



Análise de Estabilidade de Falésias do Chapadão De Pipa – Município de Tibau Do Sul/RN

Gleydson do Nascimento Ferreira da Silva

Graduando Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
gleydson.n@escolar.ifrn.edu.br

Ricardo Nascimento Flores Severo

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
ricardo.severo@ifrn.edu.br

Ênio Fernandes Amorim

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
enio.amorim@ifrn.edu.br

André Luiz Lopes Toledo

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
andre.lopes@ifrn.edu.br

Rubens Diego Fernandes Alves

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
rubens.alves@ifrn.edu.br

RESUMO: O litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte se estende por cerca de 120 km e é caracterizado principalmente por formações arenosas, dunas e falésias ativas compostas por solos pertencentes à Formação Barreiras. Essas falésias podem ser observadas em diversos pontos do estado, incluindo o Chapadão de Pipa, localizado no município de Tibau do Sul/RN. Essa região se destaca pela sua paisagem exuberante. No entanto, o avanço da urbanização, muitas vezes realizado de maneira desordenada, pode comprometer a estabilidade dessas encostas, devido à remoção da cobertura vegetal, aumento da erosão superficial e aplicação de cargas adicionais sobre a camada superficial do terreno. Diante desse cenário, este trabalho tem como foco analisar as condições de estabilidade das falésias situadas no Chapadão de Pipa, com o intuito de propor medidas preventivas e de mitigação voltadas à redução do risco de deslizamentos e outros movimentos de massa. As falésias da área em questão apresentam altura aproximada de 20 metros e inclinação média de 60°, sendo compostas por camadas sedimentares da Formação Barreiras (FB). O topo do Chapadão é um mirante natural onde existe a circulação diária de pessoas e veículos. Para caracterização do maciço, foram realizados ensaios de simples reconhecimento do tipo SPT, ensaios de caracterização e ensaios para determinação das propriedades de resistência mecânica dos solos (Cisalhamento Direto) presentes nas duas camadas identificadas na falésia utilizando amostras do tipo blocos indeformados. As análises de estabilidade foram feitas com o auxílio do software “Slope/W”, da GeoStudio, com base em perfis topográficos representativos da área de estudo. Foram consideradas duas condições distintas: uma com os solos em estado de umidade natural e outra com os solos na condição inundada. Os resultados indicaram que, em condições de não saturação do solo, os Fatores de Segurança ficaram acima do limite mínimo adotado conforme condições previstas na NBR 11.682 - estabilidade de encostas. Por outro lado, na condição de inundação dos solos, os valores obtidos ficaram abaixo de 1,5, indicando maior suscetibilidade aos deslizamentos do tipo superfície circular.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Estabilidade de Falésias Urbanas; Propriedades Geotécnicas; Formação Barreiras.

ABSTRACT The eastern coast of the state of Rio Grande do Norte stretches for approximately 120 km and is characterized primarily by sandy formations, dunes, and active cliffs composed of soils belonging to the Barreiras Formation. These cliffs can be seen in various parts of the state, including the plate of Pipa, located



in the municipality of Tibau do Sul, Rio Grande do Norte. This region is notable for its lush landscape. However, the advancement of urbanization, often carried out in a disorganized manner, can compromise the stability of these slopes due to the removal of vegetation cover, increased surface erosion, and the application of additional loads to the surface layer of the terrain. Given this scenario, this study focuses on analyzing the stability of the cliffs located in the plate of Pipa, with the aim of proposing preventive and mitigation measures aimed at reducing the risk of landslides and other mass movements. The cliffs in the area in question are approximately 20 meters high and have an average slope of 60°, composed of sedimentary layers of the Barreiras Formation (FB). The top of the plate offers a natural viewpoint where people and vehicles pass through daily. To characterize the massif, simple SPT reconnaissance tests, characterization tests, and tests to determine the mechanical strength properties (Direct Shear) of the soils present in the two layers identified on the cliff using undisturbed block samples were performed. Stability analyses were performed using GeoStudio's "Slope/W" software, based on representative topographic profiles of the study area. Two distinct conditions were considered: one with the soil at natural moisture content and the other with the soil in a flooded state. The results indicated that, under non-saturated soil conditions, the Safety Factors were above the minimum limit adopted as per the conditions established in NBR 11.682 (slope stability). On the other hand, under flooded soil conditions, the values obtained were below 1.5, indicating greater susceptibility to circular surface landslides.

