



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Evolução geomorfológica recente da falésia de Itapari, São José de Ribamar-MA¹

¹Resultado da pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Piauí (UFPI).

Carlos Henrique Santos da Silva¹, Iracilde Maria Moura Fé Lima²

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Piauí. carlos-henriquess@hotmail.com. ² Professora Doutora do Curso de Graduação e Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí. iracildefelima@ufpi.edu.br.

Artigo recebido em 10/02/2017 e aceito em 15/02/2018

RESUMO

As falésias referem-se a superfícies de forte inclinação, onde a terra elevada se encontra com o mar, correspondendo a uma característica geomorfológica de primeira ordem de significância, porque ocorrem ao longo de cerca de 80% das linhas costeiras do mundo. No município de São José de Ribamar, Maranhão, a zona costeira apresenta um conjunto singular de falésias, dentre elas a de Itapari. A constituição geológica desta forma de relevo é de materiais da Formação Barreiras, sendo altamente suscetíveis à erosão por processos marinhos, provocando desmoronamentos, principalmente durante períodos chuvosos. Tendo em vista que é uma área de crescente ocupação humana, o presente trabalho tem por objetivo conhecer e interpretar como se processa a dinâmica dos processos modeladores da falésia Itapari, responsáveis pela sua evolução geomorfológica associada também à interferência antrópica. O desenvolvimento da pesquisa envolveu a revisão da literatura; trabalhos de campo para a identificação, caracterização e análise da falésia e do uso antrópico da área, através de registro fotográfico, de ficha de campo e determinação de parâmetros de ondas, marés e correntes. A partir dos resultados encontrados, concluiu-se, que os componentes naturais do ambiente são os principais condicionantes dos processos operantes na evolução atual desta falésia, embora seja preocupante a crescente interferência antrópica sobre ela, sobretudo em relação às construções locais e à retirada de materiais que a compõem.

Palavras-chave: Retrogradação da linha de costa. Geomorfologia costeira. Ilha do Maranhão.

Geomorphological evolution of the Itapari cliff, São José de Ribamar-MA

ABSTRACT

The cliffs refer to high slope surfaces, where the elevated land meets the sea, corresponding to a geomorphological feature of the first order of significance, because they occur along about 80% of the world's coastlines. In the municipality of São José de Ribamar, Maranhão, a coastal zone presents a unique set of cliffs, among them Itapari. The geological constitution of this form of relief of materials of the Formação Barreiras, being highly susceptible to erosion by marine processes, provoking landslides, mainly during rainy periods. Considering that it is an area of increasing human occupation, the present work aims to know and interpret how the dynamics of the modeling processes of the Itapari cliff, responsible for its geomorphological evolution, are processed. The development of the research involved the revision of the literature; fieldwork for the identification, characterization and analysis of the cliff and the anthropic use of the area, through photographic record, field record and determination of parameters of waves, tides and currents. From the results found, it was concluded that the natural components of the environment are the main constraints of the operational processes in the current evolution of the cliff, which compose it.

Keywords: Coastline retrograde. Coastal geomorphology. Island of Maranhão.

Introdução

As costas são zonas de interface entre a terra e o mar detentoras de paisagens de grande beleza cênica, podendo apresentar diversificadas variações numa mesma área, o que lhe confere uma complexidade extremamente frágil.

Pode-se afirmar, ainda, que existe grande interesse em conhecer o modo de funcionamento dos ambientes costeiros porque se constituem um laboratório natural que fornece informações relativas à dinâmica de oscilações do nível do mar, tanto em tempos atuais como passados (AB'SABER, 2001). Assim, a análise da paisagem

costeira atual e de sua evolução no tempo geológico permite reconstituir os padrões do nível do mar, bem como entender os fatores intrínsecos e extrínsecos que influenciaram suas mudanças através do tempo. Estudos dessa natureza são cruciais para a correlação de eventos geológicos em escalas locais e regionais, uma vez que a zona costeira responde de imediato à variação no nível de base (Rossetti, 2008).

Além disso, a zona costeira consiste de sistemas deposicionais efêmeros, tanto espacial quanto temporal, o que gera morfologias variadas que estão em constante estado de mudança. Desse modo, a caracterização dos ambientes costeiros atuais e passados, seja em termos geológicos ou geomorfológicos, fornece informações importantes na reconstituição da forma de atuação de diversos eventos, sendo de fundamental importância, não só para a reconstituição da história, mas também como forma de desenvolver possíveis intervenções que minimizem seu impacto negativo para a sociedade atual e as gerações futuras (Rossetti, 2008).

A zona costeira do Estado do Maranhão possui uma extensão de aproximadamente 640 km, estendendo-se no sentido Oeste-Leste. Em função de suas características geoambientais diferenciadas, é compartimentada em Litoral Ocidental, Golfão Maranhense e Litoral Oriental (Feitosa e Trovão, 2006). Apresenta, assim, diversificadas feições geomorfológicas, resultantes de um misto de processos erosivos e deposicionais, próprios da dinâmica do ambiente litorâneo, dentre as quais encontram-se as falésias.

As falésias costeiras são superfícies de forte inclinação, onde a terra elevada se encontra com o mar. Sua gênese está associada a processos geomorfológicos de primeira ordem de significância, que ocorrem ao longo de cerca de 80% das linhas de costas altas de todo o mundo (Emery e Kuhn, 1982).

Bird (1930) assevera que as falésias são feições íngremes, geralmente apresentando mais de 40°, mas frequentemente verticais e, por vezes, cortando encostas em formações rochosas. Elas geralmente recuam como resultado da erosão marinha em sua base, acompanhado pela erosão subaérea da face da falésia (Tradução nossa).

Suguio (1992) afirma que as falésias correspondem a escarpas abruptas, não necessariamente costeiras, com formas variadas sendo, no caso das costeiras, geradas pela ação das ondas sobre as rochas.

Assim, falésia é um termo indistintamente utilizado para designar as formas do relevo litorâneo abruptas ou escarpadas ou, ainda, desnivelamento de igual aspecto no interior do

continente. Deve-se, no entanto, reservá-lo, exclusivamente, para definir tipos de costas nos quais o relevo aparece com fortes abruptos, sendo o trabalho do mar feito pelo solapamento da base, conforme Guerra e Guerra (2008).

Para Christofolletti (1980), a falésia é um ressalto não coberto pela vegetação, com declividade muito acentuada e de alturas variáveis, localizado na linha de contato entre a terra e o mar. À medida que a falésia vai recuando para o continente, amplia-se a superfície erodida pelas ondas que é chamado de terraço de abrasão.

Mesmo com alguma variação conceitual sobre a falésia, todos esses autores consideram a erosão ou abrasão marinha como a principal responsável pelo retrocesso, evolução e configuração das costas, influenciada pelas ondulações e regimes de maré. Tal trabalho de destruição realizado pelas ondas e correntes, pode ser melhor observado nas falésias, onde as ondas carregadas de sedimentos são responsáveis pela erosão na base e eventual movimento de massa e recuo dessas morfologias (Bloom, 1970; Leinz e Amaral, 1989).

As falésias no Maranhão se distribuem preponderantemente em dois setores da zona costeira, no Litoral Ocidental e no Golfão Maranhense. Neste se encontra a Ilha do Maranhão, composta pelos municípios de São Luís (capital), Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar; situados ao Norte desse Estado. Na zona costeira de São José de Ribamar, as falésias ocupam uma grande extensão, formando um arco que funciona como linha de contato entre o continente, a baía de São José e o oceano Atlântico. A falésia de Itapari, objeto do presente trabalho, apresenta-se como uma seção dessa linha da costa com aproximadamente 1,4 km de extensão, e altura que varia de 5 a 30 metros.

