



**UFC**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

**KARINA PINHEIRO GURGEL FREIRE**

**CARACTERIZAÇÃO DOS EOLIANITOS E BEACHROCKS ADJACENTES AO RIO  
ARACATIMIRIM, ITAREMA – CE**

**FORTALEZA**

**2017**

KARINA PINHEIRO GURGEL FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO DOS EOLIANITOS E BEACHROCKS ADJACENTES AO RIO  
ARACATIMIRIM, ITAREMA – CE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Profa. Dra. Lidriana Pinheiro  
Co-orientador: Me. Antonio Rodrigues Ximenes Neto

FORTALEZA

2017

---

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: [www.biblioteca.ufc.br](http://www.biblioteca.ufc.br), clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

---

KARINA PINHEIRO GURGEL FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO DOS EOLIANITOS E BEACHROCKS ADJACENTES AO RIO  
ARACATIMIRIM, ITAREMA – CE**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia. Área de concentração: XXXXXXXX.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Antônio Rodrigues Ximenes Neto (Co-orientador)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Jader Onofre de Moraes  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico à minha mãe Adriana.

## AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro, pelo enorme incentivo durante toda a graduação e pela excelente orientação.

Ao meu co-orientador Antônio Rodrigues Ximenes Neto (Tião S2) pela orientação e pela paciência. Cabra, você é demais!

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Jader Onofre de Moraes e Prof. Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao projeto “Geodiversidades, Interações e Impactos Socioambientais no Sistema Praia-Plataforma da Costa Oeste do Estado do Ceará” (PRONEX), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, que me propiciou apoio para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À todos os professores, técnicos e servidores do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR e ao PET Oceanografia, pelas excelentes experiências acadêmicas e conhecimentos compartilhados. À equipe do Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG do LABOMAR e do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica - LGCO da UECE.

À Ana Beatriz e Débora, por todo o companheirismo que vai muito além da vida acadêmica. Considero a amizade de vocês um dos maiores presentes da oceano e que, juntas ou separadas, torna-se cada vez mais forte e especial.

Às minhas oceanoamigas Melissa e Nalu, por sempre estarem ao meu lado; a amizade e os sábios conselhos de vocês (hahaha) são essenciais na minha vida.

Às minhas amigas queridas Thais e Luana, pela amizade, conselhos e pelos bons momentos vividos. Vocês são demais!

Ao meu amigo Lucas, por me entender tão bem e sempre está comigo quando preciso.

Ao Grupo Certo e ao Rochas Geradoras, por todos os momentos especiais, risadas, viagens, gerações – saibam que cada integrante tem a sua importância e teve o seu papel ao longo dessa caminhada. Que isso permaneça, que a gente permaneça!

Às amigas brasiliolas (Vanessa, Paula, Luiza e Alana), pela parceria durante o intercâmbio, foram muitos aprendizados e momentos inesquecíveis ao lado de vocês.

Aos meus pais Adriana e Anibal, se eu cheguei até aqui isso se deve, especialmente, à vocês que sempre batalharam para me proporcionar a melhor educação possível.

Ao meu tio Tadeu, obrigada por ser meu maior companheiro!

À toda minha família, por contribuírem na formação de ser quem eu sou hoje.

E à todos que contribuíram de alguma forma e me incentivaram no decorrer dessa jornada.

Muito obrigada!

“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano ele treme de medo. Olha para trás, para toda a jornada, os cumes, as montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. Você pode apenas ir em frente. O rio precisa se arriscar e entrar no oceano. E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece. Porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas tornar-se oceano (...).”

Osho



## RESUMO

A planície costeira do município de Itarema, localizada na costa oeste do Ceará é composta por sistemas deposicionais quaternários, representados principalmente pelos depósitos eólicos e praias. As características preservadas nas estruturas e composição desses depósitos, possuem grande potencial para fornecer informações valiosas a respeito das mudanças paleoclimáticas e flutuações do nível do mar. Na área foi verificada a presença de dunas ativas, dunas fixas, eolianitos, *beachrocks*, e depósitos fluviais em forma de plataformas de abrasão. O objetivo principal deste trabalho é a caracterização morfológica e sedimentológica dos eolianitos e arenitos de praia (*beachrocks*) da planície costeira no entorno da foz Rio Aracatimirim, que é caracterizada por ser uma planície com alta vulnerabilidade a erosão. Através da análise descritiva das feições em campo e análises laboratoriais utilizando os métodos clássicos em sedimentologia (análise granulométrica, quantificação do teor de  $\text{CaCO}_3$ , forma do grão e composição) foram reveladas características morfológicas e sedimentares similares e a consequente associação genética entre os depósitos, nos quais os *beachrocks* foram formados a partir de uma rocha preexistente (eolianito).

**Palavras-chave:** Eolianitos. *Beachrocks*. Dunas Costeiras.

## ABSTRACT

Itarema's coastal plain, located in the western coast of Ceará, consists of quaternary depositional systems, mainly represented by aeolian and beach deposits. The preserved structural features and composition of these deposits have a great potential in providing valuable information concerning palaeoclimatic changes and sea level fluctuations. In the area of study it was possible to confirm the presence of active dunes, fixed dunes, aeolianites, beachrocks and fluvial deposits appearing as abrasion platforms. The main goal of this study consists of a morphological and sedimentological characterization of aeolianites and beach arenites (beachrocks) in the coastal plain adjacent to the River Aracatimirim mouth which is described as a flat land with high vulnerability to erosion. Similar morphological and sedimentological aspects and the consequent genetic association between the deposits in which the beachrocks had originated from a pre-existing rock (aeolianite) were acquired through descriptive analysis of geological features during field trips and also through application of the classic sedimentology methods (granulometry analysis, quantification of the percentage of  $\text{CaCO}_3$  and analysis of grain shape and composition) in the laboratory.

**Keywords:** Aeolianites. *Beachrocks*. Coastal dunes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2	- Mapa de variação da linha de costa da praia de Torrões (1958 - 2004).....	21
Figura 3	- Perfil esquemático representando zonas eodiagénicas de Longman (1980)	27
Figura 4	- Procedimento pipetas análise granulométrica.....	32
Figura 5	- Sistema de vasos comunicantes utilizado no método do Calcímetro de Bernard modificado.....	32
Figura 6	- Seis escalas de arredondamento e esfericidade baseada na Escala de Power (1953).....	33
Figura 7	- Material utilizado para a análise morfométrica e da relação Quatzo > Bioclasto.....	34
Figura 8	- Feições similares a (1) <i>Yardang</i> ; (2) <i>Zeugen</i> .....	36
Figura 9	- Rizoconcreções (1) na base da da escarpa; (2) com presença de estratificações cruzadas; (3) na porção superior da escarpa.....	37
Figura 10	- Bloco de eolianito do estirâncio superior.....	39
Figura 11	- <i>Beachrocks</i> (1) do estirâncio intermediário em processo evolutivo de litificação; (2) totalmente litificadas presentes no estirâncio inferior.....	40
Figura 12	- Associação genética Eolianitos- <i>Beachrocks</i> .....	41
Figura 13	- <i>Beachrocks</i> setorizados no estirâncio da margem direita.....	42
Figura 14	- Plataforma de abrasão no faixa de praia da margem direita (1) com presença de <i>underminings</i> ; (2) e fraturamentos.....	43
Figura 15	- Plataforma de abrasão na foz do Rio Aracatimirim.....	44
Figura 16	- Feições encontradas na plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim: (1) bacia de dissolução; (2) níveis de concreção ferruginosos (3) pináculos.....	45
Figura 17	- Falésia adjacente a plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim.....	46

Figura 18 – Linhas de seixo presentes na falésia.....	47
Figura 19 – Escarpa da margem esquerda com presença de estratificações plano 48 paralelas e cruzadas.....	
Figura 20 – Escarpa situada na margem direita apresentando estratificações de ângulo: 49 menores.....	
Figura 21 – Associação Quartzos x Bioclastos entre eolianitos e beachrocks.....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Granulometria das dunas sobrepostas aos eolianitos.....	50
Gráfico 2	- Teores de carbonato de cálcio das dunas sobrepostas aos eolianitos.....	51
Gráfico 3	- Granulometria da falésia adjacente a plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim.....	51
Gráfico 4	- Teor de carbonato de cálcio da falésia adjacente a plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim.....	52
Gráfico 5	- Granulometria dos eolianitos.....	53
Gráfico 6	- Teores de carbonato de cálcio dos eolianitos.....	53
Gráfico 7	- Quartzo x Bioclasto do eolianito situado na margem esquerda.....	54
Gráfico 8	- Quartzo x Bioclasto do eolianito situado na margem direita.....	54
Gráfico 9	- Arredondamento dos grãos de quartzo dos eolianitos.....	55
Gráfico 10	- Esfericidade dos grãos de quartzo dos eolianitos.....	55
Gráfico 11	- Quartzo x Bioclasto dos <i>beachrocks</i> da margem esquerda.....	56
Gráfico 12	- Quartzo x Bioclasto do <i>beachrock</i> da margem direita.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostras coletadas em campo.....	30
Tabela 2 - Tamanho dos blocos dispostos no estirâncio da margem esquerda.....	38
Tabela 3 - Tamanho dos blocos dispostos no estirâncio da margem direita.....	42
Tabela 4 - Medidas dos <i>beachrocks</i> da foz do Rio Aracatimirim.....	44
Tabela 5 - Ângulo dos mergulhos dos estratos cruzados e plano-paralelos.....	48
Tabela 6 - Ângulo dos mergulhos dos estratos.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
HCl	Ácido Clorídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LGCO	Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica
LOG	Laboratório de Oceanografia Geológica
PRONEX	Geodiversidades, Interações e Impactos Socioambientais no Sistema Praia-Plataforma da Costa Oeste do Estado do Ceará
SAG	<i>Software</i> de Análise Granulométrica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1</b>	<b>Área de Estudo</b> .....	18
<b>1.1.1</b>	<i>Localização Geográfica</i> .....	18
<b>1.1.2</b>	<i>Características Climáticas e Oceanográficas</i> .....	19
<b>1.1.3</b>	<i>Características Geológicas</i> .....	19
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	22
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	22
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	22
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	23
<b>3.1</b>	<b>Geração de Dunas do Ceará</b> .....	23
<b>3.2</b>	<b>Eolianitos</b> .....	24
<b>3.3</b>	<i>Beachrocks</i> .....	26
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	30
<b>4.1</b>	<b>Análise Bibliográfica e Cartográfica</b> .....	30
<b>4.2</b>	<b>Campo</b> .....	30
<b>4.3</b>	<b>Laboratório</b> .....	31
<b>4.3.1</b>	<i>Análise Granulométrica</i> .....	31
<b>4.3.2</b>	<i>Quantificação do teor de Carbonato de Cálcio</i> .....	32
<b>4.3.3</b>	<i>Análise da Forma dos Grãos e Composição</i> .....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
<b>5.1</b>	<b>Padrões Morfológicos</b> .....	35
<b>5.2</b>	<b>Aspectos Estratigráficos</b> .....	47
<b>5.3</b>	<b>Aspectos Sedimentológicos</b> .....	50
<b>5.3.1</b>	<i>Depósitos Inconsolidados</i> .....	50
<b>5.3.2</b>	<i>Eolianitos</i> .....	52
<b>5.3.3</b>	<i>Beachrocks</i> .....	56
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	59
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	60



## 1 INTRODUÇÃO

Os litorais, em especial os situados em baixas latitudes, exibem diversos tipos de sedimentos cimentados, entre eles estão: eolianitos (dunas costeiras cimentadas), conglomerados terrestres e fluviais ou depósitos de praia finos e grosseiros cimentados em diferentes níveis do mar (KELLETTAT, 2006).

A costa do nordeste setentrional do Brasil é caracterizada, principalmente, pelo domínio processos eólicos, com acumulação e deflação de sedimentos siliciclásticos e bioclásticos (MORAIS, 1998; MESQUITA *et al.*, 2016). Esses processos eólicos são facilitados, principalmente, em regiões áridas e semiáridas, nas quais o substrato seco resultante das baixas precipitações em conjunto com a escassa cobertura vegetal, aumenta a capacidade do vento em transportar sedimentos, e em regiões úmidas onde há grande disponibilidade de material e a velocidade do vento é suficiente para a deflação e transporte (PYE, 1983; MOUNTNEY & JAGGER, 2004).

As planícies costeiras são resultantes do avanço e recuo da linha de costa, estes associados aos processos de erosão, sedimentação e transporte recente e/ou sob os efeitos das flutuações climáticas, e estão presentes ao longo do litoral brasileiro (MEIRELES *et al.*, 2005). Para elaborar modelos evolutivos que explicam a origem dessas extensas planícies, se faz necessário compreender os processos morfogenéticos e definir sequências de depósitos geológicos a partir do estudo das oscilações do nível relativo do mar e as mudanças climáticas durante o Quaternário (MEIRELES *et al.*, 2005).

No litoral cearense, são identificados indicadores geológicos e geomorfológicos de oscilações do nível relativo do mar e mudanças climáticas no Quaternário (ARZ *et al.*, 1998; MORAIS *et al.*, 2006). Estes estão relacionados com níveis de erosão escalonados em plataformas de abrasão marinha, terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, depósitos paludiais, gerações de dunas e eolianitos, falésias mortas e complexos sistemas representados por deltas de marés e lagunas costeiras.

Os eolianitos representam uma notória unidade litoestratigráfica no litoral brasileiro e possui um importante significado paleoambiental, pois fornecem informações importantes do ambiente costeiro na época em que foram formados (MESQUITA *et al.*, 2016). No Nordeste brasileiro, estão distribuídos nos estados do Ceará, onde os estudos encontram-se mais avançados, do Piauí, do Maranhão e do Rio Grande do Norte (CARVALHO *et al.*, 2008).