KEYWORDS: Stability Analysis of Urban Cliffs; Geotechnical Properties; Barreiras Formation.

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras representam ambientes de constante transformação, moldadas pela interação dinâmica entre processos naturais e ações humanas. Ao longo do tempo, fatores como o regime de marés, a erosão provocada pela chuva e o avanço do nível do mar contribuem para alterar a morfologia dessas regiões. Em paralelo, a crescente ocupação urbana e turística tende a intensificar os impactos sobre esses ambientes, muitas vezes frágeis, que exigem atenção especial quanto ao seu uso e preservação.

No estado do Rio Grande do Norte, a paisagem litorânea é marcada por extensas falésias, dunas e praias de grande valor cênico e ecológico. No município de Tibau do Sul, especialmente na área conhecida como Chapadão de Pipa, essa beleza natural tem atraído intensa atividade turística e expansão urbana nas últimas décadas. No entanto, a ocupação próxima às bordas das falésias, associada à remoção da cobertura vegetal e à ação das chuvas, pode comprometer a estabilidade dessas encostas e aumentar a ocorrência de movimentos de massa.

Diante desse contexto, torna-se fundamental compreender os fatores que influenciam a estabilidade dessas falésias costeiras e os riscos associados à sua ocupação desordenada. O presente estudo busca contribuir com essa compreensão por meio da análise geotécnica das falésias do Chapadão de Pipa, fornecendo subsídios técnicos que possam orientar medidas preventivas e estratégias de planejamento territorial voltadas à redução de riscos e à preservação da integridade ambiental e urbana da região.

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área está localizada na Praia de Pipa, no município de Tibau do Sul-RN, o Chapadão de Pipa é uma imponente formação geológica que se estende por aproximadamente 2,0 km, conectando as praias do Amor e das Minas. Suas falésias avermelhadas, moldadas ao longo do tempo por processos naturais, compõem uma paisagem singular e de grande valor cênico.

O local de estudo comprehende as falésias situadas no Chapadão, destacando-se como um dos mirantes naturais mais icônicos da região. (Figura 1).

Nesta área observam-se diferentes tipos de movimentos de massa, evidenciando os efeitos combinados da erosão natural e das intervenções humanas. A erosão marinha, em especial, tem papel relevante, uma vez que a ação constante das ondas na base das falésias contribui para o enfraquecimento estrutural do maciço, resultando em processos como quedas de blocos e deslizamentos superficiais de solo (Figuras 2 e 3).

A Figura 4 apresenta o topo do mirante localizado no Chapadão de Pipa, onde é possível observar marcas evidentes de circulação de veículos sobre a superfície da falésia. Essa presença de tráfego, frequentemente



2025

associado ao uso turístico e à falta de controle no acesso à área, pode representar um fator de risco adicional para a estabilidade do maciço. Na Figura 5 é apresentado o levantamento topográfico planialtimétrico da área com as seções para realização das análises de estabilidade.



Figura 1. Vista do Chapadão de Pipa.
Fonte: Autor, 2024.



Figura 2. Falésias do Chapadão de Pipa.
Fonte: Autor, 2024.



Figura 3. Falésias do Chapadão de Pipa.
Fonte: Autor, 2024.



Figura 4. Topo do Mirante do Chapadão de Pipa.
Fonte: Autor, 2024.