Buscando ampliar o conhecimento da morfodinâmica do litoral de São José de Ribamar, estabeleceu-se como objetivo desta pesquisa conhecer e interpretar a dinâmica dos processos modeladores da falésia de Itapari, responsáveis pela sua evolução geomorfológica.

Material e métodos

A metodologia adotada nesta pesquisa utilizou a abordagem sistêmica, tendo em vista que o objeto de estudo apresenta uma evolução resultante da atuação simultânea de processos que envolvem materiais e a atuação sobre eles de agentes naturais continentais e marinhos, além da ação antrópica, formando assim uma unidade temporoespacial.

A abordagem sistêmica nos estudos geográficos possibilita a utilização de uma metodologia que abrange cronologia, métodos quantitativos e atividades humanas, destacando as relações entre as características dos elementos e as relações entre o meio ambiente e as características desses mesmos elementos. Tal abordagem se caracteriza como holística, levando em consideração que os sistemas dinâmicos, complexos e não-lineares abordam a grande diversidade dos elementos, com vários graus de liberdade quanto ao comportamento destes (Guerra e Marçal, 2006).

Para o alcance dos objetivos propostos, o trabalho envolveu as seguintes etapas.

O levantamento da bibliografia foi realizado nas bibliotecas da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Foram feitas consultas em anais de eventos, site, artigos, obras e documentos com dados referentes à especificidade do tema em questão.

Após a delimitação da área de estudo foram realizados 15 (quinze) trabalhos de campo, para reconhecimento da feição e visualização das características morfológicas, geológicas, da dinâmica costeira e do uso e ocupação da falésia. Foram realizados registros através de fotografias e monitoramento da dinâmica da falésia através da técnica de estaqueamento, utilizando-se o GPS (Global Positioning Systems) do tipo Garmim, para georreferenciar a falésia estudada.

A aplicação da ficha de campo consistiu numa importante ferramenta na padronização e organização de informações coletadas, apoiando a sistematização dos dados para a análise da área estudada. Esta ficha foi compartimentada em três partes: caracterização física da área de estudo; Identificação dos processos operantes e uso e ocupação da área.

A determinação de parâmetros de ondas, marés e correntes, foi realizada nos meses de junho, julho, agosto e setembro do ano de 2016 através de observações visuais. A periodicidade, amplitude e tipos de maré predominantes na área de estudo foram realizadas com auxílio da tabua de maré municipal e visualização durante as marés de quadratura e de sizíguas.

Os parâmetros de correntes foram determinados através da observação das ondas, direção de movimentação dos sedimentos (arenitos

ferruginosos), direção da pluma de sedimentos e a direção da praia.

As ondas foram determinadas através de observações e com o auxílio de exercícios, técnicas e aplicações de Muehe (2011). A altura das ondas representa – o parâmetro da energia da onda, sendo fundamental na quantificação dos processos costeiros. A observação foi realizada por estimativa e tirando a média das observações realizadas. Como Período das ondas considerou-se o intervalo do tempo, medido em segundos, para a passagem de duas cristas de ondas sucessivas por um mesmo ponto fixo. Para a determinação do período médio, foram feitas observações a partir da praia, utilizando a zona de arrebenção como ponto fixo, efetuando a contagem de cada onda no momento da arrebenção. Foi cronometrada a passagem de 11 cristas e dividiu-se o resultado por 10 para determinar o seu período. A arrebenção e o ângulo de incidência das ondas foram determinados pela observação *in loco*, levando em consideração a direção da praia, a amplitude da maré e a topografia da plataforma continental.

Resultados e Discussão

A falésia de Itapari se localiza no nordeste do município de São José de Ribamar, a 9,6 km da sede municipal, estando inserida no bairro de Panaquatira, sob as coordenadas 2°30'27" S e 44°01'28" O. Apresenta 1,4 km de comprimento, com altura variando de 5 a 30 metros, onde a ponta continental de Itapari se volta de forma abrupta para o mar.

A complexidade das condições do meio em que esta falésia está inserida, é determinada pelos variados fatores morfogenéticos e morfodinâmicos que a formam resultando num mosaico diversificado de materiais e estruturas sobre os quais os agentes marinhos, continentais e antrópicos modelam e remodelam e as feições locais. Devido a essa complexidade de condições ambientais e as feições resultantes, a falésia de Itapari foi compartimentada em quatro setores, para se obter um melhor entendimento de sua dinâmica (Figura 1). Um exame atento desses setores revelou que ao longo da costa as características relacionadas com as variações na litologia, estratigrafia e estrutura, respondem de forma diferente ao intemperismo e aos processos de erosão.

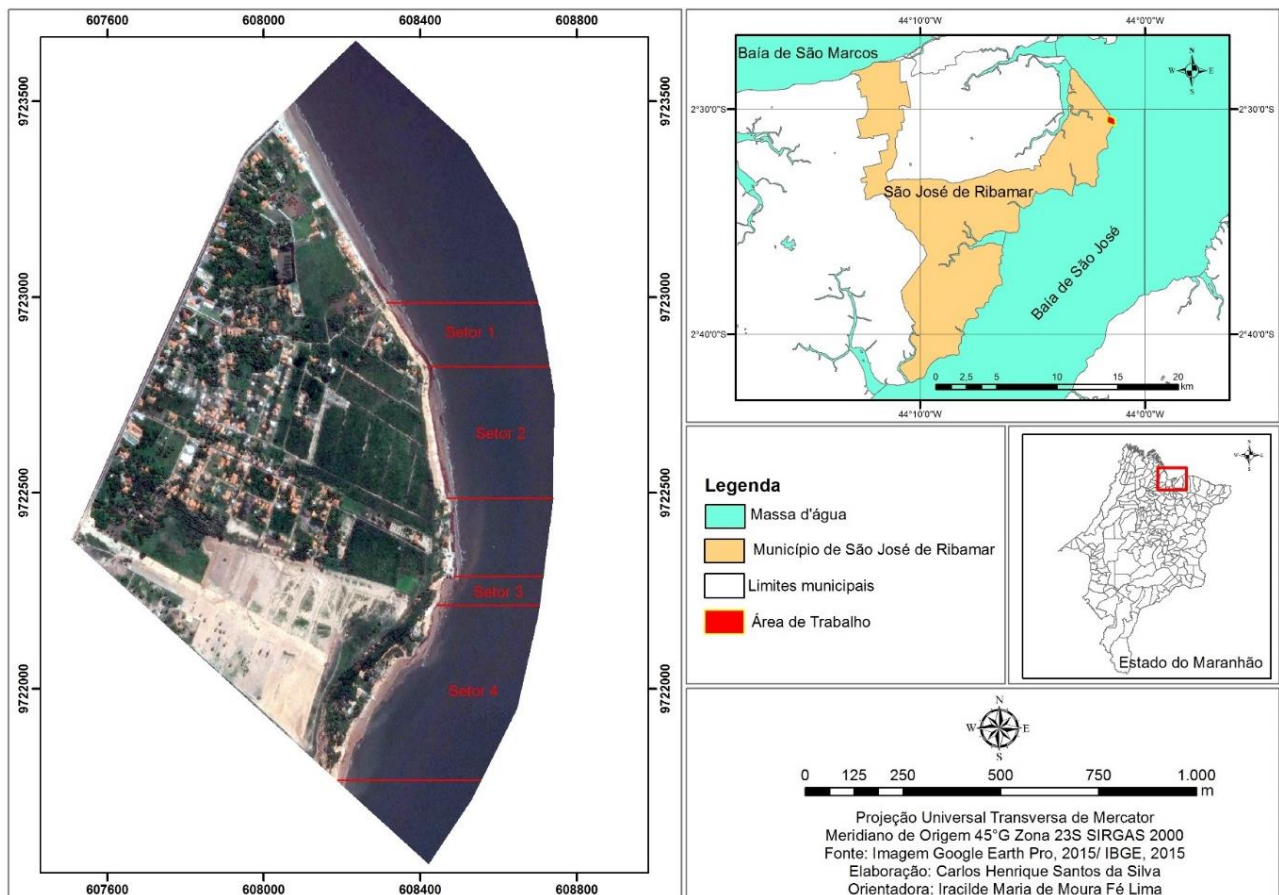


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores (2017), utilizando imagem do Google Earth, 2015.

