

ESTABILIDADE E INSTABILIDADE EM FALÉSIAS COSTEIRAS

Heleriany de Medeiros Madeiros ¹
Rodrigo de Freitas Amorim ²
Daniel Carlos Alves Santos ³
Sílvio Braz de Souza ⁴

INTRODUÇÃO

Em momentos de efervescência e debates acalorados nas ciências naturais, resultado dos eventos climático em fevereiro de 2023 no município de São Sebastião, litoral do estado de São Paulo e em maio de 2024 no Rio Grande do Sul, se faz necessário reflexões teóricas que joguem luz nos processos, como forma de situar os impactos das mudanças climáticas em diferentes contextos geomorfológicos. Resguardadas as devidas proporções, os processos erosivos em áreas costeiras, especialmente em falésias têm despertado o interesse de vários campos científicos para o entendimento da retração em escarpas costeiras e a busca por soluções, especialmente em áreas com usos intensos.

Traz-se à baila, a compreensão de processos erosivos em falésias costeiras ativas tendo por base à teoria do equilíbrio dinâmico proposta por Hack (1960), considerando que as teorias geomorfológicas cujo foco está em uma perspectiva cíclica, os processos e suas respectivas formas operam em intervalos de tempo da ordem de 10^4 anos. Por exemplo, a teoria dos ciclos geográficos de Davis (1899), da pediplanação de King (1953) e da ectplanação, consolidada após os trabalhos do Geomorfológo Julius Büdel entre as décadas de 1950 e 1970, fornecem bases para compreensão de amplas áreas do relevo, sendo pouco efetivas para estudo de dinâmicas em curtas escalas espaço-temporais.

Nesse sentido, o emprego de uma teoria geomorfológica para compreensão dos processos de retração em falésias costeiras ativas, as proposições clássicas são pouco eficientes, dado que os intervalos de tempo para os movimentos de massa nas escarpas são a curto prazo. Por outro lado, o equilíbrio dinâmico, mesmo pela variação da escala temporal, depende de alguns aspectos, tais como a reversibilidade e recorrência, como também as condicionantes e os gatilhos. Assim, em sistemas geomorfológicos, o

¹ Doutoranda em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), profahelerianymedeiros@gmail.com;

² Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), rodrigo.freitas@ufrn.br;

³ Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), danielcarlos472@gmail.com;

⁴ Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), silvio.braz@ufrn.br;

equilíbrio dinâmico sempre irá depender da escala espaço-temporal, como também das particularidades envolvidas na análise (Christofoleti, 1999; Phillips, 2009).

As falésias, enquanto feições geomorfológicas, formam-se como resultado da erosão de suas partes mais altas, apresentando uma série de problemas que, em sua maioria, estão relacionados à sua instabilidade. Em outras palavras, estão em constante processo de reconfiguração, ocorrendo de maneira mais rápida em alguns momentos e mais lenta em outros. Para compreender essa dinâmica, é necessário considerar diversas particularidades, tais como: resistência da rocha que forma a escarpa, a topografia do interior, à exposição às ações das ondas e os efeitos dos processos costeiros que atuam na área, levando a retração da linha de costa (Bird, 2016).

Quanto à estabilidade, há que se considerar, principalmente uma escala temporal que unida a capacidade de recobrimento de solo por vegetação, influencie em seu estado de equilíbrio. O presente estudo visa analisar a estabilidade e a instabilidade das falésias da Praia de Cacimbinhas, localizada no distrito de Pipa, Tibau do Sul - RN. Os objetivos específicos incluem o mapeamento geomorfológico das feições da escarpa e das áreas adjacentes, além da classificação dos setores em áreas de estabilidade e instabilidade.

Para alcançar esses objetivos, foi realizada uma revisão bibliográfica focada em trabalhos que abordam os temas de estabilidade, instabilidade e equilíbrio na geomorfologia costeira. Além disso, utilizou-se imagens obtidas por levantamento aerofotogramétrico com drone para realizar um mapeamento geomorfológico detalhado, processado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas).