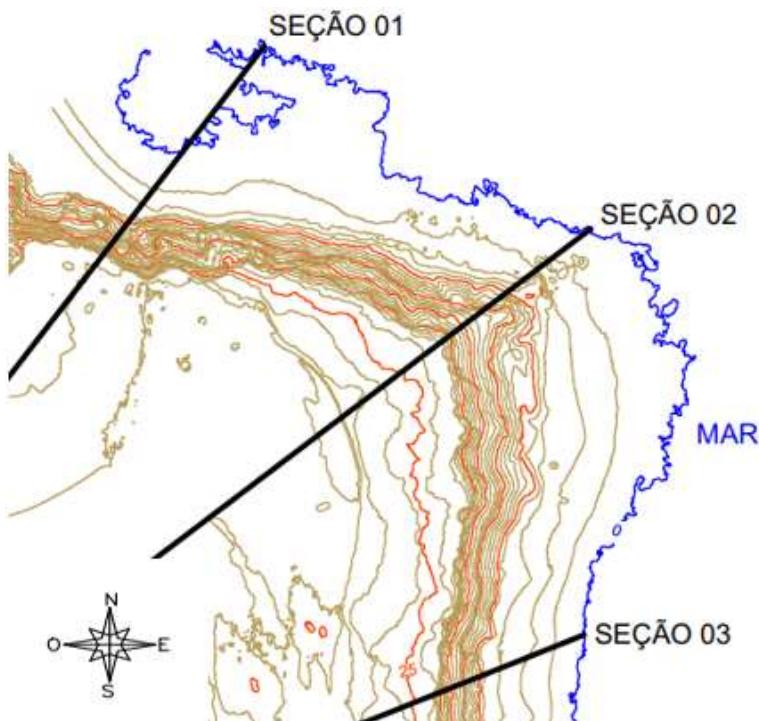


Figura 5. Levantamento Planialtimétrico das Falésias do Chapadão de Pipa. Fonte: Autor, 2024.



3 METODOLOGIA E PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DOS SOLOS

Para a realização deste estudo, foi adotada uma abordagem sistemática, combinando levantamento de dados bibliográficos, investigações de campo e análises geotécnicas. A metodologia foi estruturada em etapas sequenciais, permitindo uma avaliação detalhada da estabilidade das falésias do Chapadão de Pipa. Inicialmente, foram analisadas informações preexistentes, complementadas por reconhecimento in loco e definição de parâmetros geotécnicos dos solos que compõem a falésia. Em seguida, foram estabelecidos critérios para a análise de estabilidade, culminando na obtenção e interpretação dos Fatores de Segurança (FS).

3.1 Parâmetros Geotécnicos dos Solos

A caracterização geotécnica das falésias do Chapadão de Pipa foi realizada com base em observações de campo e em dados da literatura técnica disponível para a região. Foram obtidos os principais parâmetros de resistência ao cisalhamento, além da identificação dos tipos de materiais e da espessura das camadas que compõem a estrutura da falésia. A partir dessas informações, foi possível compreender melhor o comportamento mecânico dos solos sob diferentes condições de umidade e carregamento.

A camada superficial, denominada neste estudo como Solo Topo, é composta predominantemente por argila arenosa. Essa unidade apresenta sensível redução de resistência ao cisalhamento quando saturada, principalmente em decorrência da drenagem pluvial oriunda das áreas urbanizadas e vias pavimentadas próximas à borda das falésias. Segundo Santos Jr. et al. (2008), o fluxo constante de água provoca saturação progressiva, aumento da pressão de poros e transporte de partículas finas, favorecendo a ocorrência de rupturas localizadas, sobretudo em períodos de chuvas intensas. Esse processo contribui para a formação de deslizamentos superficiais e intensifica a erosão na borda da falésia, acelerando o recuo da linha de costa e expondo camadas mais frágeis do Solo Base. Na Figura 6 é apresentada a Sondagem (SPT) Furo SP 01, localizado próximo a boda do Chapadão de Pipa.