A falésia de Itapari possui ângulo de inclinação $>$ que 60° , apresentando encosta íngreme, estendendo-se abruptamente da base da falésia à crista, afetada principalmente por influência das ondas e marés e por processos subaéreos. Esta falésia é formada por sedimentos do Grupo Barreiras, do Período Terciário, e por depósitos consolidados mais recentes, ambos modelados pelas intensas oscilações do nível do mar durante o Quaternário. Esta falésia reflete, portanto, a existência de terra relativamente elevada próximo da costa em tempos remotos, como também alterações do nível do mar e sua recessão, devido à erosão costeira mais recente, que vem atuando em combinação com processos subaéreos ao longo de milhares de anos.

Ao analisar os processos e os componentes do sistema de recessão da falésia, torna-se importante descrever seus componentes

morfológicos. Na falésia de Itapari, as características são diferenciadas de acordo com o setor.

No setor 1, há presença de topo, crista, face e terraço de abrasão, enquanto no setor 2 ocorrem essas mesmas feições acrescidas de um depósito de talús que persiste por quase toda a base da falésia. No setor 3 há presença de todos os elementos, excluindo o terraço de abrasão e incluindo o sopé, sendo o setor 4 o que apresenta maior complexidade porque, além dessas feições, apresenta dois patamares, em decorrência da construção e desmoronamento de um muro de arrimo para proteger a falésia contra a erosão, conforme explicação anterior do processo de reprogradação deste setor. Portanto, este último setor apresenta-se em parte do trecho com topo, crista e face e outro trecho com topo, crista, face e sopé acrescido de terraço de abrasão (Figura 2).

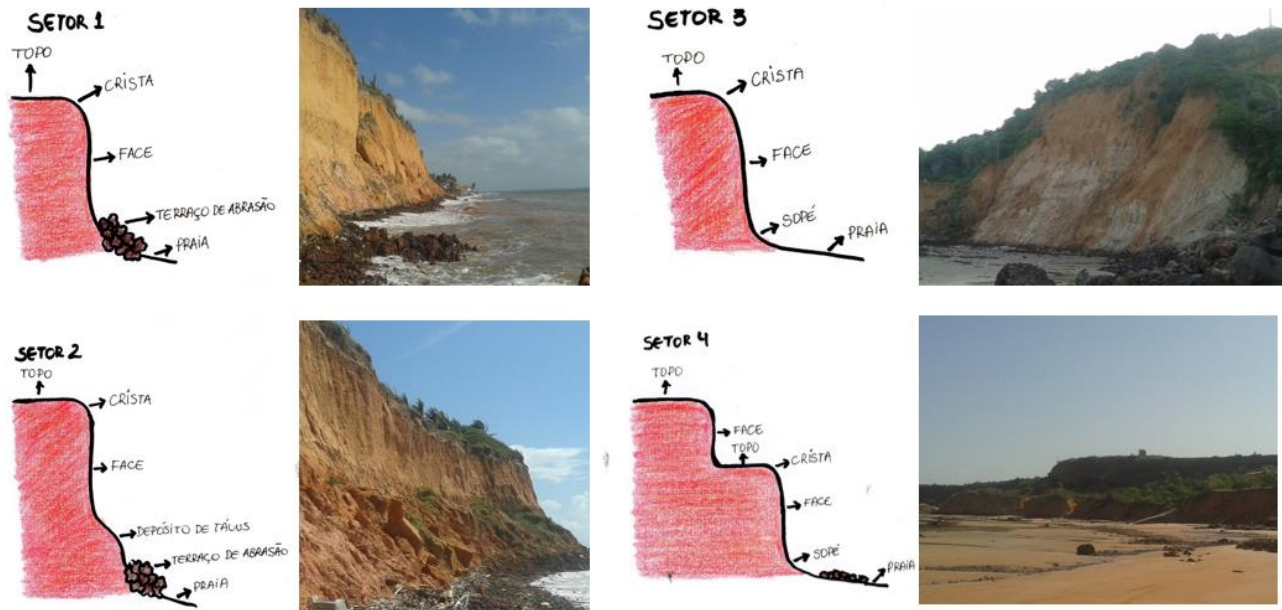


Figura 2. Fotografias e esboços de perfis da Falésia de Itapari. Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Embora seja consenso atribuir a formação de falésias costeiras inteiramente a processos de erosão marinha, processos subaéreos podem ser tão ou mais importantes que eles. A forma da falésia de Itapari, em particular a sua inclinação, está relacionada com a interação de processos marinhos e terrestres.

Assim, a falésia de Itapari é influenciada por diversos fatores sendo os principais a litologia e a estrutura, o clima, e por agentes oceanográficos e biológicos, e seu perfil e as taxas de recessão são determinados pela resistência da rocha e exposição ao intemperismo e erosão. Sua dissecação resulta principalmente na formação terraços de abrasão, sendo este um elemento da falésia. Deslizamentos e quedas de blocos são comuns, decorrentes da erosão subárea e costeira.

A erosão desta falésia segue um modelo cíclico, episódico em sua evolução, seguindo uma

seqüência básica de 4 etapas: (1) desprendimento de grãos, placas, ou blocos da face da falésia; (2) transporte até a superfície inclinada da falésia; (3) deposição na base da falésia, e (4) a remoção de detritos por processos marinhos (Lee, 1997 *apud* National Research Council, 1999).

Este ciclo descrito e representado a seguir se repete normalmente a cada ano (Figura 3): as ondas erodem a base da falésia, escavando-a e tornando-a íngreme. Este desestabiliza a inclinação sobrejacente, fazendo-a entrar em colapso. A acumulação de tálus resultante, que protege temporariamente a base da falésia, é então atacado por ondas. Enquanto isso, a erosão subárea proporciona a diminuição da inclinação da falésia. Uma vez que as ondas atacam o tálus, este é erodido e afastado da base da falésia.