ÁREA DE ESTUDO

Situada no município de Tibau do Sul, a Praia de Cacimbinhas localiza-se entre a Praia do Giz (Norte) e Praia do Madeiro (Sul), na área do graben Guaraíras (NW) - Canguaretama (SW), no litoral sul oriental do Rio Grande do Norte (Bezerra, *et al.*, 2001; Moura, *et al.*, 2006). A praia dista da capital do Rio Grande do Norte, Natal, por 82,5 km e tem como principal via de acesso a RN-003, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Essa área é constituída por falésias íngremes modeladas em rochas sedimentares originadas de depósitos eólicos e rochas da Unidade Pós-Barreiras (Formação Potengi) e Formação Barreiras, apresentando falésias com uma intensidade de um *set* de fraturas, com feições de erosão pluvial que se desenvolvem nas discontinuidades da escarpa. Apresentam em sua maioria, coloração avermelhada devido a presença de óxido de ferro (Moura, *et.al*, 2006; Amorim, 2021).

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

O trabalho foi realizado por meio da aplicação direta da teoria do equilíbrio dinâmico proposta por Hack (1960; 1975), na compreensão das condições de estabilidade e instabilidade em um trecho da Falésia de Cacimbinhas, o qual apresenta condições distintas quanto à dinâmica de retrabalho pela ação erosiva de ondas. Para tanto, considerou-se a escarpa costeira como um modelado, que na escala de séculos pode apresentar as seguinte condições: estabilidade (quando a escarpa não está sendo erodida pela ação das ondas e o depósito de sedimentos em sua base está coberto por vegetação arbustiva-arbórea), transitando para instabilidade (quando a escarpa não está sendo erodida pela ação das ondas e o depósito de sedimentos em sua base não está coberto por

vegetação, podendo existir algumas herbáceas) e instável (a erosão está ativa na base da escarpa).

Os dados foram levantados em campo, por meio da descrição geomorfológica de toda a área da escarpa, tanto a porção superior do tabuleiro, quanto inferior da praia. Foi realizado um voo com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), modelo DJI Mini 3 PRO, para geração de um ortomosaico controlado (10 pontos de controle) com sobreposição de 85% e altura de voo com 100 metros, o que resultou em um *Ground Sample Distance* (GSD) de 2 cm e um Modelo Digital de Elevação (MDE).

O processamento das fotografias e a geração do ortomosaico foi realizada no DJI Terra 4.1.0, adotando alta resolução e uniformização da luz, projetando para o Datum SIRGAS 2000 fuso 25 S.

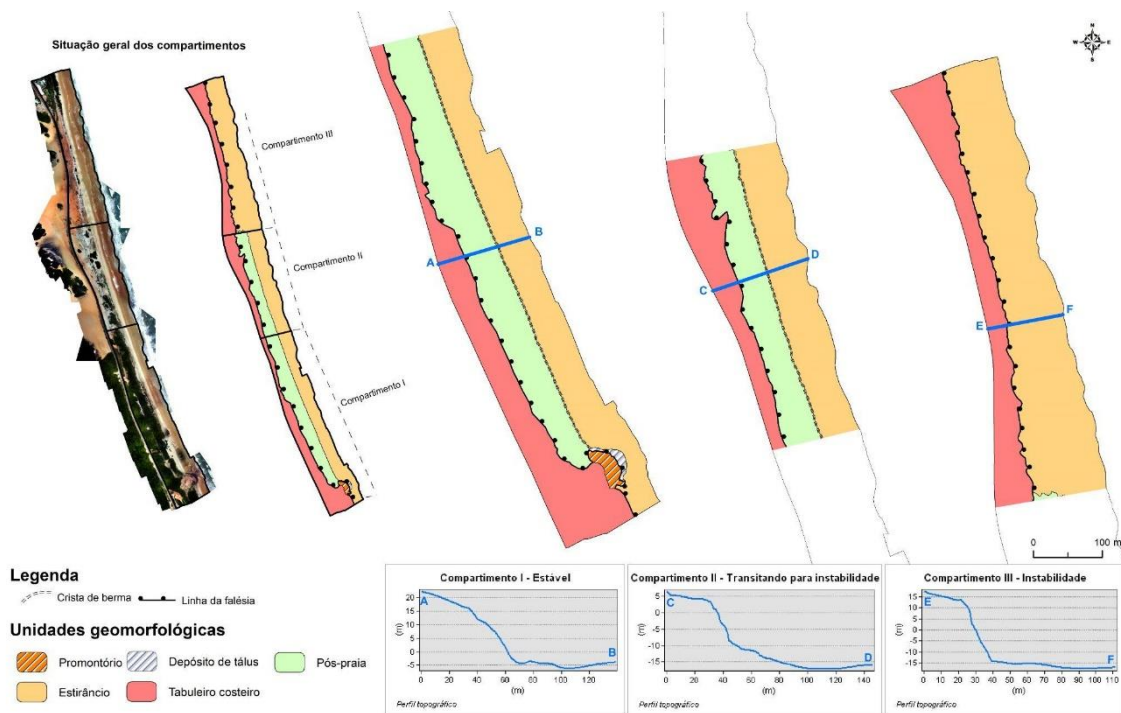
O mapeamento geomorfológico foi realizado com base no MDE e o mosaico aerofotogramétrico, utilizando o ArcGis 10.8.1, licenciado para o Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGe) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. As unidades geomorfológicas, legenda e simbologia tiveram como base o Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema geomorfológico aqui tratado é composto pelas feições costeiras: pós-praia, falésia (ativa e inativa), zona de estirâncio e antepraia, sendo os agentes costeiros mais atuantes na área de estudo, a dinâmica das ondas, as marés e as correntes de deriva. Para este estudo, considerou-se duas variáveis para definir se a praia está em estabilidade, a primeira delas é a deposição de sedimentos, visto que uma praia está em estabilidade quando a quantidade de sedimentos removidos pelas ondas é repostada pela corrente de deriva, em igual volume e em um determinado intervalo de tempo, considerando este último, para a pesquisa, uma escala anual.

