- Avaliar a relevância da resistência com os deslizamentos;
- Realizar uma mostra espacial da variabilidade da resistência do solo;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ENSAIO DE SONDAGEM

A sondagem de solo é uma etapa essencial em estudos geotécnicos e projetos de engenharia civil, sendo utilizada para a obtenção de informações detalhadas sobre as características e propriedades do solo em determinado local. No Brasil, a norma NBR 6484 (ABNT, 2020) - "Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento de Solos - Método de Ensaio" é a principal referência técnica para a realização de sondagens de solo, estabelecendo os procedimentos e critérios para a execução dos ensaios e a interpretação dos resultados.

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), a sondagem de simples reconhecimento é classificada em dois tipos: SPT (Standard Penetration Test) e Trado Mecanizado. A escolha do tipo de sondagem a ser executada depende do objetivo do estudo e das características do solo a ser investigado. O SPT é um ensaio de penetração do solo, realizado com um amostrador padrão, que permite a obtenção de informações sobre a resistência do solo e sua estratigrafia. E o Trado Mecanizado são ensaios de coleta de amostras do solo, sendo utilizados para a obtenção de amostras indeformadas para análise de suas características físicas e químicas.

A NBR 6484 (ABNT, 2020) estabelece os procedimentos detalhados para a execução de cada tipo de sondagem, incluindo os equipamentos a serem utilizados, a profundidade de perfuração, a coleta e identificação das amostras de solo, além dos ensaios a serem realizados in situ e em laboratório. A norma também aborda os critérios para a interpretação dos resultados obtidos, incluindo a identificação dos horizontes e camadas de solo, a determinação dos índices de resistência à penetração e a classificação dos solos de acordo com a sua granulometria, plasticidade e outras características.

É importante ressaltar que a sondagem de solo deve ser realizada por profissionais especializados, seguindo rigorosamente as orientações da norma NBR 6484 (ABNT, 2020) e outras normas complementares, visando garantir a confiabilidade dos resultados obtidos e a segurança das obras de engenharia civil. Os dados obtidos por meio da sondagem são fundamentais para o dimensionamento e a análise de estruturas, a definição de técnicas de fundação, a elaboração de projetos de terraplenagem, entre outras aplicações, contribuindo para a tomada de decisões adequadas e a mitigação de riscos em empreendimentos geotécnicos.

3.2 COEFICIENTE DE PEARSON

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida estatística utilizada para avaliar o grau de associação linear entre duas variáveis, sendo amplamente utilizado na análise de dados em engenharia civil. Ele varia de -1 a 1, onde -1 representa uma correlação negativa perfeita, 1 representa uma correlação positiva perfeita e 0 representa nenhuma correlação.

O coeficiente de Pearson é frequentemente utilizado nas engenharias para estudar a relação entre variáveis geotécnicas, hidrológicas, estruturais, entre outras, e auxiliar na tomada de decisões em projetos e obras. Por exemplo, na análise de dados geotécnicos, o coeficiente de Pearson pode ser utilizado para estudar a relação entre a resistência do solo e sua umidade, ou entre a granulometria do solo e sua permeabilidade, possibilitando a compreensão das características do solo e sua influência no comportamento geotécnico.

Além disso, o coeficiente de Pearson pode ser utilizado para analisar a correlação entre variáveis estruturais, como a carga aplicada em uma estrutura e a deformação medida, ou entre a velocidade do vento e as cargas atuantes em uma estrutura, permitindo a compreensão do comportamento estrutural e a avaliação da segurança de uma obra.

Na engenharia geotécnica, ele pode ser utilizado na análise da relação entre a resistência do solo e a inclinação de muros de arrimo, o que pode auxiliar na escolha do tipo de muro mais adequado para uma determinada situação.

Um estudo realizado por Ferreira et al. (2021) utilizou o coeficiente de Pearson para avaliar a relação entre a inclinação do muro de arrimo e a resistência do solo em uma área de talude instável. Os resultados mostraram que a resistência do solo aumentou conforme a inclinação do muro de arrimo diminuiu. Isso indica que, em determinadas situações, a construção de muros de arrimo com inclinação mais suave pode ser mais adequada do que a construção de muros com inclinação mais íngreme.

Outro estudo realizado por Valadão et al. (2017) utilizou o coeficiente de Pearson para avaliar a relação entre a inclinação de muros de arrimo em concreto armado e a deformação do solo em um experimento de laboratório. Os resultados mostraram que a inclinação do muro influenciou significativamente na deformação do solo, o que indica a importância da escolha adequada da inclinação do muro para evitar danos ao solo.

Portanto, o coeficiente de Pearson pode ser uma ferramenta útil para a análise da relação entre a inclinação de muros de arrimo e a resistência do solo, auxiliando na escolha do tipo de

muro mais adequado para uma determinada situação.

É importante ressaltar que a interpretação do coeficiente de Pearson deve ser feita com cautela, levando em consideração outros fatores, como a amostragem, a linearidade da relação entre as variáveis, a presença de outliers, entre outros. Além disso, a correlação não implica necessariamente em relação de causa e efeito, sendo apenas uma medida de associação linear entre as variáveis.

3.3 TALUDES BRASILEIROS EM ÁREAS URBANAS

Os taludes brasileiros que são habitados por pessoas são comumente encontrados em áreas de encostas e morros urbanos, onde ocorre a ocupação humana. Essas áreas são caracterizadas por uma série de desafios relacionados à geologia, geomorfologia, hidrologia e dinâmica de encostas, sendo de extrema importância a compreensão desses aspectos para a realização de projetos e obras seguras.

As características dos taludes habitados podem variar amplamente em função das características geotécnicas do solo e rocha, da declividade do terreno, da presença de água, da vegetação, do uso e ocupação do solo, entre outros fatores. A avaliação desses taludes requer a utilização de metodologias e técnicas específicas, considerando os aspectos geotécnicos, hidrológicos e de estabilidade de encostas.

Segundo a ABGE (2018) estudo e a análise de taludes habitados no Brasil são fundamentais para garantir a segurança e a estabilidade dessas áreas, visando proteger a vida e o patrimônio das comunidades envolvidas. A utilização de normas técnicas e metodologias adequadas é essencial para a correta avaliação e projeto de obras de contenção e estabilização dessas áreas, considerando suas particularidades geotécnicas e hidrológicas.

3.4 IMPORTÂNCIA DA COBERTURA VEGETACIONAL NOS TALUDES

A vegetação é um fator crucial na prevenção de deslizamentos de terra em áreas com declividade, principalmente em Áreas de Preservação Permanente (APP). A cobertura vegetal atua como uma barreira natural que ajuda a reter a água da chuva, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e evitando o transporte de sedimentos para locais abaixo do terreno. Além disso, as raízes das plantas ajudam a estabilizar o solo, melhorando a sua coesão e resistência.

De acordo com o estudo de Carvalho e Correa (2016), a remoção da cobertura vegetal

em áreas de encosta pode resultar em um aumento na velocidade de escoamento superficial e na erosão do solo, levando ao aumento do risco de deslizamentos de terra. Já a pesquisa de Berndtsson et al. (2016) destaca que a vegetação em encostas pode reduzir o risco de deslizamentos em até 50%.

Portanto, a manutenção da cobertura vegetal em áreas com declividade é essencial para prevenir desastres naturais e garantir a segurança da população. É importante destacar que as políticas de preservação ambiental devem ser seguidas e fiscalizadas, a fim de evitar a retirada ilegal da vegetação em APPs e garantir a sua função de proteção e conservação do meio ambiente.

3.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e a ocupação do solo têm um impacto significativo na fragilidade dos solos em taludes, uma vez que a alteração da vegetação natural e a construção de edificações em áreas de declividade podem levar a uma série de problemas, como a compactação do solo, o aumento da erosão e o enfraquecimento da coesão do solo.