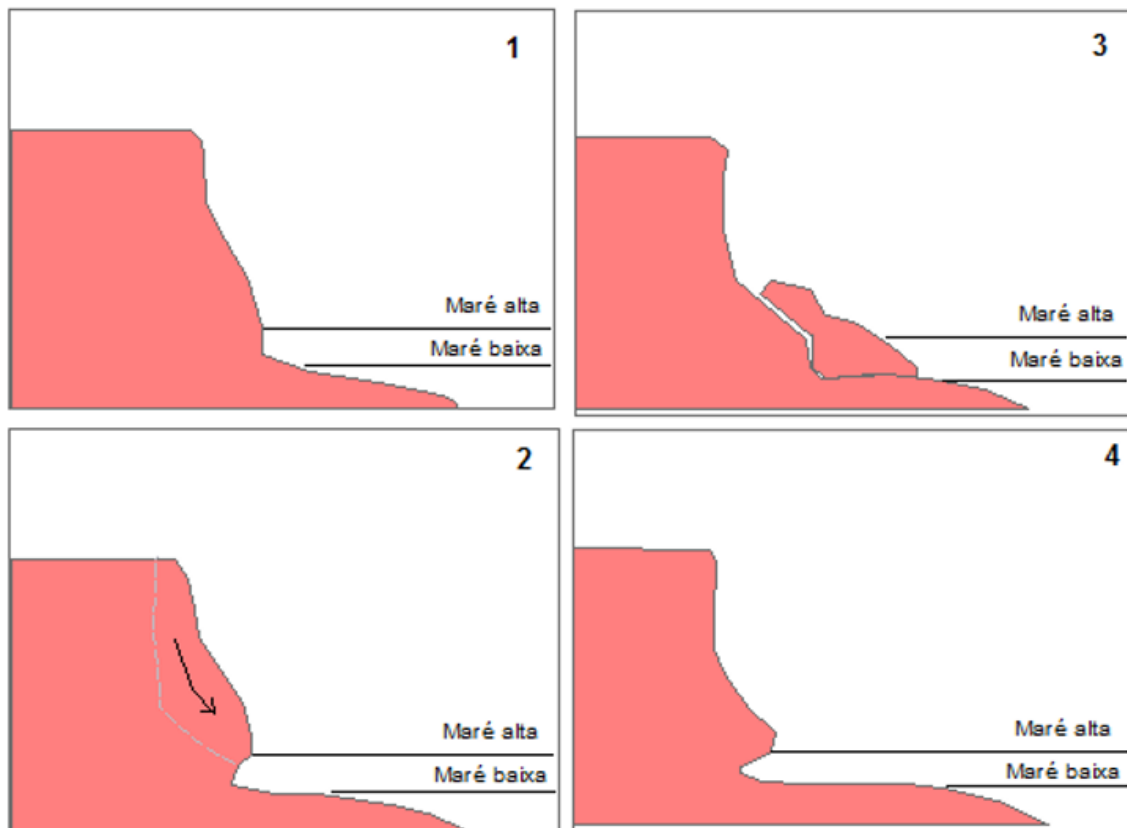


Figura 3. Esboço indicativo da evolução da falésia de Itapari. Fonte: elaborado pelos autores, 2016.

A mecânica da evolução da falésia, de acordo com os fatores que a afetam, pode ser colocado em duas categorias: a "exposição" às forças geológicas e antropogênicas, e a "sensibilidade" do material a essas forças. A exposição se refere à magnitude e frequência das forças destrutivas, tanto marinhas como não marinhas, que agem em materiais costeiras. É função do clima de ondas e precipitação, por exemplo. Susceptibilidade refere-se à resistência passiva dos materiais presentes nas falésias às forças destrutivas, que depende principalmente da resistência do material.

A falésia de Itapari é constituída de duas unidades de fácies: arenosa (A) e pelítica (P)

(Rodrigues et al., 1994). A arenosa é composta principalmente por areias finas a médias, mostrando coloração amarelada, ligadas a presença de goetita, possuindo baixa plasticidade; a pelítica é formada principalmente por arenitos finos e argilas homogêneas e caulínicas, mostrando colorações variegadas, com intervalos avermelhados a vinho, ligadas a presença de hematita, esbranquiçados a rósea e violáceos, possuindo alta plasticidade.

O material friável que constitui a falésia de Itapari é altamente suscetível à erosão por processos marinhos e eólicos, tendo em vista sua litologia pouco consolidada, constituída por arenitos e argilitos (Figura 4).



Figura 4. Fáceis da Formação Barreiras Falésia de Itapari. Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

Concernente a isto, há três tipos de erosão preponderantes que afetam a falésia de Itapari, a primeira é a erosão costeira, processo natural que ocorre ao longo da linha de costa, facilitado pelas ondas, marés e correntes marinhas, provocando a recessão da falésia. Esta é cortada para trás, formando enseadas e terraços de abrasão. A segunda é a erosão subárea, que atinge a face da falésia, ocasionada pelos agentes climáticos, principalmente precipitações e temperaturas. Desencadeia o surgimento de sulcos, ravinas e deslizamento e queda de blocos e, por último, a erosão eólica, provocada pelos ventos, que causa a desagregação e o transporte de partículas de sua face.

As alterações no nível do mar, relacionados a grande amplitude na área de estudo é responsável por alterar a frequência e duração do contato das ondas com a base da falésia, exercendo um controle primário no desenvolvimento e evolução da falésia. O ciclo das marés acima e abaixo do nível médio do mar é um aspecto importante na evolução das falésias, em geral, mesmo na ausência de tempestades.

Na área de estudo, onde as praias antecedem as falésias, as ondas são capazes de atacar as falésias apenas em tempos de maré alta, e quanto mais extrema a elevação da maré, maior o potencial de erosão. Por isso, é de particular interesse as elevações alcançadas pelas marés mais altas, neste caso as marés de sizíguas, produzidas a cada mês pelo alinhamento da Terra, Lua e Sol.

Nessa área as marés são caracterizadas como semi-diurnas, quando então a altura da maré varia aproximadamente duas vezes por dia, seguindo uma periodicidade de 12 horas e 42 minutos. Durante o mês, as variações entre o alinhamento do Sol e da Lua geram grandes marés astronômicas de sizígia (luas nova e cheia) e de quadratura (quartos de Lua). As marés de sizígia são cerca de 20% mais altas (maré alta) e mais baixas (maré baixa) do que as marés de quadratura. A amplitude das marés na praia de Panaquatira corresponde ao regime de mesomarés, quando se apresenta entre 2m e 4 m e por regime de macromarés, quando suas amplitudes são superiores a 4m atingindo a costa. Essa diferença é justificada principalmente pela extensão da plataforma continental que é extensa, onde o contato com oceano atlântico é aberto, se reduzindo sua influência a medida que o influenciador é a baía de São José e, assim, a plataforma neste caso é a responsável pela amplitude de maré na área de estudo.

A erosão da falésia de Itapari é preponderante quando ocorrem as marés de sizíguas, atingindo mais de 5,2 m, principalmente porque os níveis de maré alta são responsáveis por colocar as ondas mais próximas da falésia. Nas medições realizadas durante os meses de junho, julho, agosto e setembro do ano de 2016 observou-se que o setor 1 e 2 da falésia são afetados apenas pelas marés de sizíguas acima de 5,2m, enquanto os outros setores, além de serem afetados de forma mais severa por esta, também são influenciados por

marés de quadratura, menores que 5,2m. Exceção consiste a parte localizada no limiar entre o setor 1 e 2 que se encontra mais protegido por um cinturão de arenitos ferruginosos que chegam a mais de 2 m de altura.

Em períodos de maré baixa, constatou-se que do início do setor 1 para o final do setor 4, a praia sofre uma diminuição considerável, indo de uma média de 500 m a 200m. Durante as medições realizadas nos meses de agosto e setembro do ano de 2016, as marés de 5,4 m atingiram toda a base da falésia, superpondo o terraço de abrasão, que topograficamente está a 1m de altura, protegendo a base da falésia nos setores 1 e 2. Mas nos outros setores da falésia, onde não há arenitos que protegem a base a maré, a água cobriu todo o sopé, atingindo 0,50 m acima desta. Nessas ocasiões, as ondas em conjunto com as marés e correntes solaparam o sopé da falésia, formando inúmeras caneluras, o que ocasionou diversos desmoronamentos de pequeno porte e deslocamento de sedimentos em direção ao alto mar. A argila desprendida da falésia ao entrar em contato com a água do mar se liquefaz, formando uma pluma de sedimentos de cor avermelhada, com distância de aproximadamente 100 m da linha de costa, sendo que na maré baixa parte dos sedimentos da pluma tingem de rosa as areias da praia (Figura 5).

A ação das ondas, na área de trabalho é um dos fatores de distinção entre as falésias (Figura 6).



Figura 5. Pluma de sedimentos tingindo o mar de vermelho. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

Quando as ondas chegam à base da falésia, elas erodem o material diretamente ou erodem o material solto que está na sua base. Em ambos os casos, há desestabilização da falésia e, finalmente, induz a formação de fraturas e desmoronamento do material que a reveste.