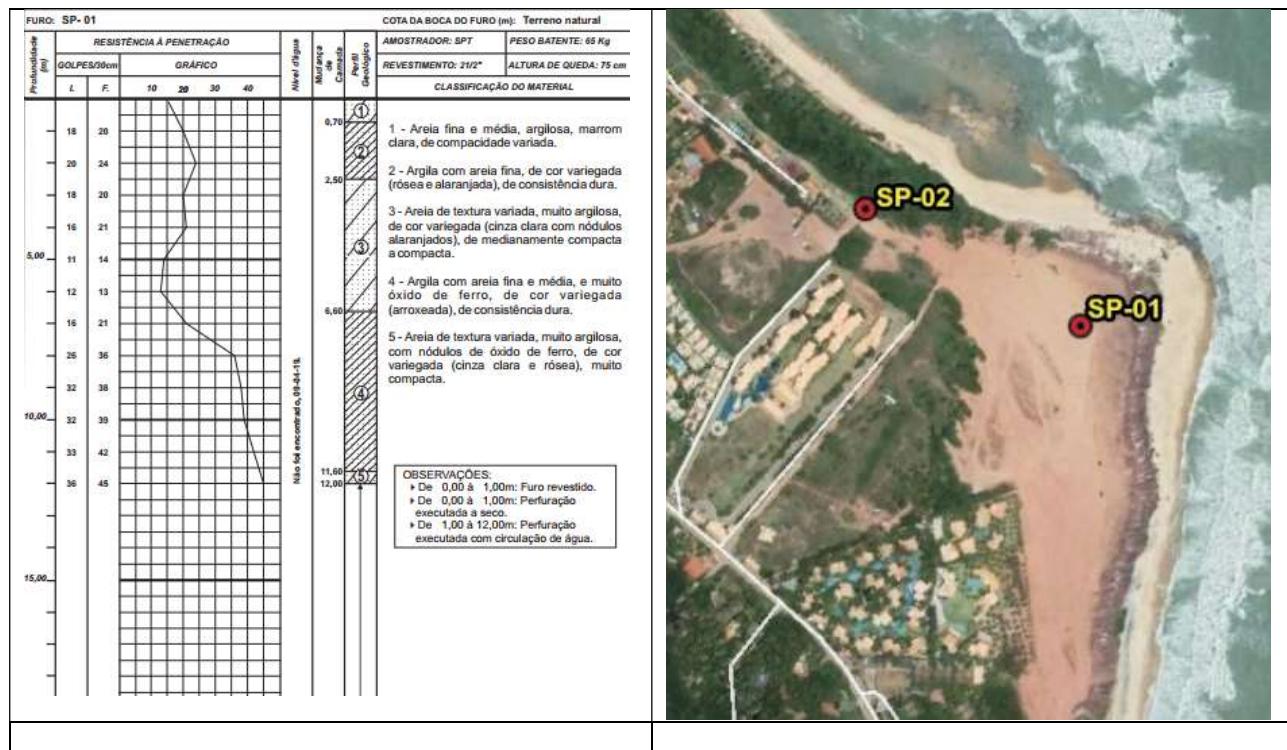
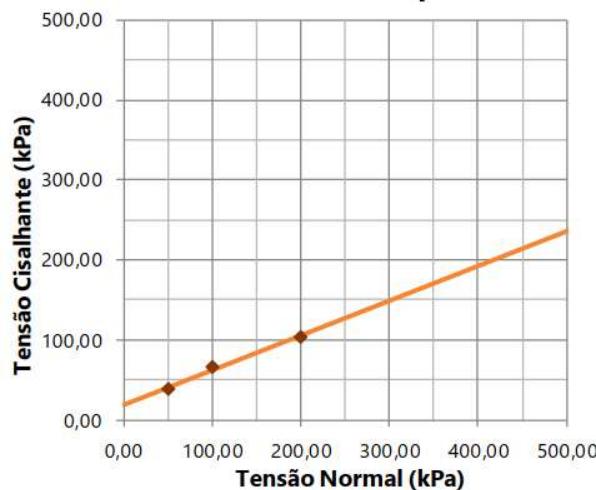


Figura 6. Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT) Furo SP 01 próximo a boda do Chapadão de Pipa.
Fonte: Autor, 2024.

Os parâmetros geotécnicos foram obtidos através de Ensaios de Cisalhamento Direto nas condições inundada e de umidade natural. As envoltórias de resistência dos solos são mostradas nas Figuras 7 e 8 e os parâmetros geotécnicos dos solos são apresentados nas Tabelas 1e 2.