Estudos mostram que a urbanização em áreas de declividade aumenta significativamente a susceptibilidade do solo a deslizamentos. Segundo a pesquisa de Fernandes et al. (2017), a urbanização descontrolada em encostas pode alterar a permeabilidade do solo, aumentando a quantidade de água que infiltra no solo, o que pode levar a instabilidade do talude. Além disso, a construção de edificações em áreas impróprias, sem a adoção de medidas de prevenção e estabilização do solo, pode levar a um aumento na pressão sobre o solo, o que contribui para a sua instabilidade.

De acordo com o estudo de Oliveira et al. (2019), a ocupação do solo em áreas de declividade sem o devido planejamento e controle pode levar a uma maior exposição de pessoas e bens a riscos associados a movimentos de massa, como deslizamentos e escorregamentos.

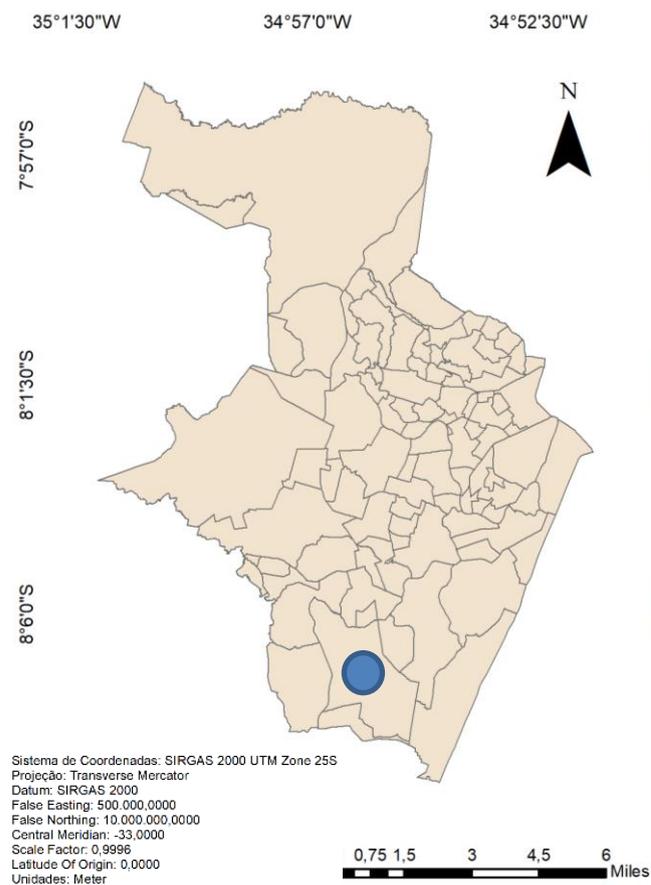
Portanto, é essencial adotar políticas de uso e ocupação do solo que promovam a preservação da vegetação natural em áreas de declividade e a implementação de medidas de prevenção e estabilização do solo em áreas urbanizadas. Isso pode incluir a adoção de técnicas de engenharia geotécnica, como o uso de muros de contenção, drenagem adequada do solo e a adoção de medidas de conservação da vegetação em taludes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na cidade do Recife (8°3'15" S, 34°52'53" W, 7 m) – capital do estado de Pernambuco no Brasil, a qual, segundo Köppen e Geiger, está inserida nas características climáticas AM (Clima Monçônico) (ALVARES, 2013), apresentando pluviosidade anual média de 2200 mm (INMET, 2020) e temperatura média de 25,8°C (RIBEIRO; NASCIMENTO, 2020). A área do projeto (figura 1) foi escolhida devido às tragédias acontecidas no bairro do Ibura, Recife-PE. Mais especificamente foram as encostas das ruas: Pico da bandeira, Monte Paschoal e Chapada do Araripe. Áreas de morro sempre são arriscadas em épocas de chuva, no temporal que foi datado em 28 de maio de 2022 no qual choveu 236,01 mm (INMET, 2022), segundo estudos foi a maior tragédia do século XXI. Os morros da área já eram considerados de risco de acordo com a Defesa Civil de Pernambuco que faz o levantamento e acompanhamento de todas as áreas mais acidentadas do estado.

Figura 01 – Mapa da cidade do Recife, com a área de estudo demarcada.



Fonte: O autor (2023).

Figura 02 – Disposição espacial dos furos de sondagem nas áreas Av. Chapada do Araripe, Rua Monte Pascoal e Rua Pico da Bandeira, respectivamente.

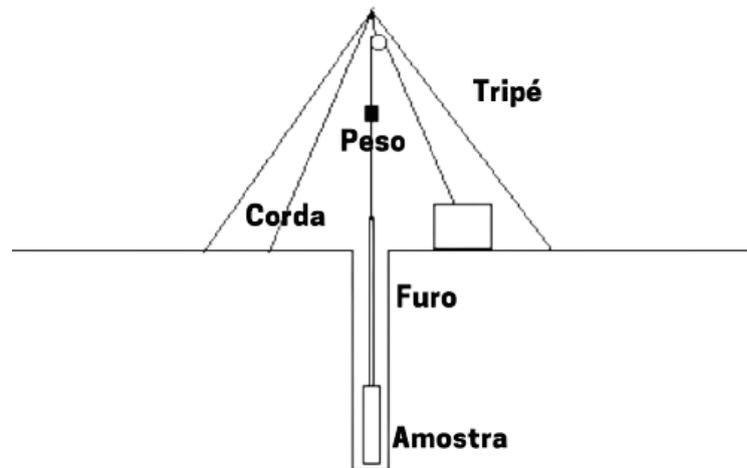


Fonte: O autor (2023).

Foram escolhidos pontos que cobrissem tantos os locais de deslizamento quanto os locais que não deslizaram do mesmo talude para ter uma análise completa do solo do local de estudo. O estudo foi feito através do ensaio de Sondagem a Percussão (SPT).

Para a realização do ensaio de SPT (standard penetration test) ou como é conhecido no Brasil Sondagem a percussão, teve início com as locações dos furos de sondagem que foram feitas no intuito de contemplar e cobrir a maior área possível no talude. Finalizado as locações têm-se a visita técnica para saber se no local tem viabilidade para realizar o ensaio, levando em conta a área, que no mínimo tem que ter 4 m² para abertura do tripé que é peça fundamental para a execução do serviço (figura 03).

Figura 03 – Esquema de como os materiais da sondagem são colocados.



Fonte: NBR 6484 (ANBT, 2020).

Para o estudo em questão foi utilizado os dados obtidos a partir do ensaio de SPT manual, que necessita de materiais específicos que são descritos minuciosamente pela NBR 6484, tais como: tripé (ou torre) com roldanas que podem ser mecanizadas ou não, tubos de revestimento com o diâmetro nominal interno de 63,5 mm podendo ser emendados por luvas, trado deve ter o diâmetro de 100 mm (± 10), trépano de lavagem é constituído por peça de aço terminada em bisel e dotada de duas saídas laterais para água, amostrador padrão com diâmetro externo de 50,8 mm e interno de 34,9 mm (± 2), cabeças de bateria vai receber o impacto direto do martelo, deve ser constituída de aço com 83 mm de diâmetro e 90 mm de altura com uma massa variando de 3 a 4 kg, martelo (ou peso) deve conter uma haste guia de 1,20 m fixada na sua face inferior com um peso de 65 kg (não podendo variar).

O ensaio de SPT manual contabiliza batidas do peso de 65 kg, de uma altura de 75 cm em relação ao tubo de avanço, nos três primeiros 15 cm de cada metro de solo, totalizando um avanço de 45 cm, com essas batidas calcula-se a resistência do solo, associada as amostras que são retiradas do amostrador, que é uma peça fundamental utilizada na hora de bater o peso, para classificar o tipo de solo que está naquele metro de solo, tendo assim uma análise completa do local.

Foram escolhidos 6 pontos em cada talude (Chapada do Araripe, Monte Pascoal e Pico da Bandeira), tabelamos junto com o SPT e com o valor da Tensão admissível.