Os *beachrocks*, assim como os eolianitos, também são indicadores das oscilações do nível relativo do mar (HOPLEY, 1986) e exercem influência sobre a evolução costeira e a biota

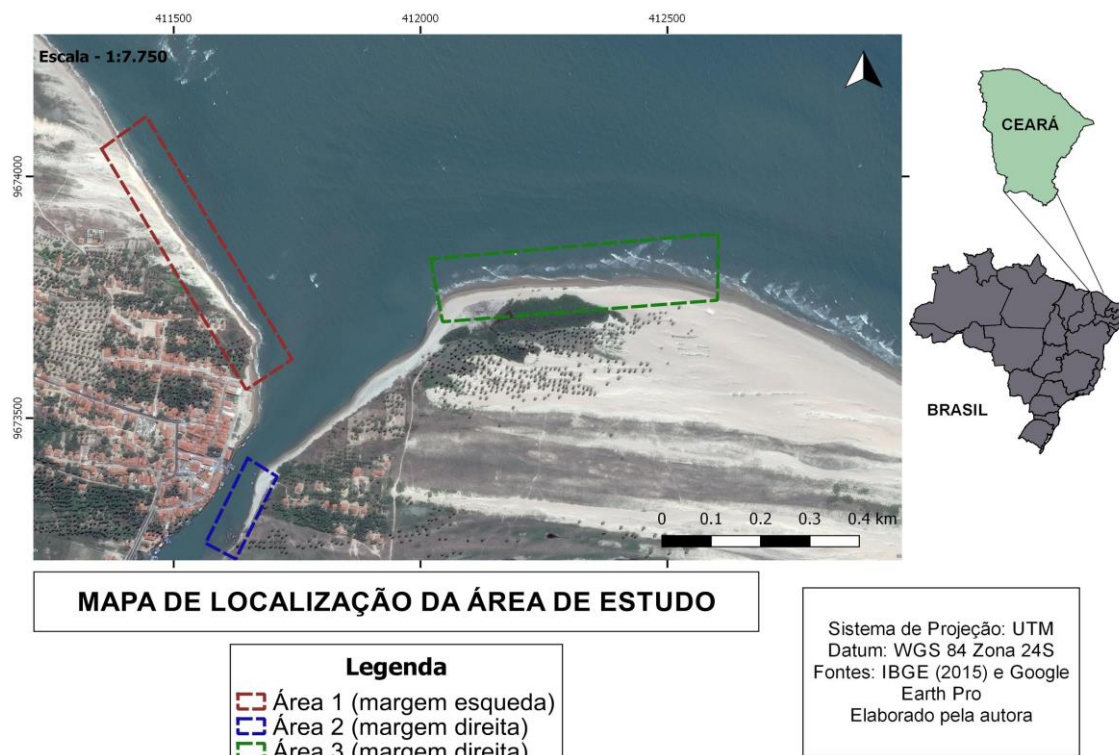
marinha (COOPER, 1991). O estudo do agente cimentante dessas rochas é relevante para a compreensão da origem dos carbonatos costeiros, mas sua origem ainda não é totalmente compreendida pelo fato de que foi atribuída de maneira diversa à precipitação físico-química do cimento de carbonato, cimentação induzida biologicamente ou uma combinação de ambos (Vousdoukas *et al.*, 2007). O presente trabalho tem como pressuposto que os *beachrocks* que se encontram nas proximidades do Rio Aracatimirim apresenta sua gênese associada a um processo de cimentação pré-existente de eolianitos friáveis.

## 1.1 Área de Estudo

### 1.1.1 Localização Geográfica

A área de estudo está localizada na planície costeira adjacente à desembocadura do rio Aracatimirim, situada no município de Itarema, costa oeste do estado do Ceará. A praia de Torrões (margem esquerda do rio) encontra-se à uma distância de 185 km da capital e possui uma extensão de 2 km, sendo limitada ao norte pelo Oceano Atlântico, ao sul pelo distrito de Carvoeiro, a oeste pelo município de Almofala e a sudeste pelo distrito de Patos.

**Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.**



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

### ***1.1.2 Características Climáticas e Oceanográficas***

O município de Itarema possui um clima Tropical Quente Semi-árido Brando, com uma pluviosidade de 1.139,7mm, temperatura média de 26° a 28° e período chuvoso de janeiro a maio (IPECE, 2016). A circulação dos ventos na região é de leste (alísios) e a sua velocidade média é de 5.5m/s (FUNCEME, 2010). De acordo com Aguiar *et al.* (2013), predomina na área, um regime de mesomarés com amplitudes de 1,48m e ondas com altura de 0,56m. As praias adjacentes à foz do rio possuem caráter dissipativo (algumas intermediárias-dissipativas), além de ser considerada uma região com baixa descarga fluvial (MESQUITA *et al.*, 2014).

### ***1.1.3 Características Geológicas***

A região na adjacência do Rio Aracatimirim é marcada pela presença de duas unidades geológicas: a Formação Barreiras, de origem miocênica e pliocênica; e os Depósitos Quaternários, de origem holocênica e pleistocênica (BELTRAMI *et al.*, 1994 *apud* AGUIAR *et al.*, 2015). O rio Aracatimirim possui sua nascente nos sedimentos das duas unidades (Formação Barreiras e Depósitos Quaternários), e deságua na praia de Torrões com um padrão dendrítico (AGUIAR *et al.*, 2012).

Na Praia de Torrões ocorrem duas unidades geomorfológicas distintas: os tabuleiros pré-litorâneos e a planície costeira (SOUZA, 1994 *apud* AGUIAR *et al.*, 2015). A Planície Costeira abrange as planícies fluviais, que ocorrem em vales com preenchimento aluvial, resultantes da acumulação de sedimentos fluviais sujeita a inundações periódicas e que engloba as planícies de inundação e várzeas atuais; planícies estuarinas ou fluviomarinhas, que ocorrem nas baixadas litorâneas perto das desembocaduras de rios, sendo resultantes da acumulação fluvial e marinha combinada, sujeita a inundações periódicas comportando canais fluviais, cordões arenosos, manguezais e deltas; e planícies arenosas, resultantes da acumulação de sedimentos marinhos por agentes climáticos e hidrodinâmicos e que compreende as praias, dunas, restingas e cordões litorâneos (SOUZA, 1994 *apud* AGUIAR *et al.*, 2015; IBGE, 2009).

As praias da região são caracterizadas por possuir três zonas que se diferenciam pela sua dinâmica, características morfológicas e granulométricas, e tempo de exposição ao vento e inundação, sendo elas: pós-praia (backshore), estirâncio (foreshore) e antepraia (shoreface) (REINECK & SINGH, 1980). A zona de pós-praia é considerada a porção relativamente inativa da praia, estendendo-se desde o limite inferior das dunas até a linha de maré alta, permanecendo exposta ao vento a maior parte do tempo, exceto nas marés altas onde é coberta pelo mar

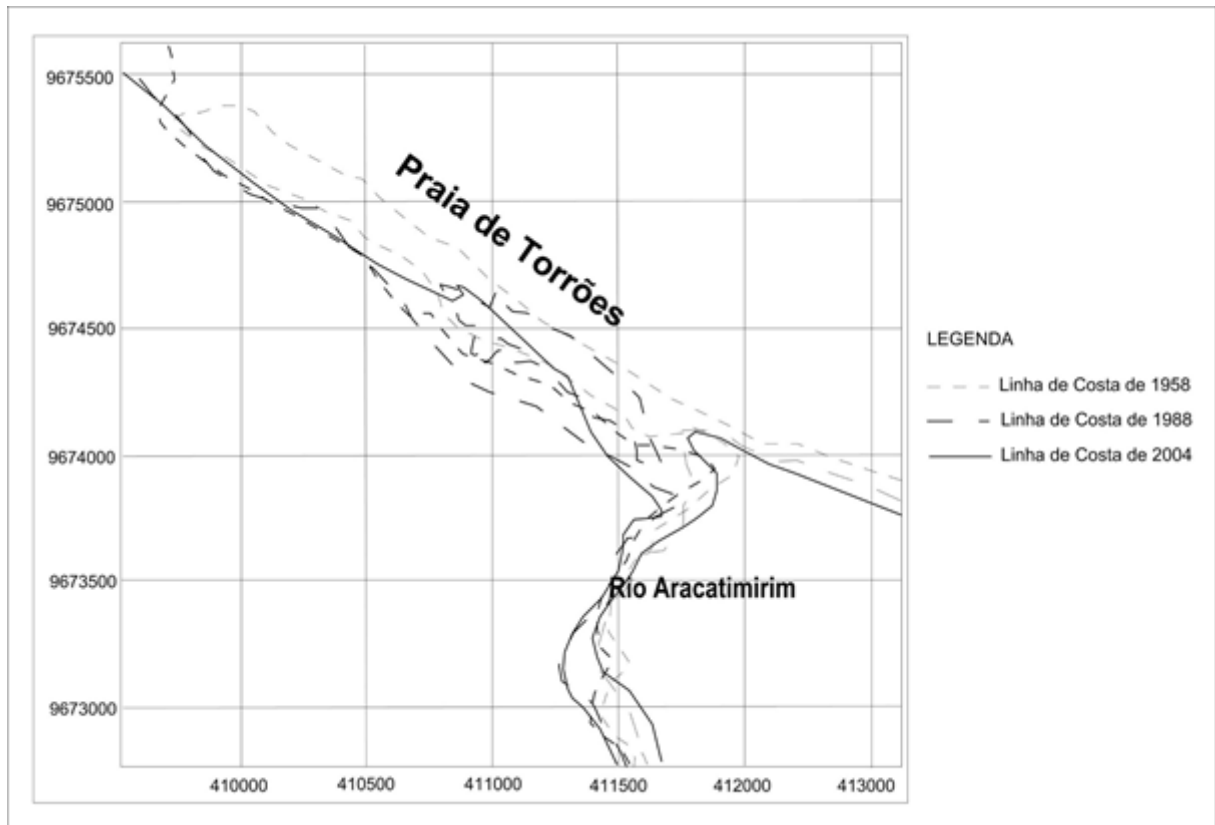
(REINECK & SINGH, 1980; GARRISON, 2010). Nas praias no entorno do rio Aracatimirim, essa zona é marcada por iniciar-se, em diversos pontos, no contato com dunas frontais e eolianitos.

O estirâncio, considerada a zona ativa da praia estende-se da linha de maré alta até a linha de maré baixa e nele as correntes longitudinais formam barras e calhas que são expostas durante a maré baixa e inundadas durante a maré alta. De acordo com Aguiar et al. (2015), foi observado em 2007, sistemas bem desenvolvidos de barras e calhas na praia Torrões, devido ao crescimento e progradação das flechas arenosas na região. A antepraia constitui o prisma praial submerso, sendo formado por sistema de barras e calhas longitudinais que se formam devido a arrebentação das ondas e pelas correntes longitudinais (REINECK & SINGH, 1980; GARRISON, 2010).

Segundo Souza Filho (2000, *apud* AGUIAR *et al.*, 2015), os meses de junho a novembro (estiagem), a atuação de agentes (ondas, correntes, marés e ventos) tem maior influência na formação dos sistemas de barra e calha nessa zona, diferente do período chuvoso, no qual ocorre a formação de linhas de maré nas calhas na praia de Torrões (20 e 40 cm) devido a um maior aporte de sedimentos dos rios e da atuação da maré.

Entre 1958 e 1988, observaram-se intensos processos de erosão e maior recuo da linha de costa, com retrogradação da barra e da foz do rio Aracatimirim, provavelmente originada por um forte evento La niña ocorrido entre os anos de 1984 e 1986, que gerou altas precipitações que, por sua vez, podem ter influenciado na forte vazão do rio Aracatimirim, aumentando os processos de erosão na sua foz nesse período; diferentemente dos anos entre 1988 e 2004 nos quais foram observados uma maior progradação da linha de costa de Torrões (AGUIAR *et al.*, 2012). Os valores observados pelo mesmo autor entre os anos de 1958 e 2004, foram: retrogradação de  $-414948,3\text{m}^2/46$  anos representando 83,4% e progradação de  $8745,94\text{m}^2/46$  anos representando 16,6%.

Figura 2 – Mapa de variação da linha de costa da praia de Torrões (1958 - 2004).



Fonte: Aguiar et al., 2012

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Analisar a ocorrência combinada de eolianitos e *beachrocks* nas adjacências do Aracatimirim.

### 2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar as estruturas sedimentares dos eolianitos e *beachrocks*;
- Identificar os principais contribuintes sedimentares que compõem os eolianitos e *beachrocks*;
- Verificar a correlação genética de sedimentos semi-consolidados e a formação de *beachrocks*.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Geração de Dunas no Ceará

Dunas costeiras são formas de relevo eólicas que se desenvolvem em ambientes que possuem um grande fornecimento de sedimentos inconsolidados disponível para serem transportados pelos ventos. Goldsmith (1978) define que a ocorrência de dunas costeiras é determinada pela (i) disponibilidade de sedimentos inconsolidados, (ii) ação do vento com força o bastante para retrabalhar e transportar o sedimento e (iii) superfície apropriada para deposição desse sedimento.

Possuem uma grande variedade de formas e dimensões, relacionadas às variações temporais e espaciais na entrada de sedimentos e regime dos ventos, são formadas por sedimentos predominantemente quartzosos, podendo atingir centenas de metros de altura e quilômetros de comprimento, e sua coloração pode variar de esbranquiçada a avermelhada (MARTÍNEZ, PSUTY & LUBKE, 2004). Como característica principal possui uma face de inclinação suave, estabelecida na direção preferencial do vento (barlavento) e uma face mais íngreme (sotavento) (REINECK & SING, 1980).

Segundo Flor (1990), além dos ventos outras condicionantes que determinam a forma das dunas são: umidade, vegetação, correntes costeiras, fluxo de ondas durante as tempestades, orientação costeira frente os ventos que predominam, além da história geológica (eustatismo e epirogenia) e influência antrópica. Podem ser classificadas (GOLDSMITH, 1978; HESP, 2000), de acordo com sua dinâmica deposicional e/ou erosional, sendo nomeadas como dunas estacionárias ou migratórias; e por seus aspectos morfológicos (barcanas, barcanóides, parabólicas, dômicas, estrelas, frontais, longitudinais, transversais e formas erosivas como os blowouts).