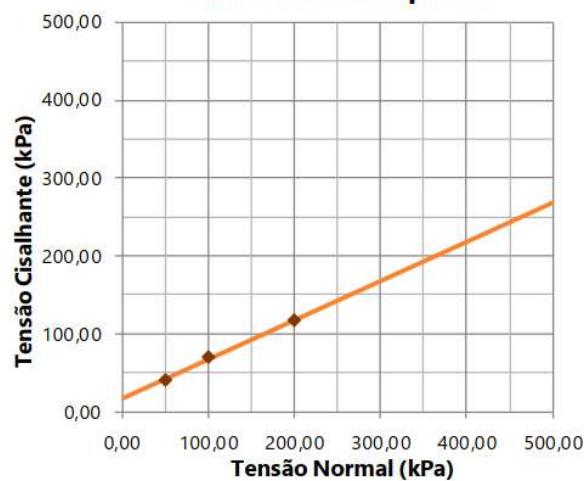
Envoltória de ruptura



$$\phi' = 23,4^\circ \quad c' = 18,8 \text{ kPa}$$

(a) Solo da camada de Topo.

Envoltória de ruptura

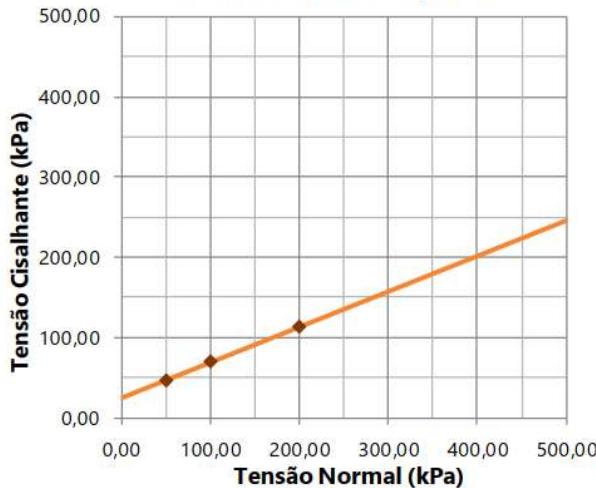


$$\phi' = 26,7^\circ \quad c' = 16,8 \text{ kPa}$$

(b) Solo da camada de Base.

Figura 7. Envoltórias de Resistência obtidas nos Ensaios de Cisalhamento Direto com solos na condição inundada. Fonte: Autor, 2024.

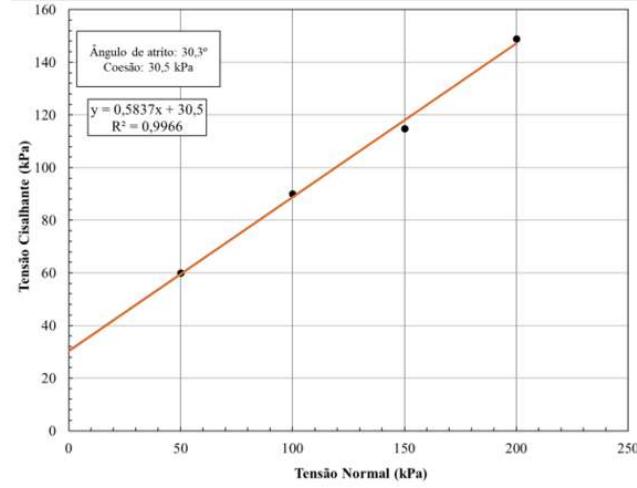
Envoltória de ruptura



$$\phi' = 23,8^\circ \quad c' = 24,6 \text{ kPa}$$

(c) Solo da camada de Topo.

Envoltória de ruptura



$$\phi' = 30,3^\circ \quad c' = 30,5 \text{ kPa}$$

(d) Solo da camada de Base.

Figura 8. Envoltórias de Resistência obtidas nos Ensaios de Cisalhamento Direto com solos na condição de umidade natural. Fonte: Autor, 2024.

Tabela 1. Cisalhamento Direto Solos na Condição Inundada.

Camada	γ (kN/m³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Topo	18	18,8	23,4
Base	19	16,8	26,7

Tabela 2. Cisalhamento Direto Solos na Condição de Umidade Natural

Camada	γ (kN/m³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Topo	16	24,6	23,8
Base	18	30,5	30,3



3.4 Metodologia das Análises de Estabilidade

Diferentes estudos foram realizados nessa área conforme trabalhos de Santos Jr. et al. (2008, 2014 e 2015) e por Severo (2005). Além da ação da água, observa-se que a atividade antrópica na região agrava significativamente o quadro de instabilidade. A circulação frequente de veículos automotores conforme visto na Figura 4 sobre o topo da falésia provoca desagregação do Solo Topo, aumentando sua permeabilidade. A vibração induzida pelo tráfego gera microfissuras, facilitando a infiltração da água e acelerando os processos de instabilidade. A retirada da vegetação natural, associada a essas atividades, elimina um importante agente de contenção do solo e de controle da erosão. Nos trechos onde há ação direta das ondas na base das falésias (incisão basal) são considerados os mais críticos, pois a perda de suporte nessa região inferior favorece deslizamentos de maior porte que alcançam o pé da encosta e áreas adjacentes.