Utilizando o coeficiente de Correlações de Pearson, na qual a matriz de correlação mede o grau de relação linear entre cada par de variáveis. Os valores de correlação podem cair entre -1 e +1. Se as duas variáveis tendem a aumentar e diminuir juntas, o valor de correlação é

positivo. Para análise, utilizamos a fórmula plena no Excel para analisar os dados, para assim podermos atestar se existe correlação entre as duas matrizes de variáveis.

Para podermos analisar os dados, os mesmos foram tabelados até uma profundidade comum, que vai até 10 metros. Sabendo que em sua maioria os perfis de solo se mostram arenosos, vamos utilizar as tensões admissíveis para solos arenosos.

4.2 ANÁLISE DE DADOS

4.2.1 Obtenção dos Dados

Para a execução do ensaio seguimos a norma 6484 (ABNT, 2020) da ABNT, que discorre sobre os sistemas de sondagem, que são dois: manual e mecanizado e instrui em como realizar o ensaio de forma correta para que os dados possam ter validade em estudos de solo. No presente trabalho, foi utilizado o sistema de sondagem manual já que a área e o solo em questão possibilitavam realizar esse tipo de ensaio.

Os dados utilizados neste trabalho foram retirados em loco através do ensaio de SPT, que foi realizado por uma equipe treinada e com os equipamentos adequados tudo seguindo a norma que regula e guia o ensaio. Os dados em questão foram filtrados e tratados para poderem ser correlacionados e analisados.

Figura 04 – Ensaio manual de SPT.



Fonte: O autor (2022).

Definidos os pontos, uma equipe de sondagem foi designada para realizar a coleta das amostras e das quantidades de batidas para cada metragem de sondagem, determinada a partir do local de amostragem, se é na crista do talude (a parte mais alta), no centro do talude, ou no pé (parte mais baixa, próxima ao solo). Após a coleta dos dados foi utilizado um software (Excel) para tratar os mesmos e poder gerar boletins de análise de solo (figura 5), que

posteriormente poderão ser utilizados como parâmetro para inúmeros tipos de obra a serem realizadas no local como por exemplo serviços de encostas de taludes, fundação e afins.

Figura 05 – Relatório simples de boletim de sondagem.

AVANÇO REV TC / TH / CA	NÍVEL D'ÁGUA	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	REVESTIMENTO = 63.5 mm	ENSAIO PENETRO- MÉTRICO			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	
				AMOSTRADOR { Ø INTERNO = 34.9 mm Ø EXTERNO = 50.8 mm	1"	2"	3"	30 cm INÍCIA IS	30 cm FINAIS
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL				PESO = 65 kg - ALTURA DE QUEDA = 75 cm	15c	15c	15c		
TC			0,30	ATERRO DE AREIA MÉDIA, COM ENTULHO, MARROM ACINZENTADO					
				AREIA MÉDIA SILTOSA, AMARELA ESCURA	1 15	2 15	1 15	3	3
				POUCA COMPACTA	2 15	4 15	4 15	6	8
			3,10	POUCA COMPACTA	2 15	2 15	3 15	4	5
				MEDIANA, COMPACTA	3 15	4 15	5 15	7	9
				POUCA COMPACTA	3 15	3 15	4 15	6	7
				AREIA FINA A MÉDIA, POUCA SILTOSA, AMARELA CLARA VARIEGADA	2 15	2 15	3 15	4	5
				2 15	4 15	3 15	6	7	

Fonte: O autor (2022).

Um dos métodos de determinar a tensão admissível é relaciona-la com o número de golpes que é dado pelo peso, para isso somamos os 30 cm finais de cada avanço com o martelo para ter a resistência à penetração daquele perfil de solo, tendo isso em vista, podemos usar uma tabela que foi estabelecida por Terzaghi-Peck (tabela 01) para relacionar a consistência do solo com a tensão admissível que pode ser imposta no local.

Tabela 01 – Relação tensão admissível e número de golpes.

Relação entre tensão admissível e número de golpes (SPT)			
Tipo de solo	Consistência	SPT	Tensão admissível (Kg/cm²)
Argila	Muito mole	< 2	< 0,25
	Mole	2 a 4	0,25 a 0,5
	Média	4 a 8	0,5 a 1,0
	Rija	8 a 15	1 a 2
	Muito rija	16 a 30	2 a 4
	Dura	> 30	maior que 4
	Fofa	<= 4	< 1
Areia	Pouco compacta	5 a 10	1 a 2
	Medianamente compacta	11 a 30	2 a 4
	Compacta	31 a 50	4 a 6
	Muito compacta	> 50	> 6

Fonte: NBR 6484 (ABNT, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVENIDA CHAPADA DO ARARIPE

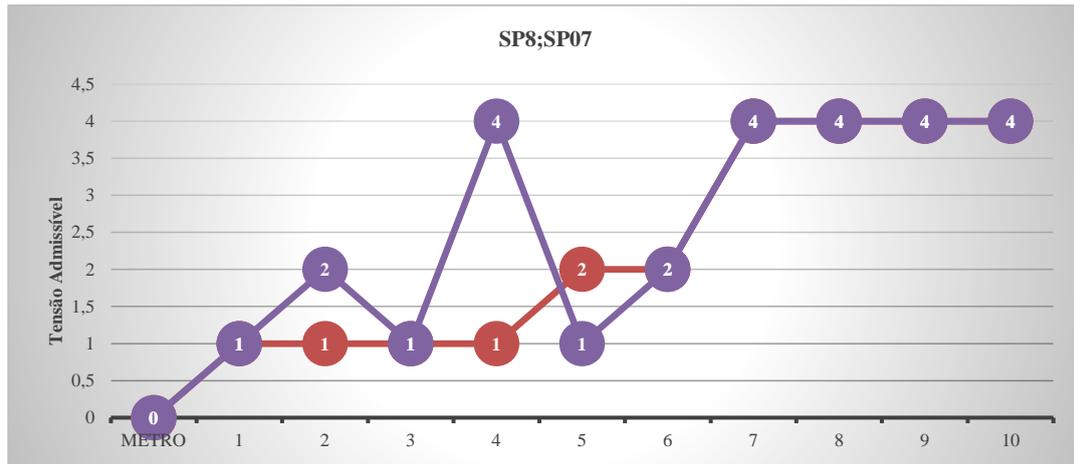
Nas tabelas vemos o valor do SPT final de cada metro e o quanto isso equivale a tensão admissível, que os valores foram estabelecidos por Terzaghi-Peck (tabela 1).

Tabela 2 – Dados dos SPT's SP7 e SP8

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP08	TENSÃO ADMSSP8	SP07	TENSÃO ADMSSP7
1	3	1	2	1
2	2	1	8	2
3	2	1	5	1
4	4	1	12	4
5	5	2	4	1
6	10	2	6	2
7	15	4	13	4
8	12	4	17	4
9	12	4	11	4
10	14	4	16	4

Coefficiente de Pearson: 0,723

Figura 06 – Relação tensão admissível entre os SPT SP8 e SP7.