Meireles, Silva e Thiers (2006) relacionaram a existência dessas formas eólicas no Ceará às mudanças climáticas e do nível relativo do mar durante o Quaternário, que disponibilizaram sedimentos quartzosos e biodetríticos para serem transportados pelo vento; e à ocorrência de promontórios e estuários que proporcionam zonas de bypass de sedimentos. As condições climáticas do estado do Ceará (clima árido e semiárido) assim como ventos, insolação, baixa umidade e pluviosidade reduzida são ideais para a remobilização dos sedimentos arenosos; outro fator que contribui para o transporte desses sedimentos são as descargas fluviais que os remobilizam das bacias sedimentares nas quais suas nascentes estão localizadas para as praias e plataforma interna (MEIRELES *et al.*, 2005).

Maia (1998) definiu quatro gerações de dunas na planície costeira do Ceará baseado em uma série de variáveis como a forma, coloração, grau de cimentação e o tipo de vegetação, sendo elas:

1. Primeira geração (paleodunas): associadas a níveis do mar do Pleistoceno, possuem forma definida, sendo formadas por areias quartzosas inconsolidadas (bem a moderadamente selecionadas e granulação fina à média), de tonalidade avermelhada e encontra-se em contato direto com a Formação Barreiras;
2. Segunda geração (dunas parabólicas inativas): associadas ao período anterior ao máximo de transgressão marinha, são encontradas de forma isolada ou formando sistemas complexos, possuem forma de U e V e são estabilizadas por vegetação. São formadas por areias quartzosas de cor laranja a cinza, possuindo também grãos variando de bem a moderadamente selecionados e granulação fina à média. São consideradas dunas largas (320 a 460 m) com a altura variando entre 20 e 40 m e comprimento entre 1.200 e 2.000 m;
3. Terceira geração (eolianitos): são dunas arenosas cimentadas por carbonato de cálcio encontradas sob os sistemas de dunas móveis atuais. Possui sua distribuição associada a climas áridos e semiáridos, principalmente em áreas costeiras que possuem grandes acumulações de material biogênico;
4. Quarta geração (dunas ativas atuais): associadas aos níveis do mar mais baixo dos últimos 2.000 anos, são distribuídas em forma de um manto paralelo a linha de costa, são compostas por sedimentos de granulação variada (médio e fina a barlavento e um pouco mais grossa a sotavento), possuem coloração amarelada, e grão variando de bem a pobremente selecionados. Encontram-se separadas da praia entre 600 e 2000 m de distância sobre as outras gerações de dunas penetrando em direção ao continente até 6 km. A fonte de sedimento para a migração dessa geração de dunas são as dunas inativas e os terraços marinhos, já que a mesma não recebe aporte de sedimentos da praia.

Foi estimado pelo mesmo autor, a partir das taxas de migração dos variados tipos de dunas, que as dunas ativas atuais tiveram origem há 200 ou 300 anos e que a partir desse período não houve mais a formação de dunas, com exceção das acumulações associadas aos espigões.

### **3.2 Eolianitos**

Eolianitos são depósitos eólicos encontrados na zona costeira cuja sua deposição é controlada pela ação do vento, constituídos por grande quantidade de carbonato biogênico



(originários de organismos marinhos) retrabalhado de sedimentos marinhos rasos e que posteriormente sofreram processo de cimentação carbonática (MAIA, 1998; BROOKE, 2001; CARVALHO et al., 2008, CASTRO et al., 2017).

Essas unidades apresentam composição predominantemente quartzosa além de fragmentos carbonáticos biogênicos; são estratificadas (estratos paralelos e/ou cruzados, indicando sobreposição de camadas); possuem diversos graus de litificação variando de friáveis a fortemente litificadas; e usualmente estão presentes raízes litificadas que indicam terem sido, antes de sofrerem processo de cimentação, dunas fixadas por vegetação (CARVALHO et al., 2008).

As maiores estruturas de eolianitos são encontradas principalmente entre as latitudes de 20 ° e 40 °, distribuição essa relacionada ao baixo aporte terrígeno e as condições climáticas das regiões tropicais e temperadas mais secas (BROOKE, 2001). De acordo com Mckee & Ward (1983, *apud* ARIAS, 2015), o clima quente e seco contribui para a formação de eolianitos em três estágios da história sedimentar:

1. na constituição da plataforma continental adjacente rica em material carbonato biogênico (fragmentos de conchas, carapaças de organismos), uma vez que a baixa precipitação diminui o aporte terrígeno e a turbidez da água, ampliando a comunidade de organismos bentônicos fornecedora de material carbonático;
2. na eficiência do vento como transportador de grãos para a formação das dunas, além de sua relevância quanto a orientação e intensidade que influencia as ondulações e conseqüentemente na erosão;
3. e na precipitação química por evaporação que permite cimentação rápida.

Os eolianitos presentes no estudo encontram-se fora desse modelo já que estão situados em baixas latitudes. No entanto, pode-se explicar a ocorrência dessas unidades por esta situada no limite sul da ZCIT no verão e permanece os outros meses do ano com poucas chuvas, além de que nessa zona há a convergência de ventos alísios de NE e SE que ocasiona o aporte eólico *onshore* (ARIAS, 2015).

A gênese dos eolianitos tem sido associada com as oscilações do nível relativo do mar, na qual em determinado período do quaternário ocorreu o rebaixamento desse nível e, como consequência, regressão marinha. recuo do mar promoveu a exposição dos sedimentos ricos em carbonatos biogênicos da plataforma continental a ação dos ventos que, por sua vez, mobilizou o material para a zona costeira, onde se conglomeraram com sedimentos quartzosos e deram origem às dunas. Com a intermitência da regressão marinha, as dunas foram estabilizadas pelo fim da migração, o que as tornou sujeitas a água das chuvas que dissolveram os fragmentos de

conchas, carapaças e organismos marinhos presentes; essa água rica em carbonato de cálcio dissolvido infiltrou na duna e a temperatura mais elevada possibilitou a evaporação da água e a cristalização dos carbonatos não voláteis nos poros dos sedimentos (agindo como um cimento) e tornando-os mais rígidos; após solidificados, entraram em processo de erosão causada pela força dos ventos, processo esse que dura até atualmente e que dá forma a essas unidades (CARVALHO *et al.*, 2008).

Os mesmos autores revelam que a idade dos eolianitos é considerada recente quando comparada a história evolutiva da Terra com cerca de 4,6 bilhões de anos e que, embora haja estudos sobre a idade dessas unidades, as datações realizadas só revelam a época de litificação dessas unidades. O estudo desses depósitos é importante para a obtenção de informações a respeito das condições climáticas e morfodinâmicas e do sistema deposicional eólico da costa existente na época em que foram originados. No Ceará, eles se distribuem obliquamente por quilômetros ao longo da linha de costa, as vezes em contato direto com o mar e seu estudo (caracterização e mapeamento) encontra-se mais avançado quando comparado aos outros estados do Nordeste (CARVALHO *et al.*, 2008).

### **3.3 Beachrocks**

*Beachrocks*, também intituladas como “arenitos de praia” (FERREIRA JR. *et al.*, 2011) e “rochas praias” (SUGUIO, 1992), são rochas sedimentares formadas em zona litorânea, principalmente no estirâncio, pela rápida cimentação a partir da precipitação do carbonato de cálcio (calcita magnésiana e aragonita) de sedimentos praias (BRICKER, 1971). Essa cimentação pode ser auxiliada pela atividade bacteriana e sua ocorrência na zona de intermarés se deve às frequentes inundações e exposições resultantes da variação entre maré alta e maré baixa (COOPER, 1991). Ocorrem de forma dominante em ilhas e costas dos oceanos tropicais e subtropicais, mas também são encontradas nas regiões temperadas, evidenciando que águas quentes e ricas em carbonato de cálcio são requisitos importantes para sua origem (GISCHLER, 2007).

Kelletat (2006) afirma que esses depósitos não estão restritos apenas a zona de estirâncio, podendo ocorrer em zonas de pós-praia, especialmente em praias com regime de micromarés, em que sua formação é facilitada pelo *spray* marinho que favorece a cimentação. Essas rochas sedimentares também podem ser encontradas como uma nova faixa localizada na região costa-afora da plataforma continental; no entanto, foi revelada a insuficiência de informações a respeito delas, justificada pela dificuldade em se trabalhar em ambientes

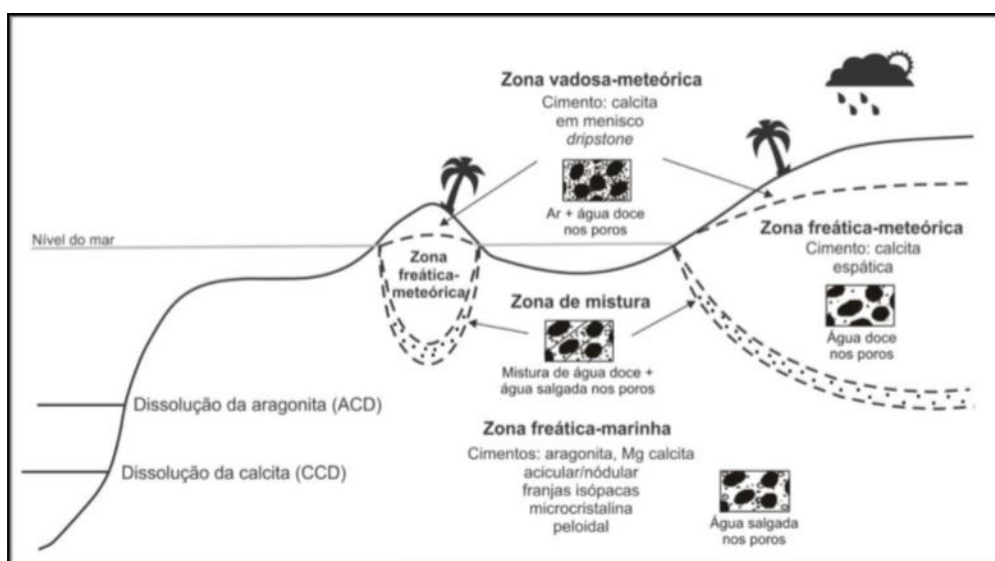
marinhos devido a suas condições intrínsecas e por serem facilmente confundidos com outras feições (CABRAL NETO, 2011).

Na costa, quando soterradas, possuem superfície relativamente suave e textura similar ao do material constituinte de seu ambiente de sedimentação, em comparação, os afloramentos de *beachrocks* expostos por longos períodos de tempo, apresentam superfície mais irregular devido ao intemperismo químico, e biológico e erosão mecânica (VOUSDOUKAS *et al.*, 2007). O intemperismo químico foi identificado por Miller e Mason (1994) como o agente erosivo mais forte, em que a variabilidade do pH da água do mar em combinação com outros parâmetros ambientais dinâmicos pode aumentar a solubilidade do carbonato, que resulta na formação de bacias de dissolução e de intemperismo.

Suas partículas constituintes apresentam composição mais ou menos similares a da costa adjacente sendo, nas costas tropicais e subtropicais, compostas predominantemente por grão de carbonato de origem marinha, além de grãos de rochas siliciclásticas (quartzo, feldspato, chert, minerais pesados e fragmentos de rochas metamórficas, ígneas ou sedimentar); a granulometria desses grãos é variada (areia a cascalho), podendo apresentar-se desde moderadamente a muito bem-selecionado (GISCHLER, 2007).

A cimentação de *beachrock*, ocorre mais comumente em ambiente diagenético marinho, porém também pode ser cimentada em ambiente diagenético meteórico (figura 1); em ambos os cimentos podem desenvolver-se sob condições freáticas, quando os fluidos precipitantes preenchem por completo os espaços entre os poros ou, em condições vadasas, quando esses fluidos ocupam parcialmente o espaço dos poros (GISCHLER, 2007).

**Figura 3 – Perfil esquemático representando zonas eodiagnéticas de Longman (1980).**



Fonte: Gischler, 2007.

Mesmo após décadas de pesquisas, ainda não está claro os fatores dominantes que controlam a sua formação. Os mecanismos utilizados para explicar a cimentação dos *beachrocks* incluem a precipitação induzida fisicoquimicamente e biologicamente de carbonato de cálcio; as teorias mais relatadas são:

1. Precipitação direta do cimento de água meteórica bem como de água marinha; os cimentos provenientes de águas meteóricas são tipicamente calcita de baixo teor de magnésio e sua precipitação ocorre através da percolação de água saturada em carbonato de cálcio da chuva durante a baixa exposição da maré, ou durante períodos mais longos de exposição subaérea (por exemplo, Pleistoceno), já os cimentos formados a partir de água marinha são predominantemente aragonita e calcita de alto teor de magnésio entre (GISCHLER, 2007);
2. Mistura de água marinha e meteórica, que pode ocasionar a saturação e precipitação do carbonato de cálcio, teoria essa reforçada pela coexistência de cimentos de proveniência marinha e meteóricas na mesma *beachrock* (HANOR, 1978);
3. Desgasificação de CO<sub>2</sub>, onde a dispersão vertical de fluidos na zona freática causada pela oscilação do lençol freático, é suficiente para induzir a desgasificação de CO<sub>2</sub> das águas subterrâneas que fluem para o mar; a capacidade das águas subterrâneas de desgaseificar e fornecer mais cimentos diminui à medida que a porosidade do sedimento e a precipitação do cimento diminui, sendo proposto por esse autor que as condições apropriadas como o tempo prolongado de residência da água é necessário para tanto a água subterrânea adquirir alta concentração de PCO<sub>2</sub> e CaCO<sub>3</sub> dissolvido, como que a desgaseificação ocorra antes que a água seja descarregada para o mar (HANOR, 1978);
4. Atividade biológica, sendo freqüentemente citados os processos de fotossíntese de algas, degradação microbiana de matéria orgânica, ação vinculativa de algas incrustadas, e calcificação bacteriana (DAVIES AND KINSEY, 1973; KRUMBEIN, 1979; NEUMEIER, 1999). A associação do cimento micrítico dos *beachrocks* com material orgânico e filamentos microbianos por Webb et al. (1999) sugere que a precipitação do carbonato estaria relacionada a presença de matéria orgânica e/ ou micróbios (responsáveis por alterar a química da água) e também que a matéria orgânica (em meio fluido saturado de carbonato) pode promover a nucleação do carbonato.