As análises de estabilidade foram realizadas com o emprego do software Slope/W da GeoStudio. A simulação contemplou duas condições distintas do solo: uma com solo na condição inundada e outra com solo na condição de umidade natural (parâmetros dos solos apresentados nas Tabelas 1 e 2). Essa metodologia possibilitou comparar o comportamento do terreno em ambas as condições, oferecendo uma compreensão mais detalhada da avaliação da estabilidade e obtenção dos FS para as duas situações plausíveis de ocorrência no local. Para as análises foram traçados três perfis ao longo da área de estudo conforme mostrado na Figura 9.

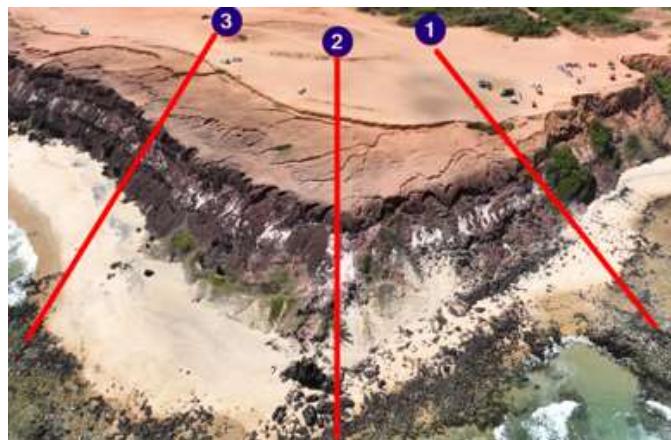


Figura 9. Seções de Análise realizadas no Chapadão de Pipa. Fonte: Autor, 2024.

A partir das análises de estabilidade foram determinados os FS mais críticos para cada perfil analisado e apresentada a superfície potencial de ruptura (SPR). Para os solos em condição de umidade natural foi atribuída uma poropressão (R_u) de 0,25. Além disso, devido à existência de uma grande circulação de automóveis sobre o topo da falésia, foi considerada uma carga de 20 kN/m², equivalente a 2,0 toneladas por metro quadrado, para representar essa condição no modelo.

De acordo com recomendações da Norma Brasileira NBR 11.682 – Estabilidade de Encostas, que trata da estabilidade de taludes e dos FS mínimos para deslizamentos, os taludes em estudo foram considerados estáveis, quando Fatores de Segurança mínimos atingiram 1,3. Esse valor foi definido levando em conta o nível de segurança necessário para evitar danos a vidas humanas, bem como prejuízos materiais e ambientais.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DA ESTABILIDADE DA FALÉSIA

Conforme detalhado anteriormente as análises de estabilidade foram realizadas com o emprego do ferramenta computacional. A simulação contemplou duas condições distintas do solo: uma com solo na condição inundada (utilizando os parâmetros dos ensaios de cisalhamento direto nesta condição) e com a linha freática bem elevada conforme apresentado nas Figuras 10, 12 e 14 e outra com solo na condição de umidade natural (utilizando os parâmetros dos ensaios de cisalhamento direto na condição de umidade natural), sem a presença de linha freática conforme mostrado nas Figuras 11, 13 e 15). Os parâmetros dos solos utilizados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Os resultados das análises de estabilidade são mostrados nas Figura 10 a 15 e apresentados na Tabela 03.



