



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**LOLA NATALIA CAMESI TOSSI**  
**VIKTOR FERREIRA DÈ OLIVEIRA**

**PROVENIÊNCIA E TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SISTEMA PRAIA - DUNA**  
**FRONTAL RECENTE ENTRE ITAREMA E CAMOCIM (CE)**

**FORTALEZA**

**2014**

**LOLA NATALIA CAMESI TOSSI  
VIKTOR FERREIRA DE OLIVEIRA**

**PROVENIÊNCIA E TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SISTEMA PRAIA - DUNA  
FRONTAL RECENTE ENTRE ITAREMA E CAMOCIM (CE)**

Projeto apresentado ao curso de Geologia do  
Departamento de Geologia da Universidade  
Federal do Ceará.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rodrigues do  
Nascimento Jr.

**FORTALEZA**

**2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Central do Campus do Pici

---

T654p Tossi, Lola Natalia Camesi.  
Proveniência e transporte sedimentar no sistema praia – duna frontal recente entre Itarema e Camocim (CE) / Lola Natalia Camesi Tossi, Viktor Ferreira de Oliveira. – 2014.  
72 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2014.  
Orientação: Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Junior

1. Camocim (CE). 2. Sedimentologia. I. Oliveira, Viktor Ferreira de. II. Título.

CDD 551

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aqui a todos aqueles que de alguma forma nos ajudaram nesta jornada de cinco anos no mundo da Geologia, direta ou indiretamente, resultando neste trabalho de conclusão de curso.

Agradecemos primeiramente às nossas famílias, que formaram a base educacional, moral e afetiva, essencial para determinar as pessoas que somos hoje. Vocês sempre serão parte das nossas vidas, não importa o que aconteça, estaremos sempre ligados.

Ao nosso orientador de graduação Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Junior, tanto pela orientação e ideia do projeto como pela paciência; Também as instituições que financiaram e incentivaram a realização deste relatório, Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (DeGeo – UFC), assim como todo o corpo docente.

Aos amigos, pois eles são a base da sustentação humana que temos diariamente. Não iremos citar nome, pois não queremos correr o risco de esquecer de ninguém, mas estão inclusos todos aqueles que se fizeram presente fora e dentro da universidade; nos acompanhando durante todos os anos do curso, em aulas de campo, noitadas, grupos de estudos, e também nos momentos difíceis. Agradecimentos em especial aos colegas de curso Allan Bernardino e Áquila Mesquita, pelo apoio técnico essencial para complementar o presente trabalho.

*“Sempre permaneça aventureiro. Por nenhum momento se esqueça de que a vida pertence aos que investigam. Ela não pertence ao estático; ela pertence ao que flui. Nunca se torne um reservatório, sempre permaneça um rio.”*

*Osho*

## RESUMO

O litoral oeste cearense entre as cidades de Itarema e Camocim constitui-se num laboratório natural apropriado ao estudo recente de proveniência e transporte sedimentar em praias e dunas. A presença de obstáculos rochosos e hidrodinâmicos e a forte ação do vento efetivo permitem testar padrões de continuidade e inversão da deriva litorânea regional e de seleção granulométrica eólica das areias praias nas dunas frontais incipientes. A importância desse tipo de estudo é ressaltada pela presença de dois grandes rios (Acará e Coreaú), um parque de geração de energia eólica (Itarema, a leste) e uma área de proteção ambiental (Jericoacoara). Este trabalho avaliou a proveniência e a dinâmica de transporte marinho e eólico através da coleta e análise de areias recentes de praias (zona de espriamento) e dunas frontais imediatas (crista) recentes ao longo do trecho mencionado. Nas areias praias, o resultado para todo o intervalo (100 km) é concordante com a deriva litorânea regional para oeste, típica do litoral setentrional do Brasil. Em intervalos menores (até poucas dezenas de quilômetros), ficou demonstrado que o bloqueio físico exercido por proeminências rochosas, suaves mudanças na orientação da linha de costa e por drenagens na deriva regional é capaz de permitir o transporte no sentido oposto, por correntes longitudinais que de outro modo seriam sobrepujadas. A combinação entre vetores de deriva litorânea local indicou duas áreas susceptíveis a mudanças na linha de costa: 1. praia do Preá, 10 km a oeste de Barrinhas, início do Parque Nacional de Jericoacoara, com vocação erosiva; 2. leste do rio Guriú, próximo do início da praia de Tatajuba, com vocação deposicional. Estas áreas correspondem a locais onde fatores naturais de deriva litorânea, combinados à fisiografia da linha de costa e hidrodinâmica de canais de maré atuam como modificadores naturais da paisagem em escala de tempo de anos a dezenas de anos. Quanto a proveniência, a análise de minerais pesados aponta para fontes primárias em rochas metamórficas e plutônicas do Domínio Médio Coreaú, drenadas pelos grandes rios da região. As fontes secundárias seriam a Formação Barreiras e a Plataforma Continental adjacente da área de estudo.

**Palavras-chave:** Itarema. Camocim. Sedimentologia. Transporte.

## ABSTRACT

The Ceará's west coast between the towns of Itarema and Camocim is a natural lab proper to study of the recent sedimentary provenance and transport on beaches and dunes. The presence of hydrodynamic and rocky obstacles and the strong effective action of the wind allow testing the pattern of continuity and inversion of the regional alongshore drift, and eolic grain-size sorting of beach sands and incipient foredunes. The presence of two major rivers (Acará and Coreaú), a park of wind power generation (Itarema, eastwards) and an area of environmental protection (Jericoacoara) highlight the relevance of this matter. This work evaluated the provenance and dynamics of marine and aeolian transport through the collection and analysis of recent beach sands (swash zone) and foredunes (crest) along the mentioned stretch. For the beach sands, the results for the entire range (100 km) is consistent with the regional alongshore drift westwards, typical of the Brazilian northern coast. At shorter intervals (up to few tens of kilometers), it was shown that physical blockage exerted by rocks prominences mild changes in the orientation of the coastline and drainages in the regional drift current is able to allow transport in the opposite direction by longitudinal currents that would otherwise be attenuated. The combination of vectors of the local alongshore drift indicate two areas that are susceptible to changes in the coastline: 1. Preá Beach, 10 km west of Barrinhas, in the beginning of Jericoacoara National Park, with erosive vocation; 2. East side of Guriú River, near the beginning of Tatajuba Beach, with depositional behavior. These areas correspond to locations where natural features of the alongshore drift, combined with the physiography of the coastline and hydrodynamics of tidal creeks act as modifier of the natural landscape in a timescale of years to decades. Regarding provenance, the heavy mineral analyses points to primary sources on metamorphic and plutonic rocks of the Médio Coreaú Domain, that are drained by the major rivers of the region. The secondary sources would be the Barreiras Formation and the adjacent continental shelf.

**Keywords:** Itarema. Camocim. Sedimentology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 - Localização da área em relação ao estado do Ceará.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2 - Mapa de distribuição climática da região do litoral oeste.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3 - Mapa simplificado da região do rio Acaraú.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4 - Mapa simplificado da região do rio Coreaú.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5 - Perfis topográficos comparados, de pontos eleitos como mais representativos da região.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6 - Histograma circular de frequências de rumo de mergulho da face de espraiamento. Número de medidas (n)= 33; vetor médio (<math>\mu</math>)= 19,3º; desvio-padrão circular (<math>\mu</math>-circular) = 25,4º.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7 - Aspectos morfológicos do sistema praia-duna frontal. A: terraço irregular de DFI (Duna frontal incipiente) em Itarema. B: campo de nebkhas em meio a lençol de areia, rumo de migração WSW (direita) (Praia do Preá, Barrinhas). C: cordão de DFI, terraço de maré baixa ao fundo (Praia de Arpoeiras, Acaraú). D: rampa de DFI sobre falésia irregular de terraço erodido baixo, irregular (lado oeste da Ponta de Jericoacoara). E: canaletas expostas durante maré muito baixa, com irregularidades de dunas subaquosas migrantes para oeste (leeside rumo ao observador) (Praia da Tatajuba). F: berma e face praial bem marcados durante maré baixa, terraço de maré baixa ao fundo (Praia de Tatajuba).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 8 - Correlação entre parâmetros dos três primeiros momentos de Pearson em amostras de praias (círculos azuis) e dunas (triângulos laranjas). Os símbolos n, r e <math>\alpha</math> correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9 - Variação de diâmetro médio da fração areia das praias de E para W.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 10 - Variação de diâmetro médio da fração areia das dunas frontais incipientes de E para W.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 11 - Variação do desvio padrão da fração areia das praias de E para W.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12 - Variação do desvio padrão da fração areia das dunas frontais incipientes de E para W.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13 - Variação da assimetria da fração areia das praias de E para W.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 14 - Variação da assimetria da fração areia das dunas frontais incipientes de E para W.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias ao longo de 70 km de praias entre Itarema e Camocim (rumo E-W). Os símbolos n, r e <math>\alpha</math> correspondem respectivamente ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 16 - Esporão do rio Itarema, com padrão de transporte do tipo 1 seguindo a deriva regional para oeste.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 17 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias entre os pontos 1 e 3 (rumo E-W). Os símbolos n, r e <math>\alpha</math> correspondem respectivamente ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 18 - Barreira da praia de Arpoeiras, com padrão de transporte do tipo 2, contrário à deriva regional. ...</i>	<i>47</i>

Figura 19 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praiais entre os pontos 4 e 6 (rumo E-W). Os símbolos $n$ , $r$ e $\alpha$ correspondem respectivamente ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal $t$ de Student).....	47
Figura 20 – Extensão da praia do Preá na localidade de Barrinhas, com padrões do tipo 2, contrários à deriva regional para oeste.....	49
Figura 21 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praiais entre os pontos 8 e 14 (rumo E-W). Os símbolos $n$ , $r$ e $\alpha$ correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal $t$ de Student).....	49
Figura 22 - Ponta de Jericoacoara, com padrões de transporte do tipo 2 concordantes com a deriva regional ..	51
Figura 23 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praiais entre os pontos 15 e 21 (rumo E-W). Os símbolos $n$ , $r$ e $\alpha$ correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal $t$ de Student).....	51
Figura 24 - Praia de Tatajuba e Ilha do Amor, com padrões de transporte do tipo 2 invertidos em relação à deriva regional para oeste.....	53
Figura 25 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias .....	53
Figura 26 - Distribuição dos teores em massa de minerais pesados na fração areia muito fina da praia de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim. ....	54
Figura 27 - Distribuição dos teores em massa de minerais pesados na fração areia muito fina das dunas frontais incipientes de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.....	55
Figura 28 - Exemplares selecionados de minerais pesados da área de estudo. De cima para baixo: andaluzita, cianita, clinozoisita, epidoto, fibrolita, silimanita, rutilo, zircão bipiramidado, zircão arredondado, leucoxênio. Nicóis paralelos à esquerda (fundo branco), e cruzados à direita (fundo preto). ....	57
Figura 29 - Exemplares selecionados de minerais pesados da área de estudo. De cima para baixo: estauroлита, hornblenda verde, hornblenda marrom, turmalina, hiperstênio, titanita. Nicóis paralelos à esquerda (fundo branco), e cruzados à direita (fundo preto). ....	58
Figura 30 - Exemplares selecionados de minerais pesados da área de estudo. De cima para baixo, glauconita, anatásio, granada e limonita. Imagens a nicóis paralelos. ....	59
Figura 31 - Distribuição dos índices rutilo - zircão na fração areia muito fina da praia (azul) e das dunas (vermelho) e suas respectivas linhas de tendência, de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.....	61
Figura 32 - Distribuição dos índices rutilo - zircão na fração areia muito fina das dunas e sua linha de tendência, de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.....	62

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Coordenadas dos vèrtices da àrea em sistema UTM, zona 24º Sul.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 2 - Cronograma das atividades.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 3 - Distribuição de elementos morfológicos marinhos (azul) e eólicos (amarelo) do sistema praia-duna frontal. Berma exposta (ex.).....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 4 - Porcentagem (%) de MPTs nos sistemas deposicionais estudados e nos rios de maior porte da região de estudo (potenciais fontes secundárias).....</i>	<i>60</i>
<i>Apêndice A - Distribuição granulométrica e parâmetros dos momentos de Pearson para amostras das praias.....</i>	<i>71</i>
<i>Apêndice B - Distribuição granulométrica e parâmetros dos momentos de Pearson para amostras das dunas frontais incipientes.....</i>	<i>72</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	12
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
<b>2 MATERIAS E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
2.1 ETAPA I – ETAPA DE GABINETE .....	16
2.2 ETAPA II – ETAPA DE CAMPO .....	17
2.3 ETAPA III – ETAPA PÓS-CAMPO E ELABORAÇÃO DO TRABALHO FINAL .....	17
<b>2.3.1 Atividade de laboratório I: granulometria.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Atividade de laboratório II: petrografia de minerais pesados.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3 Tratamento gráfico e estatístico.....</b>	<b>19</b>
<b>3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS.....</b>	<b>20</b>
3.1 GEOMORFOLOGIA.....	20
3.2 HIDROGRAFIA DAS POTENCIAIS FONTES SECUNDÁRIAS.....	20
3.3 CLIMA.....	21
<b>4 GEOLOGIA REGIONAL – POTENCIAIS FONTES PRIMÁRIAS.....</b>	<b>22</b>
4.1 DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL.....	25
4.2 DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ .....	26
<b>4.2.1 Complexo Granja.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.2 Grupo Martinópolis.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.3 Grupo Riacho Sairi.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.4 Formação Aprazível (Grupo Jaibaras) .....</b>	<b>27</b>
4.3 GRUPO SERRA GRANDE.....	27
4.4 GRANITO MERUOCA.....	28
4.5 FORMAÇÃO BARREIRAS.....	28
4.6 COBERTURAS QUATERNÁRIAS .....	29
<b>4.6.1 Depósitos praias.....</b>	<b>29</b>
<b>4.6.2 Depósitos eólicos.....</b>	<b>29</b>
<b>4.6.3 Depósitos aluviais .....</b>	<b>30</b>

<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
5.1 MORFOLOGIA GERAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA FRONTAL .....	31
5.2 GRANULOMETRIA.....	36
5.2.2 <i>Diâmetro médio</i> .....	37
5.2.3 <i>Desvio padrão</i> .....	39
5.2.3 <i>Assimetria</i> .....	40
5.2.4 <i>Dedução da deriva litorânea pelo método de McLaren &amp; Bowles (1985)</i> .....	42
5.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS .....	54
5.3.1 <i>Áreas-fontes</i> .....	55
5.3.2 <i>Índices de transporte e de proveniência</i> .....	61
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>65</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação

Sabe-se que as partículas sedimentares passam por ciclos de intemperismo e erosão, transporte e deposição (WELTJE & EYNATYEN, 2004) que se repetem indefinidamente (reciclagem e retrabalhamento) e repercutem no entendimento do funcionamento interno de sistemas deposicionais (BLATT, 1967). Tais processos deixam características texturais mineralógicas e granulométricas nos sedimentos que permitem sua avaliação. Com base nisso, o presente estudo objetivou compreender a dinâmica local recente de proveniência e transporte sedimentar entre Itarema e Camocim, por avaliação das possíveis áreas-fonte de areias primárias (rochas) e secundárias (rios, plataforma continental), além de áreas potenciais de erosão e deposição.

### 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal obter padrões de transporte recente de areias por deriva litorânea longitudinal e deriva eólica imediata no trecho entre Itarema e Camocim (CE), com subsídios para interpretação adicional de sua proveniência. Como objetivos específicos, citam-se os seguintes:

- Realizar perfis topográficos desde a zona de espraiamento até o início das dunas frontais;
- Coletar amostras de areias de praias e dunas frontais para análise granulométrica e mineralógica paralelamente aos locais dos perfis; obter amostras adicionais de potenciais fontes secundárias de areias (rios Acaraú e Coreau) para comparação;
- Realizar ensaios de granulometria e separação densimétrica de minerais pesados das amostras citadas em laboratório;
- Confeccionar lâminas petrográficas para estudo de minerais pesados por suas propriedades ópticas;
- Aplicar testes de regressão estatística unicaudal sobre os resultados quantitativos obtidos pelas técnicas acima;
- Comparar resultados qualitativos (descrição em campo) e quantitativos (medições em campo e laboratório) entre si para inferir padrões de proveniência e transporte

dos sedimentos no sistema praia-duna frontal da área de estudo e sua possível relação com sistemas deposicionais vizinhos.