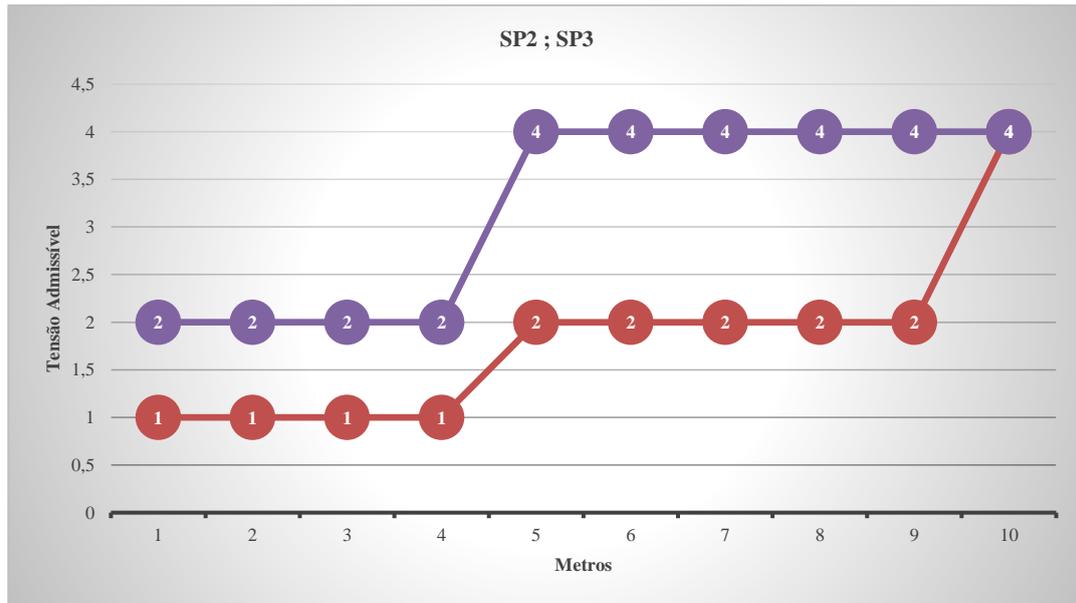
Fonte: Autor (2022)

Tabela 3 – Dados dos SPT's SP2 e SP3

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP02	TENSÃO ADMSSP02	SP03	TENSÃO ADMSSP03
1	3	1	5	2
2	3	1	7	2
3	3	1	5	2
4	4	1	8	2
5	7	2	17	4
6	9	2	22	4
7	6	2	17	4
8	7	2	18	4
9	10	2	20	4
10	15	4	28	4

Coefficiente de Pearson: 0,749

Figura 07 – Relação tensão admissível entre os SPT SP2 e SP3.



Fonte: Autor (2022)

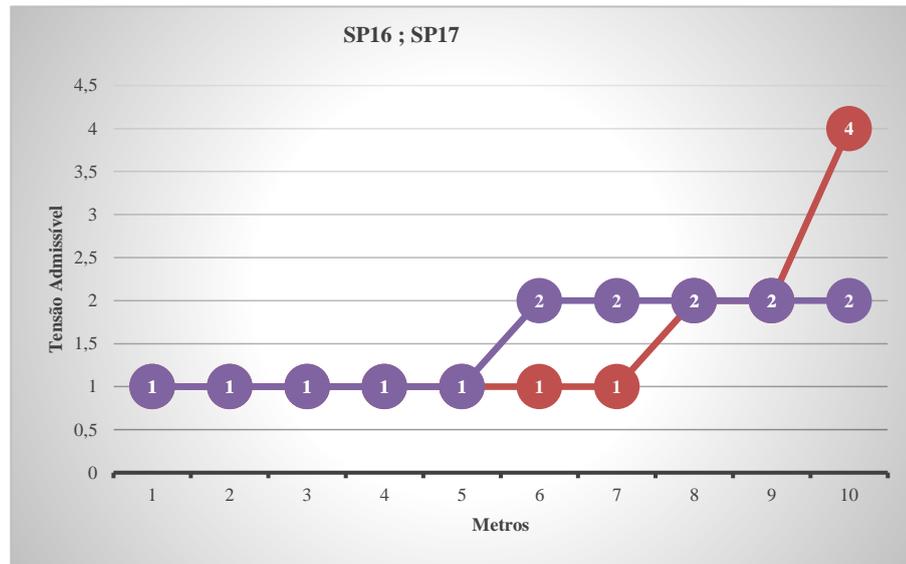
Tabela 4 – Dados dos SPT's SP16 e SP17

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP16	TENSÃO ADMSSP16	SP17	TENSÃO ADMSSP17
1	1	1	1	1
2	1	1	2	1
3	1	1	2	1
4	3	1	4	1
5	2	1	4	1
6	4	1	6	2
7	4	1	6	2
8	5	2	8	2
9	6	2	9	2
10	12	4	7	2

Coefficiente de Pearson: 0,542

Fonte: Autor (2022)

Figura 08 – Relação tensão admissível entre os SPT SP16 e SP17.



Fonte: Autor (2022)

Utilizando os coeficientes de Pearson, nós podemos observar que os pontos da área Chapada do Araripe têm um índice de correlação positivo e significativo (maior que 0,5), mostrando que os dados tem uma progressão linear quando relacionados, mostrando que a cada metro que passa a tendência é que o solo aumente a capacidade de resistir a tensão colocada em cima.

Analisando os dados apenas pela distribuição amostral, podemos perceber que os pontos mais próximos da área de deslize tendem a ter uma menor resistência quando comparados a pontos mais estabilizados, isso pode ser um indicativo para identificar áreas mais suscetíveis a deslizes futuros.

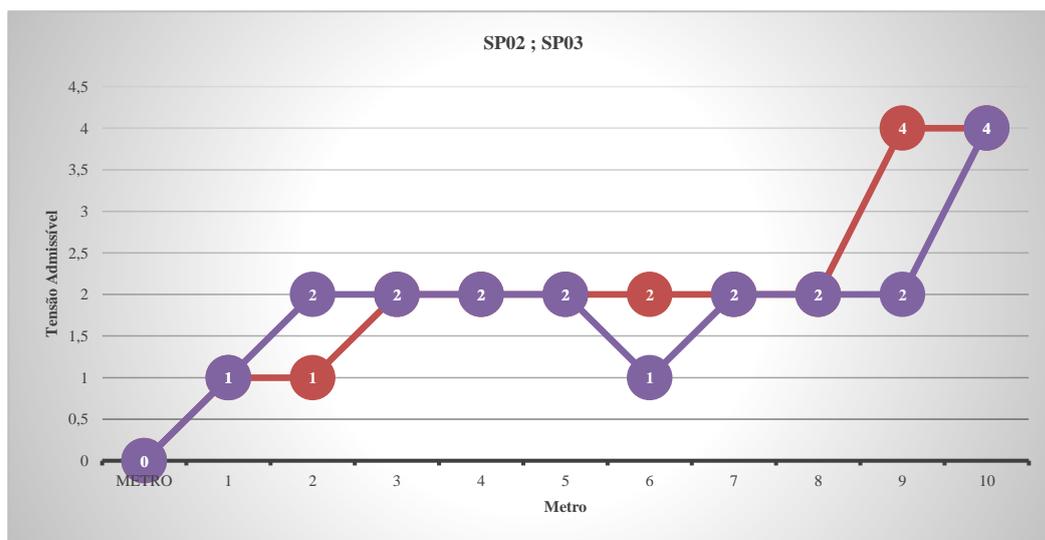
5.2 RUA MONTE PASCOAL

Tabela 5 – Dados dos SPT's SP02 e SP03

	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
Metro	SP02	TENSÃO ADMS	SP03	TENSÃO ADMS2
1	2	1	3	1
2	3	1	5	2
3	6	2	6	2
4	7	2	7	2
5	6	2	5	2
6	8	2	4	1
7	9	2	9	2
8	10	2	10	2
9	15	4	10	2
10	17	4	15	4

Coefficiente de Pearson: 0,658

Figura 09 – Relação tensão admissível entre os SPT SP02 e SP03.