2025

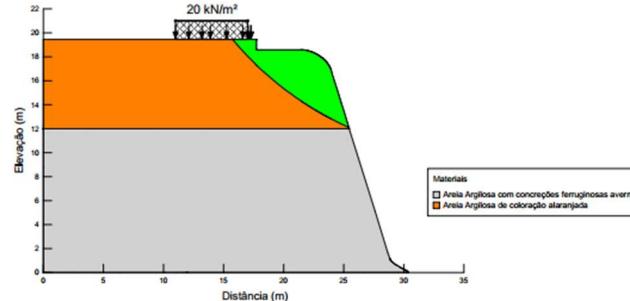
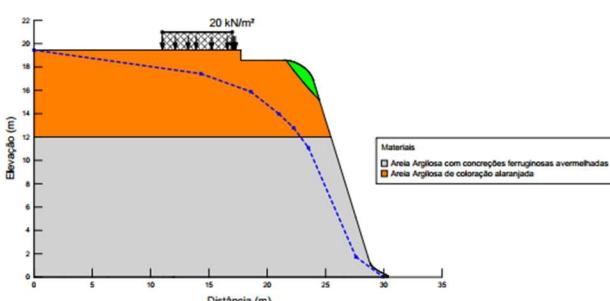
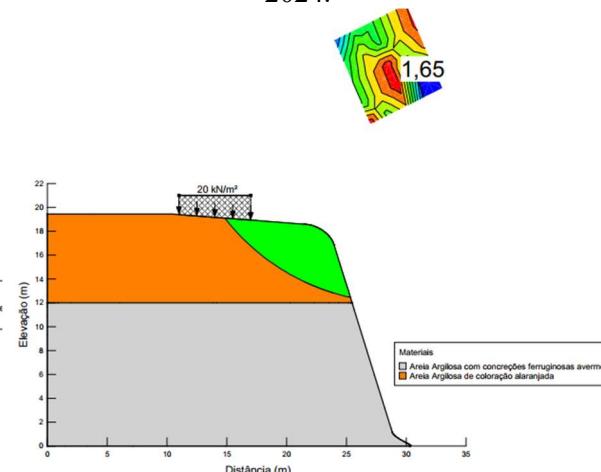
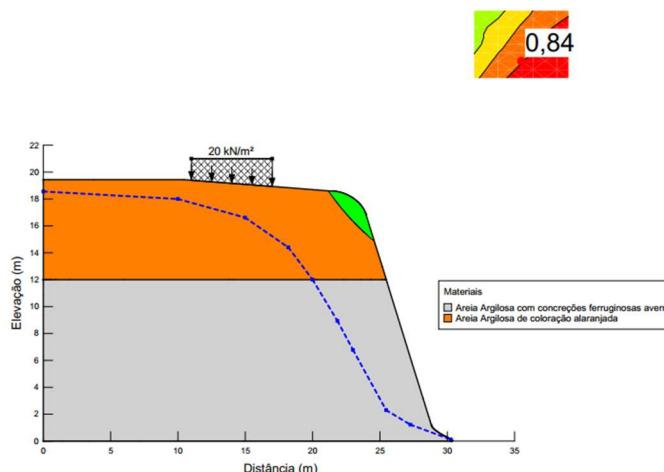
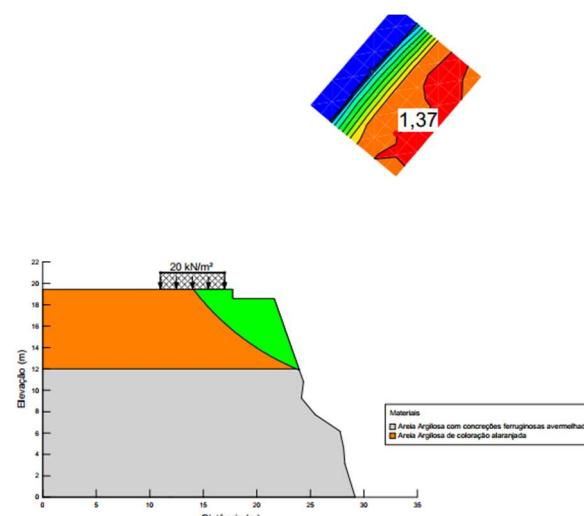
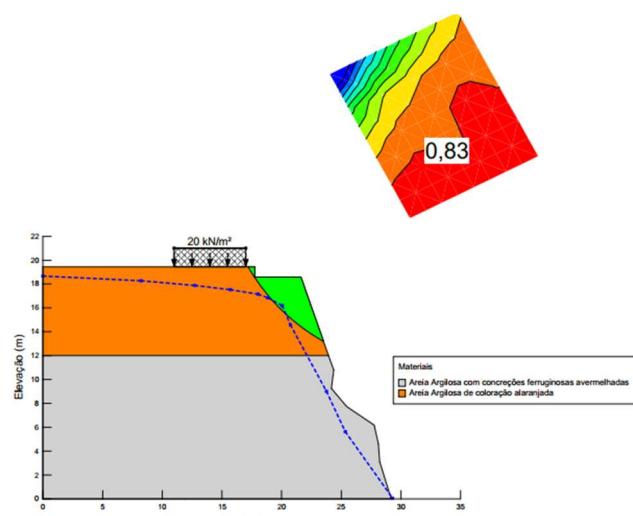