### 1.3 Justificativa

Do ponto de vista acadêmico, a importância de se compreender a dinâmica local recente de proveniência e transporte sedimentar em locais como o proposto, reside na capacidade de se modelar a própria transformação da paisagem. Em sistemas litorâneos, essa dinâmica pode atrelar-se a fatores externos relacionados a possíveis mudanças do nível relativo do mar, ou com fatores internos de origem antrópica, como construções na zona costeira. Além disso, o estudo de dinâmica sedimentar baseado em dados texturais e mineralógicos ainda pode ser testado em comparação com depósitos mais antigos, de modo a investigar as causas de sua variação temporal.

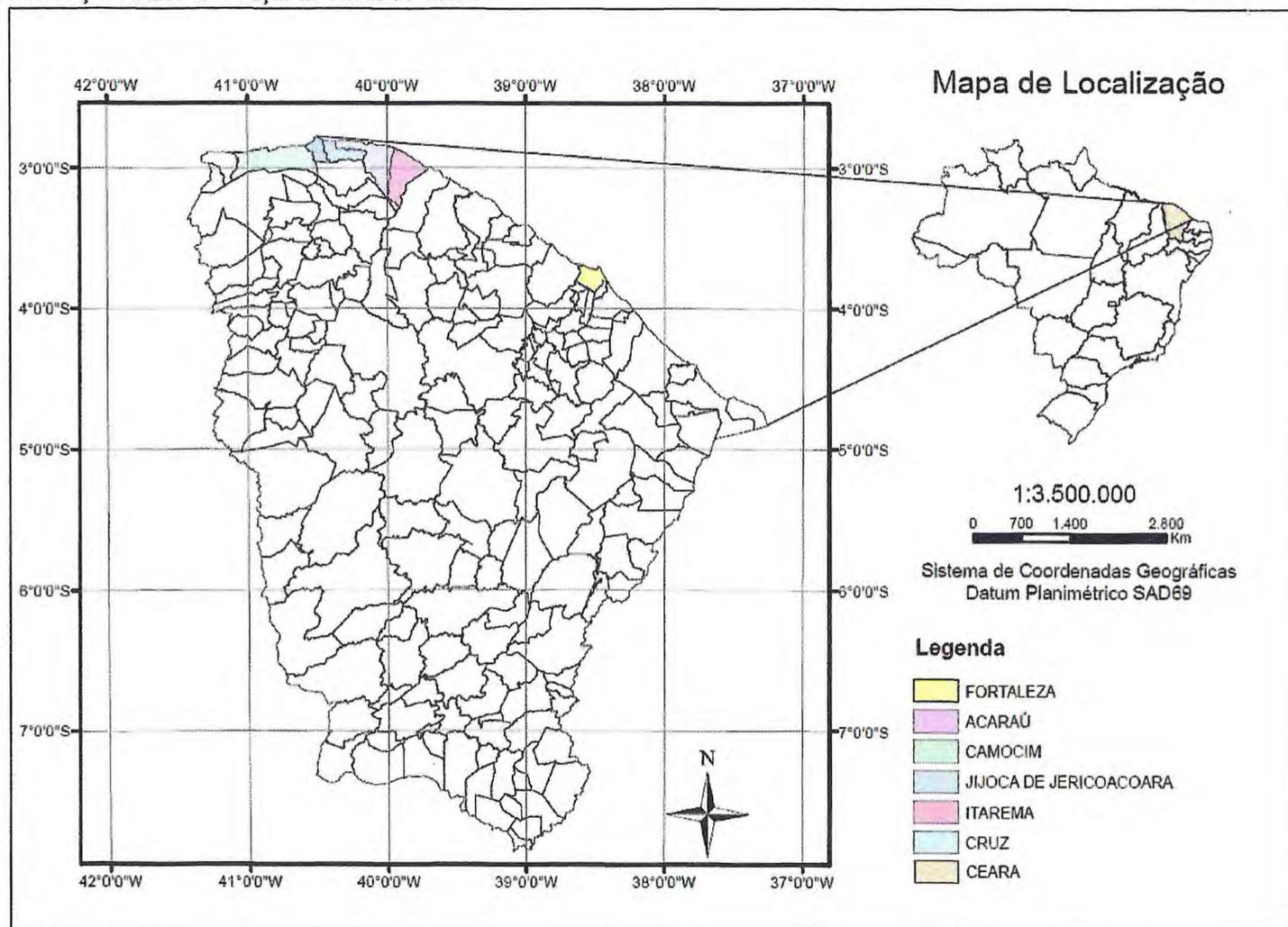
Por estas razões, este tipo de estudo repercute no melhor entendimento das trocas de massa (areia) e energia (competência de transporte hidrodinâmico e aerodinâmico), tanto internamente ao sistema (entre praia e duna) como externamente a ele (drenagens locais, plataforma continental adjacente etc.). No âmbito particular da área de estudo, ressalta-se a importância de compreender a dinâmica recente de transporte nas proximidades de uma área de proteção ambiental (APA de Jericoacoara), como subsídio na prevenção de problemas de erosão costeira, seja de origem natural ou antropicamente relacionada.

### 1.4 Localização da Área de estudo

A área estudada localiza-se na porção oeste do litoral cearense e engloba os seguintes municípios, de leste para oeste: Itarema, Acaraú, Cruz, Jijoca de Jericoacoara e Camocim. Compreendem sistemas deposicionais de origem marinha transicional e eólica, incluindo ainda depósitos fluviais e estuarinos dos rios Acaraú e Coreaú e de drenagens de menor tamanho (PEULVAST & CLAUDINO-SALES, 2006).

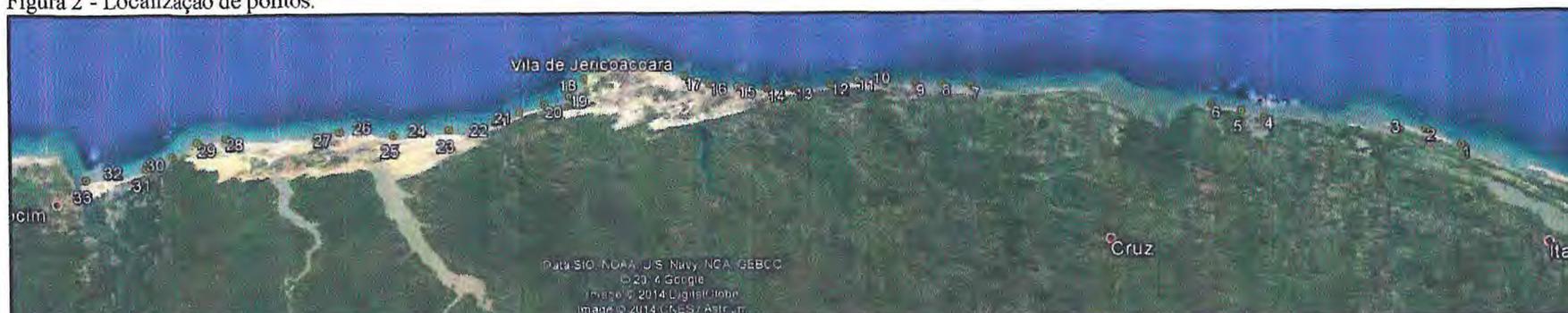
A região de estudo possui 100 km de extensão na região costeira, com dois pontos afastados da costa, ao longo das bacias de drenagem dos rios Acaraú e Coreaú. Os extremos e os dois pontos interiores são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** com coordenadas UTM.

Figura 1 - Localização da área em relação ao estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Localização de pontos.



Fonte: Editado de Google Earth.

Tabela 1 - Coordenadas dos vértices da área em sistema UTM, zona 24° Sul.

VÉRTICES	COORDENADAS	
	Latitude (Y)	Longitude (X)
Extrema Direita	9684207	393566
Extrema Esquerda	9681241	295523
Rio Acaraú	9630175	370281
Rio Coreaú	9653650	297920

Fonte: Elaborado pelos autores.

O início da área encontra-se a 207 km de Fortaleza e o acesso principal pode ser feito pela CE-085, também conhecida como Estrada do Sol Poente. De Fortaleza até a sede municipal de Itarema, segue-se para a costa por estradas locais com distância aproximada de 10 km até o primeiro ponto.

## 2 MATERIAS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos aplicados para o desenvolvimento do presente trabalho foram agrupados em três etapas: Etapa I, denominada de etapa de gabinete; Etapa II, aquisição de dados em campo; e Etapa III, etapa pós-campo e elaboração do trabalho final (Tabela 2).

Tabela 2 - Cronograma das atividades.

Etapas	Meses			
	Julho/Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Etapa I				
Etapa II				
Etapa III				

Fonte: Elaborada pelos autores.

A descrição de cada etapa e as especificidades aplicadas a cada uma delas apresenta-se nos itens descritos abaixo.

### 2.1 Etapa I – Etapa de Gabinete

O levantamento bibliográfico foi focado em técnicas e aplicações do estudo de granulometria e minerais pesados como indicadores de proveniência e rumo de transporte em sistemas deposicionais. Secundariamente, compêndios acerca da relação entre morfologias de praia e seus indicadores de transporte também serão contemplados.

Análises com sensoriamento remoto (fotos aéreas e imagens de satélite, como o Google Earth) foram usadas para definir os locais de medição de perfis topográficos e coletas de amostras.

## 2.2 Etapa II – Etapa de Campo

O período do dia para as coletas foi pareado preferencialmente aos intervalos de maré baixa, com escolha final de cada local de amostragem feita no próprio campo, sendo os locais georreferenciados por GPS. De cada um dos rios principais da região (Acarauá e Coreauá), também foram coletadas amostras de areia (uma em cada) nas bacias de drenagem correspondentes, em pontos afastados da zona costeira. Medidas morfométricas incluíram atitude (direção e mergulho) de praia, largura entre o espraiamento médio e o sopé da primeira duna frontal (com horário determinado) e altura da duna. Os instrumentos utilizados foram bússola, trena e nível topográfico.

Descrições qualitativas da forma também foram anotadas em caderneta de campo, sempre pareadas a fotografias. Os locais de coleta são idealmente espaçados em intervalos de um ou dois quilômetros. Para cada local foram coletadas duas amostras superficiais (até 10 cm de profundidade) de cerca de 250g; uma na face praial (zona de espraiamento superior) e outra na duna frontal adjacente (crista). Todas as amostras foram embaladas em saco plástico e codificadas.

## 2.3 Etapa III – Etapa pós-campo e Elaboração do trabalho final

### 2.3.1 Atividade de laboratório I: granulometria

Para granulometria, as amostras foram inicialmente secas em estufa a 60°C por pelo um dia. De cada amostra, 100g foram submetidos a peneiramento em intervalos de pelo menos 1  $\Phi$  sobre agitador mecânico por 10 minutos. Foi usado o programa Momento 4.1, feito com Microsoft Excel, para se obter os resultados de distribuição em massa e os parâmetros estatísticos.

Para separação de minerais pesados, o sedimento retido em peneiras de 3 a 4 $\Phi$  (0,125 a 0,062 mm, intervalo de classe areia muito fina) foi despejado em funis cheios de bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ,  $d \approx 2,85 \text{ g/cm}^3$ ) com válvula de fechamento, no interior de capelas com pressão (ventilação) negativa. Depois de misturados com varetas de vidro, os minerais densos (afundados) foram removidos primeiro pela abertura da válvula, em coleta através de filtro de papel identificado (a lápis) sobre outro funil logo abaixo. O bromofórmio escoava para uma proveta que sustenta este segundo funil. Depois de coletada

a fração densa, um novo filtro identificado é colocado e a fração leve escoada para ele. Eventuais grãos leves aderidos ao funil superior foram removidos por pissetas de álcool etílico, após a substituição da proveta cheia de bromofórmio por outra, vazia. O bromofórmio recuperado nesta primeira proveta foi reutilizado. Após as coletas, os filtros identificados permaneceram em repouso por um dia no interior da capela para evaporação do bromofórmio residual.

Após seu repouso, as frações mais e menos densas foram pesadas em balança analítica. Da fração densa, foram separados minerais magnéticos ao ímã de mão de neodímio, protegido por envoltório de plástico. A fração restante (não-magnética) foi pesada novamente e seguiu para a confecção de lâminas petrográficas.

Lâminas petrográficas permanentes foram confeccionadas por impregnação de poucos gramas em meio de imersão transparente (bálsamo do Canadá natural,  $n \approx 1,545$ ) aquecido, tomando-se o cuidado para evitar saturação demasiada em grãos. Sobre a lâmina, uma lamínula foi aderida com bálsamo ainda quente, e o excesso de bálsamo com minerais escorrido pelas bordas será removido. Depois de prontas e identificadas, as lâminas repousam por ao menos um dia para o endurecimento do bálsamo.

### **2.3.2 Atividade de laboratório II: petrografia de minerais pesados**

As lâminas petrográficas produzidas na etapa anterior foram usadas para identificação e contagem de minerais pesados transparentes (MPTs) ao microscópio de luz polarizada.

Técnicas comuns de microscopia óptica foram aplicadas na identificação (KERR, 1959; FUJIMORI & FERREIRA, 1979; TRÖGGER, 1979), com pequenas adaptações relacionadas à espessura dos grãos (MANGE & MAURER, 1992). A contagem foi feita pelo “método das faixas” (ribbon counting; GALEHOUSE, 1971), onde são traçadas linhas-guias com caneta “hidrocor” na parte traseira da lâmina, através das quais os minerais são identificados e computados. Foram duas etapas de contagem, onde na primeira etapa, toda a assembleia é identificada e contada e na segunda etapa, apenas minerais-índices de proveniência e transporte (MORTON & HALLSWORTH, 1994) foram computados, escolhidos com base em sua disponibilidade verificada na primeira etapa de contagem.

### 2.3.3 Tratamento gráfico e estatístico

A partir dos resultados, foram confeccionados gráficos binários de dispersão de distribuições de frequências de granulometria e minerais pesados, em função da distância ao longo da praia. Também foram obtidas retas de regressão, com respectivos coeficientes de correlação linear ( $r$ ). Para avaliar os resultados de  $r$ , o critério será o nível de significância ou erro I ( $\alpha$ ), que corresponde à probabilidade de rejeitar uma hipótese nula ( $H_0$ ) verdadeira. Como  $H_0$ , neste caso, afirma a inexistência de correlação significativa ( $r \approx 0$ ),  $\alpha$  pode ser entendido como a probabilidade de aceitar-se correlação inexistente. A estimativa dos valores máximos de  $\alpha$  foi feita por interpolação comparando o quociente  $t$  do teste de regressão unicaudal de distribuição ( $t$  de Student). Foram admitidos resultados de correlação linear com nível menor ou igual a 0,4 (chance de quatro em dez de se rejeitar hipótese nula verdadeira).

### **3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS**

#### **3.1 Geomorfologia**

O estado do Ceará possui uma linha de costa que se estende por 573 km, tendo a porção oeste caracterizada pela presença de barreiras progradantes, cúspides praias, pontais cobertos por campos de dunas, campos de dunas e sistemas manguezais. Na praia de Jericoacoara ocorrem barreiras em terrenos mais antigos, sejam barreiras pleistocênicas ou rochas do embasamento, ou ainda abrangendo promontórios e cobrindo falésias. Ali, os campos de dunas ativos compreendem lençóis de areia próximos à costa mais a Leste de Jericoacoara, com extensas planícies de deflação, grandes barcanas, barcanóides, dunas transversais barcanoidais e dunas parabólicas (HESP, MAIA & CLAUDINO-SALES, 2009). A orientação dos esporões da região indica deriva litorânea rumo oeste (característica da maior parte do estado do Ceará), no entanto, ocorrem variações locais na deriva litorânea resultante, em função de proeminências costeiras jamais estudadas na região. Devido à ação prevaemente das ondas do mar e desta deriva, o transporte de sedimentos é bastante intenso, atingindo máximos da ordem de 900.000 m<sup>3</sup>/ano (HESP, MAIA & CLAUDINO-SALES, 2009).