A outra variável é a presença de cobertura vegetal, visto que as espécies de plantas também dependem de uma escala temporal e condições ambientais específicas para sua fixação. A área analisada possui 1.850 m de extensão e 248.771,4 m² e foi dividida em 3 (três) setores, sendo eles, o Compartimento I (Estável - Perfil A-B), o Compartimento II (Transitando para estabilidade) e o Compartimento III (Instável) como mostra a Figura 2. Já os parâmetros morfométricos de cada setor podem ser visualizados na Quadro 1.

Figura 2. Compartimentação geomorfológica da Falésia de Cacimbinhas Cacimbinhas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Quadro 1. Parâmetros morfométricos da área de estudo.

Parâmetros Morfométricos	Compartimento I	Compartimento II	Compartimento III
Extensão (m)	771m	438m	641m
Área (m ²)	105.058m ²	62.589m ²	81.123m ²
% da área	42,2%	25,2%	32,6%
Declividade (%)	27,3%	18,7%	35,7%
Altura da falésia (m)	21m	23m	33m
Face da Escarpa Exposta (m)	6m	10m	28m
Unidades Geomorfológicas	Tabuleiro Costeiro, Pós-praia, Crista de berma, Promontório, Depósito de Talus e Estrirâncio.	Tabuleiro Costeiro, Pós-praia, Crista de berma e Estrirâncio.	Tabuleiro Costeiro e Estrirâncio.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

No Compartimento I, a escarpa apresenta 28,5% de face exposta no topo, com toda a base coberta por sedimentos eólicos e coluviais, sobre os quais se desenvolve

vegetação arbórea de Mata Atlântica, conferindo uma condição de estabilidade em relação ao reafeiçoamento por ação marinha. A faixa de pós-praia entre a crista de berma e a linha de falésia representa 14% da área total do compartimento (Quadro 2), conferindo uma condição de equilíbrio no processo dinâmico de retração da escarpa do tabuleiro costeiro.

Quadro 2. Unidades geomorfológicas do Compartimento I.

Unidades Geomorfológicas – Compartimento I	Área (m ²)	%
Tabuleiro Costeiro	30.973,4	12,5
Pós-Praia	34.749,2	14
Promontório	1.375	0,6
Depósito de Tálus	629,1	0,3
Estirâncio	37.331,9	15

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O compartimento II apresenta uma condição de transição para estabilidade, considerando que o depósito de pós-praia entre a crista de berma e a base da falésia não está coberto por vegetação arbustiva e arbórea, denotando que ainda não transcorreu um intervalo de tempo suficiente longo, após o fim da erosão marinha na base da escarpa, para que a vegetação se desenvolva. Um outro aspecto morfométrico pode ser usado como indicador é a transição entre o tabuleiro costeiro e a praia, mais acentuada que o compartimento I e menos que o III. As unidades geomorfológicas identificadas no compartimento estão descritas no Quadro 3.