Figura 6. Ondas na área de estudo. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

A ação das ondas, na área de trabalho, é um dos fatores de distinção entre as falésias (Figura 60), pois, quando estas chegam à base da falésia de Itapari, elas erodem o material que a compõe diretamente ou erodem o material solto que está na sua base. Em ambos os casos, há desestabilização da falésia e, finalmente, induz a formação de fendas e desmoronamento do material que a reveste.

As ondas na área de estudo atingem a costa já quebradas, ou quebram em cima da falésia quando das grandes marés de sizígias. São geralmente de pouca energia, apresentando altura média de 0,5m com período de mais ou menos 4 segundos e arrebentação do tipo deslizante (*spiling*) fraco, formado por pequenas ondas que ocorrem várias vezes. Isto é influenciado, principalmente, pela costa ser do tipo dissipativa e recortada, refratando e difratando a onda.

Quando o trem de ondas se aproxima da costa, a espessura da lâmina de água começa a influir na velocidade, diminuindo-a e absorvendo energia. Assim, as ondulações que chegam à costa sofrem o efeito de refração no fundo marinho, em função da diminuição da profundidade, e difração ao redor de obstáculos, incluindo-se neste caso a ponta de Itapari. Esses fenômenos geram perturbações na direção de propagação das ondas (ortogonais) de tal modo que, quando as ortogonais convergem para todos os setores da falésia, há maior concentração de energia, predominando a erosão; mas quando as ortogonais divergem, há dispersão de energia, predominando a deposição (Souza et al., 2005), o que ocorre a montante do setor 1 da falésia de Itapari (Figura 7).

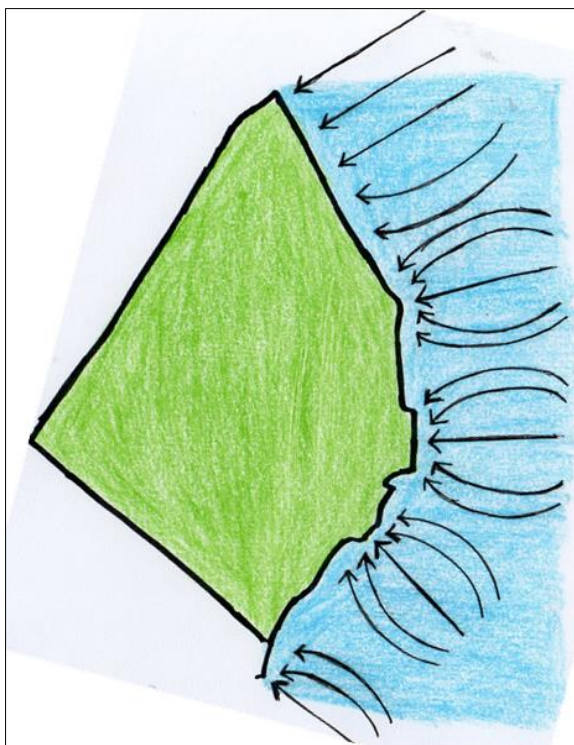


Figura 7. Esboço da refração e difração das ondas na área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

Quando as ondas atingem as zonas mais rasas, o seu comprimento diminui, em contraposição ao aumento da altura das cristas, adquirindo elevada esbeltez. Esse processo avança com a diminuição da profundidade até que a onda se desestabiliza e quebra produzindo a arrebentação (Souza et al. 2005). Na área de estudo foi identificado um tipo principal de arrebentação, a deslizante (*spilling*), onde a onda começa a quebrar relativamente longe da beira da praia, influenciada principalmente pela inclinação da praia, de um modo suave como se espalhando pela água, formando um longo rastro de espuma. Estas ondas aumentam sua periculosidade quanto mais altas, principalmente quando das marés acima de 4,2 m, com a onda quebrando abrupta e violentamente contra a face da falésia.

Na área foram constatadas algumas evidências de que as ondas erodem a falésia de Itapari. A primeira se relaciona ao entalhe (caneluras) ao longo de sua base, que facilita o colapso da rocha sobrejacente ou deslizamento de sedimentos devido a inclinação e remoção do apoio. A segunda evidência do impacto das ondas está na forma irregular que delimitada a face da falésia, pois nos setores 1 e 3 a face da falésia é mais irregular que a dos outros setores que mostram uma certa homogeneidade. A presença de enseadas nessa área também atesta o contínuo ataque das ondas, principalmente ao longo de zonas de fraqueza estruturais.

A quantidade de erosão induzida pela onda é uma função da energia por ela desprendida contra a falésia. Na ponta de Itapari as ondas transmitem mais energia sob a forma de pressão, quando estas chocam-se ou colidem diretamente contra a face da falésia, quando ocorrem as grandes marés de sizígias. Contudo, há ondas que chegam à falésia de maneira deslizante e já quebradas, não influenciando tão significativamente na sua evolução. A erosão ocorre, principalmente, pela força de tração da onda que atinge o sopé e por vezes a face da falésia, carregada de areia e de outros sedimentos, facilitando a abrasão na área.

A incidência de ondas na linha de costa gera um sistema de circulação ou correntes costeiras, que podem ser divididas na área de estudo em dois tipos: as correntes de deriva litorânea (*longshore currents*) ou longitudinais e correntes de retorno (Figura 8).

As correntes de deriva litorânea surgem quando as ondas não atingem perpendicularmente o litoral, e o ângulo de incidência das ondas propicia a movimentação de água e material em suspensão numa trajetória em ziguezague, sendo, portanto, os principais agentes de movimentação, retrabalhamento e distribuição dos sedimentos ao longo da costa.

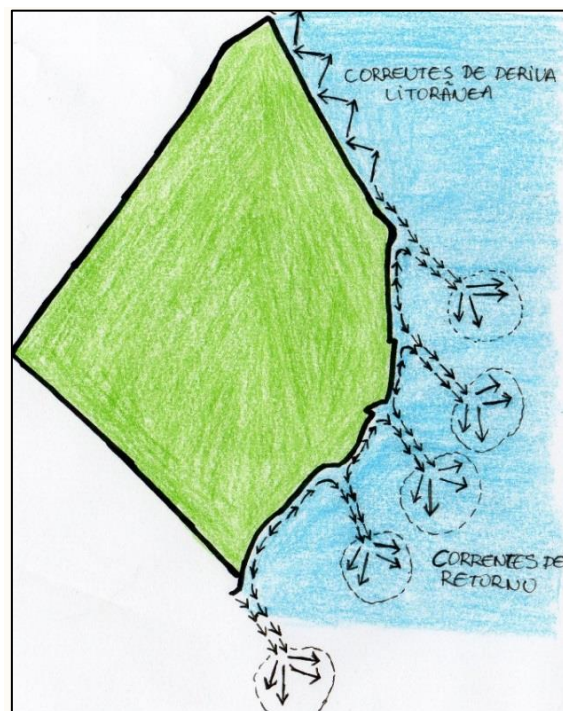


Figura 8. Esboço da deriva litorânea e de retorno na área de Itapari. Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

As correntes de retorno representam fluxos que se deslocam da costa para o oceano. Estas desenvolvem-se especialmente nos setores 2, 3 e 4

da falésia de Itapari, onde há refração de ondas, associada a costa com topografia mais irregular, formando suaves enseadas (Souza et al. 2005).

A Praia de Panaquatira e a falésia de Itapari estão intimamente ligadas, pois a liberação de sedimentos durante a erosão costeira da falésia torna-se parte do sistema litorâneo e contribui para o aumento de sedimentos na praia. Quando a erosão da falésia foi impedida, na década de 1980, através da instalação de um muro para proteger empreendimentos localizados no topo e sopé da falésia, foi reduzida a oferta de sedimentos que, por sua vez, diminuiu também o tamanho da praia. Esta praia, excepcionalmente extensa, dissipava a energia das ondas, proporcionando proteção natural para a falésia. No entanto, ao ser significativamente reduzido o fornecimento de sedimentos para a praia, esta tornou-se mais estreita e passou a ser submetida a uma maior energia das ondas, o que ocasionou a derrubada desse muro.