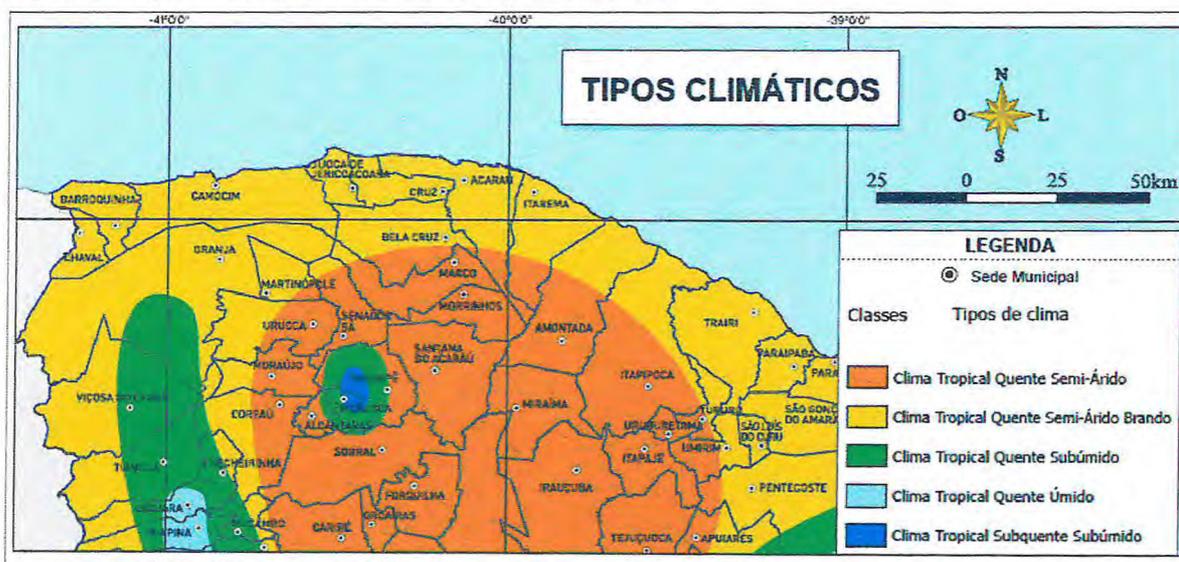
#### **3.2 Hidrografia das potenciais fontes secundárias**

A área de estudo apresenta dois grandes rios, o Coreaú mais a oeste da área e o Acaraú mais a leste da área, e outros pequenos rios e drenagens locais. O rio Coreaú nasce no sopé do planalto da Ibiapaba e percorre em parte da depressão periférica local, chegando ao seu baixo curso no litoral; tem como principais afluentes os rios São Mateus, Imburana e Fortuna e sua bacia abrange diversos municípios: Barroquinha, Camocim, Chaval, Coreaú, Frecheirinha, Jijoca de Jericoacoara, Martinópolis, Moraújo, Senador Sã e Uruoca (COGERH, 2010). O rio Acaraú nasce na Serra das Matas, no município de Monsenhor Tabosa e percorre 320 quilômetros, até chegar ao litoral, na cidade de Acaraú; esse cruza 18 municípios, dentre eles Sobral, Acaraú, Tamboril, Santana do Acaraú e Cruz e tem como principais afluentes os rios Jaibaras, Groaíras e o riacho dos Macacos (Sucupira, Pinheiro & Rosa, 2006).

### 3.3 Clima

O clima da região é controlado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCI), que consiste na área de confluência dos ventos alísios do NE e SE, e sua influência é geralmente associada com deslocamentos sazonais em relação ao Equador. A ZCI se desloca para Sul durante o verão e o outono do hemisfério sul, e para Norte durante o inverno austral, exercendo um controle significativo nos regimes pluviométricos e eólicos (NIMER, 1979; MCGREGOR & NIEUWOLT, 1998). Assim sendo, os maiores índices pluviométricos ocorrem na primeira metade do ano, enquanto os menores índices ocorrem de Agosto a Dezembro, mesmo período em que o transporte de sedimentos é maior devido aos ventos. Na Figura 2 pode-se observar a variação climática do litoral oeste cearense, e da região onde os rios Coreá e Acaraú nascem.

Figura 2 - Mapa de distribuição climática da região do litoral oeste.

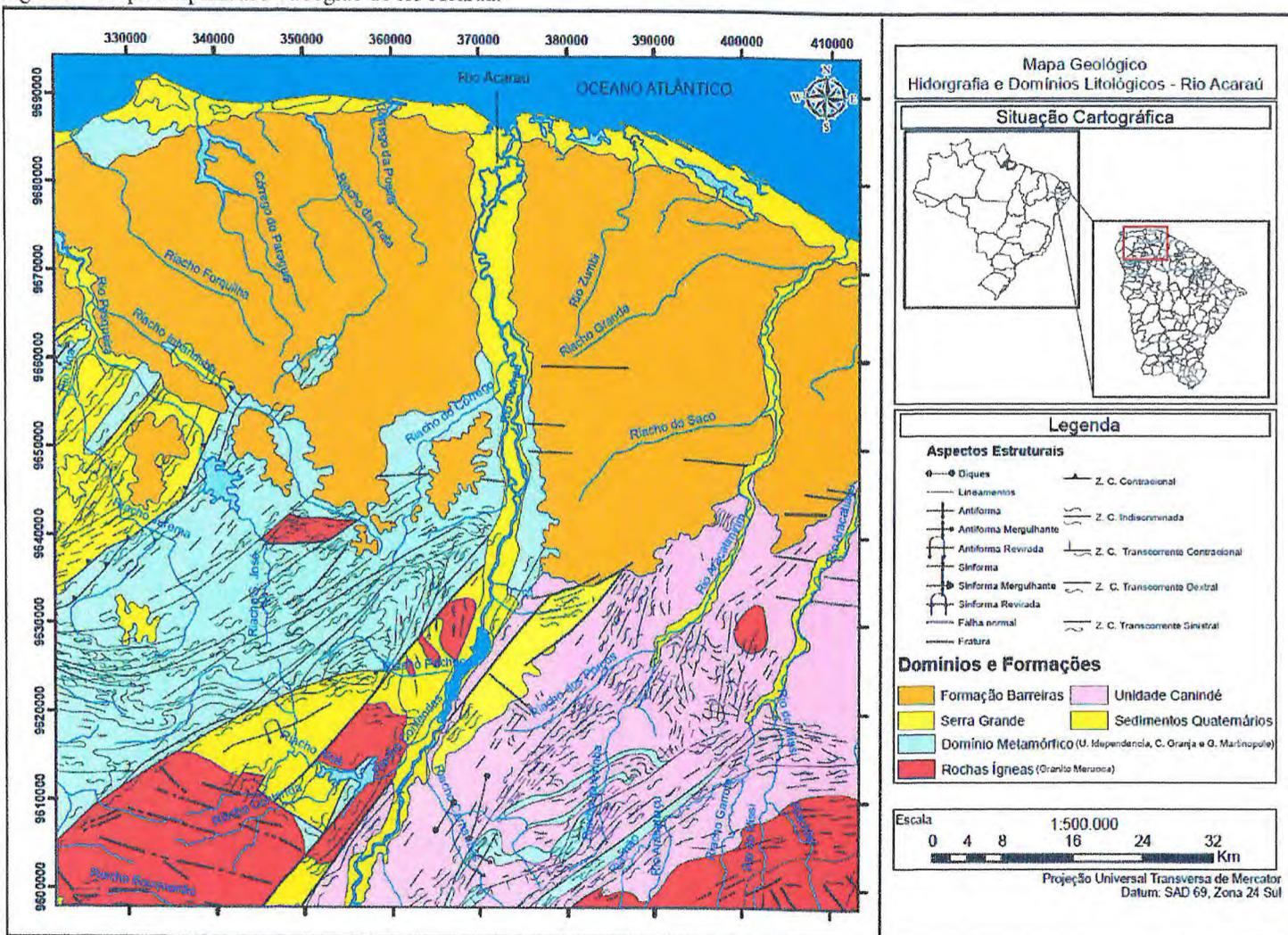


Fonte: Modificado do mapa de tipos climáticos do IPECE.

#### 4 GEOLOGIA REGIONAL – POTENCIAIS FONTES PRIMÁRIAS

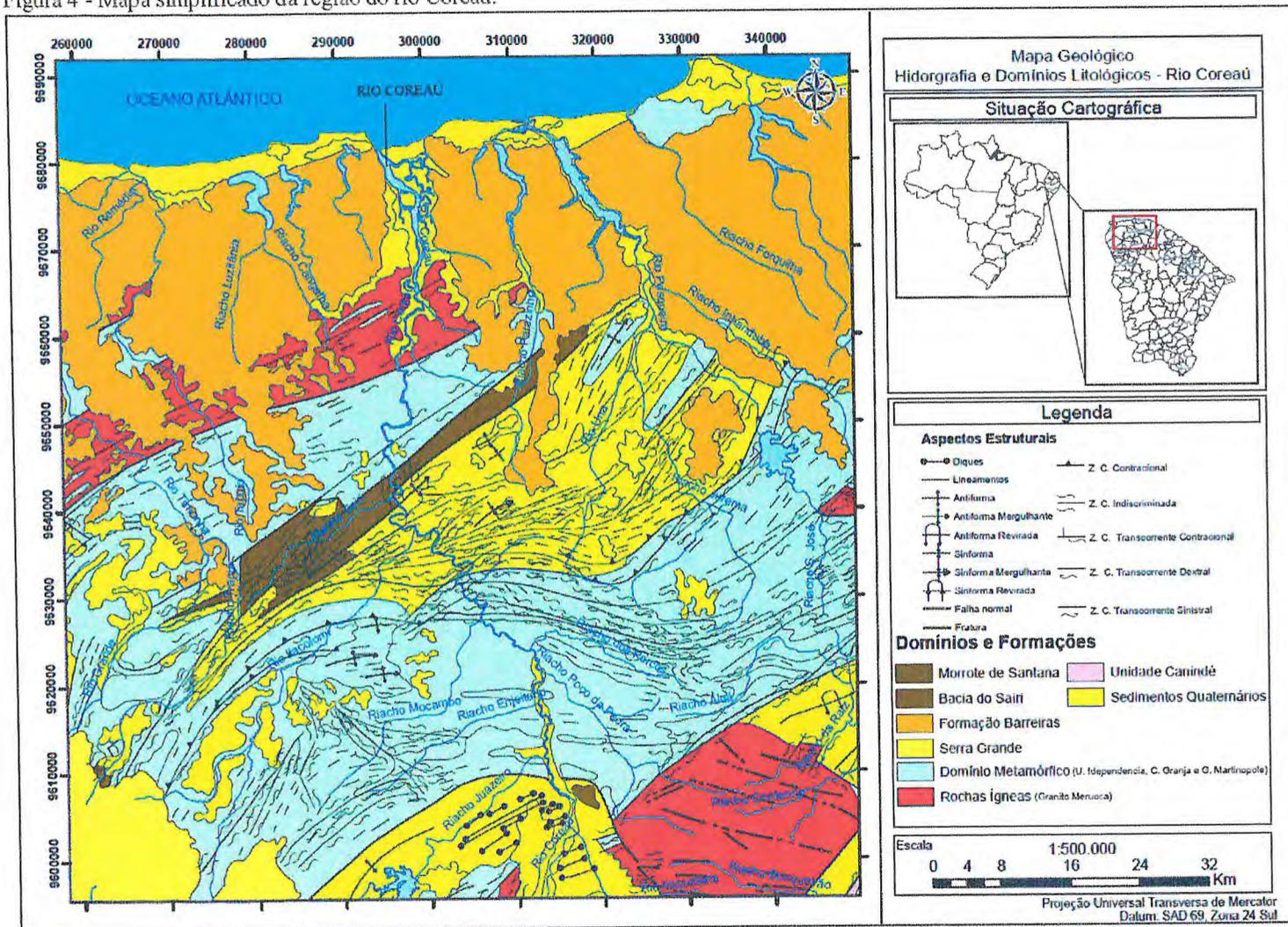
Com extensão de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup>, a Província Borborema representa o extremo nordeste da Plataforma Sul-americana, compreendendo a parte central de uma faixa orogênica Pan-Africana/Brasílica, há cerca de 600 Ma (VAN SCHMUS *ET AL.*, 1995), formada em consequência da colisão de crátons no neoproterozóico tardio. A Província Borborema é constituída predominantemente por rochas pré-cambrianas, resultantes de dois distintos ciclos tectônicos durante sua história evolutiva. Segundo Van Schmus *et al.* (2008), os domínios seriam: (1) domínio Sergipano; (2) domínio Pernambuco-Alagoas; (3) domínio Riacho do Pontal; (4) domínio Transversal; (5) domínios Ceará e Rio Grande do Norte; (6) domínio Médio Coreaú. A parte norte da PB, também chamada de Província Borborema Setentrional, corresponde a região situada acima do lineamento Patos, constituída pelos domínios Rio Grande do Norte, Ceará Central e Médio Coreaú, é a parte de maior interesse no que diz respeito à geologia do Estado do Ceará. As Figuras 3 e 4 são mapas litológicos simplificados da região que provem os minerais para a costa.

Figura 3 - Mapa simplificado da região do rio Acaraú.



Fonte: Modificado do mapa geológico do estado do Ceará (CPRM, 2003).

Figura 4 - Mapa simplificado da região do rio Coreaú.



Fonte: Modificado do mapa geológico do estado do Ceará (CPRM, 2003).

#### 4.1 Domínio Ceará Central

O DCC abrange um trecho menor da área de estudo (cerca de 25%), na porção leste. Segundo Castro (2004), é constituído por quatro unidades “litotectônicas”, a saber: i) núcleo arqueano de Tróia - Pedra Branca - Mombaça; ii) embasamento gnáissico paleoproterozóico; iii) rochas supracrustais neoproterozóicas; e iv) complexos granito-migmatíticos e granitóides neoproterozóicos.

##### 4.1.1 Unidade Canindé

Almeida *et al.* (2008) descreve esta unidade como uma sequência metassedimentar pelítica constituída essencialmente por biotita ± muscovita gnaisses e biotita ± silimanita ± cianita ± granada gnaisses. Os litotipos apresentam uma alternância de mesossomas constituídos por biotita, muscovita, plagioclásio e quartzo e leucossomas compostas por plagioclásio, K-feldspato e quartzo, resultantes de fusão parcial sobre estas rochas. Isso levou Almeida *et al.* (2008) a classificar as rochas como metatexitos. As bandas máficas são geralmente mais espessas que as félsicas e espaçadas de 1 a 2 centímetros. Também são encontradas rochas consideradas xistos por não apresentarem o bandamento gerado por fusão parcial; corpos lenticulares de mármores predominantemente dolomíticos; quartzitos puros, ferruginosos ou micáceos, podendo ser encontrados dobrados ou alternado com pelitos; rochas calcissilicáticas cinza escuras a esverdeadas, compostas essencialmente por anfibólios; e anfibólitos disseminados.

##### 4.1.2 Unidade Independência

A unidade independência é compartimentada por Arthaud (2007) nas seguintes sub-unidades, da base para o topo:

- Sub-unidade São José dos Guerra como base estatigráfica, representada por biotita gnaisses com migmatização incipiente; ocorrem também muscovita, granada e silimanita, e intercalações de quartzitos com os biotita-gnaisses.
- Sub-unidade Lázaro interpretada como uma “escama tectônica” separada por milonitos entre as sub-unidades São José dos Guerra e Guia, onde é composta por muscovita-gnaisses e metatonalitos interpretados como intrusões sin-metamórficas. A migmatização também é presente e ocorre granada e cianita secundárias.

- Sub-unidade Guia com granada-biotita gnaisses predominantes, onde ocorrem muscovita e minerais aluminosos como cianita ou silimanita, com migmatização mais comum nos litotipos ricos em silimanita. Contudo, a sub-unidade também é constituída por lentes de mármore e rochas calcissilicáticas, e pela ocorrência de anfibolitos.
- Sub-unidade Itatira bastante similar a sub-unidade anteriormente descrita, diferenciada apenas numa maior ocorrência de corpos carbonáticos e calcissilicáticos, com anfibolitos associados.
- Sub-unidade Ematuba mais superficial, com maior atuação de migmatização, constituída por paragnaisses, raramente intercalado com quartzitos, e lentes de mármore e calcissilicáticas. Intercalações de anfibolitos e bolsões de granitos aluminosos também se fazem presentes ao longo da porção mais superficial da sub-unidade.

#### **4.2 Domínio Médio Coreau**

O Domínio Médio Coreau (DMC) abrange a maior parte da área de estudo, a oeste do rio Acaraú. Seu embasamento paleoproterozóico (2,36-2,30 Ga) é constituído por gnaisses migmatíticos e granulitos de caráter juvenil sobrepostos por rochas do Paleoproterozóico tardio e Neoproterozóico, intrudidas por granitos sin a pós-tectônicos (FETTER *et al.*, 2000; SANTOS *et al.*, 2008). Evidências de magmatismo anorogênico são dadas por intrusões granitóides que ocorrem preferencialmente próximo ao Lineamento Transbrasiliano (SANTOS *et al.* 2008). Coberturas metassedimentares e sedimentares, ora vulcânicas, incluem aquelas pertencentes às unidades estratigráficas do Complexo Granja, Sequência Vulcânica Saquinho, sequências supracrustais dos grupos Martinópolis, Ubajara, Jaibaras e Riacho Sairí.