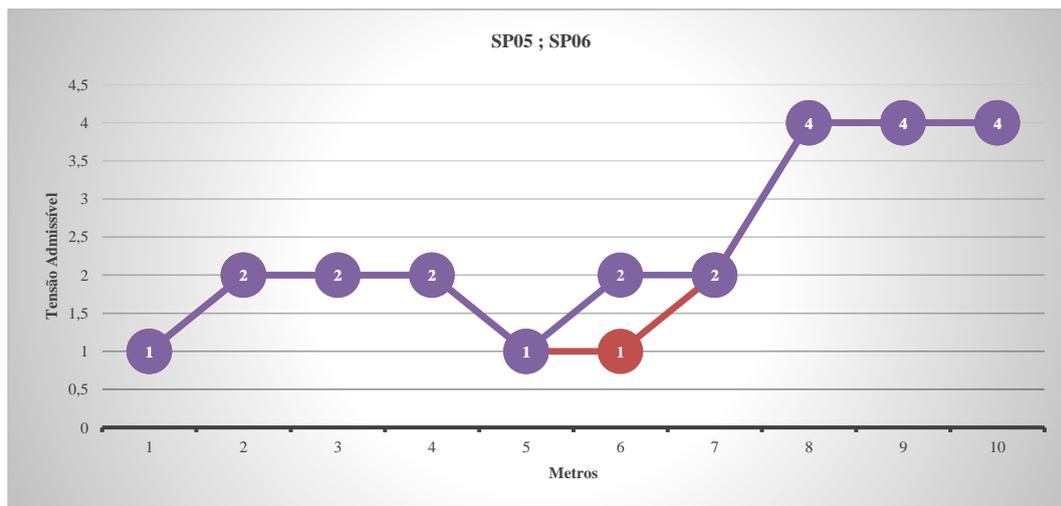
Fonte: Autor (2022)

Tabela 6 – Dados dos SPT's SP05 e SP06

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP05	TENSÃO ADMS	SP06	TENSÃO ADMS2
1	4	1	3	1
2	7	2	6	2
3	6	2	7	2
4	7	2	6	2
5	4	1	4	1
6	4	1	7	2
7	9	2	9	2
8	11	4	11	4
9	10	4	11	4
10	11	4	12	4

Coefficiente de Pearson: 0,968

Figura 10 – Relação tensão admissível entre os SPT SP05 e SP06.



Fonte: Autor (2022)

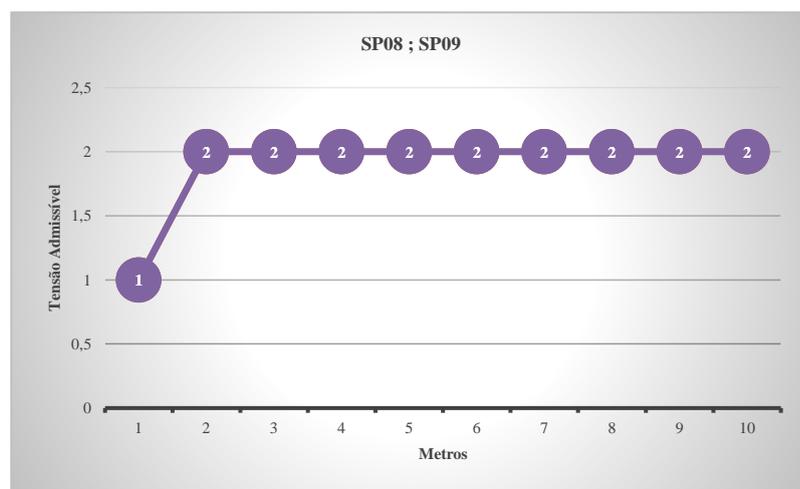
Tabela 7 – Dados dos SPT's SP08 e SP09

	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
Metro	SP08	TENSÃO ADMSSP08	SP09	TENSÃO ADMSSP09
1	4	1	4	1
2	7	2	5	2
3	7	2	8	2
4	8	2	8	2
5	6	2	6	2
6	5	2	6	2
7	6	2	8	2
8	6	2	7	2
9	9	2	8	2
10	10	2	9	2

Coeficiente de Pearson:1,0

Fonte: Autor (2022)

Figura 11 – Relação tensão admissível entre os SPT SP16 e SP17.



Fonte: Autor (2022)

Utilizando os coeficientes de Pearson, nós podemos observar que os pontos da área Monte Pascoal têm índices parecidos com os da Chapada do Araripe sendo positivos e significativos (maior que 0,5), mostrando que os dados tem uma progressão linear quando relacionados, mostrando que a cada metro que passa a tendência é que o solo aumente a capacidade de resistir a tensão colocada em cima.

Porém, diferente da área anterior, os pontos possuem tensões admissíveis muito próximas, mostrando que o solo da área se comporta de maneira uniforme, entretanto não apresenta altos níveis de tensão admissível em seus perfis de solo.

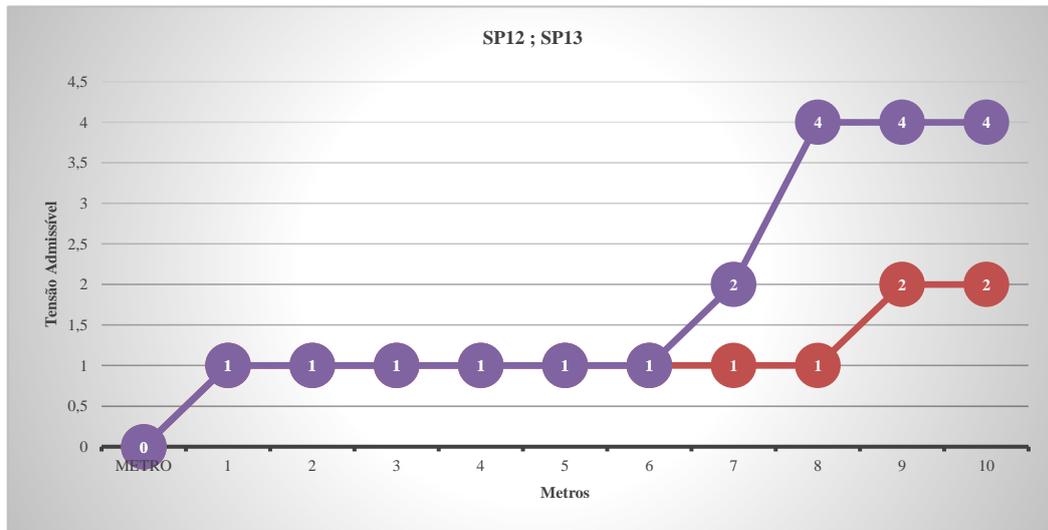
5.3 RUA PICO DA BANDEIRA

Tabela 8 – Dados dos SPT's SP13 e SP12

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP13	TENSÃO ADMS	SP12	TENSÃO ADMS2
1	1	1	2	1
2	1	1	2	1
3	1	1	4	1
4	1	1	4	1
5	2	1	2	1
6	2	1	2	1
7	3	1	9	2
8	4	1	12	4
9	6	2	12	4
10	9	2	11	4

Coeficiente de Pearson: 0,745

Figura 12 – Relação tensão admissível entre os SPT SP12 e SP13.



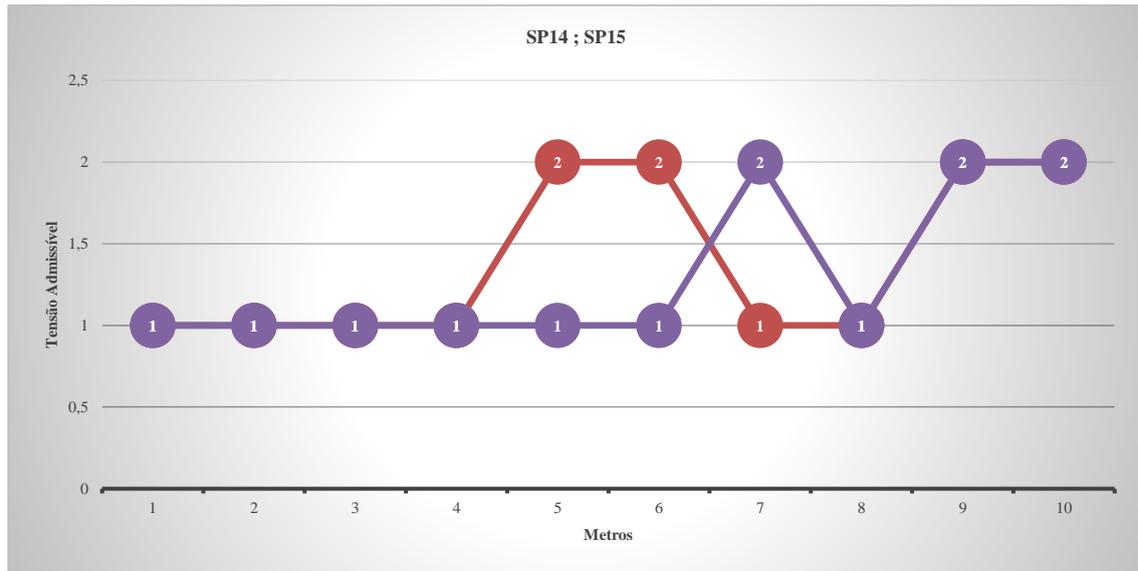
Fonte: Autor (2022)