O clima é outro fator responsável pela evolução da Falésia de Itapari, principalmente por este ser controlador das taxas de intemperismo, de erosão e de transporte de sedimentos até a linha de costa. Na área de trabalho, o clima possui dois períodos bem distintos, no primeiro semestre do ano ocorre a concentração das chuvas anuais, enquanto o segundo é de estiagem, com raras precipitações.

No ano de 2015, o período chuvoso, está situado entre março e maio, com um pico de 480 mm ocorrendo no mês de março (Figura 9). Entre os meses de julho e janeiro, o nível de precipitação é mais baixo e estável, com valores entre 0 e 33 mm (INMET, 2015).

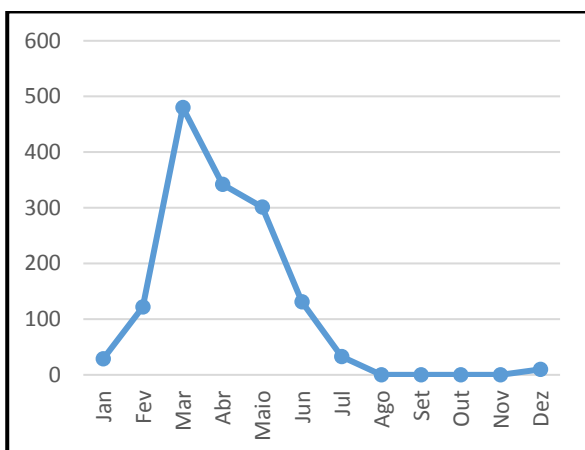


Figura 9. Gráfico de temperatura média mensal na estação de São Luís em 2015. Fonte: INMET, 2015.

Cenário de anomalia negativa de chuva principalmente no primeiro semestre de 2015

foram um dos piores dos últimos anos. Isso foi determinado, principalmente pela expansão das anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico, indicando o pleno estabelecimento do fenômeno El Niño, com chuvas predominantemente abaixo da média histórica na área.

Nesse mesmo ano o gráfico de temperatura média (Figura 10) indicou variações de temperaturas de 27,4° a 29,5°C, entre janeiro e dezembro. Os primeiros meses do ano geralmente apresentam as menores temperaturas, sendo que a partir do mês de abril, a temperatura média sofre uma elevação gradativa até encontrar seu ápice no mês de dezembro (29,5 °C) (INMET, 2015).

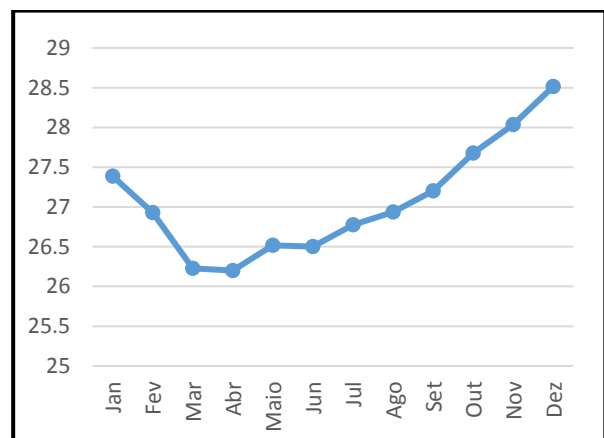


Figura 10. Gráfico de precipitação média em mm na estação de São Luís em 2015. Fonte: INMET, 2015.

Assim, a falésia de Itapari está exposta a um ambiente de intemperismo severo, submetida a repetidos períodos de umedecimento, com salpicamento de sais marinhos e escoamento superficial, intercaladas com períodos de secagem e aquecimento. A repetição de ciclos de umedecimento e secagem degradam aos poucos a face da falésia, particularmente na presença de minerais de argila expansível que causam fissuramentos superficiais que promovem ainda mais a infiltração, que amolecem os sedimentos e os induzem ao deslizamento em fluxo, enquanto blocos intactos caem em resposta à força da gravidade.

O escoamento superficial provocado pelo impacto das chuvas na face da falésia no período chuvoso, formando um escoamento difuso, começa a aparecer quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de infiltração. Este processo tem transportado com a água partículas de solo, provocando de início sulcos, os quais podem evoluir chegando a formar ravinas e voçorocas.

Os movimentos de massa, considerados um dos principais fatores da retração da falésia, conform foram também observados na falésia de Itapari, no ano de 2016.

Segundo esse autor, os diferentes tipos de movimento de massa dependem das condições locais, como: estrutura geológica; tipo dos materiais; declividade, orientação e forma da vertente; área de contribuição; intensidade e distribuição das precipitações.

Esses movimentos apresentam-se em duas formas distintas na área de estudo: a queda de blocos e os escorregamentos, divididos em dois tipos: rotacionais e translacionais. Estes movimentos são induzidos principalmente pelas ondas que solapam a base da falésia e pela intensa precipitação no primeiro semestre do ano, desencadeando mecanismos que geram grandes movimentos de massa.

As quedas de blocos são movimentos rápidos em queda livre pela ação da gravidade, influenciado pelo perfil íngreme da falésia, associado a presença de fraturas no paredão rochoso e ao desgaste da base da falésia pelas ondas, provocando a queda superior do bloco. Além disto, descontinuidades e/ou alívios de tensão ocasionam quedas. As quedas de blocos foram observadas principalmente no segundo semestre do ano de 2016 (Figura 11).



Figura 11. Fotografia mostrando queda de blocos na falésia de Itapari. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

Os escorregamentos caracterizam-se como Movimentos de massa são comuns também são

comuns na falésia de Itapari. Em um extremo, pequenos blocos podem destacar-se e cair e no outro extremo o desmoronamento da falésia até sua base pode deslocar vários milhares de metros cúbicos de material.

processos que ocorrem de forma rápida, com um plano de ruptura definido, o qual separa o material escorregado do não movimentado (Guimarães et al., 2008). Na área de estudo são divididos em rotacionais e translacionais e foram observados principalmente durante o primeiro semestre do ano.

Os escorregamentos rotacionais são caracterizados por possuírem uma superfície de ruptura curva, côncava, que desloca normalmente uma grande quantidade de material de forma rotacional. Esse tipo de escorregamento está vinculado a Formação Barreiras e ao desgaste natural da base da falésia pelas ondas (Figura 12).



Figura 12. Escorregamento rotacional. Fonte: Fotografia dos autores, 2016

Os escorregamentos translacionais são caracterizados por apresentarem um plano de ruptura abrupto, bem definido, planar, e por serem um movimento de curta duração. Estes escorregamentos ocorrem durante chuvas intensas, quando é elevada a poro-pressão em uma superfície de descontinuidade (Figura 13).



Figura 13. Escorregamento translacional. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

Os ventos, além de produzirem e controlarem a direção e o poder energético das ondas que incidem sobre a costa, produzindo as correntes litorâneas que transportam grandes quantidades de areia em diferentes sentidos, são também importantes agentes na dinâmica sedimentar.

Durante o ano de 2015 os ventos analisados apresentam pouca variação, na faixa entre 51 e 87° (NE/E) (Figura 14). Quanto à velocidade, verifica-se que os ventos são mais intensos (~ 3m/s) durante o período seco, nos meses de agosto a dezembro, e menos intensos (~ 1 m/s) no primeiro semestre do ano, ou seja, no período chuvoso (Figura 15).