##### **4.2.1 Complexo Granja**

No Complexo Granja ocorre uma associação de rochas ortoderivadas e paraderivadas, constituídas por gnaisses com aspectos migmatíticos, granulíticos e TTGs (tonalito-trondhjemitó-granodiorito). Essas rochas apresentam idades de metamorfismo no Neoproterozóico (PRADO *et al.*, 1981); Mesoproterozóico (CAVALCANTE, 1993);

Paleoproterozóico (HACKSPACHER *et al.*, 1991; Santos, 1993) e no Arqueano (HACKSPACHER *et al.*, 1991).

#### **4.2.2 Grupo Martinópolis**

Prado *et al.*, (1981) define o Grupo Martinópolis como sequência de baixo a médio grau metamórfico, composta por quartzitos, xistos e filitos. A ordem estratigráfica, da base para o topo, se dá pelas Formações São Joaquim, Covão e Santa Terezinha.

#### **4.2.3 Grupo Riacho Sairi**

O Grupo Riacho Sairi é constituído por três formações (Fm. 1, 2 e 3), segundo Cavalcante *et al.* (2003); a primeira formação, a qual se encontra na base, é constituída por conglomerados polimítico de matriz areno-arcoseana acinzentado com seixos de quartzitos, gnaisses, granitóides e filitos; a segunda formação é caracterizada por arenitos quartzosos arcoseanos, líticos e micáceos, com granulometria variante, matriz quartzo feldspática e cimento sílico-ferruginoso; a terceira formação (topo) é composta por ortoconglomerados polimíticos com matriz areno-feldspática.

#### **4.2.4 Formação Aprazível (Grupo Jaibaras)**

Segundo Cavalcante *et al.* (2003), a formação é uma sequência sedimentar delgada que apresenta falhas e tem basculamento para sudeste. É constituída de conglomerados polimíticos clasto e matriz-sustentados, compostos de rochas ígneas e metamórficas. A matriz é arenosa arcossiana grossa a muito grossa, ocorrendo em menor quantidade arenitos arcossianos médias a grossos maciços.

#### **4.3 Grupo Serra Grande**

O Grupo Serra Grande foi dividido, por Caputo e Lima (1984), nas formações Ipu (deposição glacio-fluvial; leque deltaico), Tianguá (deposição marinha; leque deltaico) e Jaicós (deposição fluvial entrelaçado).

- A Formação Ipu é composta por arenitos finos a grossos com seixos conglomerados e matações, sendo o primeiro de matriz areno-argilosas e o segundo de quartzo ou quartzito; predominam cores em tons claros (branco, cinza ou creme).

- A Formação Tianguá é composta por folhelhos cinza-escuro (sideríticos, bioturbados e carbonáticos) e arenitos cinza-claro, de granulação fina a média, feldspáticos com siltitos e folhelhos cinza-escuros.
- A Formação Jaicós é composta por arenitos grossos de coloração cinza com tons mais claros. Ocorrem seixos subangulosos a angulosos, os quais são mal selecionados, friáveis e maciços.

#### 4.4 Granito Meruoca

O granito Meruoca corresponde a parte de um plúton granítico de mesmo nome cujo quimismo varia do alcalino ao peralcalino, onde Parente *et al.* (2011) relata a ocorrência de álcali-feldspato granitos na borda E-SE, sieno-granitos na parte central e faialita-hornblenda-biotita granito na parte norte; Gonçalves (2006) relata a ocorrência de gabros na porção centro-sul do corpo. Ocorrem ali feldspatos “vermelhos tijolos”, interpretados como resultado de alterações hidrotermais, segundo Sial *et al.* (1981).

#### 4.5 Formação Barreiras

A Formação Barreiras é uma unidade estratigráfica de origem predominantemente continental, embora com sucessões transicionais (estuarinas) identificáveis em alguns locais (CAVALCANTE *et al.*, 2003). Sua idade é tida como miocênica (PETRI, 1972 apud ARAI, 2006; LIMA *et al.*, 2007). Compõe-se de conglomerados oligomíticos quartzosos, arenitos quartzosos a arcossianos e lamitos, com estruturas de fluxo indicadas por estratificações cruzadas e imbricações de seixos, sempre no rumo oceânico. A presença de fósseis é muito localizada, onde incluem restos vegetais, foraminíferos, palinomorfos e restos de conchas (ARAI, 2006). No Ceará, a Formação Barreiras ocorre faciologicamente distinta por uma questão de exposição e/ou preservação de seus depósitos ao longo da costa (CAVALCANTE *et al.*, 2003). Níveis lateríticos ocorrem ao longo da unidade, sendo mais espessos em meio aos níveis conglomeráticos, e podem ocorrer tão sutis como frentes de oxidação (*liesengangs*) em meio a arenitos.

## 4.6 Coberturas Quaternárias

O Quaternário da área de pesquisa é representando por depósitos de praias recentes e antigos (*beach rocks*), depósitos eólicos (várias gerações, inclusive eolianitos), e depósitos aluviais recentes (origem fluvial e mista, estuarina) e lagunar (CLAUDINO-SALES, 2002).

### 4.6.1 Depósitos praias

No Ceará, predominam praias oceânicas dominadas por ondas e compostas de areias inconsolidadas médias, geralmente quartzosas, mas com teores variáveis de biodetritos, com destaque para fragmentos algáceos de origem plataformai (BEZERRA, 2009). Sua largura varia de dezenas a centenas de metros, com comprimentos de até dezenas de quilômetros. A morfologia geral é muito variável, mas cita-se a presença de cúspides próxima a desembocadura dos rios mais perenes, onde associam-se aos depósitos matéria orgânica e teor elevado de minerais pesados (CARVALHO, 2003).

Entre seus depósitos mais antigos, destacam-se os *beach rocks*, que são consolidados por cimento carbonático vadoso. A maioria desses associam-se a desembocaduras fluviais recentes ou de longo termo, que favorecem quebra de solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  das águas marinhas por suas águas doces relativamente ácidas. As análises efetuadas por Maia *et al.* (1997) nos *beach rocks* do litoral cearense indicam constituição geral semelhante ao das praias atuais adjacentes, com areias compostas de quartzo (45-75%), de granulação entre 0,05-2,2 mm, em grãos subangulosos a subarredondados, e cimentadas predominantemente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Ocorrem subordinadamente feldspatos e fragmentos de rochas (1-3,8%) e componentes bioclásticos (gastropodes, bivalves e algas calcárias do gênero *Lithothamnium*) (1-5,3%).

### 4.6.2 Depósitos eólicos

Quanto a depósitos eólicos, a subdivisão mais aceita se dá em três a quatro gerações cronologicamente e litologicamente distintas (CARVALHO & MAIA, 1990; MAIA, 1998; CASTRO, 2001; CLAUDINO-SALES, 2002; CARVALHO, 2003), embora persistam alguns problemas relacionados à precisão de sua cronologia

(GIANNINI, 2007). Carvalho *et al.* (2008) descreveram quatro gerações nos seguintes termos (síntese):

i. Primeira geração (pleistocênica): paleodunas sem formas atuais definidas, situadas no topo da Formação Barreiras e constituídas por areias quartzosas pouco consolidadas, com granulação desde grãos finos a médios e de coloração vermelha escura;

ii. Segunda geração (holocênica): dunas parabólicas estabilizadas por vegetação, constituídas por areias quartzosas inconsolidadas de granulação média a fina e cores que variam de laranja a cinza;

iii. Terceira geração (holocênica): eolianitos friáveis ou fortemente litificados, constituídos por areias predominantemente quartzosas de granulação média a fina, cimentadas por carbonato de cálcio, situados acima da planície marinha holocênica, mas abaixo do sistema de dunas móveis atuais. Podem possuir até 20% ou mais de bioclastos. Essas dunas teriam sido originadas durante o baixo nível marinho do final do Holoceno.

iv. Quarta geração (holocênica): dunas ativas atuais, incluindo barcanas, barcanóides, lençóis de areia e dunas frontais, constituídas por areias quartzosas de granulometria média a fina.

#### **4.6.3 Depósitos aluviais**

Segundo Cavalcante *et al.* (2003), no estado do Ceará os depósitos aluviais são constituídos por argilas, areias argilosas, areias quartzosas, areias quartzo-feldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas típicas de sistema fluvial e/ou com influência marinha a jusante (estuários ou planícies de maré estuarinas). Na área de pesquisa, estes depósitos estão associados aos rios Mundaú, Aracatiaçu, Aracatimirim e Acaraú.

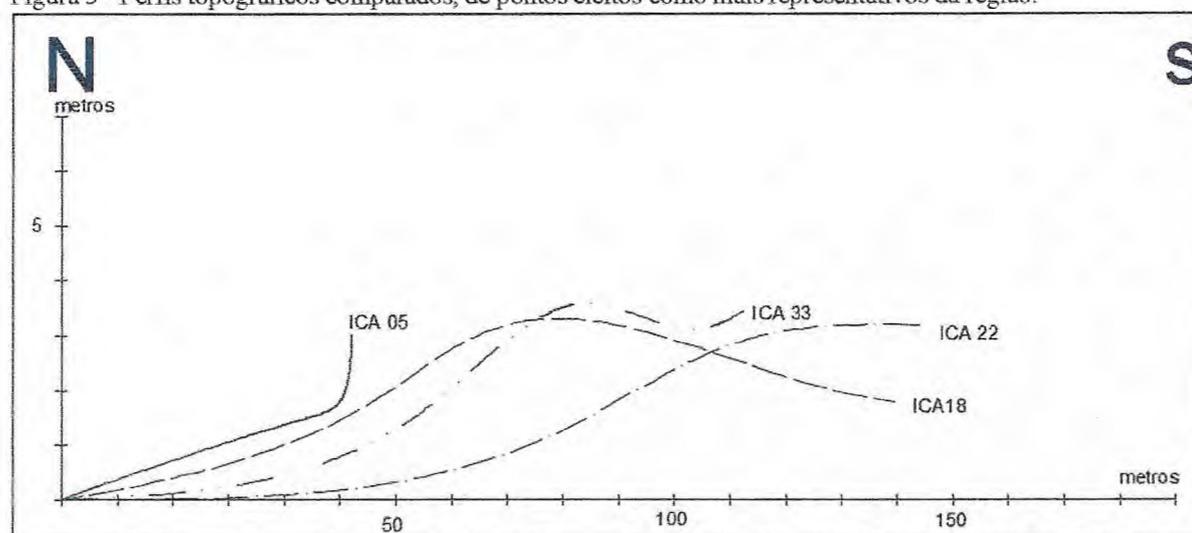
Segundo Maia (1998), a zona de desembocadura dos principais cursos fluviais encontra-se submetida à influência das interações das flutuações de marés e o fluxo fluvial, os quais controlam uma série de depósitos característicos, tendo como maior destaque os depósitos de lamas orgânicas e vegetais associados a mangues, em zonas de supramarés abrigadas, e *beach rocks*, em zonas de domínio de canais de maré ou porções mais externas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Morfologia geral do sistema praia-duna frontal

No sistema praia-duna frontal de Itarema-Camocim, foram identificados os seguintes elementos morfológicos não-obrigatórios, marinhos e eólicos: berma, cúspides, lago praial, canaleta (*runnel*), franja eólica, *nebkha*, dunas frontais do tipo terraço, cordão e rampa, e ruptura de deflação (*blowout*), onde os elementos pertencentes aos determinados pontos de amostragem foram detalhados na Tabela 3. A extensão horizontal do conjunto de formas varia de dezenas a pouco mais de uma centena de metros, com tendência de aumento para oeste (Figura 5).

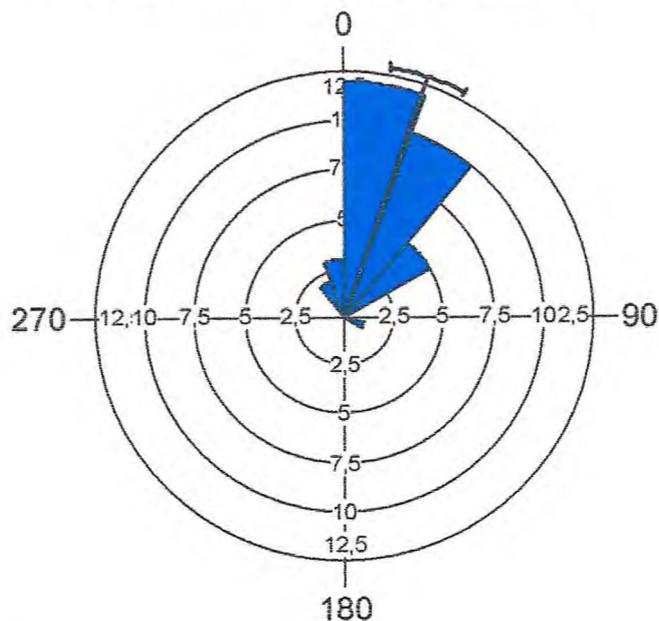
Figura 5 - Perfis topográficos comparados, de pontos eleitos como mais representativos da região.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O elemento obrigatório face praial caracteriza-se por declividades moderadas (média de  $4,4^\circ$ ), com rumos predominantemente voltados para NNE (vetor médio em  $19^\circ\text{AZ}$ ) (Figura 6). Para face praial, não há tendência clara para trechos específicos ao longo da região estudada.

Figura 6 - Histograma circular de frequências de rumo de mergulho da face de espraiamento. Número de medidas (n)= 33; vetor médio ( $\mu$ )= 19,3°; desvio-padrão circular ( $\mu$ -circular) = 25,4°.



Fonte: Elaborada pelos autores.

As formas marinhas de berma (Figura 7, F) ocorrem frequentemente cobertas por elementos eólicos que, no caso de dunas frontais, tornam-se indistintas ao exame visual. A presença de canaletas (*runnels*) associadas a declividades medianas da face praial atestam para regime morfodinâmico predominantemente intermediário (DEAN, 1973; HOEFEL, 1998) (Figura 7, E). Morfologias associadas às canaletas foram eventualmente observadas durante a maré baixa, e incluem crista de praia (*ridge*), calha (*trough*) e barra submersa (*bar*). Os elementos observados também sugerem predomínio do estado morfodinâmico 5 de Dean (CC/TMB: crista-canal/terraço de maré baixa) (WRIGHT & SHORT, 1984). Cúspides e lago de praia atestam para variações no estado morfodinâmico e fenômenos de derramamento de água sobre a berma (*spillover*).

Tabela 3 - Distribuição de elementos morfológicos marinhos (azul) e eólicos (amarelo) do sistema praia-duna frontal. Berma exposta (ex.).

Pontos	Berma (ex.)	Cúspides	Lago praial	Canaleta	Franja de areia	Nebkha	DFI - terraço	DFI - cordão	DFI - rampa	Blowout
ICA-1	X									
ICA-2							X			
ICA-3					X	X				
ICA-4					X			X		
ICA-5					X			X		
ICA-6					X			X		
ICA-7					X	X				
ICA-8				X		X				
ICA-9				X			X			
ICA-10						X				
ICA-11						X				
ICA-12						X				
ICA-13						X				
ICA-14	X									
ICA-15	X									
ICA-16	X	X								
ICA-17	X		X							
ICA-18	X									
ICA-19	X			X						
ICA-20		X			X				X	
ICA-21				X	X				X	
ICA-22								X		
ICA-23				X	X		X			
ICA-24					X		X			
ICA-25	X						X			X
ICA-26					X		X			
ICA-27	X					X				
ICA-28				X			X			
ICA-29				X				X		
ICA-30								X		
ICA-31	X			X				X		
ICA-32	X			X						
ICA-33	X			X		X				

Fonte: Elaborada pelos autores.