No que diz respeito a impactos, Vousdoukas *et al.* (2007) atribuíram cinco impactos diretos causadas pelos *beachrocks* na morfologia praial; são eles: (I) Efeito de mitigação da erosão de praia, atuando como barreira natural ao dissipar e reduzir a energia das ondas incidentes ou até quebrando as ondas que incidem na costa; (II) Estabilização do perfil de praia,

na qual evidências sugerem que afloramentos de *beachrocks* (ou superfície superior de *beachrocks* enterradas) podem atuar como controladores de perfil, afetando consideravelmente a flutuação dos perfis da praia reduzindo sua capacidade de modificar em resposta à influência da energia das ondas; (III) Alteração da hidrodinâmica próxima à costa, devido alterarem a rugosidade do assoalho oceânico quanto na energia das ondas incidentes na praia; (IV) Mudanças no suprimento sedimentar, como consequência do confinamento dos sedimentos que antes estavam sob influência da dinâmica costeira pela cimentação e consequente formação de *beachrocks* e agora tornam-se parte do arcabouço dos *beachrocks*; e (V) Mudanças no caráter poroso do assoalho oceânico, modificando o processo de infiltração e aumentando a quantidade de sedimentos em suspensão na zona de espriamento, o que os deixa mais vulnerável a erosão.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Análise Bibliográfica e Cartográfica

Na etapa de levantamento cartográfico e bibliográfico foram pesquisados diversos artigos, livros, monografias, dissertações e teses que tratam de temas oceanográficos e geológicos internacionais, nacionais e da área de estudo.

### 4.2 Campo

A etapa de campo foi realizada nos dias 18 e 19/03/2017 para o reconhecimento da área de estudo, registros fotográficos, identificação e descrição das unidades geomorfológicas, coletas de amostras de depósitos eólicos e *beachrocks* (tabela 1), medições de estruturas sedimentares primárias utilizando clinômetro e bússola e das microfeições dos *beachrocks*.

Tabela 1 – Amostras coletadas em campo

Ponto de amostragem	Nome da amostra	Local	Coordenadas (X, Y) Zona 24S	
P.01	TOR_P1 (DUNA RECENTE)	Margem esquerda	411655	9673653
P.02	TOR_P1 (EOLIANITO)	Margem esquerda	411655	9673653
P.03	TOR_P1.1 (EST. SUPERIOR)	Margem esquerda	411660	9673656
P.04	TOR_P1.2 (EST. MEDIO)	Margem esquerda	411675	9673653
P.05	TOR_P1.3 (EST. INFERIOR)	Margem esquerda	411693	9673656
P.06	TOR_P2.1 (EOLIANITO)	Margem esquerda	411478	9673911
P.07	TOR_P2 (EST. SUPERIOR)	Margem esquerda	411517	9673851
P.08	TOR_P2.2 (EST. MEDIO)	Margem esquerda	411531	9673861
P.09	TOR_P2.3 (EST. INFERIOR)	Margem esquerda	411551	9673867
P.10	TOR_P3.1 (EST. SUPERIOR)	Margem esquerda	411394	9674045

**Continuação**

<b>Ponto de Amostragem</b>	<b>Nome da amostra</b>	<b>Local</b>	<b>Coordenadas (X, Y) Zona 24S</b>	
<b>P.11</b>	TOR_P3.2 ((EST. MEDIO))	Margem esquerda	411414	9674055
<b>P.12</b>	TOR_P3.3 (EST. INFERIOR)	Margem esquerda	411447	9674076
<b>P.13</b>	P4 (DUNA RECENTE)	Margem direita	411781	9673454
<b>P.14</b>	P4 (EOLIANITO)	Margem direita	411781	9673454
<b>P.15</b>	P4.1 (EST. SUPERIOR)	Margem direita	411777	9673455
<b>P.16</b>	P4.2 (EST. MEDIO)	Margem direita	411774	9673460
<b>P.17</b>	P4.3 (EST. INFERIOR)	Margem direita	411758	9673473
<b>P.18</b>	PLATAFORMA DE ABRASÃO	Margem direita	412644	9673861
<b>P.19</b>	FOZ_FALÉSIA_SUP	Margem direita	411637	9673254
<b>P.20</b>	FOZ_FALÉSIA_MED	Margem direita	411637	9673254
<b>P.21</b>	FOZ_FALÉSIA_INF	Margem direita	411637	9673254
<b>P.22</b>	FOZ_INTERMEDIO	Margem direita	411633	9673255
<b>P.23</b>	FOZ_BEACHROCK	Margem direita	411615	9673266

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

### **4.3 Laboratório**

#### **4.3.1 Análise Granulométrica**

A análise granulométrica é um método utilizado para caracterizar e classificar os sedimentos de acordo com o seu tamanho. Primeiramente, foram pesados 100 gramas de cada amostra, que passaram pelo peneiramento úmido, processo utilizado para a retirada de saís e das frações mais finas (silte e argila) em uma peneira com abertura de 0,062 mm sob água corrente e, posteriormente, são colocadas na estufa para a secagem. Após a lavagem e secagem da amostra, fez-se a granulometria seca, processo no qual as amostras passam por uma sequência de 12 peneiras com malha variando de 0,090 á 4,00 mm (em ordem decrescente) com

o auxílio de um agitador mecânico (*rot up*). Em seguida, o material retido em cada peneira é pesado e anotado.

**Figura 4 – Procedimento de análise granulométrica.**



Fonte: autora, 2017.

#### **4.3.2 Quantificação do teor de Carbonato de Cálcio**

Os teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) foram determinados pelo método do Calcímetro de Bernard Modificado. Nesse método são utilizados duas buretas e um kitasato modificado que se comunicam através de uma mangueira. Este sistema mede a concentração de  $\text{CaCO}_3$  dos sedimentos através da captação e medição de gás carbônico, que acontece quando o ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) entra em contato com o  $\text{CaCO}_3$  existente na amostra de sedimento.

**Figura 5 – Sistema de pipetas comunicantes utilizado no método do Calcímetro de Bernard modificado.**



Fonte: autora, 2017.



Foram utilizados 50g de amostra sedimentar e 2 ml de ácido clorídrico (HCl) diluído em 10%. Quando ocorreu a mistura dos dois, o CO<sub>2</sub> foi liberado proporcionalmente à concentração de carbonato do sedimento, e a coluna d'água contida em na bureta foi deslocada. Em seguida, o mesmo procedimento foi realizado com o CaCO<sub>3</sub> puro, para definir o volume padrão que será utilizado para medir a proporção, que é encontrada através do cálculo:

$$C_{\text{amostra}} (\% \text{ CaCO}_3) = (V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}) / V_{\text{padrão}}$$

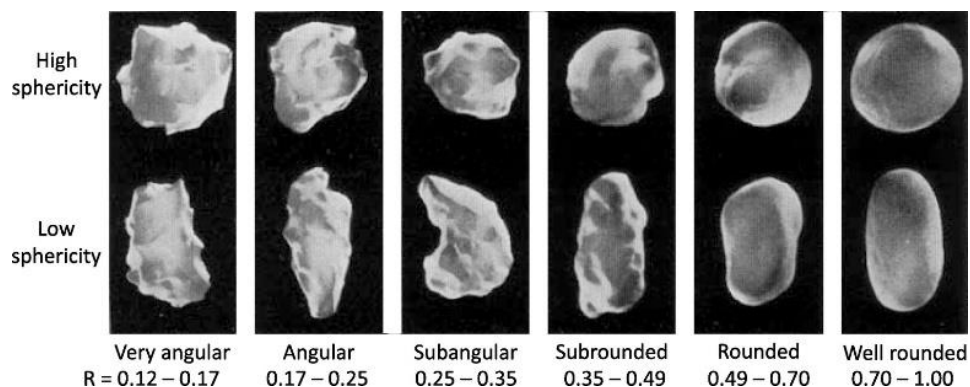
Onde: **C<sub>amostra</sub>**: concentração de CaCO<sub>3</sub> da amostra; **C<sub>padrão</sub>**: concentração padrão da amostra a 99 % de CaCO; **V<sub>amostra</sub>**: volume da solução salina deslocado pelo CO<sub>2</sub>; **V<sub>padrão</sub>**: volume de solução salina deslocado pela amostra padrão.

Para o processamento dos dados foi utilizado do *Software* de Análise Granulométrica (SAG), utilizando a classificação de *Larsonneur* (1977/DIAS, 1996) para analisar a correlação tamanho do grão e teor de carbonato de cálcio.

#### 4.3.3 Análise da Forma dos Grãos e Composição

Para identificar a forma e textura dos grãos de quartzo das amostras de eolianitos foi utilizado o método da morfometria. Esse método é fundamentado pela esfericidade e arredondamento dos grãos. Conforme Dias (2004), o primeiro se refere ao grau em que a forma de uma partícula se aproxima de uma esfera e, o segundo de acordo com Suguio (1973) retrata a distância e o rigor do transporte. Para a classificação dos grãos foi utilizada a escala de Powers (1953).

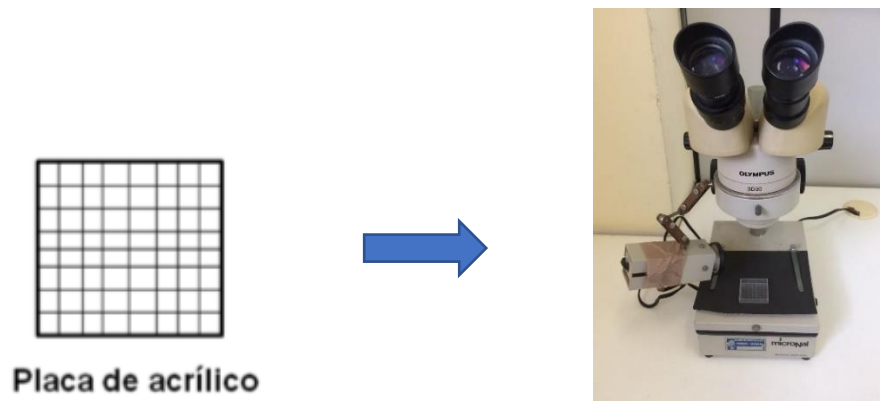
**Figura 6 – Seis escalas de arredondamento e esfericidade baseada na Escala de Powers (1953).**



Fonte: Powers, 1953.

Para sua realização, primeiramente ocorreu a separação das frações (areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina) pelo peneiramento mecânico e, em seguida, cada fração foi colocada em uma placa de acrílico (dividida em colunas verticais e horizontais com o intuito de facilitar a contagem) e observadas em uma lupa binocular, totalizando 200 grãos.

**Figura 7 – Material utilizado para a análise morfométrica e da relação Quatzo x Bioclasto.**



Fonte: autora, 2017.

Após a classificação quanto a forma e textura, foram contabilizados para as amostras de eolianitos e *beachrocks*, a quantificação dos grãos de quartzo e de bioclasto. Os grãos constituintes das amostras de eolianitos foram contabilizados em cada fração, enquanto que os *beachrocks* foram analisados macroscopicamente. Em seguida foi realizada a análise estatística para determinar a proporção de cada constituinte.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Padrões Morfológicos

Foram identificados dois padrões deposicionais ao longo da planície costeira no entorno do Rio Aracatimirim: os depósitos eólicos, representados pelas dunas móveis, fixas e eolianitos; e os *beachrocks*.

As unidades associadas às dunas móveis e fixas, se encontraram sobrepostas aos eolianitos verificando-se a atual tendência de fixação das dunas móveis. Segundo Claudino Sales (2002), no estado do Ceará as “dunas fixas” ocorrem ao longo de toda a extensão costeira, incluindo tanto paleodunas parabólicas, quanto depósitos de formas indefinidas estabilizados por vegetação costeira. Meireles *et al.* (2005) afirmam que a fixação dessas dunas está relacionada aos eventos transgressivos associados à elevação da umidade, que causam a inversão das condições climáticas presentes nos eventos regressivos, induzindo a fixação de dunas, seja pela edafização, seja pela formação de eolianitos.

Estudos realizados por Castro (2001) e Maia *et al.* (2005), verificaram que a velocidade de movimentação da duna é inversamente proporcional aos índices de precipitação da região, ou seja, quanto mais chuva menos ocorre a movimentação de dunas. Ao correlacionar eolianitos e os campos de dunas transversais móveis atuais (última geração), Castro *et al.* (2017) inferiu que grande parte dos eolianitos são representantes de uma fase de evolução, nas quais a formação de dunas compostas (eolianitos e dunas móveis) levaria, posteriormente, à acumulação de dunas parabólicas.

A unidade geomorfológica mais relevante no local são os eolianitos. A grande ocorrência desta unidade no litoral oeste do Ceará deve-se a alta produtividade primária da plataforma continental, influenciada pelas águas quentes da Corrente Equatorial, clima semi-árido, fortes ventos e correntes longshore (CASTRO, 2001). Estes foram encontrados sob diversas formas tanto na margem esquerda como na margem direita do rio, como: escarpas erosivas, tabulares, zigue-zague, *yardang* e *zeugen* (Figura 8), e corredores de deflação.

Figura 8 – Feições similares a (1) *Yardang*; (2) *Zeugen*.



Fonte: autora, 2017.

Livingstone & Warren (1996), definem *zeugens* como feições originadas pela abrasão do material em uma zona situada a algumas dezenas de centímetros acima do solo, quando ocorre o transporte de sedimentos por saltação; enquanto *yardangs* são formas de relevo esculpidas no leito da rocha pelo impacto de grãos em saltação. Maia (1998) e Maia *et al.* (1999) associam algumas destas morfologias ruineformes ao processo deflação recente.