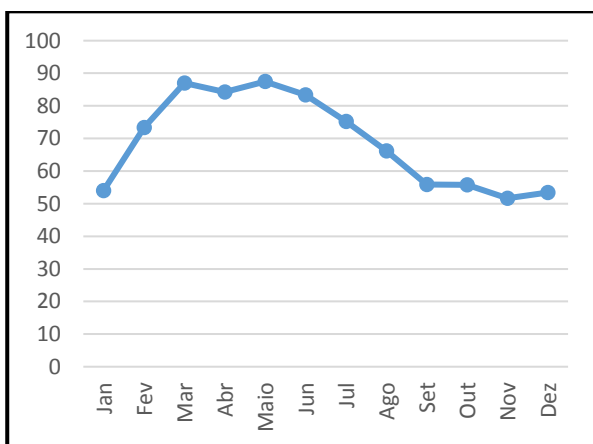


Figura 14. Direção do vento (°) no aeroporto de São Luís no ano de 2015. Fonte: INMET, 2015.

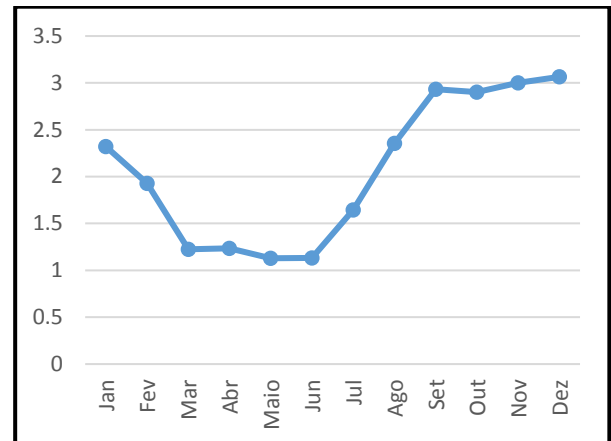


Figura 15. Velocidade do vento (m/s) no aeroporto de São Luís no ano de 2015. Fonte: INMET, 2015.

A erosão eólica é mais representativa nos setores 1 e 2 da falésia que estão mais expostas a este agente, principalmente no segundo semestre do ano, pois a intensidade dos ventos se torna maior. Os ventos fortes varrem sedimentos da face da falésia, sendo estes depositados como dunas no topo da falésia ou no pós-praia (Figura 17). Os ventos na área de estudo são os alísios de nordeste, seguindo três direções distintas, entre os setores 1 e 2 estes atingem a falésia frontalmente e sobem, na direção dos setores 1, 2, 3 e 4 seguindo perpendicularmente a costa (Figura 16).



Figura 16. Fotografia de dunas no pós-praia. Fotografia dos autores, 2016

Os ventos na área de estudo são os alísios de nordeste, seguindo três direções distintas, entre os setores 1 e 2 estes atingem a falésia frontalmente e sobem, na direção dos setores 1, 2, 3 e 4 o vento segue perpendicularmente a costa (Figura 17).

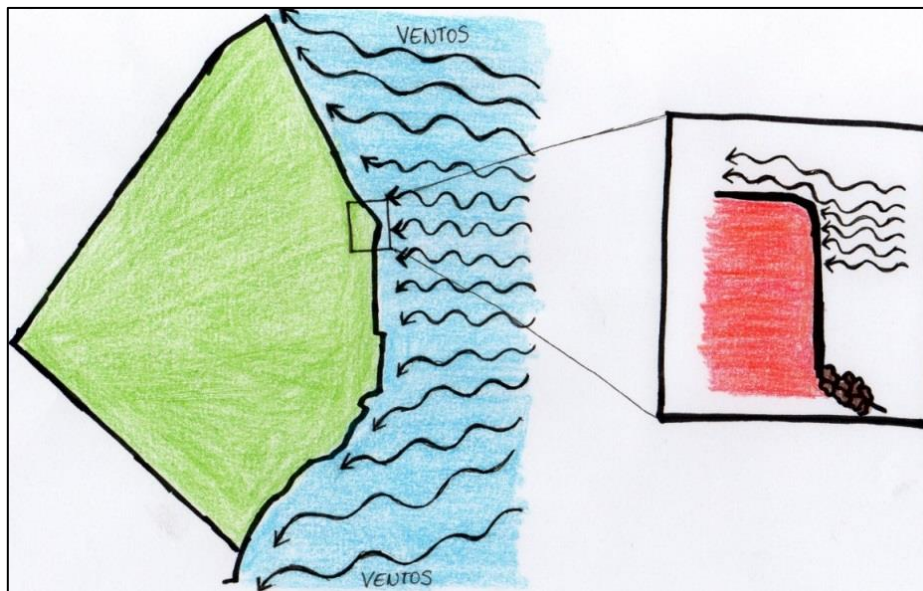


Figura 17. Esboço mostrando a direção dos ventos na área de trabalho. Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Outra contribuição para a aceleração da abrasão na área de estudo é o fator antrópico. Identificou-se que tanto a população local como as construtoras são responsáveis pela retirada do arenito ferruginoso da base da falésia, além de sedimentos argilosos, induzindo o seu desmoronamento. Observações indicaram que os materiais retirados pela população e empresas de construção civil são utilizadas preferencialmente em habitações da cidade de São José de Ribamar e em Panaquatira. Exemplos desse tipo de prática foram constatados em trabalho de campo, no dia 17 de julho 2016 onde foi observado marcas de trator e caçambas, que retiraram material argiloso do setor 3 da falésia (Figura 18).



Figura 18. Fotografia mostrando marcas da escavadeira de trator, indicando retirada de material argiloso da falésia. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

No dia 20 de agosto de 2016 foram observados arenitos ferruginosos da falésia sendo retirados da base da falésia e em seguida usados na

construção de baldrame de uma casa no pós-praia (Figura 19 e 20).



Figura 19. Retirada de arenitos ferruginosos da base da falésia de Itapari. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

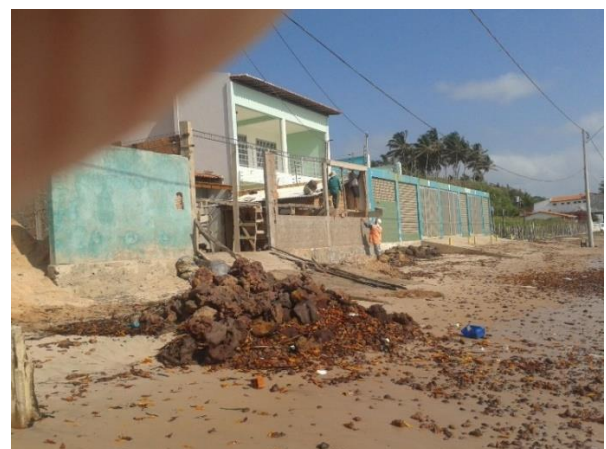


Figura 20. Fotografia de arenitos ferruginosos utilizados na construção de casas no pós-praia. Fonte: Fotografia dos autores, 2016.

Outra forma de antropismo que modifica a morfodinâmica da área em que a falésia de Itapari está inserida é a utilização de blocos de pedra e construção de muros de concreto para conter a erosão marinha. Estas obras não são precedidas de estudos ambientais específicos, autorização do poder público ou fiscalização posterior. Outro problema é que cada proprietário toma decisões individuais para construção de tais obras contribuindo, assim, para o agravamento da erosão costeira nas propriedades vizinhas.

O terraço de abrasão da área de trabalho é formado principalmente por material solto, chamados arenitos ferruginosos, que também podem ser chamados de arenitos de praia ou *beach rocks*. Estes são retangulares, com tamanhos diversos, de aspecto cavernoso, característica esta ligada a incessante força exercida pelas ondas nos interstícios do arenito, principalmente onde se encontram pontos de fraqueza, provocando incisões (furos) por onde a onda passará posteriormente, também é formado matacões mais arredondados de diversos tamanhos.