As formas eólicas mais comuns incluem aquelas menos desenvolvidas (franjas, *nebkhas*) ou mais desenvolvidas (dunas frontais e *blowout*). A única relação clara observada para os elementos morfológicos eólicos foi a das formas menos desenvolvidas com a presença local de drenagens de diferentes tamanhos. A coesão adicional de areia pela umidade elevada nessas regiões pode ser fator de inibição do volume de areia transportado, como visto em outros trabalhos (NASCIMENTO, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2008). No caso dos *nebkhas*, nota-se frequente amalgamação de suas formas sobre terraços baixos, em associação semelhante ao de dunas frontais do mesmo tipo (Figura 7, B). Suas dimensões são tipicamente decimétricas na largura e até métrica no comprimento, de elevação decimétrica, alongados segundo o vento prevalecente local, com vegetação na crista e sem face de avalanche (*slipface*). Quanto às dunas frontais incipientes, seus terraços estendem-se até formas mais vegetadas (dunas frontais estabelecidas), campos de dunas livres (principalmente em Jericoacoara) ou drenagens paralelas à linha de costa (principalmente entre Itarema e Acaraú) (Figura 7, A). No caso de cordões, estes são sempre estreitos (<3 m) e separados por calhas (*swales*) de mesma dimensão (Figura 5; Figura 7, C). Rampas de DFIs ocorrem ancoradas em falésias de outras dunas, onde podem atestar para caráter localmente erosivo (Nascimento, 2006) (Figura 7, D). As elevações das DFIs são sempre de poucos metros (<5 m em geral) (Figura 5). Quanto a rupturas de deflação (*blowouts*), estas ocorreram em apenas um ponto (ICA-25), desenvolvidas sobre terraços de DFI. Embora possam atestar erosão eólica natural em andamento (SAWAKUCHI *et al.*, 2008), seu caráter pontual sugere influência antrópica na instabilização eólica por atenuação da vegetação (por exemplo, por atividade de veículos sobre as dunas).

Figura 7 - Aspectos morfológicos do sistema praia-duna frontal. A: terraço irregular de DFI (Duna frontal incipiente) em Itarema. B: campo de *nebkhas* em meio a lençol de areia, rumo de migração WSW (direita) (Praia do Preá, Barrinhas). C: cordão de DFI, terraço de maré baixa ao fundo (Praia de Arpociras, Acaraú). D: rampa de DFI sobre falésia irregular de terraço erodido baixo, irregular (lado oeste da Ponta de Jericoacoara). E: canaletas expostas durante maré muito baixa, com irregularidades de dunas subaquosas migrantes para oeste (*leeside* rumo ao observador) (Praia da Tatajuba). F: berma e face praial bem marcados durante maré baixa, terraço de maré baixa ao fundo (Praia de Tatajuba).



Fonte: Elaborada pelos autores.

## 5.2 Granulometria

### 5.2.1 Características gerais das areias

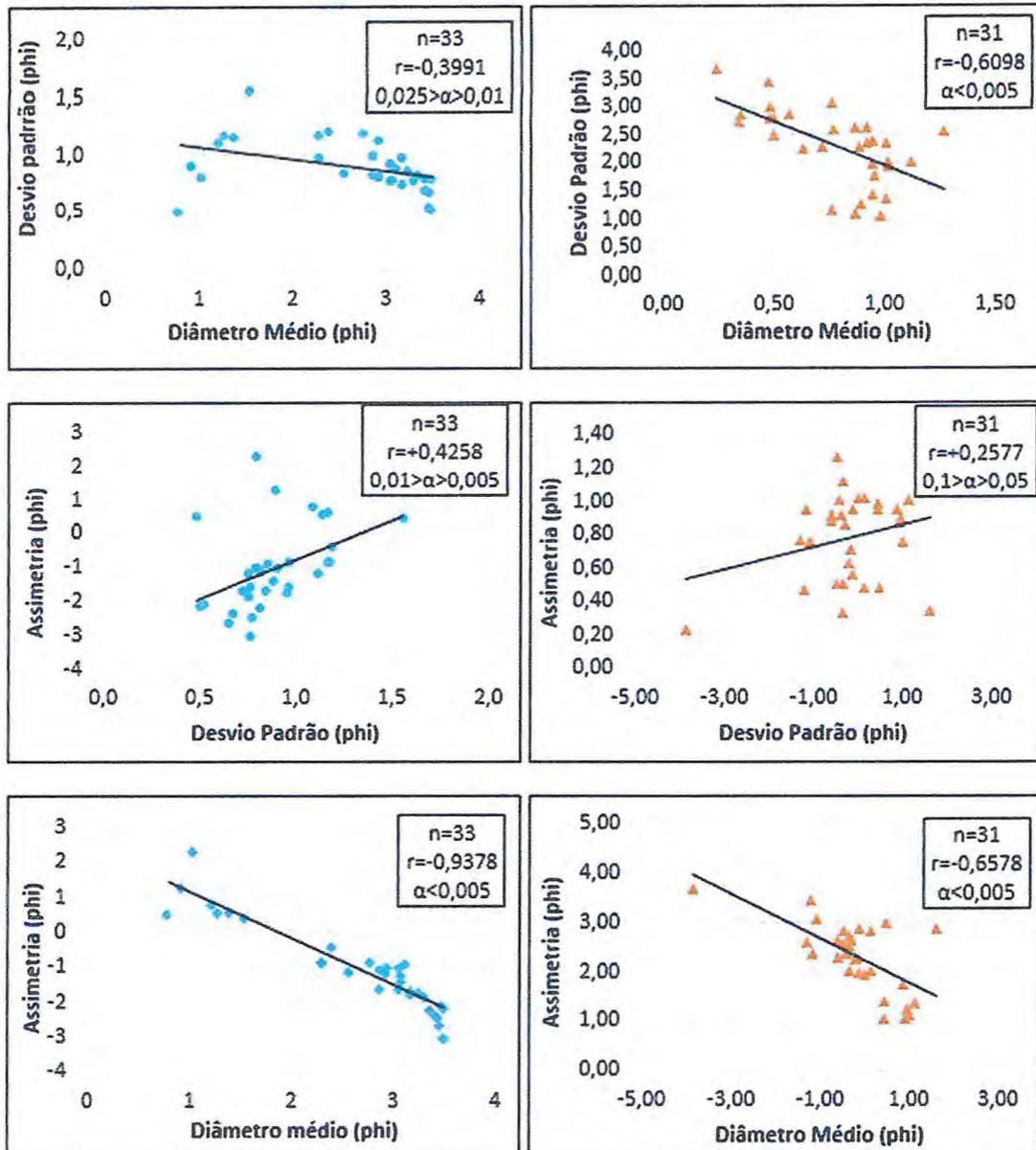
Areias finas predominam nas amostras analisadas, com seleção moderada e assimetria variável. Entre as areias de praia e duna frontal incipiente, as diferenças nos parâmetros de granulometria são pequenas (da ordem de  $0,1 \Phi$ ).

Os resultados de distribuição em massa e parâmetros estatísticos, obtidos pela planilha Momento 4.0, encontram-se nos apêndices. Predominam nas amostras analisadas areias finas a muito finas, muito bem selecionadas, e de assimetria negativa a muito negativa. Entre as areias de praia e duna frontal incipiente, as diferenças nos parâmetros de granulometria são pequenas em geral, da ordem de  $0,2 \Phi$ , mas podem chegar a  $1 \Phi$  nas áreas em que as areias praias são alimentadas diretamente por desembocaduras fluviais. Este último fato deve decorrer do menor retrabalhamento por correntes fluviais quando comparado ao da ação de ondas em mar aberto. Os intervalos de classe areia muito fina, fina e média abrangem mais de 70% da constituição das areias, com respectivas médias percentuais de 18%, 42% e 19% para a praia, e 43%, 28% e 9% para as dunas frontais incipientes. Esse resultado demonstra que, apesar de a praia abranger a fonte sedimentar imediata das dunas em questão, o transporte aerodinâmico parece ter modificado a granulometria de modo significativo nas dunas, com destaque para os padrões de assimetria, que se comportam de modo oposto ao longo do sistema.

Algumas tendências gerais, detectadas nos gráficos de variação longitudinal dos parâmetros estatísticos ao longo do sistema praia-duna, apresentam-se discutidas a seguir. Em geral, as areias, tanto na praia como nas dunas, tornam-se mais finas e melhor selecionadas de E para W, o que pode ser atribuído ao predomínio, em escala maior, da reconhecida corrente de deriva litorânea neste sentido, como evidente, por exemplo, na orientação de proeminências costeiras (esporões, barreiras etc.).

Quando comparados ao longo do sistema, os parâmetros da distribuição granulométrica apresentam boa correlação linear em geral, sendo do tipo normal entre desvio-padrão e assimetria, e do tipo inversa nos demais casos. Entre assimetria e diâmetro médio, a correlação destoa dos demais e se apresenta excelente ( $r=-0,94$ ;  $\alpha<0,005$ ). Como estes correspondem a dois dos mais robustos indicadores de transporte, o resultado ressalta o potencial indicador de transporte da granulometria das areias no intervalo estudado (Figura 8).

Figura 8 - Correlação entre parâmetros dos três primeiros momentos de Pearson em amostras de praias (círculos azuis) e dunas (triângulos laranjas). Os símbolos n, r e  $\alpha$  correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).



Fonte: Elaborada pelos autores.

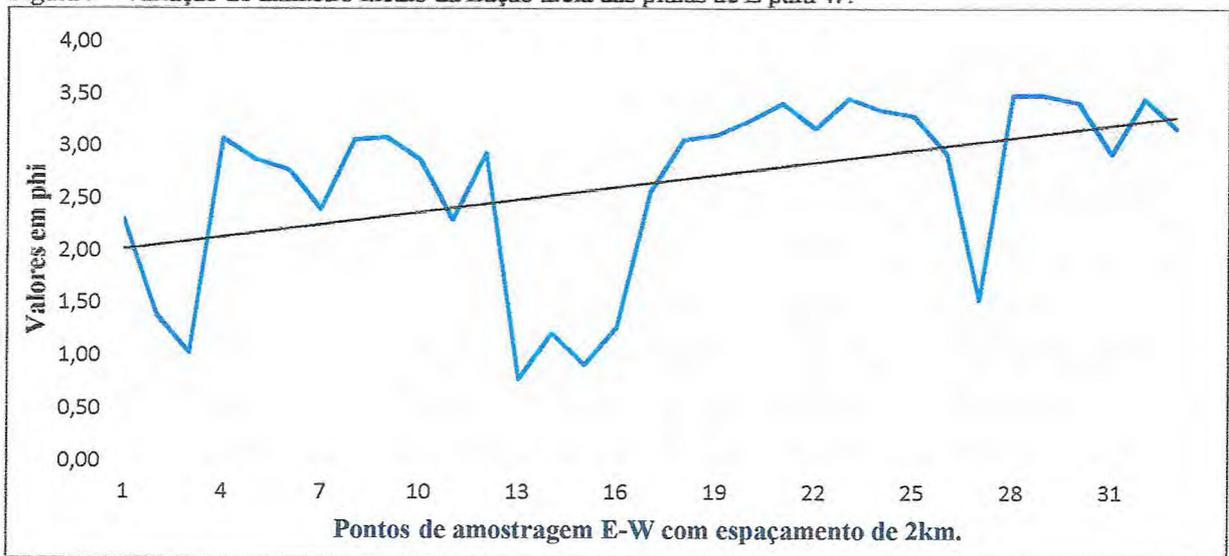
### 5.2.2 Diâmetro médio

O diâmetro médio demonstra a ordem de grandeza das classes de tamanho das partículas. Numa distribuição unimodal, este parâmetro representa a energia cinética média do agente e/ou processo deposicional, mas é também dependente do intervalo granulométrico inicialmente disponível para transporte e deposição.

Este parâmetro apresenta baixo desvio-padrão de seus dados, tanto entre amostras de praia (0,44 *phi*) como entre as de dunas (0,29 *phi*). O fato denota grande homogeneidade das amostras entre si quanto ao diâmetro médio.

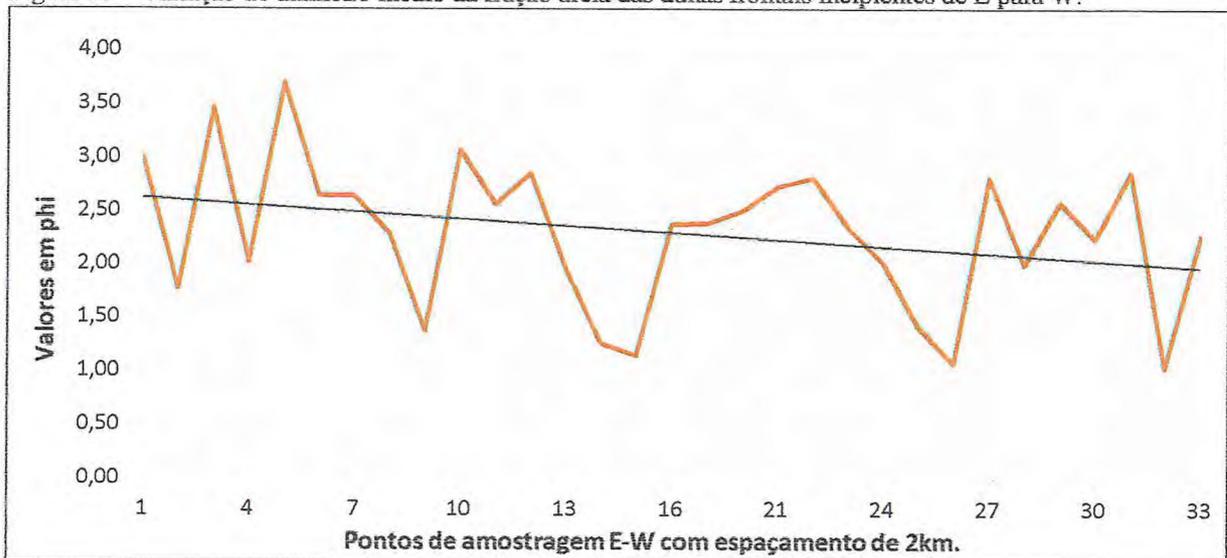
As amostras de modo geral enriquecem-se em areia fina para W, o que ajuda a explicar o afinamento de diâmetro médio nesse rumo. Na praia, valores médios de diâmetro médio vão de 2,30 *phi* a 3,18 *phi*. Nas dunas, variam no mesmo intervalo de 2,99 *phi* para 2,27 *phi* (Figura 9 e Figura 10).

Figura 9 - Variação de diâmetro médio da fração areia das praias de E para W.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 10 – Variação de diâmetro médio da fração areia das dunas frontais incipientes de E para W.



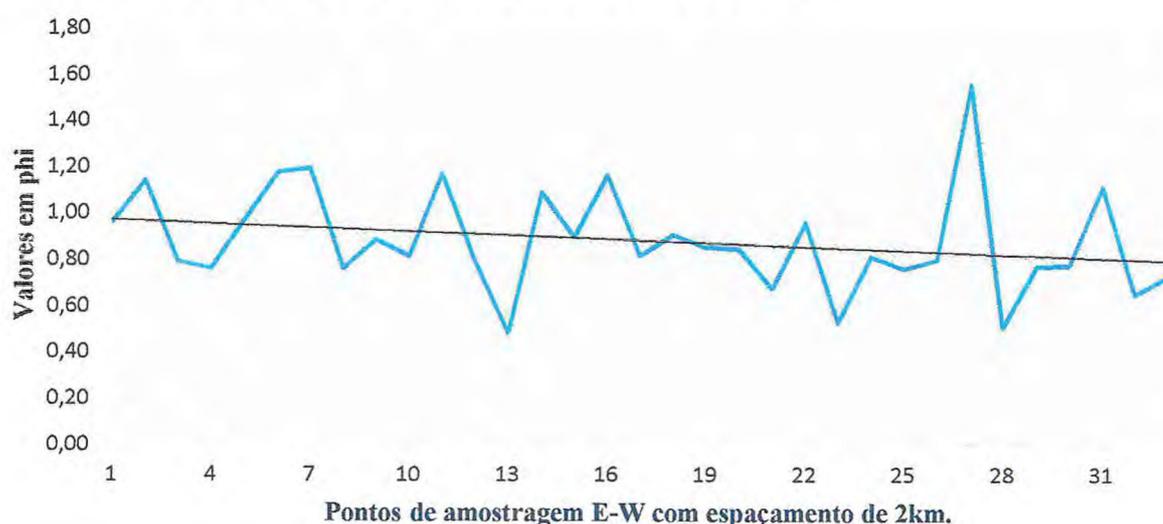
Fonte: Elaborada pelos autores.