Tabela 9 – Dados dos SPT's SP14 e SP15

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP14	TENSÃO ADMS	SP15	TENSÃO ADMS2
1	3	1	2	1
2	4	1	3	1
3	2	1	4	1
4	3	1	3	1
5	6	2	3	1
6	5	2	2	1
7	3	1	5	2
8	4	1	3	1
9	5	2	7	2
10	5	2	5	2

Coefficiente de Pearson: 0,356

Figura 13 – Relação tensão admissível entre os SPT SP14 e SP15.



Fonte: Autor (2022)

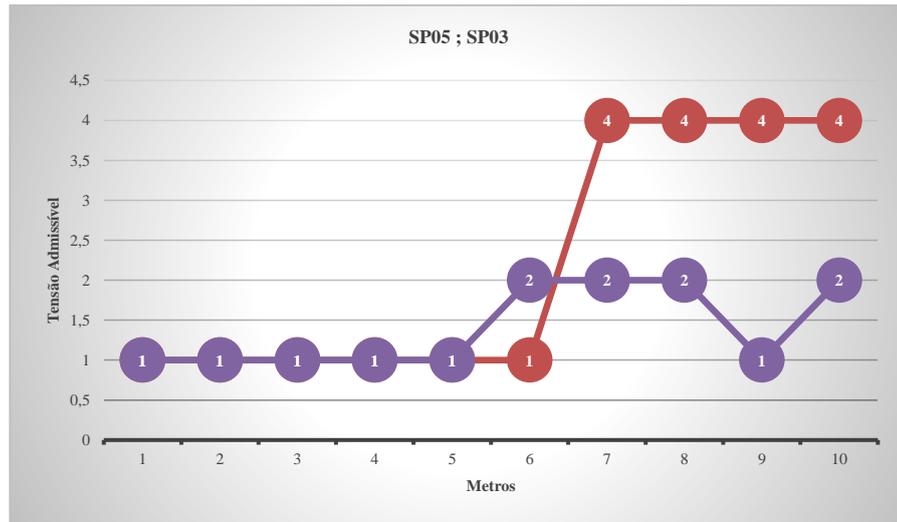
Tabela 10 – Dados dos SPT's SP05 e SP03

Metro	DESLIZOU		NÃO DESLIZOU	
	SP05	TENSÃO ADMS	SP03	TENSÃO ADMS2
1	1	1	2	1
2	1	1	3	1
3	3	1	3	1
4	2	1	2	1
5	4	1	4	1
6	3	1	6	2
7	14	4	7	2
8	19	4	6	2
9	17	4	2	1
10	21	4	8	2

Coefficiente de Pearson: 0,583

Fonte: Autor (2022)

Figura 14 – Relação tensão admissível entre os SPT SP05 e SP03.



Fonte: Autor (2022)

Utilizando os coeficientes de Pearson, observamos que os pontos da área Pico da Bandeira apresentam coeficientes que tem valores menores quando comparados com valores das áreas anteriores, mesmo assim os valores são positivos o que mostra que eles também têm uma progressão linear quando relacionados, mas alguns pontos apresentam disparidades entre si, como os metros finais dos furos SP05 e SP03, onde o ponto mais próximo do deslizamento acaba tendo um valor maior de tensão em locais mais fundos.

Fazendo uma análise visual dos gráficos podemos perceber que os valores são muito próximos e acabam tendo uma disparidade entre si de maneira repentina, isso pode ser explicado até pelos valores do coeficiente de Pearson.

5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Há uma correlação positiva significativa entre as variáveis expostas. Isso sugere que a tensão admissível para sondagem em um talude pode estar relacionada à tensão admissível para sondagem em outro talude que apresentou deslizamento. Isso pode indicar que esses taludes estão localizados em regiões com características geotécnicas semelhantes ou influenciadas por condições geológicas regionais.

É importante ressaltar que os deslizamentos podem estar relacionados a diversos fatores, como a instabilidade do solo, a declividade do terreno, a erosão, entre outros, e que a análise desses fatores é fundamental para o entendimento das causas dos deslizamentos e para a elaboração de medidas preventivas. Segundo a Defesa Civil de Recife, sabemos que várias casas foram desocupadas por estarem em locais de risco de deslizamento.

Vemos que boa parte dos dados segue uma progressão linear, que pode ser explicado como os dados se comportam, já que cada vez que vamos mais fundo, em relação a metragem, a tensão admissível tende a aumentar. Isso é uma característica normal presente no solo.

Na correlação dos furos SP14 e SP15 que apresentou um coeficiente de Pearson de 0,356, podemos ver que o perfil de solo mais distante do deslize apresenta uma resistência menor do que o ponto mais próximo ao deslize, este efeito pode ser explicado pelo fato de que o ponto que deslizou estava próximo a um perfil de solo com menor resistência e acabou sendo arrastado enquanto isso o ponto mais distante pode estar rodeado de pontos mais resistentes e isso evitou o deslize.

Porém, vemos que as resistências são muito parecidas, tanto nos pontos mais próximos do deslize quanto dos pontos mais distantes, podemos explicar tal ocorrência pela fragilidade daquele solo, por estar sendo usado de forma errada e saturado, o que nos mostra que a área não é muito indicada para moradia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados apresentados podemos afirmar que as áreas estudadas não são propícias para moradia, tendo em vista que há uma fragilidade em seus perfis de solo o que facilita a ocorrência dos deslizamentos.

O solo se mostrou mais fragilizado em locais próximos aos deslizamentos, porém a diferença não é muito grande, demonstrando que o solo na área pesquisada apresenta características geológicas parecidas quando se fala de resistência.

Analisando os dados visualmente podemos concluir que a área não apresenta uma resistência necessária para comportar as moradias que são construídas em cima dos taludes, o que acaba sendo um agravante para os deslizamentos que ocorreram e que podem voltar a ocorrer na área.

Com os dados expostos observa-se que existe uma correlação entre os valores de tensão com os pontos deslizados, já que, em sua maioria, vemos que nos pontos próximos aos deslizamentos os valores de tensão admissível são pequenos mostrando uma resistência mínima.

Recomenda-se uma intervenção dos órgãos públicos responsáveis pela manutenção das áreas, para que possam ser construídas contenções nas encostas visando o bem estar e a segurança dos moradores dos locais estudados.

É recomendado, também, que mais estudos sejam feitos para que os dados possam ser mais precisos e que os projetos de contenção possam ser mais fidedignos à área em questão.

Research and Technology, 8(5), 5303-5313. (2019).

Reichenbach, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. Wiley. (2012)

Associação Brasileira De Geologia De Engenharia E Ambiental (ABGE). **Manual de Encostas: Planejamento, Projeto e Obras**. São Paulo: ABGE, 2018.

Figueiredo, F., Britto, D. and Júnior, J. A. S. "**Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r).**" Revista Política Hoje 18.1 (2009): 115-146.