Quadro 3. Unidades geomorfológicas do Compartimento II.

Unidades Geomorfológicas – Compartimento II	Área (m ²)	%
Tabuleiro Costeiro	12.131,3	6,5
Pós-Praia	20.608,5	8,3
Estirâncio	25.849,9	10,4

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

Por fim, o Setor III, denominado "Compartimento Instável", apresenta uma área onde a escarpa está totalmente exposta, com presença de sedimentos provenientes de erosão. A mudança abrupta no perfil topográfico indica que este setor está sujeito a deslizamentos e a erosão ativa, evidenciando uma movimentação contínua de material e um possível risco para ocupação humana e infraestrutura. As unidades geomorfológicas identificadas neste setor estão descritas no Quadro 4.

Quadro 4. Unidades geomorfológicas do Compartimento III

Unidades Geomorfológicas – Compartimento II	Área (m ²)	%
Tabuleiro Costeiro	24.197,5	9,7
Estirâncio	56.925,6	22,9

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os três compartimentos apresentam aspectos fisiográficos da paisagem distintos (Figura 03), refletindo na dinâmica do ecossistema local com ninhos de tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) ocorrendo nos compartimentos I e II em virtude da existência de depósito arenoso. No compartimento III, em função da ruptura abrupta do relevo há uso como mirantes para fotos e prática de parapente.

Figura 03 Configuração fisiográfica da compartimentação da Falésia de Cacimbinhas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Com base nas análises realizadas percebe-se que a Praia de Cacimbinhas, apresenta três compartimentos geomorfológicos com condições distintas de estabilidade geomorfológica. A estabilidade e a instabilidade são indicadas pela combinação de diferentes fatores: o acúmulo de sedimentos eólicos, a existência de pós-praia entre o estirâncio e a escarpa, a cobertura vegetal do pós-praia e a retração ativa da falésia. No Compartimento I e II, a escarpa compreende uma paleofalésia e no III uma falésia ativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da teoria do equilíbrio dinâmico na análise das escarpas costeiras permite avaliar a dinâmica geomorfológica com base em suas condições de estabilidade e instabilidade, jogando luz em um conjunto de fatores pouco conhecidos quanto ao entendimento do perfil de equilíbrio em áreas costeiras com falésias. Os resultados demonstraram que em uma área com pouco mais de 01 km de extensão é possível encontrar condições distintas quando se busca compreender a estabilidade dos processos.

A ideia de estabilidade, aqui utilizada, compreende um baixo potencial de movimentos de massa, logo abaixo riscos para frequentadores. Por outro lado, a instabilidade demonstra que a escarpa está ativa, elevando o potencial de riscos para pessoas tanto em seu topo, quanto na base da falésia. Os resultados encontrados poderão fornecer suporte às tomadas de decisão no processo de ordenamento do território nas falésias de Cacimbinhas, município de Tibau do Sul-RN e outros trechos de orlas em condições semelhantes.

Palavras-chave: Equilíbrio Dinâmico; Estabilidade, Instabilidade, Falésias.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, R.F. **Diagnóstico e apontamentos de medidas mitigadoras para o contexto de riscos nas falésias de Pipa e Barra de Tabatinga - RN**. Natal, 2021.
- BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 14, p. 61-75, 2001.
- BIRD, E. **Coastal cliffs: morphology and management**. Springer, 2016.
- BRUSDEN, D.; THORNES, J. D. Landscape sensitivity and change. **Transactions of the Institute of British Geographers**. V. 4, n 4. 1979, p. 463-484.
<https://doi.org/10.2307/622210>
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. 2.ed. Rio de Janeiro, IBGE: 2009.
- HACK, J.T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**. Bradley Volume, v.258-A, 1960. p. 80-97. Disponível em: https://earth.geology.yale.edu/~ajs/1960/ajs_258A_11.pdf/80.pdf
- HACK, J. T. Dynamic equilibrium and landscape evolution. In MELHORN, W. N. & Flemal R. C. (Ed.). **Theories of landform development**. New York, 1975. p. 87-102. Disponível em: http://geomorphology.sese.asu.edu/Papers/Hack_1975.pdf.
- MOURA, M.V.M, et.al. Levantamento geofísico com GPR em um campo de dunas eólicas em Tibau do Sul/RN. **Revista de Geologia**, v.19, n.1, 2006. p. 99-108.