### 5.2.3 Desvio padrão

O desvio-padrão mede a dispersão em torno da média granulométrica, e equivale ao inverso do grau de seleção granulométrica dos sedimentos. Nas populações unimodais, relaciona-se diretamente a frequência e amplitude das variações de energia e aporte do agente e/ou processo deposicional, em torno das condições cinéticas médias. As amostras de praia apresentam grau de seleção moderado (pela classificação de FOLK, 1968), com 60,6% dos sedimentos moderadamente bem selecionados e o restante com pior grau de seleção. Este resultado é provavelmente influenciado por aporte fluvial de areias pouco retrabalhadas. As amostras das dunas frontais incipientes apresentam grau de seleção mais alto, com 48,4% das amostras moderadamente bem selecionadas e 25,8% de amostras com grau ainda mais alto (bem selecionadas e muito bem selecionadas).

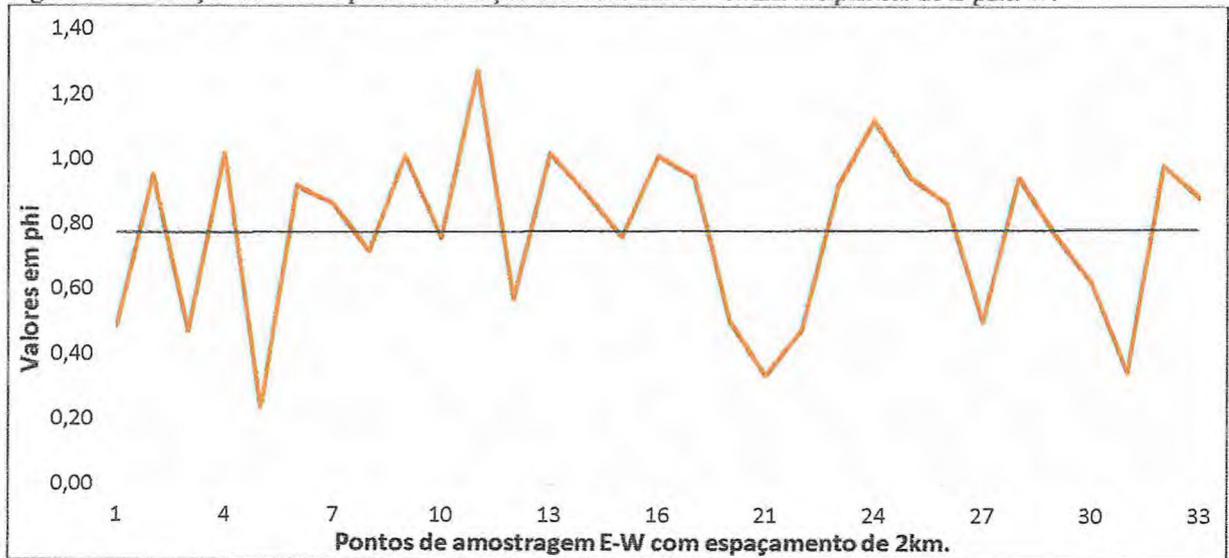
Há tendência de melhora da seleção granulométrica das amostras rumo W ao longo do sistema praia, com valores girando em torno de 1 *phi* nos primeiros pontos e 0,60 *phi* nos pontos finais. Ocorre uma inversão no sistema de dunas frontais, onde a seleção piora no rumo W, indicando que uma possível interferência eólica mudou o sentido da deriva; os valores vão de 0,49 a 0,88 *phi* (Figura 11 e Figura 12).

Figura 11 - Variação do desvio padrão da fração areia das praias de E para W.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 12 - Variação do desvio padrão da fração areia das dunas frontais incipientes de E para W.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 5.2.3 Assimetria

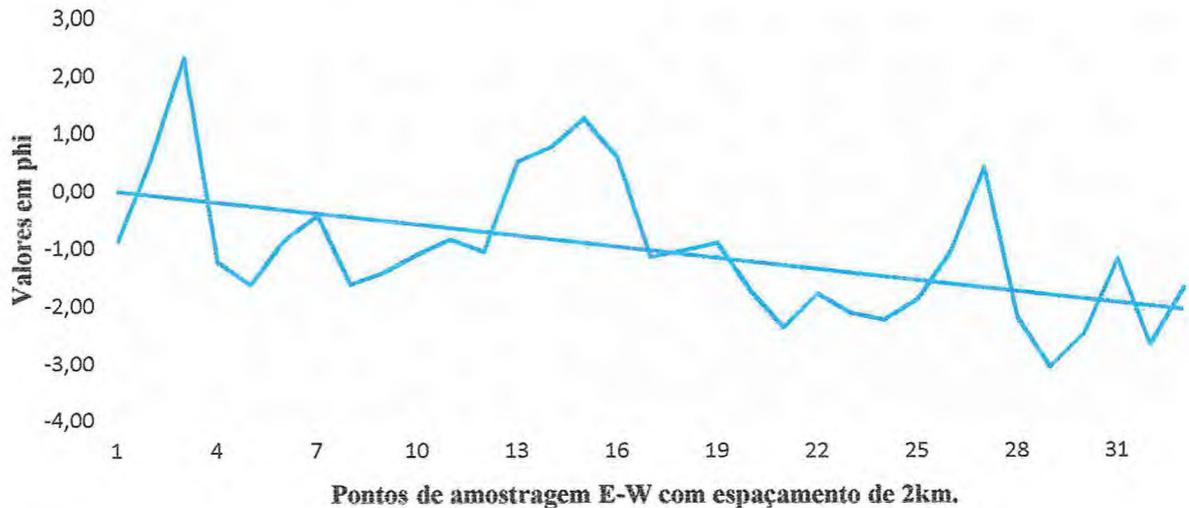
A assimetria é um parâmetro que descreve se a curva de distribuição de frequências é ou não simétrica e, sendo assimétrica, para qual lado se prolonga sua cauda. Segundo Muehe (1996), em depósitos residuais bem como na zona de espraiamento, as frações mais finas dos sedimentos são removidas pelo refluxo das ondas, sendo por isso comum encontrar distribuições assimétricas negativas em areias de face praial.

Para as praias entre Itarema e Camocim, as curvas de distribuição granulométrica apresentam 79% de assimetria muito negativa (pela classificação de FOLK, 1968), resultado que possui alto contraste com a distribuição das demais amostras, compostas de areias assimetricamente muito positivas. Nas dunas, permanece o predomínio de assimetria muito negativa com 48,4%, mas a maior parte do restante (35,5%) é composta de areias assimetricamente muito positivas e positivas. A ocorrência de amostras simétricas e negativas demonstra redução do contraste observado nas amostras de praia entre si.

Neste parâmetro, observam-se tendências de variação longitudinal opostas entre praia e duna frontal. Ao longo do perfil realizado, a distribuição granulométrica da praia torna-se assimetricamente mais negativa rumando para W, enquanto as dunas tornam-se mais positivas (Figura 13 e Figura 14). Aparentemente, o transporte pelo vento, como agente selecionador, é muito competente em deslocar a cauda da curva granulométrica para as frações mais finas, como visto em outros estudos (por exemplo, NASCIMENTO *et al.*, 2005).

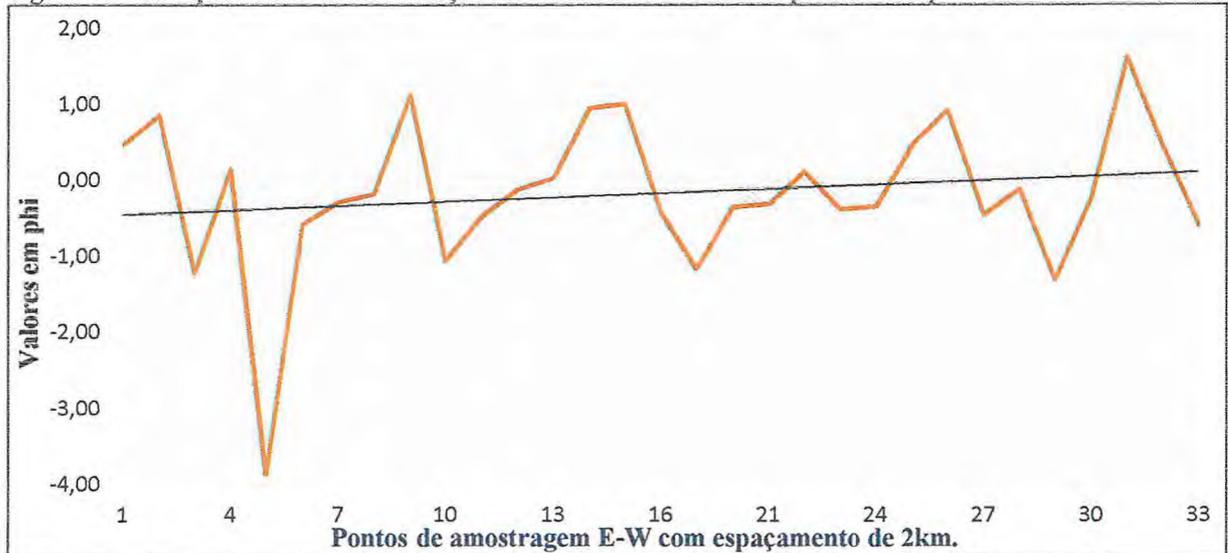
Essa tendência tem sido encontrada mesmo para dunas costeiras onde o transporte a partir da área fonte praial é curto, como é o caso de dunas frontais incipientes (GIANNINI *et al.* 2003).

Figura 13 - Variação da assimetria da fração areia das praias de E para W.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 14 - Variação da assimetria da fração areia das dunas frontais incipientes de E para W.



Fonte: Elaborada pelos autores.

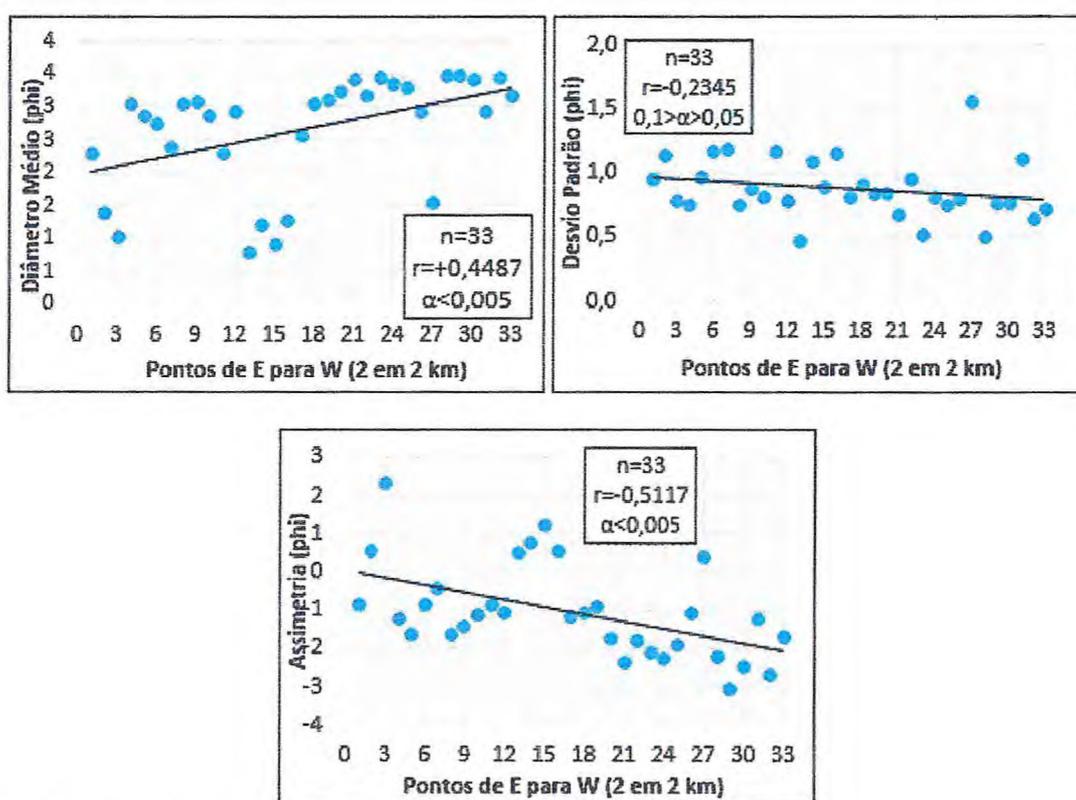
#### 5.2.4 Dedução da deriva litorânea pelo método de McLaren & Bowles (1985)

##### 5.2.4.1 Deriva litorânea regional

As estatísticas escolhidas para o presente estudo, diâmetro médio, assimetria e desvio padrão, são aqui usadas para interpretar o transporte de sedimentos e, por conseguinte, as células locais de deriva litorânea. Pela regra de McLaren & Bowles (1985), o transporte dá-

se no sentido do caso “mais grosso / melhor selecionado / mais positivo” (caso 1) ou caso “mais fino / melhor Selecionado / mais negativo” (caso 2). Quando nenhum dos padrões é encontrado, não se pode aferir o rumo do transporte com segurança. O parâmetro que sozinho indica o rumo do transporte com maior confiabilidade é o grau de seleção. Na Figura 15, verifica-se nas areias da praia, rumo W, tendência geral de afinamento, melhora do grau de seleção (diminuição do desvio-padrão) e assimetria mais negativa. Esta combinação de variações é concordante com um dos padrões indicadores de transporte segundo McLaren & Bowles (1985), indicador da deriva longitudinal predominante típico do litoral setentrional do Brasil naquele sentido. Em todos os parâmetros, o teste estatístico por regressão linear obteve resultados muito consistentes.

Figura 15 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias ao longo de 70 km de praias entre Itarema e Camocim (rumo E-W). Os símbolos  $n$ ,  $r$  e  $\alpha$  correspondem respectivamente ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal  $t$  de Student).



Fonte: Elaborada pelos autores.

#### 5.2.4.2 Padrões de deriva litorânea local e inversões

Localmente, a deriva litorânea regional em sistemas marinhos pode sofrer a influência de fatores como presença de obstáculos rochosos e hidrodinâmicos (desembocaduras de rios, estuários e lagunas) que, combinados ou não entre si e com

correntes subordinadas, podem apresentar intensidade e/ou rumos de transporte diferentes. A influência dos fatores citados foi testada para intervalos selecionados no sistema praial entre Itarema e Camocim, a fim de verificar a existência ou não de zonas com vocação local erosiva ou deposicional.

### *Pontos 1 a 3: esporão do rio Itarema*

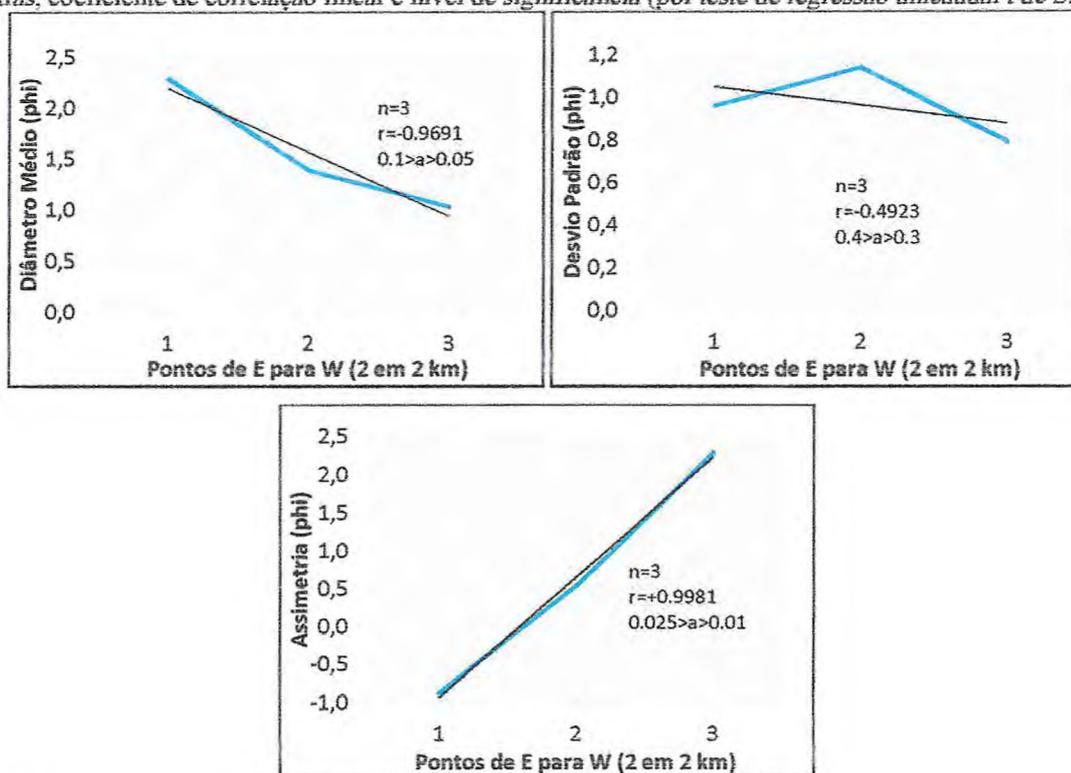
O esporão do rio Itarema corresponde a uma projeção de areia emersa, estreita (até 300 m de largura), alongada E-W por 5 km segundo a deriva regional, separado em maior parte do continente pelo rio Itarema, que corre paralelo a ele, e entre tanques de carcinicultura. Esta proeminência é uma das integrantes que passam a ocorrer na zona costeira desde Almofala (a leste). A intensa dinâmica sedimentar dessas feições pode ser testemunhada por sua constante mudança de forma, alongamento e rompimento de canais/atalhos, como visto em imagens de satélite e fotografias aéreas de diferentes épocas (Figura 16). A deriva litorânea deste intervalo acompanha o transporte regional para oeste, mas com padrão de transporte do tipo 1 McLaren & Bowles, 1985). Isso indica que as areias amostradas correspondem a sedimento residualmente concentrado (*lag*), material incapaz ou de difícil transporte ante a corrente de deriva litorânea. O tipo 1 de transporte é incomum em sistemas praias, mas no esporão de Itarema poderia ser resultado de bimodalidade granulométrica em função da presença de areias texturalmente imaturas fornecidas pelo rio Itarema que, por seu pequeno porte, opera no local como canal de maré (*tidal creek*). Outro fator ressaltado é o da presença local de cataventos para construção de energia eólica e viveiros de camarão recentemente estabelecidos, com material agregado de construção trazido para as adjacências do esporão que poderia ser retrabalhado pela deriva local. Seja qual for o caso, esta interpretação possui ressalvas em função do pobre nível de significância do desvio-padrão ( $0,4 > \alpha > 0,3$ ), parâmetro que é o principal indicador de transporte (Figura 17).