Carvalho, A. S., & Corrêa, R. S. (2016). **Efeito da vegetação na estabilização de taludes**. Revista Geonorte, 16(58), 88-96.

Berndtsson, M., Persson, M., & Jinno, K. (2016). **Greenery on slopes: benefits and risks**. Natural Hazards, 82(3), 1633-1653.

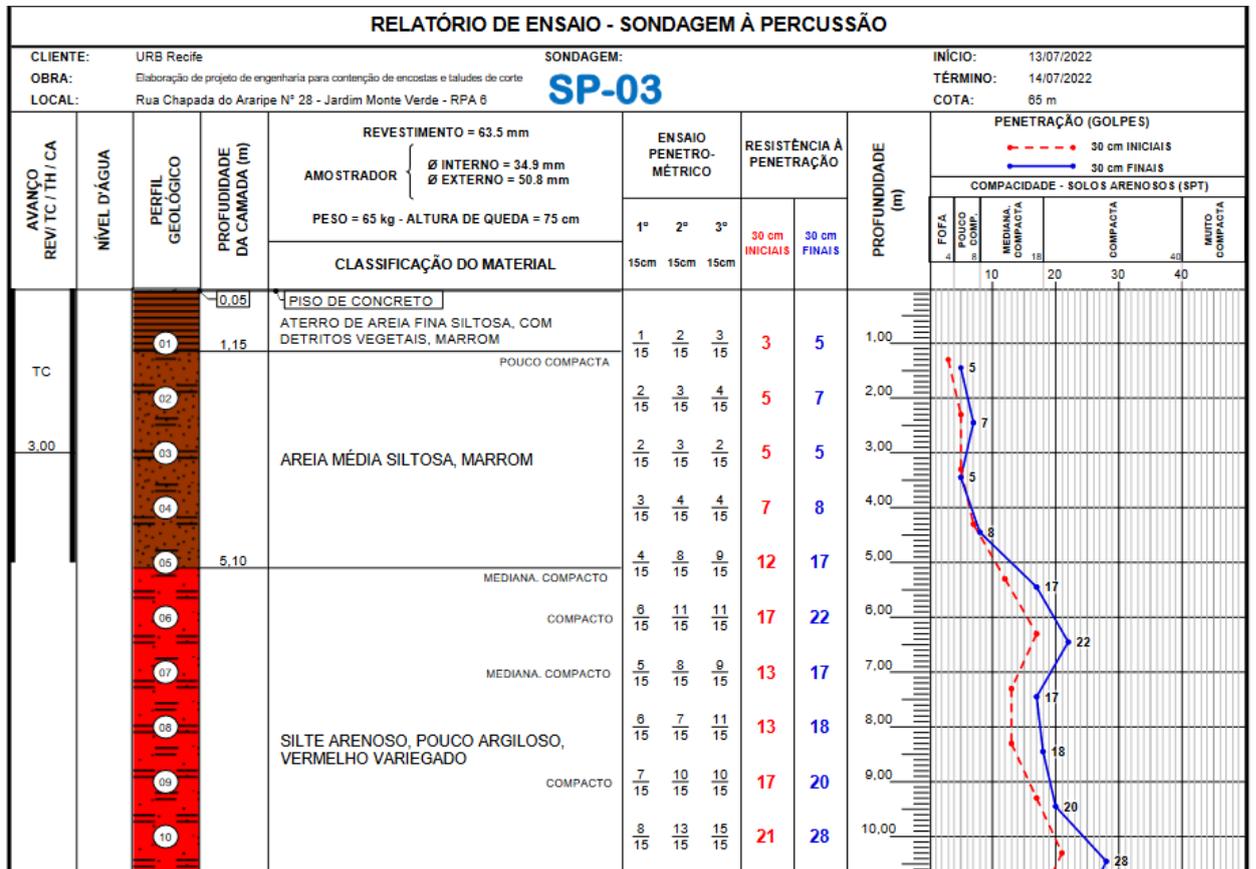
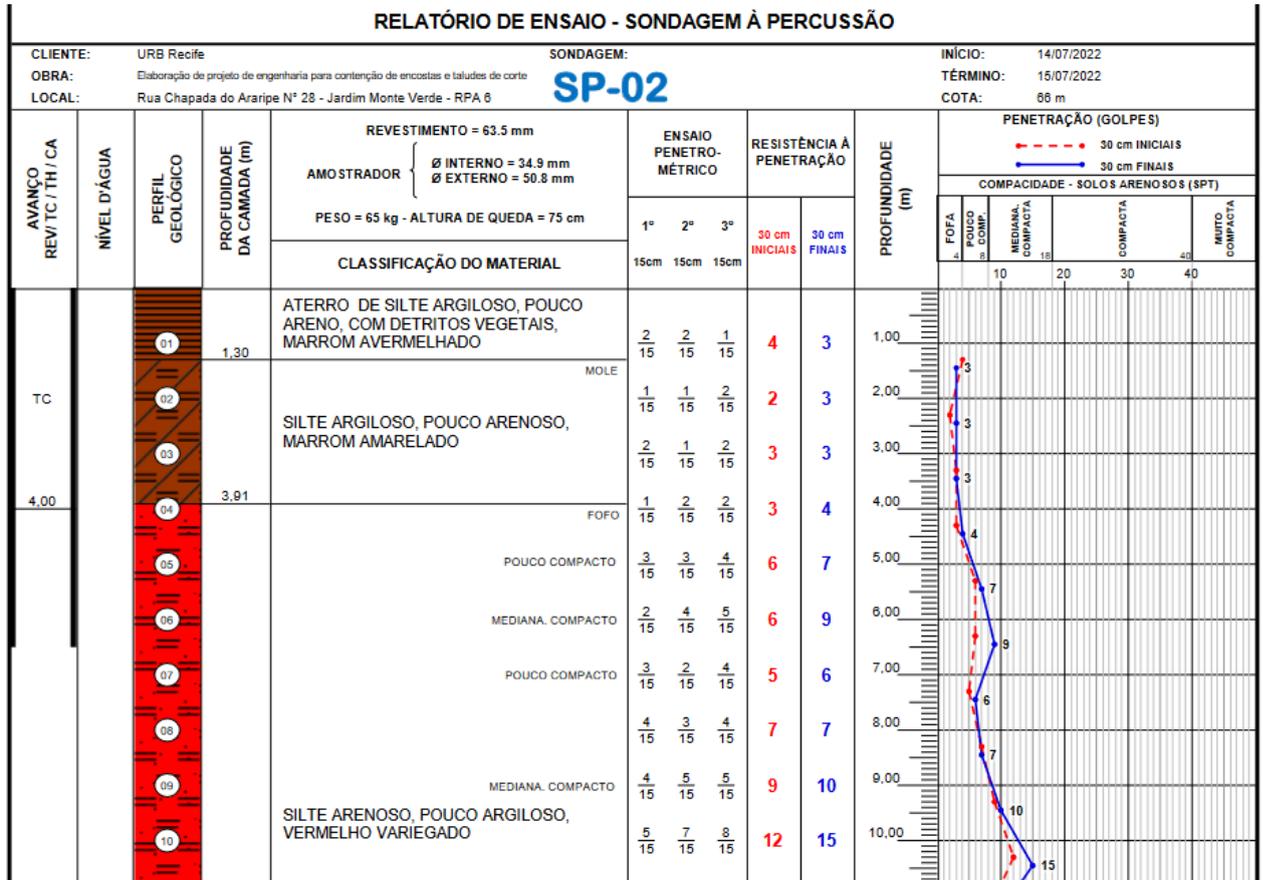
Fernandes, N. F., Mendes, A. L., & Santos, R. M. (2017). **Uso do solo e sua relação com a instabilidade de taludes em áreas urbanas: o caso de São Luís do Maranhão**. Revista Brasileira de Geografia Física, 10(4), 1222-1234.