Tabela 3. Resultados Fatores de Segurança (FS) das falésias da Praia do Madeiro.

Seção	FS Solos Saturados	FS Solos NÃO Saturados
01	0,83	1,37
02	0,84	1,65
03	0,87	1,58

A partir das análises de estabilidade dos taludes das seções 1, 2 e 3, representativos das falésias do Chapadão de Pipa, observa-se que os solos na umidade natural apresentam FS maiores do que o mínimo recomendável ($FS > 1,3$). No caso dos solos na condição inundada os FS não atendem aos requisitos de segurança recomendados pela citada norma e são menores do que 1,0, indicando uma região instável.

5 CONCLUSÕES

Devido às suas características geológicas e geomorfológica as encostas da região do município de Tibau do Sul-RN, apresentam instabilidade natural, o que exige cuidados especiais para sua utilização. Atualmente, os processos erosivos que ocorrem na região são devidos à precipitação pluvial e erosão marítima basal, tornando as falésias ainda mais vulneráveis a deslizamentos de terra ou quedas de blocos de solo ou rocha arenítica.

As encostas do Chapadão de Pipa apresentam Fatores de Segurança, menores do que o mínimo recomendado pela NBR 11.682 – Estabilidade de Encostas, quando estão com os solos na condição sinundada. Nesse contexto, é essencial adotar medidas imediatas e eficazes para mitigar os riscos de deslizamentos.

Dentre as recomendações, recomenda-se a interdição da área próxima à borda das falésias do Chapadão de Pipa, principalmente para o tráfego de veículos e de pessoal na temporada de chuvas, mantendo uma distância mínima de 30 metros da borda da falésia, pois a combinação de solo saturado e a presença de veículos pode resultar no rompimento do solo com deslizamentos de grandes proporções. Vale destacar que a condição de saturação do solo é rara, pois exige chuvas de grande intensidade e duração, além de condições específicas para infiltração. Na maior parte do ano, o solo permanece na condição de não saturação.

Conclui-se, portanto, que as falésias do Chapadão de Pipa são instáveis e a elaboração e execução de projetos de drenagem e de controle de tráfego nessa área reduzirão a possibilidade de ocorrência de deslizamentos, preservando a beleza cênica da paisagem e minimizando os impactos dos processos erosivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autor. Silva, G. do N. F. da. (2024.) *Análise de Estabilidade de Falésias do Chapadão de Pipa – Município de Tibau do Sul/RN*. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. IFRN. Natal.
- Santos Jr, O. F.; Severo, R. N. F.; Scudelari, A. C.; Amaral, R. F do. (2008). *Processo de Instabilização em Falésias: Estudo de um Caso no Nordeste do Brasil*. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, SPG, ABMS, ABGE. N. 114, p. 71-90.
- Santos Jr., O. F.; Freitas Neto, O. de; Severo, R. N. F.; Scudelari, A. (2014). *Sea cliff stability in Tibau do Sul, Brazil*. Advanced Materials Research, 1065-1069, 540–544.
- Santos Jr, O. F.; Coutinho, R. Q.; Severo, R. N. F. (2015). *Propriedades geotécnicas dos sedimentos da Formação Barreiras no litoral do Rio Grande do Norte - Brasil*. Geotecnia, v. 134, p. 87–108.
- Severo, R. N. F. (2005). *Análise da estabilidade das falésias entre Tibau do Sul e Pipa – RN*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.