Este terraço forma uma linha, às vezes descontínua, na base da falésia, e sua gênese segue etapas primordiais, inicialmente os blocos que despenham da falésia, decorrente da erosão costeira, que são ricos em constituintes ferruginosos, reagem com os sais das águas marinhas e com a insolação, decorrente das temperaturas elevadas da área, fazendo que estes sofram uma transformação, ou seja, são cimentados, principalmente em períodos de maré cheia, gerando blocos endurecidos que posteriormente são modelados pelas ondas e correntes marinhas (Silva, 2015).

A retirada indiscriminada de materiais constituintes da falésia para a construção civil, favorecem de forma significativa o processo de erosão na área, diminuindo sua proteção. A presença dos arenitos ferruginosos atua como uma importante proteção natural, contribuindo para a dissipação da energia das ondas incidentes que atingem a base da falésia.

Conclusão

Vários processos de elevada complexidade contribuem para a evolução das falésias, formando, portanto, um geossistema, que reage com uma diversidade muito complexa de elementos associados, ainda, à interferências humanas, como é o caso da Falésia de Itapari..

Os estudos relacionados a evolução geral da linha de costa no Maranhão, especificamente no Golfão Maranhense, apontam uma retrogradação de 1,5 metros ao ano em falésias, como destaca o

trabalho de Feitosa realizado no município de São Luís em 1989, o qual demonstra que na ponta do Jaguarema, os processos de abrasão provocaram o recuo da falésia do Olho d'Água, de aproximadamente 10 metros em quinze anos. Porém, este dado não deve ser generalizado para todas as falésias da costa maranhense, pois variados fatores contribuem para que haja uma regressão heterogênea com índices maiores ou menores de erosão, como ficou demonstrado nos resultados alcançados na presente pesquisa.

A partir desses resultados, observou-se que atualmente ocorre uma regressão da linha de costa do litoral maranhense, especificamente na ponta de Itapari onde se encontra a falésia estudada. Identificou-se também que a evolução dessa falésia é influenciada por diversos elementos geológicos, climáticos, oceanográficos e antrópicos.

Considerando a posição da falésia em relação ao trabalho do mar, essa feição apresenta respostas que vão se refletir na sua forma e no seu ritmo de evolução, conforme as alterações ocorridas no tempo geológico, no fluxo de matéria e energia dos ambientes marinho e climático. Mas também deve-se considerar fatores como sua litologia e os níveis do seu uso pelo homem nas últimas décadas do tempo histórico.

Identificou-se que a dinâmica marinha e o material constituinte contribuem significativamente para a ocorrência da evolução da falésia, isto decorrente da energia das ondas, somadas à dinâmica de variação de marés, as correntes marinhas e da batimetria da plataforma que moldam as características das ondulações na base da falésia, provocando instabilidade no material e o desmonte progressivo de sua forma, com maior intensidade no período chuvoso, provocando erosão subaérea, fator de grande importância na evolução da falésia de Itapari, atuando como elemento no movimento de vertentes.

Nos períodos mais secos do ano, ou seja, no segundo semestre, a influência do clima vai se processar em maior escala através da atuação dos ventos, quando ocorre de forma predominante o desgaste da falésia pela desagregação de partículas de sua face voltada para o mar. Este elemento do clima se torna importante também por contribuir com os índices de transporte e deposição de sedimentos e por influenciarem na intensidade das ondas e geração das correntes litorâneas, que afetam a costa. Queda de blocos também são comuns nesse período, já que os constituintes que formam a falésia se contraem provocando fendilhamento na rocha e que despenham por falta de estabilidade.

Com relação a atuação dos processos provocados pelos agentes antrópicos na evolução da falésia, identificou-se que tanto a população local como as empresas de construção são responsáveis pela retirada do arenito ferruginoso da base da falésia, contribuindo para o seu desmoronamento. Os materiais retirados pela população e empresas de construção civil são utilizadas preferencialmente em habitações. A construção de muros de concreto e segundas residências na praia e pós-praia modificam a linha de costa, interferem na circulação de correntes costeiras e no ângulo de incidência das ondas e aceleram os padrões de erosão e sedimentação. A construção de condomínios fechados no topo da falésia e o turismo, também são agentes que contribuem na interferência da evolução da falésia de Itapari, uma vez que provocam impactos socioambientais como: desmatamentos, impermeabilização do solo, produção de resíduos sólidos e efluentes domésticos, segregação e até expulsão da população tradicional.

Desta forma, conclui-se que a Falésia Itapari se encontra em franca evolução natural e que sua dinâmica encerra um frágil equilíbrio ambiental, uma vez que a retrogradação da falésia se faz de forma bastante heterogênea demonstrando que é afetada por processos morfodinâmicos complexos. Isto porque a atuação desses processos, resulta em setores com erosão que variam de 1 a 3 metros por ano e setores com relativa estabilidade. Torna-se preocupante a constatação da ocorrência da erosão acelerada nos setores 3 e 4 desta falésia, perfazendo 3 metros ao ano, decorrente principalmente dos sedimentos poucos coesos da Formação Barreiras após formar um segundo patamar e pela retirada do terraço de abrasão que a protegem.

Diante destas considerações e da inexistência de legislação específica que dê suporte à fiscalização por parte dos órgãos responsáveis por gerir a zona costeira local, sugere-se a realização de planejamento específico para adequação de uso e conservação das formas de relevo que dão elevado potencial turístico ao Maranhão: suas belas falésias costeiras.

Referências

Ab'Saber, A. N., 2001. Litoral do Brasil. Metalivros, São Paulo.
 Bird, E.C.F., 1930. Coastal Geomorphology: an introduction, 2 ed. John Wiley & Sons, England.
 Bloom, A.L., 1970. Superfície da Terra. Blücher, São Paulo.
 Christofoletti, A., 1980. Geomorfologia. 2 ed. Blücher, São Paulo.

Emery, K.O., Kuhn, G.G., 1982. Sea cliffs: their processes, profiles, and classification. Geological Society of America Bulletin, 93, 644-654.
 Feitosa, A.C., Trovão, J.R., 2006. Atlas escolar do Maranhão: Espaço geo-histórico e cultural. Editora Grafset, João Pessoa.
 Guerra, A.T., Guerra, A.J.T., 2008. Novo dicionário geológico-geomorfológico, 8 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
 Guerra, A.J.T., Marçal, M.S., 2006. Geomorfologia Ambiental. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
 Guimarães, R. F., Carvalho Jr, O.A., Gomes, R. A.T., Fernandes, N.F., 2008. Movimentos de massa. In: Florenzano, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: oficina de textos,
 INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas-Estação de São Luís, 2015. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf >. Acesso em: 13 jan. 2015.
 INPE, Instituto de Meteorologia e Pesquisas Espaciais, 2015. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (Sonda), Estação 82281 – SBSL. Disponível: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf. Acesso: 13 jan. 2015.
 Leinz, V., Amaral, S.E., 1989. Geologia geral. 11. ed. Nacional, São Paulo.
 Muehe, D. Geomorfologia costeira. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (Org.), 2011. Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
 National Research Council, 1999, Science for decision making; Coastal and Marine Geology at the U.S. Geological Survey, National Academy Press, Washington, D.C.
 Rodrigues, T.L.N. et al., 1994. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Luís. Folha AS.23-Z-A, Estado do Maranhão. CPRM, Brasília.
 Rosseti, D.F. Ambientes Costeiros. In: Florenzano, T. G. (org.), 2008. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: oficina de textos.
 Silva, C.H.S. Análise de terraços de abrasão na ilha do Medo, São Luís – MA. In: XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 5., 2015, Teresina-PI. Anais... Teresina: UFPI, 2015. p. 2782-2788.
 Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E., 2005. Quaternário do Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto.

Suguio, K., 1992. Dicionário de geologia marinha.

Queiroz, São Paulo.