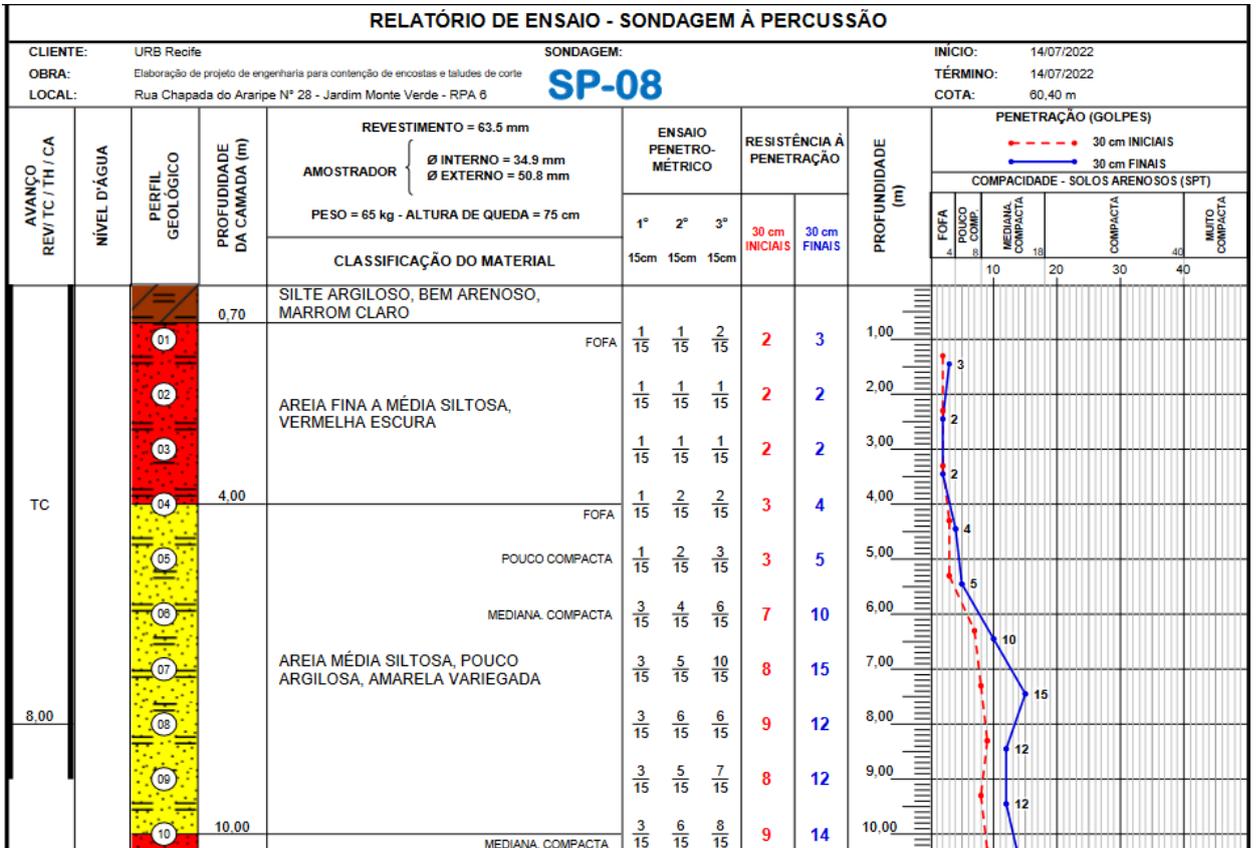
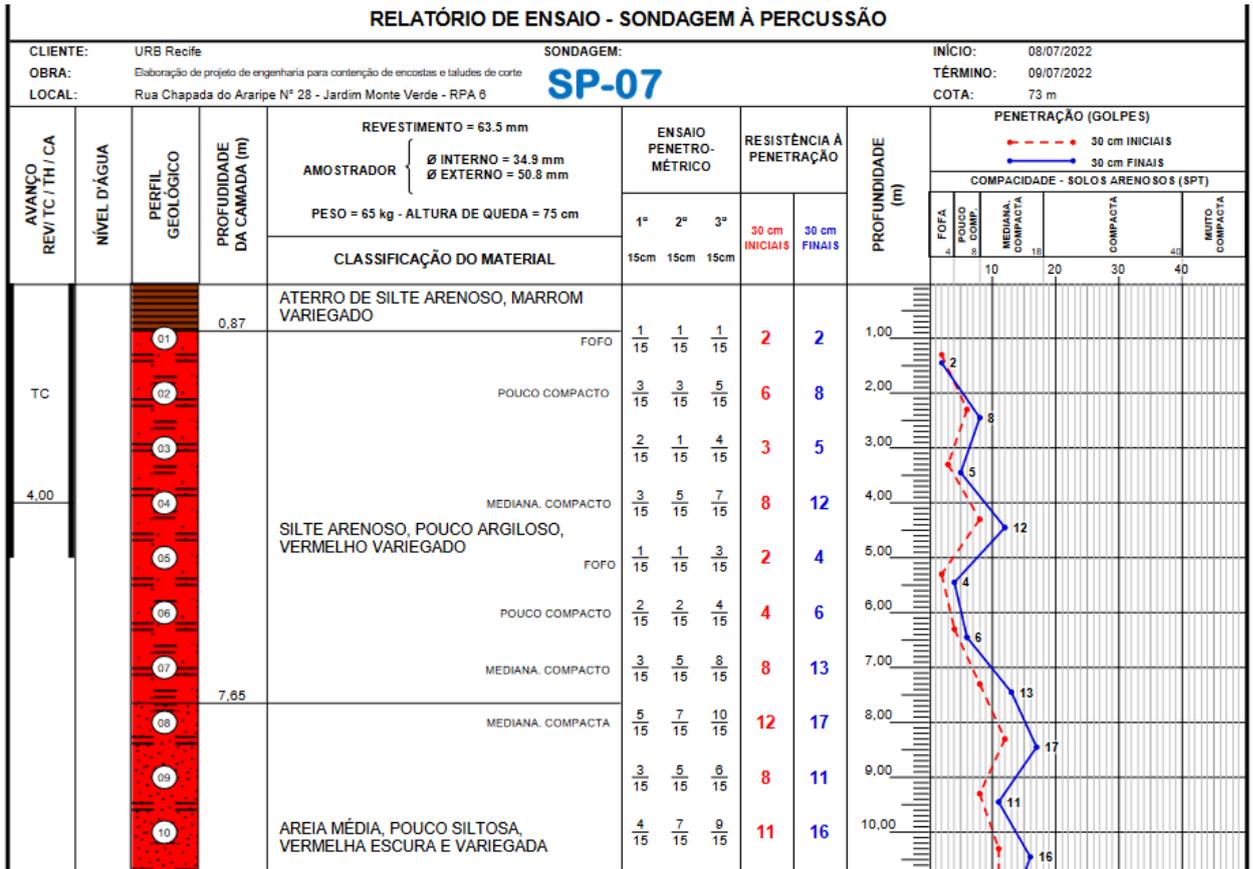
Oliveira, R. M., da Costa, L. M. B., Silva, C. M. S., & de Moraes, I. C. F. (2019). **Avaliação de áreas de risco de deslizamento de solo em ambiente urbano na cidade de João Pessoa-PB**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 20(1), 25-39.

Ferreira, L. H., de Oliveira, E. C., & Costa, R. M. (2021). **Influence of retaining wall inclination on soil strength parameters**. International Journal of GEOMATE, 21(87), 64-71.

Valadão, C. A. A., Horta, L. G., Ferreira, D. F., & Pires, D. M. (2017). **Experimental study of the influence of the inclination of retaining walls on soil deformation**. International Journal of GEOMATE, 12(30), 116-121.

ANEXO I – BOLETINS DE SONDAEM DOS FUROS AV. CHAPADA DO ARARIPE





ANEXO II – BOLETINS DE SONDAÇÃO DOS FUROS RUA MONTE PASCOAL