Na margem esquerda do Rio Aracatimirim predominam as feições de escarpas erosivas, pelo efeito da atual tendência retrogradacional da linha de costa, facilmente identificável pelo solapamento e deslizamento gravitacional de blocos de eolianitos. De maneira geral, os eolianitos apresentam uma baixa litificação. Já na margem direita, foi observado a presença de eolianitos com grau de litificação maior e associação com feições do tipo tabulares, *yardang* e *zeugen*. Essa fraca diagênese dos depósitos de eolianitos pode ser explicada pela sua idade deposicional no Estado do Ceará com menos de 4000 anos (relativamente jovem), que não

fornece tempo suficiente para a cimentação mais complexa dos grãos de quartzo (MEIRELES, 2006; ARIAS, 2015, CASTRO *et al.*, 2017).

Estratificações cruzadas e rizoconcreções (Figura 9) de tamanhos variados foram identificados desde o topo até a base da escarpa. Estas rizoconcreções indicam que as dunas forma fixadas por vegetação costeira e, posteriormente, passaram por um processo de cimentação, no qual a matéria orgânica é substituída parcialmente por carbonato de cálcio (CARVALHO *et al.*, 2008).

Foi evidenciada também a presença de depósitos tecnogênicos (estruturas decorrentes da atividade humana) e a colonização de vegetação. Tsoar *et al.* (2009), afirma que a vegetação em dunas de arenosa no nordeste brasileiro prospera quando a precipitação supera 400mm e a energia eólica é baixa; e que durante o periodo do Quaternario, foram registrados alguns periodos úmidos com energia muito menor que atualmente, confirmando assim, que nesses periodos as dunas foram estabilizadas pela vegetação, não devido ao aumento da precipitação, mas sim pela ocorrencia do vento mais fraco.

**Figura 9 – Rizoconcreções (1) na base da da escarpa; (2) com presença de estratificações cruzadas; (3) na porção superior da escarpa.**





Fonte: autora, 2017.

Ainda na margem esquerda do rio Aracatimirim, são encontrados na região da faixa de praia de Torrões, *beachrocks* em forma de pequenos blocos setorizados em três partes da região entremarés (estirâncio superior, médio e inferior). Em cada setor do estirâncio foi observado um padrão distinto, com diferentes estruturas primárias, graus de litificação (variando de friáveis a fortemente litificados) e tamanhos (Tabela 2).

**Tabela 2 – Tamanho dos blocos dispostos no estirâncio da margem esquerda.**

<b>Tamanho (cm)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>
<b>Estirâncio superior</b>	33 x 37	101 x 150	21 x 35	54 x 84
<b>Estirâncio intermediário</b>	13 x 30	204 x 240	56 x 63	79 x 111
<b>Estirâncio inferior</b>	33 x 55	166 x 178	40 x 41	84 x 117

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

No estirâncio superior (Figura 10), os *beachrocks* não se apresentavam totalmente litificados, devido ao recente processo de cimentação a partir da água marinha. Apresentavam superfície enrugada, estratificações plano-paralelas semelhantes as estratificações dos eolianitos adjacentes a ele, e tamanhos menores quando comparado aos *beachrocks* do estirâncio médio e inferior, sendo assim, foi verificada a formação de *beachrock* a partir de uma rocha preexistente (eolianito).

**Figura 10 – Bloco de eolianito do estirâncio superior.**



Fonte: autora, 2017.

Os *beachrocks* dispostos no setor intermediário do estirâncio (Figura 11.1) apresentaram um processo evolutivo de litificação. Seus blocos, que mediram tamanhos superiores aos blocos do setor anterior e também se apresentavam estratificados. No estirâncio inferior (Figura 11.2), os *beachrocks* apresentaram blocos totalmente litificados e com tamanhos superiores aos pacotes presentes nos outros setores. Foi observada a presença de bacias de dissolução (depressões decorrentes da dissolução do carbonato pela atividade das algas), pináculos (feições piramidais pontiagudas) e comunidades de organismos marinhos como: cracas, moluscos e algas foliáceas.

Figura 11 – *Beachrocks* (1) do estirâncio intermediário em processo evolutivo de litificação; (2) totalmente litificadas presentes no estirâncio inferior.

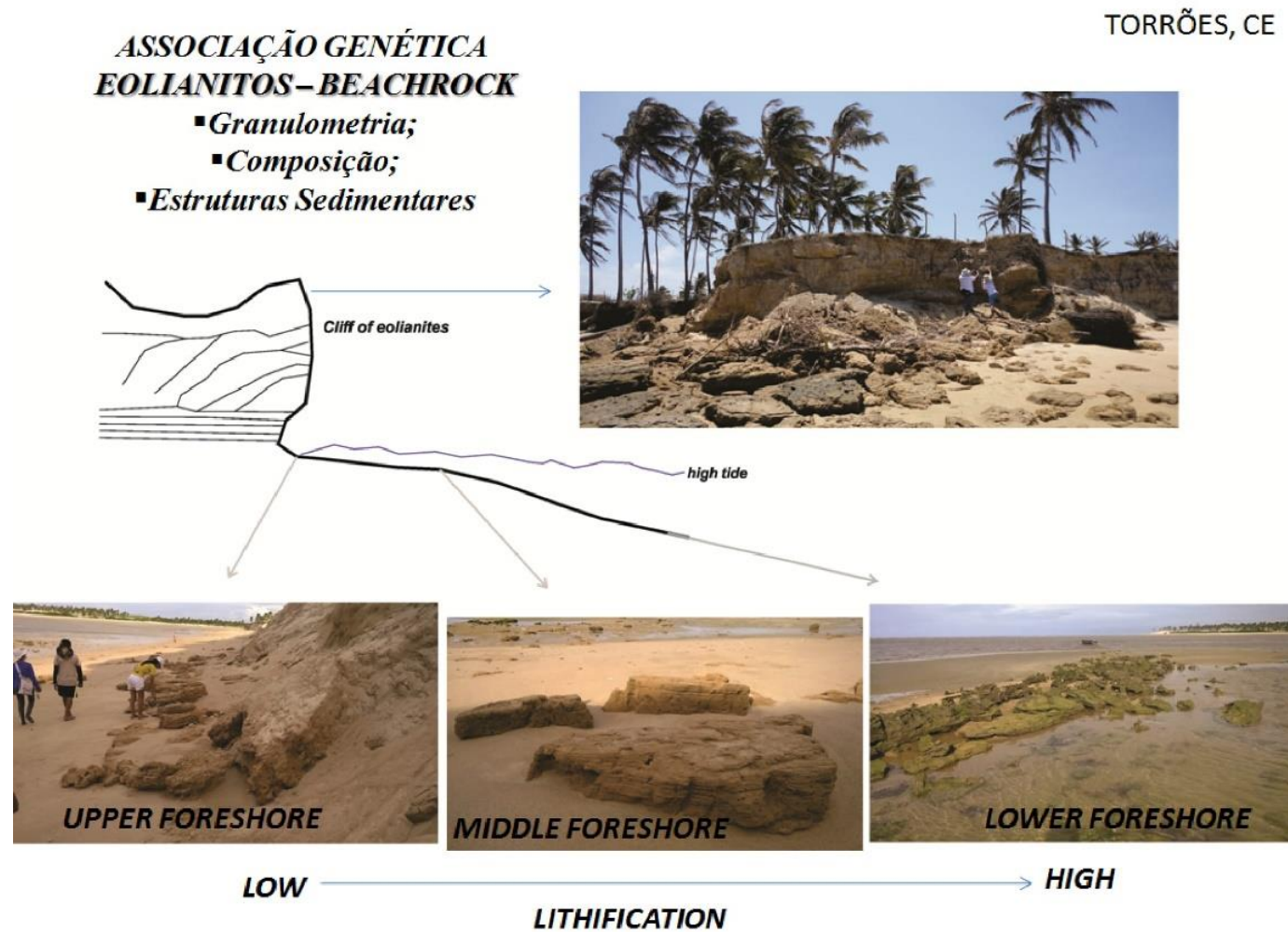


Fonte: autora, 2017.

A setorização identificada no estirâncio indica a contínua tendência retrogradacional dos depósitos de eolianitos devido ao recuo da linha de costa e consequente formação de *beachrocks*, evidenciando a associação genética dos *beachrocks* a partir dos eolianitos, visto que as características morfológicas e sedimentares são similares (Figura 12).



Figura 12 – Associação genética Eolianitos-Beachrocks.



Fonte: autora, 2017.

Na margem direita, além dos *beachrocks* setorizados no estirâncio foram encontradas plataformas de abrasão na faixa de praia e na foz do Rio Aracatimirim. As unidades setorizadas no estirâncio (Figura 13), de maneira geral, possuíam características similares às da margem esquerda, diferenciando-se apenas no padrão de tamanhos dos blocos, em que os blocos situados no estirâncio superior revelaram tamanhos maiores que os blocos do estirâncio inferior (Tabela 3).

**Figura 13 – *Beachrocks* setorizados no estirâncio da margem direita.**



Fonte: autora, 2017.

**Tabela 3 – Tamanho dos blocos dispostos no estirâncio da margem direita.**

<b>Tamanho (cm)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>
<b>Estirâncio superior</b>	40 x 60	100 x 114	28 x 26	57 x 78
<b>Estirâncio intermediário</b>	14 x 55	77 x 117	30 x 60	53 x 89
<b>Estirâncio inferior</b>	36 x 58	44 x 80	5 x 11	43 x 65

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

As plataformas de abrasão situadas na faixa de praia (Figura 14) apresentavam-se como corpos maciços sem estratificações, nos quais foram verificados feições como: *underminings* (Figura 14.1), também denominados de “incisões basais” por serem entalhes que ocorrem em suas bases resultantes de ataque das ondas na base arenosa. Foram identificados fraturamentos (Figura 14.2) oblíquos (S140E, S130E, N60E), paralelos (S150E) e perpendiculares (N70E) a linha de costa e crostas ferruginosas semelhantes às da plataforma de abrasão próxima à foz do rio. Bacias de dissolução, associado à estes corpos são encontrados comunidades de algas, rodólitos e moluscos.

Figura 14 – Plataforma de abrasão no faixa de praia da margem direita (1) com presença de *underminings*; (2) e fraturamentos.



Fonte: autora, 2017.

Os fraturamentos presentes nesses corpos estão relacionados com a gravidade, nas quais as juntas se formam através de processos de deslizamento gravitacional (BEZERRA, 2003; FERREIRA JR, 2005, 2010). Ferreira Jr. (2005) sugere que os sets de juntas formados pelo deslizamento de blocos causados pela remoção do material abaixo dos corpos, consequência dos *underminings*, apontados pelo autor como o principal fator para a erosão.

A plataforma de abrasão situada próximo à foz do Rio Aracatimirim (Figura 15) diferenciavam-se destes por encontrarem-se sob influência de três agentes hidrodinâmicos: rio, maré e ondas. Seus blocos apresentaram tamanhos muito superiores aos *beachrocks* presentes no estirâncio e nela foram identificadas diversas feições como bacias de dissolução (Figura 16.1) com a presença de diversas comunidades de

organismos marinhos (cracas, peixes, camarão, ostracodes e algas), devido funcionarem como poças de marés quando ocorre a inundação e conseqüentemente o aprisionamento da água. Foram identificadas as presenças de: pináculos (Figura 16.3) e níveis de concreção ferruginosos (Figura 16.2), cuja presença pode ser atribuída à depósitos fluviais antigos (típico de planícies de inundação).

**Figura 15 – Plataforma de abrasão na foz do Rio Aracatimirim.**



Fonte: autora, 2017.

**Tabela 4 – Medidas dos *beachrocks* da foz do Rio Aracatimirim**

<b>Medições (cm)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Tamanho</b>	26 x 41	285 x 370	93 x 129	75 x 105
<b>Profundidade</b>	5	60	33	16

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

**Figura 16 – Feições encontradas na plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim: (1) bacia de dissolução; (2) níveis de concreção ferruginosos; (3) pináculos.**



Fonte: autora, 2017.

Esta plataforma de abrasão, apesar de possuir características semelhantes ao maciço encontrado na faixa de praia, não pode ser definida como *beachrock*, pois não foi evidenciado cimento carbonático, mas sim material ferruginosos, sendo consideradas depósitos fluviais em forma de plataforma de abrasão.

A retaguarda dessa plataforma estava presente uma falésia (Figura 17) com seções de distintas composições: areno e areno-lamoso, nas quais foi verificada a presença de material ferruginoso. Sua base era constituída de uma material semi-consolidado, sendo que com a erosão da seção basal, o material fica disposto no estirâncio a influência aquosa e posteriormente ocorre a formação de uma rocha bem consolidada, similar a um *beachrock*, porém de natureza fluvial. Ou seja, com influência da água do mar ocorre um rearranjo diagenético e há uma concentração ferruginosa em forma de crostas.

Figura 17 – Falésia adjacente a plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim.

### Falésia - Depósitos fluviais / Margem direita do Rio Aracatimirim



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Foi verificada também a presença de linhas de seixo (*stone lines*) em depósitos fluviais de granulometria fina (Figura 18), identificando assim, sucessões de atividades fluviais do Rio Aracatimirim. Estudos já realizados por Moraes (1998) no baixo curso do Rio Aracatimirim, verificaram a presença de terraços fluviais e sedimento cascalhoso que foram associados aos sedimentos do Pleistoceno.

**Figura 18 – Linhas de seixo presentes na falésia.**



Fonte: autora, 2017.

## **5.2 Aspectos Estratigráficos**

No setor mais próximo à foz do Rio Aracatimirim, foram verificadas, nas duas margens, escarpas erosivas com características estratigráficas e padrões de deposição diferentes. Os principais estilos de estratificações encontrados foram: plano paralelo e cruzada (festonada / acanalada). A escarpa situada na margem esquerda (Figura 19) apresentava três seções: duna fixa na seção superior, eolianitos na seção abaixo e depósito consolidado (basal).