Figura 16 - Esporão do rio Itarema, com padrão de transporte do tipo 1 seguindo a deriva regional para oeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 17 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias entre os pontos 1e 3 (rumo E-W). Os símbolos  $n$ ,  $r$  e  $\alpha$  correspondem respectivamente ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal  $t$  de Student).



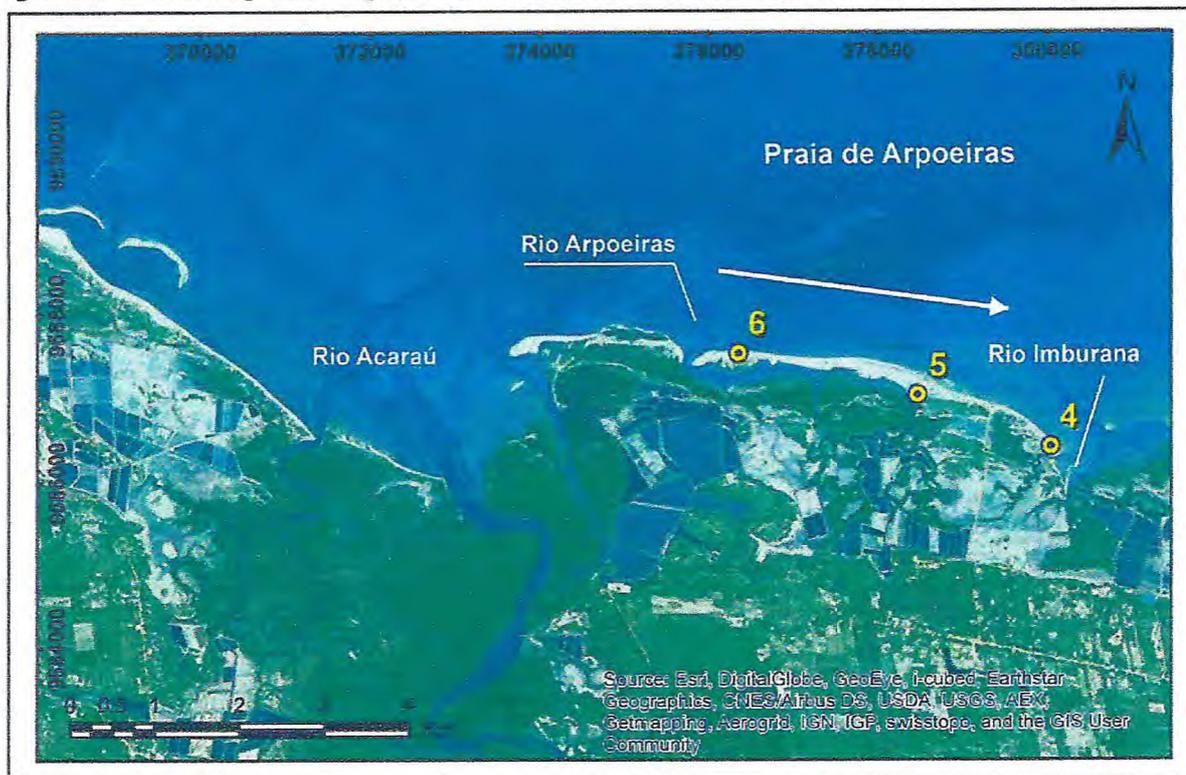
Fonte: Elaborada pelos autores.

*Pontos 4 a 6: barreira da praia de Arpoeiras (Acará)*

Os esporões de areia dão lugar a barreiras estreitas (de 100 a 200 m de largura) de comprimento quilométrico, mais ou menos anexadas ao continente a partir da ilha dos Coqueiros (Acará). A barreira da praia de Arpoeiras é uma das mais extensas (5 km), e encontra-se limitada por canais de maré extensos (quilômetros) e muito ramificados, correspondentes aos rios Imburana (oeste) e Arpoeiras (leste). Este último poderia corresponder a um atalho histórico que separa uma porção da barreira junto ao rio Acará (a oeste), o maior e mais importante da região (Figura 18).

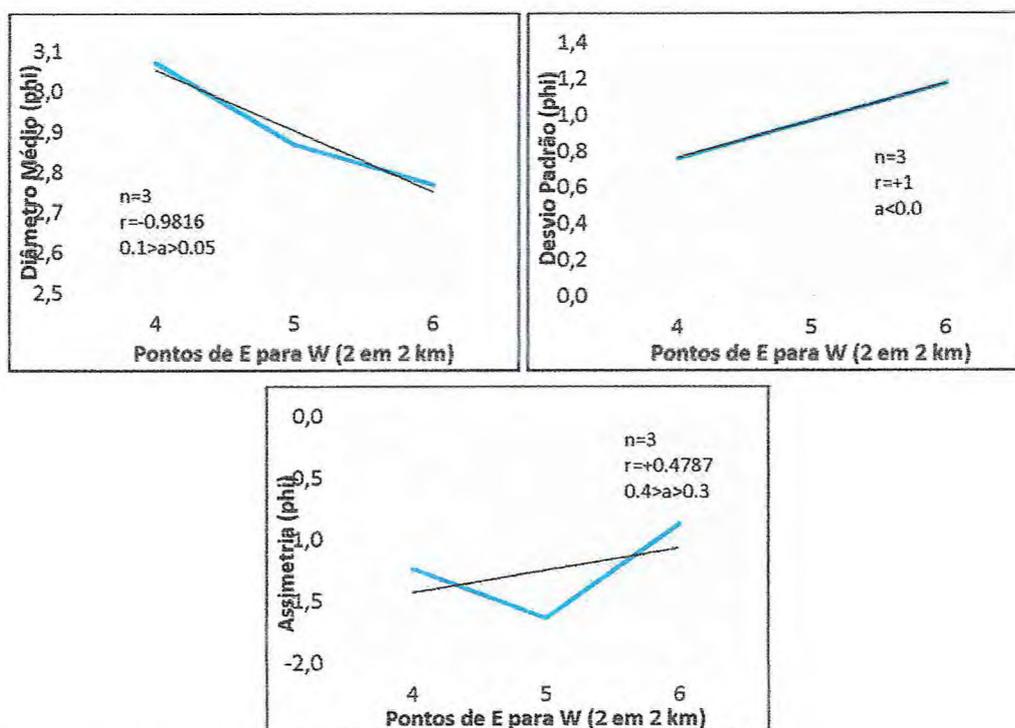
Observa-se inversão no rumo de deriva litorânea local com relação ao padrão regional, por transporte do tipo 2 (areias ativamente carregadas por correntes longitudinais) (Figura 19). Esta inversão local pode ser função do bloqueio hidráulico ou “efeito de molhe” (*groyne effect*) forçado pela descarga do rio Acará (DOMINGUEZ, 1996). A linha de costa mais avançada (1 km) rumo ao mar na margem oeste do rio ainda seria mantenedora deste bloqueio mesmo em momentos de estofa da maré (*slack water*). E como a descarga fluvial também age mesmo durante a maré baixa, a corrente de deriva litorânea teria seu fluxo desviado aos poucos rumo às adjacências da barreira, principalmente durante a subida de maré. Essa ideia parece reforçada pelo notável aumento da largura dos baixios de maré (*shoals*) rumo ao mar desde Itarema, em íntima associação com canais de maré mais largos e proeminentes, onde ocorre assoalho exposto por mais de 1 km rumo ao oceano durante a maré baixa.

Figura 18 - Barreira da praia de Arpoeiras, com padrão de transporte do tipo 2, contrário à deriva regional.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 19 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias entre os pontos 4 e 6 (rumo E-W). Os símbolos  $n$ ,  $r$  e  $\alpha$  correspondem respectivamente ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal  $t$  de Student).



Fonte: Elaborada pelos autores.

*Pontos 8 a 14: praia do Preá, localidade de Barrinhas*

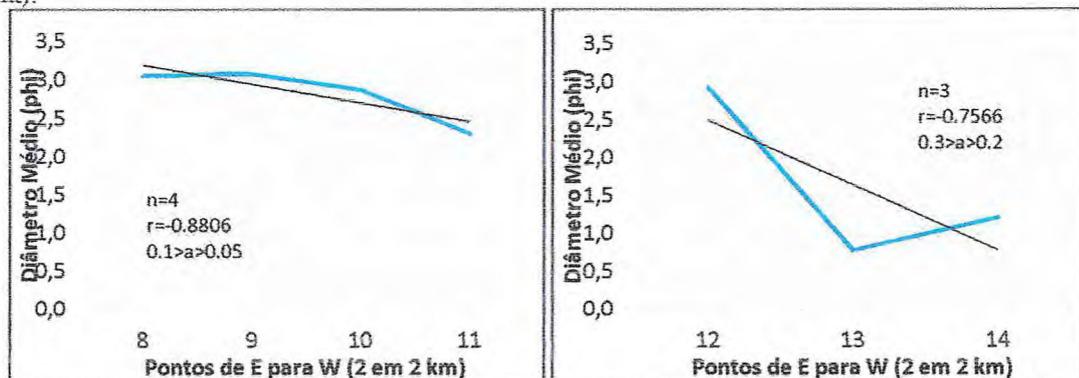
A praia do Preá estende-se a partir da margem oeste do rio Acaraú até a ponta de Jericoacoara, sendo os primeiros 25 km pertencentes à localidade de Barrinhas. Neste trecho, as barreiras e esporões costeiros dão lugar a extensões de areia mais ou menos anexadas ao continente, mas a presença de pequenos canais de maré (largura decamétrica a métrica) paralelos à linha de costa ainda é evidente (Figura 20). Mais uma inversão na corrente de deriva local (tipo 2) é evidente em relação à deriva regional. Neste caso, porém, o padrão só é estatisticamente aceitável quando o intervalo amostrado é subdividido a partir do ponto 11. Este ponto em particular corresponde a um local onde ocorre suave mudança na orientação da linha de costa, de WSE-WNW para ENE-ESE. O mesmo ponto coincide com a extensão rumo ao mar do lago do Paraíso, um antigo vale aluvial afogado, provável depressão herdada em depósitos miocênicos da Formação Barreiras. Isso indicaria que esta unidade estratigráfica aproxima-se da costa naquele ponto, e seria a provável razão da mudança em seu contorno. Formada por material mais competente, inclusive com porções lateríticas, a Fm. Barreiras teria influência na mudança de padrão granulométrico a partir do ponto 11 pelo bloqueio mencionado. Em adição, o erro I da regressão linear aumenta de  $0,1 > \alpha > 0,05$  para  $0,4 > \alpha > 0,3$  (Figura 21).

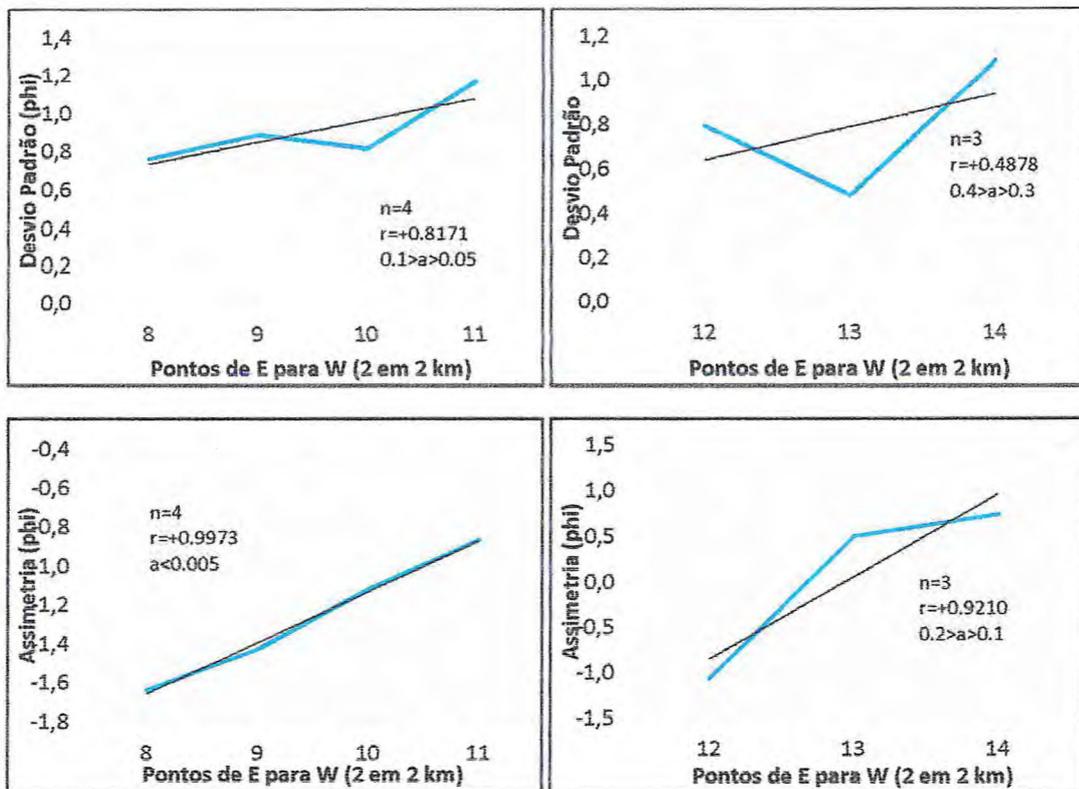
Figura 20 – Extensão da praia do Preá na localidade de Barrinhas, com padrões do tipo 2, contrários à deriva regional para oeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 21 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias entre os pontos 8 e 14 (rumo E-W). Os símbolos  $n$ ,  $r$  e  $\alpha$  correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal  $t$  de Student).