**Figura 19 – Escarpa da margem esquerda com presença de estratificações plano-paralelas e cruzadas.**



Fonte: autora, 2017.

Na seção superior estava presente uma duna fixa com altura de 61 cm. Os eolianitos mediram 143 cm de altura, sendo verificado, na sua base, o predomínio das estratificações plano paralelas e sobrepostas a elas (Tabela 5), foi evidenciado as estratificações cruzadas, sendo as que as transições de uma forma de estratificação para a outra foram de suave à abrupto (predominante). Castro (2004), revela que a deposição desses eolianitos na costa noroeste do estado do Ceará é controlada por estratificação cruzada de ângulo alto ou baixo e que suas cristas se encontram paralelas à direção do vento nordeste.

**Tabela 5 – Ângulo dos mergulhos dos estratos cruzados e plano-paralelos.**

<b>Mergulho</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>
Cruzadas	0°	35°	1,55°	2,8°
Plano-paralelas	7°	39°	10,22°	17°

Fonte: elaborado pela autora, 2017.



Na margem direita, a escarpa apresentava duas seções: duna recente no topo medindo 1,80 m e eolianitos em sua base com altura de 1,20 m (Figura 20). Esta apresentava principalmente estratificações plano-paralelas, estilo visto em quase toda a margem direita, na qual estratificações mergulhos com ângulos mais baixos eram predominantes (Tabela 6).

**Figura 20 – Escarpa situada na margem direita apresentando estratificações de ângulos menores.**



Fonte: autora, 2017.

**Tabela 6 - Ângulo dos mergulhos dos estratos.**

Mergulho	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	Média
Margem Esquerda	0°	35°	10,39°	14°
Margem Direita	0°	9°	2,72°	3,4°

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Essas estratificações de natureza eólica demonstraram importantes indicadores de regimes de transporte, onde os mergulhos das estratificações demonstraram a preservação de estratos associados a face de deslizamento de dunas, e que esses estratos possuem a

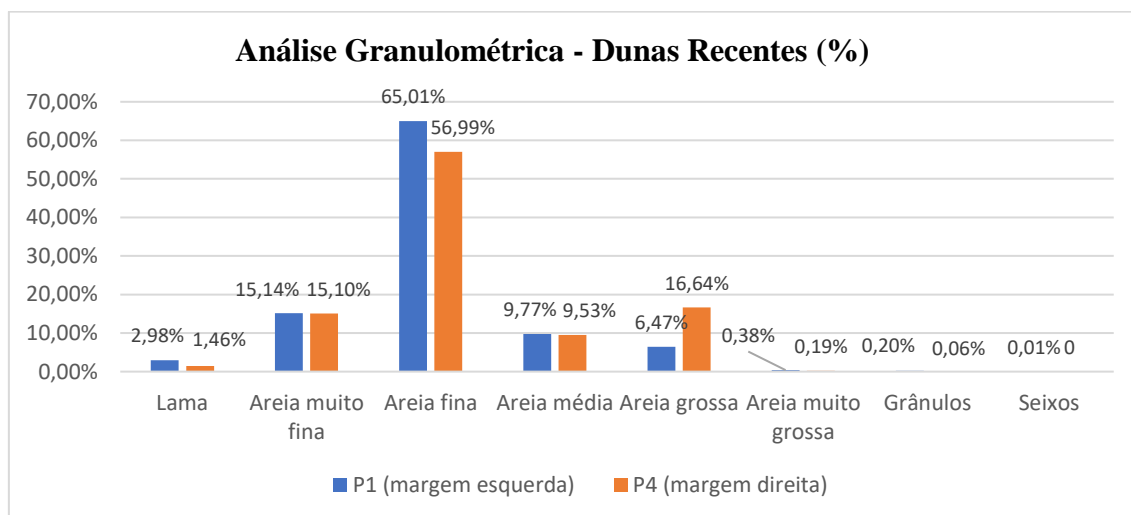
mesma direção do vento atual, concluindo-se que desde a formação dos depósitos que originaram os eolianitos, os ventos mantiveram a mesma direção.

### 5.3 Aspectos Sedimentológicos

#### 5.3.1 Depósitos inconsolidados

As dunas sobrepostas aos eolianitos (Gráfico 1) apresentaram em sua composição a predominância da fração de areia fina, com teores variado entre 57% e 65%, sendo classificadas segundo a classificação Larssonneur (Dias/96) como areias litobioclásticas fina a muito fina com grãos moderadamente selecionados.

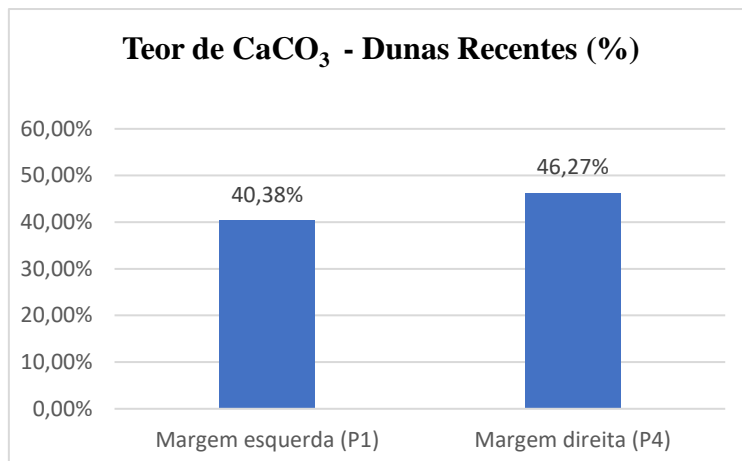
**Gráfico 1 – Granulometria das dunas sobrepostas aos eolianitos.**



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Os teores de carbonato nessas dunas (Gráfico 2) variaram de 40,38 % a 46,27%, valores muito mais altos que os observados por Arias (2015) na planície costeira de Almofala que apresentou até 22%. Esses valores elevados podem estar associados aos sedimentos mais grossos de conchas de molusco.

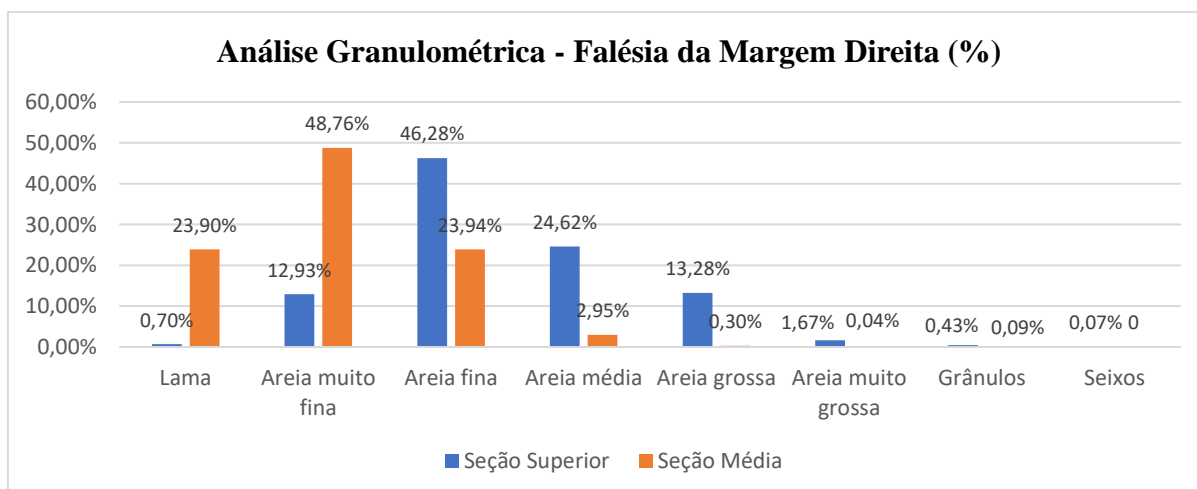
**Gráfico 2 – Teores de carbonato de cálcio das dunas sobrepostas aos eolianitos.**



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

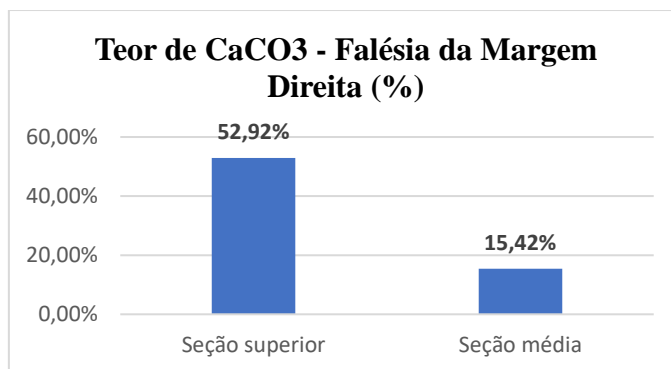
A falésia encontrada próxima à plataforma de abrasão situada na foz do rio, apresentou grãos moderadamente selecionados tanto na seção superior como na média (Gráfico 3). Na seção superior o sedimento predominante foi areia fina (46,28%), sendo classificada segundo a classificação de Larssonneur (Dias/96) como areia biolitolástica fina a muito fina. Já a seção média, apresentou sedimentos areno-lamosos, nos quais 23,9% da amostra era constituída por lama e 48,76% por areia muito fina (predominante), sendo classificada como areia litoclástica fina a muito fina. Os teores de carbonato de cálcio variaram significativamente de uma seção para outra (Gráfico 4). Valores maiores (52,92%) foram encontrados na superior, enquanto que a média apresentou apenas 15%.

**Gráfico 3 – Granulometria da falésia adjacente a plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim.**



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

**Gráfico 4 – Teor de carbonato de cálcio da falésia adjacente a plataforma de abrasão situada na foz do Rio Aracatimirim.**

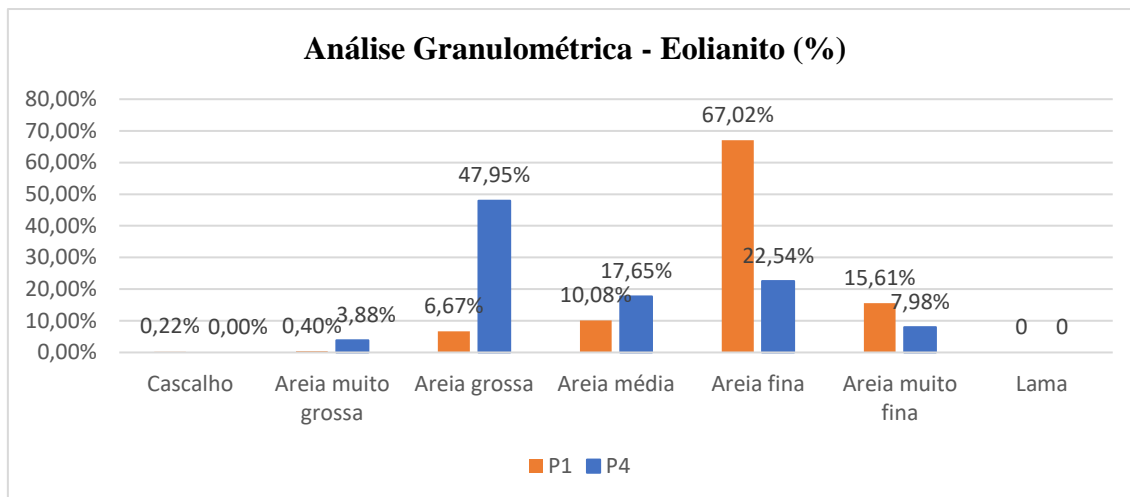


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

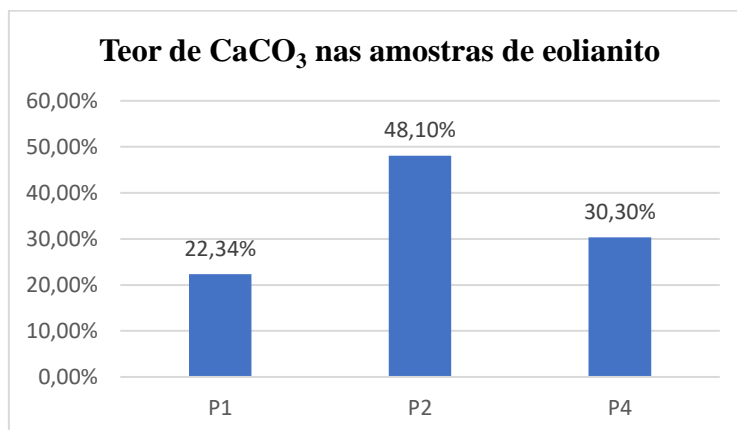
Maia (2012) demonstrou em seu estudo, a ocorrência de algumas fácies sem estruturas primárias com textura fina e com a presença de níveis argilosos. Segundo o mesmo autor, estes sedimentos estariam relacionados a um sistema fluvial de baixa energia ou a uma facie distal ao canal e foram intitulados por ela como sedimentos pós-Barreiras.

### **5.3.2 Eolianitos**

A granulometria dos eolianitos (Gráfico 5) demonstrou sedimentos moderadamente selecionados. Na margem esquerda, foi verificada a predominância de areia fina (67,02%), sendo classificada como areia litoclástica fina a muito fina com teores de carbonato de cálcio variaram entre 22,34% e 48,10% (Gráfico 6). Na margem direita, observou-se a predominância de areia grossa (47,95%), sendo classificada como areia litoclástica grossa a muito grossa e seu teor de carbonato correspondendo a 30,3%.

**Gráfico 5 – Granulometria dos eolianitos.**

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

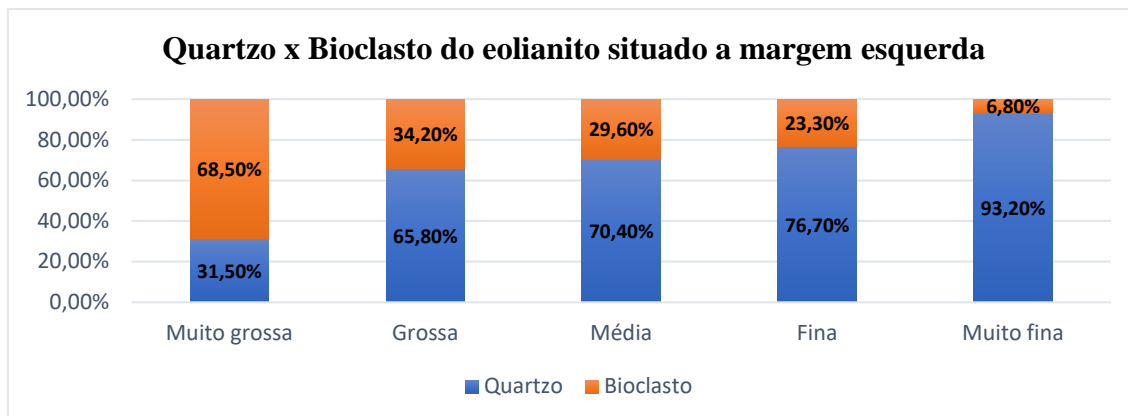
**Gráfico 6 – Teores de carbonato de cálcio dos eolianitos.**

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Fácies com características semelhantes foram encontradas por Arias (2015) na planície costeira de Almofala, onde o sedimento constituinte desses depósitos correspondia a quartzarenito fino a grosso com bioclastos e presença de estratificações cruzadas. Já os eolianitos da planície costeira de Itarema consistiam em quartzarenito com bioclastos, tamanho fino a médio e com presença de escassas estratificações.

No que diz respeito aos seus constituintes, os eolianitos das duas margens apresentaram sedimentos mistos com predomínio de sedimento quartzoso. Os da margem esquerda (Gráfico) eram compostos por 67,52% de quartzo e 32,48% de bioclastos, sendo verificada no sentido granodécrescente o aumento do teor de grãos de quartzo, sendo que na fração de areia grossa os bioclastos são a maioria (68,5%).

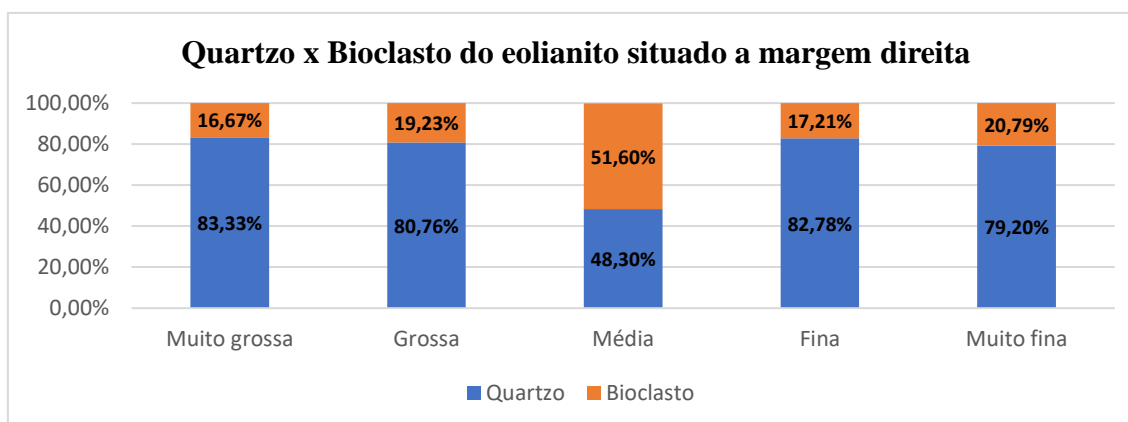
Gráfico 7 – Quartzo x Bioclasto do eolianito situado na margem esquerda.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na margem direita (Gráfico), também ocorre a predominância dos grãos de quartzo (74,9%) sobre os grãos de bioclastos (25,1%), sendo verificado em quase todas as frações valores muito altos de quartzo ( $\pm 80\%$ ), com exceção da fração Areia Média, que apresentou maior teor de bioclasto (51,6%).

Gráfico 8 – Quartzo x Bioclasto do eolianito situado na margem direita.

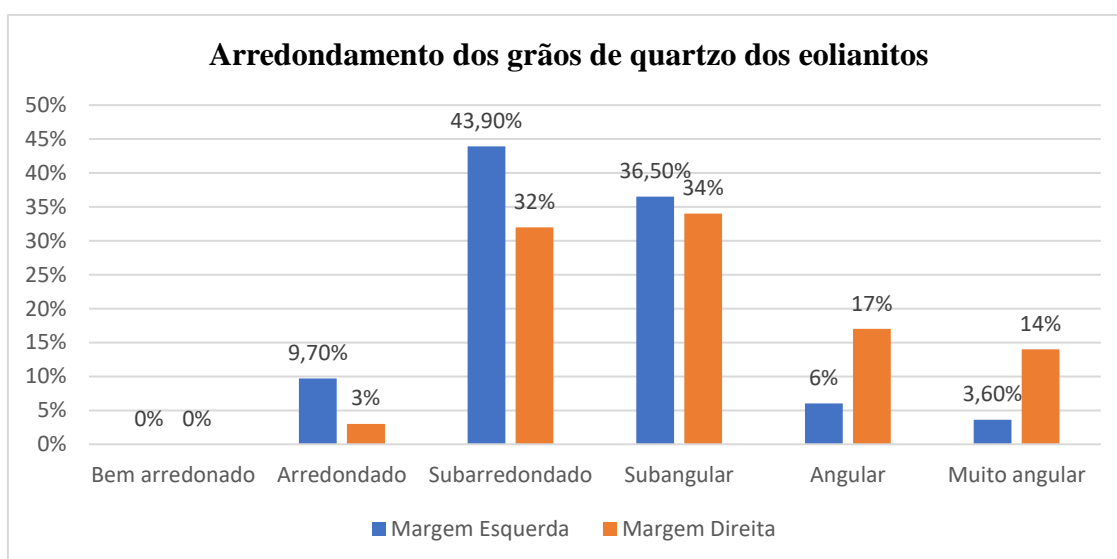


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A plataforma interna de Itarema, em um estudo de Paula (2004), demonstrou-se rica em sedimentos carbonáticos algálicos, principalmente Lithothamnium, rodólitos e moluscos. O elevado teor de constituintes bioclasticos nestas dunas pode estar associado as elevações do nível do mar, nos quais durante o evento de transgressão, os ambientes costeiros (praia e campos de dunas) foram afogados e parcialmente retrabalhados com a introdução de componentes bióticos presentes na plataforma (FREIRE & CAVALCANTE, 1998).

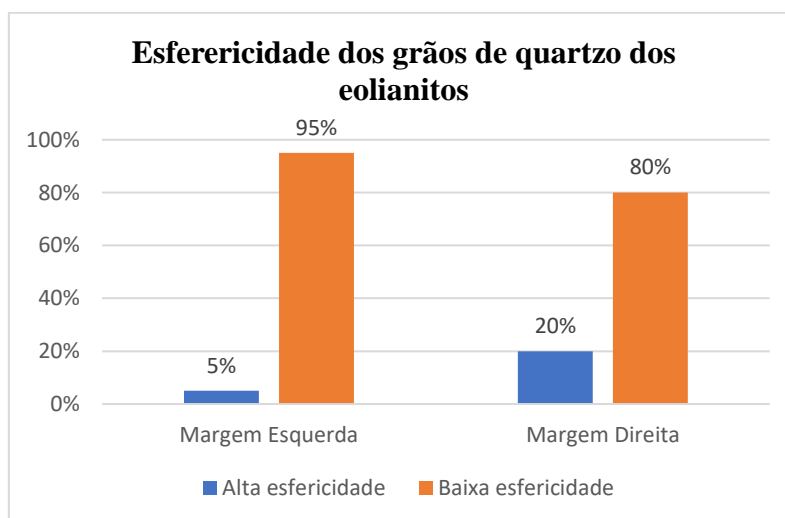
Os grãos de quartzos das amostras possuíam formas, principalmente, subarredondadas e subangulares (Gráfico 9). Na margem esquerda os grãos subarredondados são a maioria (43,9%) seguidos dos grãos subangulares (36,5%), enquanto que na margem direita houve o predomínio de grãos subangulares (34%) seguidos dos grãos subarredondados (32%). As outras formas corresponderam a 19,3% na margem esquerda e 34% na margem direita. Quanto ao grau de esfericidade (Gráfico 10), prevaleceu nas duas margens, grãos com baixa esfericidade; estes corresponderam a 95% dos grãos na margem esquerda e 80% na margem direita.

**Gráfico 9 – Arredondamento dos grãos de quartzo dos eolianitos.**



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

**Figura 10 – Esfericidade dos grãos de quartzo dos eolianitos.**



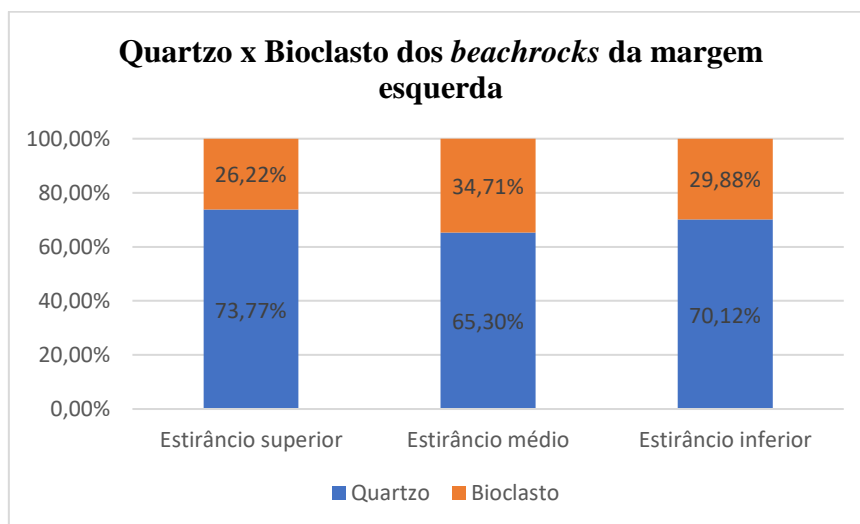
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

De acordo com Suguio (1973), grãos mais arredondados, são sedimentos que já passaram por vários ciclos e percorreram maiores distâncias, ou seja, são sedimentos com maior maturidade, enquanto grãos mais angulosos são sedimentos que foram menos retrabalhados. Dessa forma, pode-se inferir que, de maneira geral, os grãos sofreram alterações moderadas durante seu transporte de um ambiente para o outro, fato comprovado pela baixa esfericidade dos grãos.

### 5.3.3 *Beachrocks*

Os *beachrocks*, de uma maneira geral, obtiveram proporções semelhantes nos três setores do estirâncio. Na margem esquerda (Gráfico 11), os valores médios de quartzo foram de 73,77% (variando entre 65,35% e 82,2%) no estirâncio superior; 65,3% (variando entre 60,3% e 70,28%) no estirâncio médio; e 70,12% (variando entre 68,3% e 71,94%) no estirâncio inferior. Os grãos de bioclastos obtiveram valores médios de 26,22% (variando entre 17,8% e 34,65%) no estirâncio superior; 34,71% (variando entre 29,72% e 39,7%) no estirâncio médio; e 29,88% (variando entre 28% e 31,7%) no estirâncio inferior.

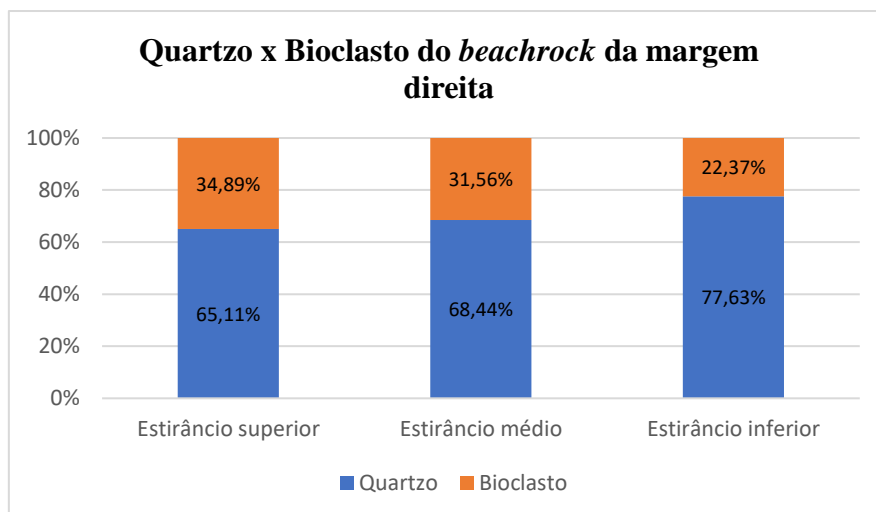
Gráfico 11 – Quartzo x Bioclasto dos *beachrocks* da margem esquerda.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na margem direita (Gráfico 12), os grãos de quartzo corresponderam à 70,4% dos grãos constituintes, enquanto os bioclastos corresponderam à 29,6%, ocorrendo um aumento no teor de quartzo conforme os *beachrocks* se aproximavam do mar.

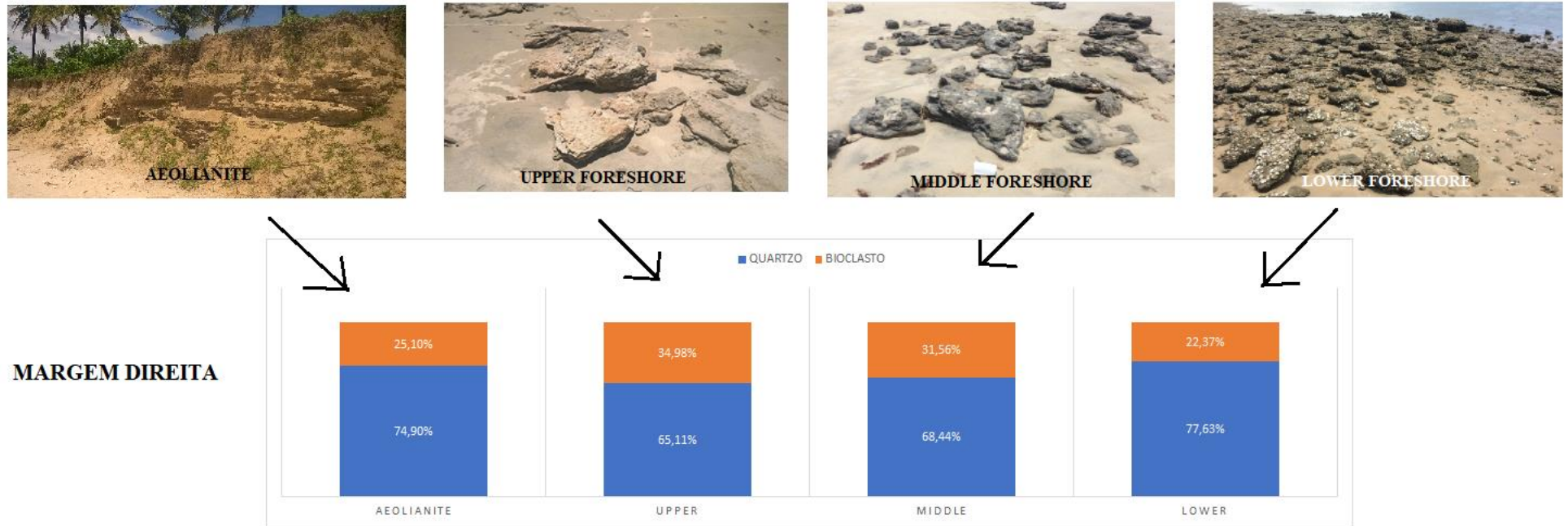


**Gráfico 12 – Quartzo x Bioclasto dos *beachrocks* da margem direita.**

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

As proporções de quartzo-bioclasto dos *beachrocks* setorizados no estratificação apresentam certa semelhança as proporções encontradas dos eoliantos adjacentes a eles (com teores de quartzo variando entre 65,1% e 77,63%) demonstrando, em conjunto com a análise morfológica, a associação genética entre os dois tipos de depósitos (Figura 21).

Figura 21 – Associação Quartzos x Bioclasto entre eolianitos e beachrocks.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

## 6 CONCLUSÃO

No entorno do Rio Aracatimirim, ocorre uma importante interação morfosedimentar entre os depósitos eólicos e os *beachrocks*, em que as condicionantes paleoambientais foram essenciais para a geração deste intercâmbio.

As condições de nível de mar mais baixo contribuíram para o fornecimento de sedimentos bioclásticos, que foram retrabalhados pelo vento e geraram as dunas relacionadas aos eolianitos. O atual recuo da linha de costa tem contribuído para a erosão dos eolianitos formando escarpas erosivas. Essas, como demonstrado no estudo de Freire (1989), já se encontravam em solapeamento na década de 80, principalmente na Praia de Torrões (margem esquerda), considerada uma praia de alta vulnerabilidade aos riscos ambientais (erosão).

Essa tendência retrogradacional dos depósitos de eolianitos é responsável por propiciar o destacamento de blocos dos eolianitos que ao sofrerem interação com a água marinha favorece novos processos de cimentação e consequente formação dos *beachrocks*. Essa importante interação entre os depósitos é fundamentada pelos padrões morfológicos, sedimentológicos e estratigráficos similares.

Além dessa associação genética entre esses depósitos, foi verificado a ocorrência de depósitos fluviais antigos na foz do Rio Aracatimirim, com fácies similares aos dos sedimentos pós- Barreiras encontrados no estudo de Maia (2012).

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUIAR, P. F. DE; EL-ROBRINI, M.; FREIRE, G. S. S.; CARVALHO, R. G. Morfodinâmica de praias dominadas por mesomares na Planície Arenosa de Almofala, NW do Ceará (Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 40, p. 61-73, 2013.

AGUIAR, P. F. DE; EL-ROBRINI, M.; FREIRE, G. S. S.; CARVALHO, R. G. Análise multitemporal da linha de costa da praia de Torrões (Itarema, Ceará, Brasil) em médio período (1958-2004) utilizando imagens quickbird e fotografias aéreas. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, p. 1279-1290, 2012.

AGUIAR, P. F. DE; EL-ROBRINI, M.; FREIRE, G. S. S.; GUERREIRO, J. DE S. Compartimentação morfológica de uma planície costeira dominada por mesomare em Almofala – Ceará. **Novos Cadernos NAEA**, v. 18, p. 223-250, 2015.

ARIAS, V. E. **Fatores controladores de sistemas eólicos costeiros carbonáticos: os eolianitos quaternários do Piauí e oeste do Ceará**. 2015. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ARZ, H. W.; PATZOLD, J.; WEFER, G. Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off northeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 50, p. 157-166, 1998.

BEZERRA, F. H. R., BARRETO, A. M. & SUGUIO, K. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. **Marine Geology**, v. 196, p. 73-89, 2003.

BRICKER, O. P. Beachrock and intertidal cement. In: BRICKER, O.P. (Ed.). **Carbonate Cements**. (Stud. Geol, v. 19). Baltimore: Johns Hopkins University, 1971. cap. 1, p. 1–3.

BROOKE, B. The distribution of carbonate eolianite. **Earth-Science Reviews**, n. 55, p. 135–164, 2001.

CABRAL NETO, I. **Beachrocks do Rio Grande do Norte: correlação entre os depósitos costeiros e os de zona costa-afora com base na faciologia, petrografia e diagênese.** 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CARVALHO, A. M; CLAUDINO-SALES, V; MAIA, L. P; CASTRO, J. W. A. Eolianitos de Flexeiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Coordenadores). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.** Brasília: CPRM, p. 121-130, 2008.

CASTRO, J. W. A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru – Ceará.** Rio de Janeiro. 2001. 202p. Tese (Doutorado em Geomorfologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CASTRO, J.W.A., Transporte eólico de sedimentos e migração de dunas sobre o promontório de Paracuru - litoral setentrional do nordeste brasileiro. **Boletim do Museu Nacional**, Série Geologia v. 72, p. 1–12.

COOPER, J. A. G. Beachrock formation in low latitudes: implications for coastal evolutionary models. **Mar. Geol.**, v. 98, p. 145–154, 1991.

DAVIES, P. J., KINSEY, D. W. Organic and inorganic factors in recent beachrock formation, Heron Island, Great Barrier Reef. **J. Sediment Petrol**, v. 43, p. 59–81, 1973.

FERREIRA JUNIOR, A.V. **Mapeamento da zona costeira protegida por arenitos de praia (beachrocks) em Nísia floresta – RN.** Natal, 2005. 91 p. Dissertação (de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FERREIRA-JUNIOR, A. V.; T. C. M. ARAÚJO; VIEIRA, M. M.; NEUMANN, V. H.; GREGORIO, M. N. Petrologia dos arenitos de praia (beachrocks) na costa central de Pernambuco. **Geociências**, v. 30, p. 545-559, 2011.

FLOR, G. Tipología de dunas eólicas procesos de erosión-sedimentación costera y evolución litoral de la provincia de Huelva (Golfo de Cádiz Occidental, sur de España). **Estudios Geológicos**, v. 46, n. 1-2, p. 99-109, 1990.

Freire, G. S. S. **Edute hydrologique et sedimentologique de l'estuarie du rio Pacoti (Fortaleza, Ceará, Brasil)**. 1989. 300p. Tese (Doutorado em Geologia). Université de Nantes Faculté des Sciences et des Techniques, Nantes, 1989.

FREIRE G. S. S. & CAVALCANTI V. M. M. **Cobertura sedimentar quaternária da plataforma continental do Estado do Ceará**. DNPM/LGMA - UFC, Fortaleza, 42 p.1998.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Meteorologia e Oceanografia**. Fortaleza: FUNCEME, 2010.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 426p.

GISCHLER, E. *Beachrocks* and intertidal precipitates. In: NASH, D.J., MCLAREN, S.J. (Eds.), **Geochemical Sediments**. Blackwell Publishing, 2007, cap. 11, p. 365–390.

GOLDSMITH, V. Coastal dunes. In: DAVIS, R.A. (Ed.). **Coastal Sedimentary Environments**. New York: Springer-Verlag, 1978, p. 171-235.

HANOR J. S. Precipitation of beachrock cements: mixing of marine and meteoric waters vs. CO<sub>2</sub>-degassing. **J Sediment Petrol**, v. 48, p. 489–501, 1978.

HESP, P. A. 2000. Coastal sand dunes: form and function. **CDVN Technical Bulletin**, vol. 4, p. 28.

HOPLEY. D, 1986 Beachrock as a sea-level indicator. In: VAN DER PLASSCHE, O. (Ed.), **Sea-level Research: a manual for the collection and evaluation of data**. Geo Books, Norwich, p. 157-173.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Manuais técnicos em geociências, n. 5, 2009.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal 2016 de Itarema**. Fortaleza: IPECE, 2016.

KELLETTAT, D. Beachrock as sea-level indicator? Remarks from a geomorphological point of view. **J. Coast. Res.**, v. 22, p. 1555–1564, 2006.

KRUMBEIN, W. E. Photolithotropic and chemoorganotrophic activity of bacteria and algae as related to beachrock formation and degradation (Gulf of Aqaba, Sinai). **Geomicrobiol. J.**, v. 1, p. 139–203, 1979.

LIVINGSTONE, I. & WARREN, A. **Aeolian Geomorphology: an Introduction**. Harlow: Longman, 2010.

MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral**. 1998. 198 p. Tese (Doutorado em Geologia), Universidad de Barcelona, Barcelona, 1998.

MAIA, R. P. **Geomorfologia e neotectônica no vale do Rio Apodi – Mossoró RN**. 2012. 218 p. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MARTÍNEZ, M. L.; PSUTY, N. P.; LUBKE, R. A. A Perspective on Coastal Dunes. *In: Coastal Dunes: ecology and conservation (Ecological Studies, v. 171)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. cap. 1, p. 3-10.

MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; THIERS, P. R. L. Os Campos de Dunas Móveis: Fundamentos Dinâmicos para um Modelo Integrado de Planejamento e Gestão da Zona Costeira. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 20, p. 101-119, 2006.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M. G. C.; GORAYEB, A.; THIERS, P. R. L. Integração dos indicadores geoambientais de flutuações do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 8, 2005.

MESQUITA, A. F.; DAMASCENO, A. M.; DUARTE, C. R.; SILVA FILHO, W. F. Análise da evolução morfológica do estuário do rio Aracatimirim, Itarema-Ceará, e adjacências no período entre 1985 e 2013. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, p. 7-13, 2014.

MESQUITA, A. F. **Eolianitos e beachrocks no litoral oeste do Ceará: significado sedimentológico e neotectônico**. 2015. 81p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MESQUITA, A. F.; SILVA FILHO, W. F.; DUARTE, C. R.; BEZERRA, F. H. R.; VASCONCELO, D. L.; SOUSA, J. P. Faciologia e evolução dos depósitos eólicos costeiros do oeste do Ceará (Brasil) no holoceno tardio. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v.17, n.4, p.783-799, 2016.

MILLER, W. R.; MASON, T. R. Erosional features of coastal beachrock and aeolianite outcrops in Natal and Zululand, South Africa. **J. Coast. Res.**, v. 10, p. 374–394, 1994.

MORAIS, J. O. **Processos interativos na elaboração da zona costeira do Estado do Ceará – impactos associados**. Tese de Professor Titular – UECE, Fortaleza, 225 p. 1998.

MORAIS, J. O.; FREIRE, G. S. S.; PINHEIRO, L. S.; SOUZA, M. J. N.; CARVALHO, A. M.; PESSOA, P. R. S. Ceará. In: MUEHE, D (ed). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. MMA, Brasília, v. 1, p. 132–154. 2006.

MOUNTNEY N. P.; JAGGER, A. Stratigraphic evolution of an aeolian erg margin system: the Permian Cedar Mesa Sandstone, Se Utah, USA. **Sedimentology**, v. 54, p. 1-31, 2004.



NEUMEIER, U. Experimental modelling of beachrock cementation under microbial influence. **Sediment. Geol.**, v. 126, p. 35–46, 1999.

PAULA, L. F. S. **Análise integrada de unidades de paisagem submersas na plataforma continental adjacente ao município de Itarema (Ceará, Brasil): subsídios para gestão territorial.** 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; MAIA, L. P. The Beaches of Ceará. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. **Brazilian Beach Systems.** Springer. 2016.

PYE, K. 1983. Formation and history of Queensland coastal dunes. **Z. Geomorphol.**, suppl-bd, v. 45, p. 175-204.

REINECK, H-E.; SINGH, I. B. **Depositional sedimentary environments.** 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1980. 543 p.

SOUZA, M. J. N. de. Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. *In: Ceará - Projeto áridas: Grupo I - Recursos Naturais e Meio Ambiente.* Fortaleza: Secretaria de Planejamento; Fundação Cearense de Meteorologia, 1994, v. 2, p. 183-206.

SOUZA FILHO, P. W. M. **Avaliação e aplicação de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, Norte do Brasil.** 2000. 236f. (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha (com termos correspondentes em inglês, frances e espanhol).** São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.

TSOAR, H.; LEVIN, N.; PORAT, N.; MAIA, L. P.; HERRMANN J. H.; TATUMI, S.H.; CLAUDINO-SALES, V. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil) **Quaternary Research.** v. 71, p. 217–226, 2009.

VOUSDOUKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth-Science Review**, v. 85, p. 23–46, 2007.

WEBB, G. E.; JELL, J. S.; BAKER, J. C. Cryptic intertidal micro- bialites in beachrock, Heron Island, Great Barrier Reef: implications for the origin of microcrystalline beachrock cement. **Sediment. Geol.**, v. 126, p. 317–334, 1999