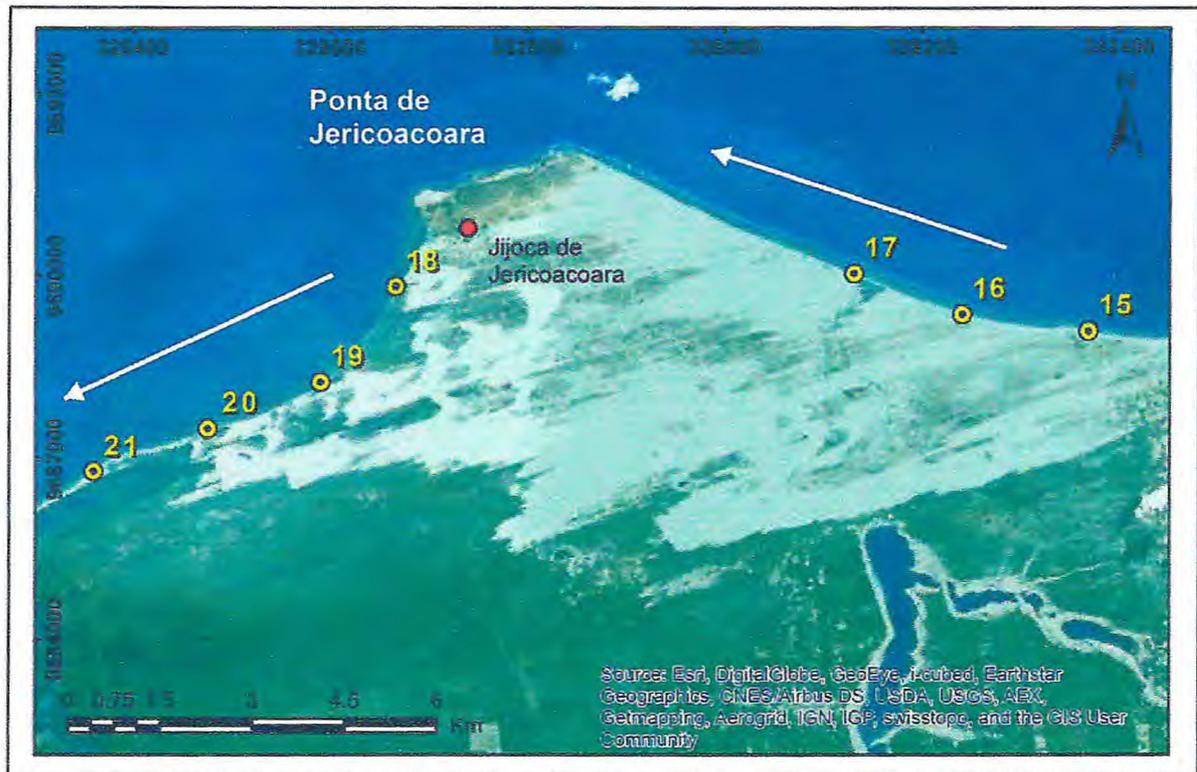


Fonte: Elaborada pelos autores.

*Pontos 15 a 21: adjacências da ponta de Jericoacoara*

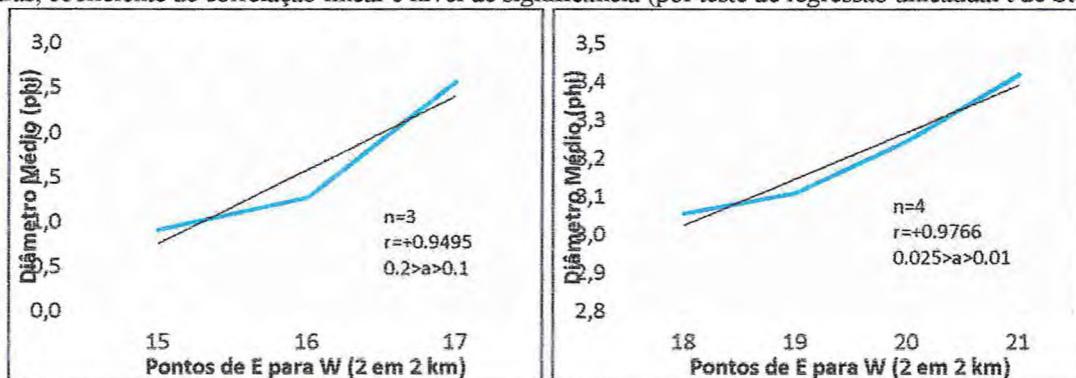
A ponta de Jericoacoara é uma projeção rumo ao mar da linha de costa de 5 km, ancorada em quartzitos neoproterozóicos da Formação São Joaquim (CPRM, 2003). A presença das rochas cristalinas também permitiu uma maior extensão da Fm. Barreiras naquele local (Figura 22). Apesar de ser a mais expressiva proeminência costeira da região, as adjacências da ponta de Jericoacoara apresentam deriva litorânea local (tipo 2) em conformidade com aquela vista regionalmente (Figura 23). Esse resultado é plausível para o lado leste, que recebe o fluxo regional frontalmente. Para o lado oeste, entretanto, um bloqueio físico seria o esperado, capaz de inverter a deriva local, como já visto por exemplo nas proximidades da desembocadura do rio Acaraú.

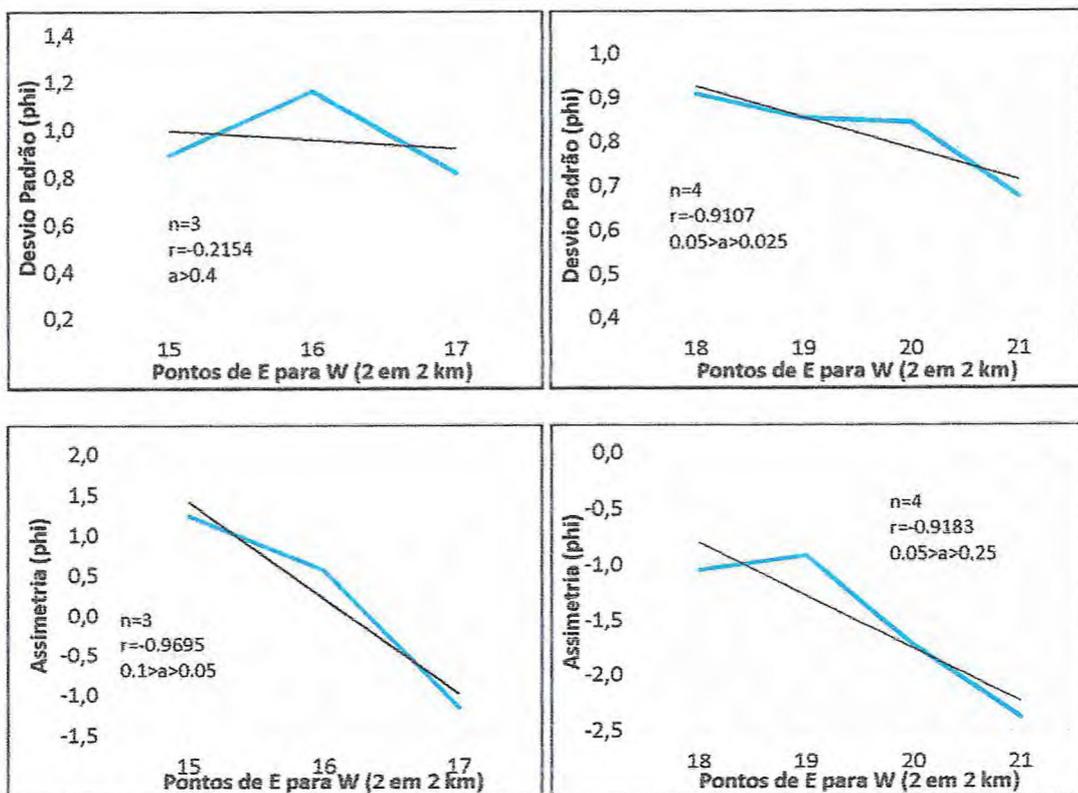
Figura 22 - Ponta de Jericoacoara, com padrões de transporte do tipo 2 concordantes com a deriva regional para oeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 23 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias entre os pontos 15 e 21 (rumo E-W). Os símbolos  $n$ ,  $r$  e  $\alpha$  correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal  $t$  de Student).





Fonte: Elaborada pelos autores.

*Pontos 23-33: praia de Tatajuba e ilha do Amor (Camocim)*

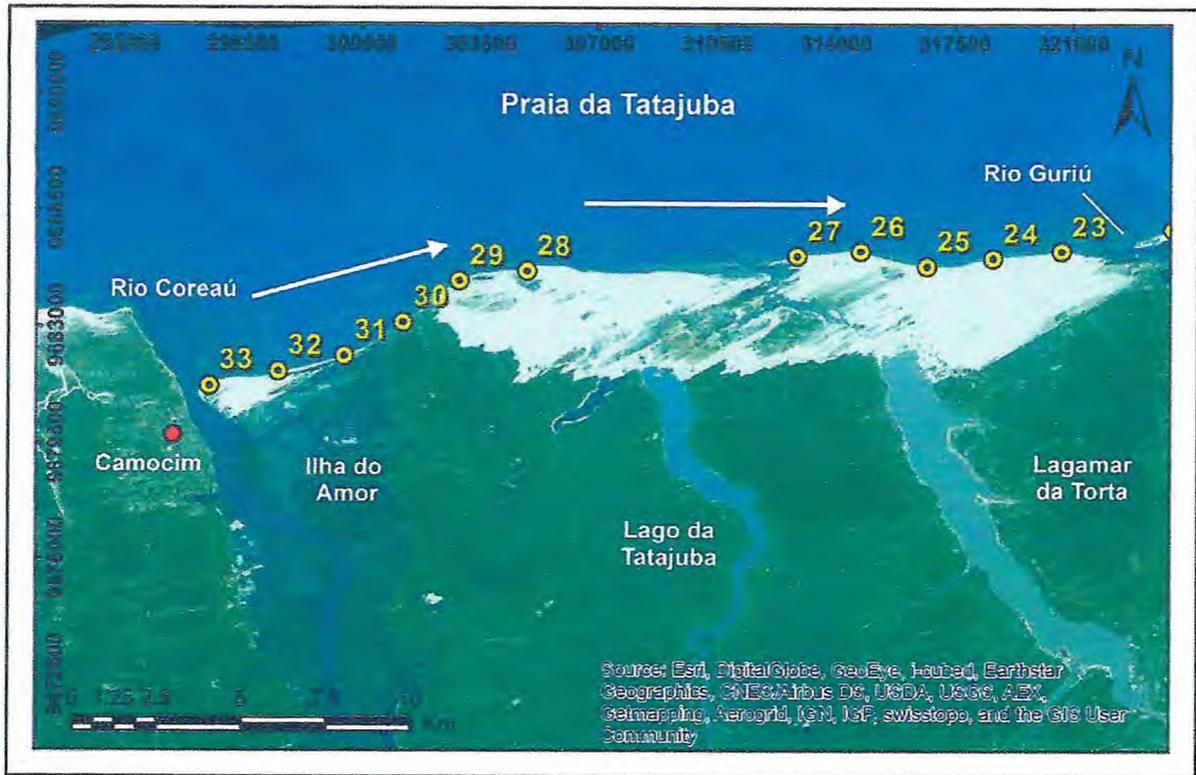
A zona costeira a oeste do rio Guriú (Jijoca de Jericoacoara) até a desembocadura do rio Coreaú (Camocim) compreende uma extensão de 25 km entre a praia da Tatajuba e a chamada Ilha do Amor. Esta última, em particular, corresponde à porção mais externa de uma série de ilhas e ilhotas (com áreas de até poucos km<sup>2</sup>) separadas por vários canais de maré de diferentes hierarquias, onde uma extensa vegetação de mangue se desenvolve concentrada no lado leste do rio Coreaú. Atualmente, a porção denominada “ilha” encontra-se na verdade anexada à praia de Tatajuba em seu lado leste (Figura 24).

O resultado para esse trecho litorâneo apresenta inversão local de correntes longitudinais em relação ao da deriva litorânea regional (Figura 25). Apesar de estatisticamente aceitável para todo o intervalo, este trecho litorâneo foi convenientemente subdividido em duas partes a partir do ponto 28, devido a uma forte mudança na orientação da linha de costa entre a praia de Tatajuba (E-W) e a ilha do Amor (NE-SW).

Na ilha do Amor, a inversão deve ser função do bloqueio hidráulico da corrente de deriva regional exercido pela descarga fluvial do rio Coreaú, situação semelhante à vista para o lado leste do rio Acaraú. Aqui, porém, os baixios de maré são ligeiramente mais estreitos (<1 km). No entanto, a diferença no avanço da linha de costa entre as margens leste (Ilha do Amor) e oeste (Camocim) do rio

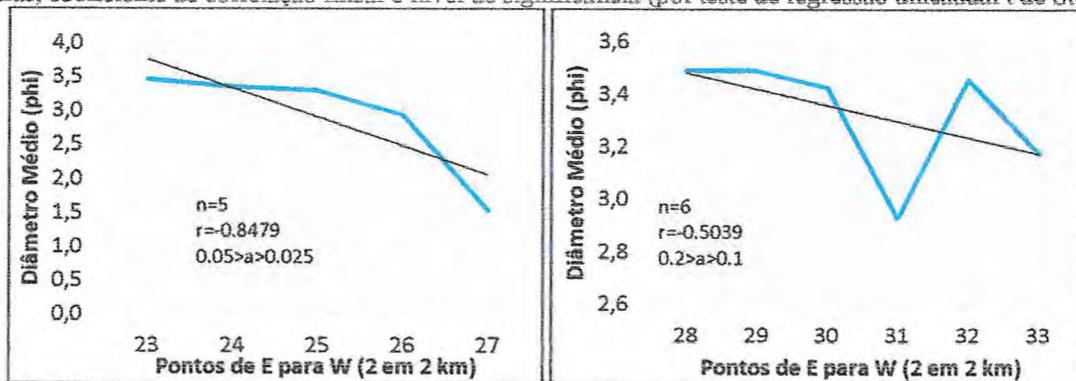
Coreaú é maior do que no rio Acaraú: chega a 2,5 km, situação que mantém o bloqueio hidráulico mesmo durante a estufa da maré.

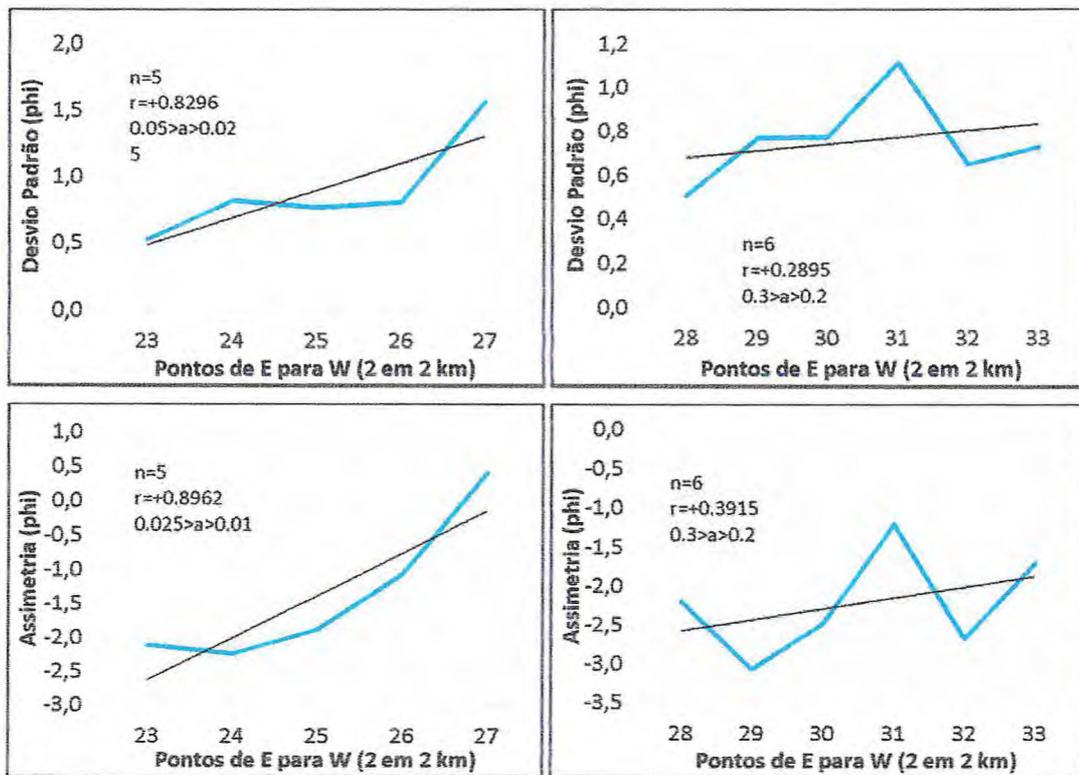
Figura 24 - Praia de Tatajuba e Ilha do Amor, com padrões de transporte do tipo 2 invertidos em relação à deriva regional para oeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 25 - Comparação entre tendências de distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos de areias praias entre os pontos 23 e 33 (rumo E-W). Os símbolos n, r e  $\alpha$  correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicameral t de Student).



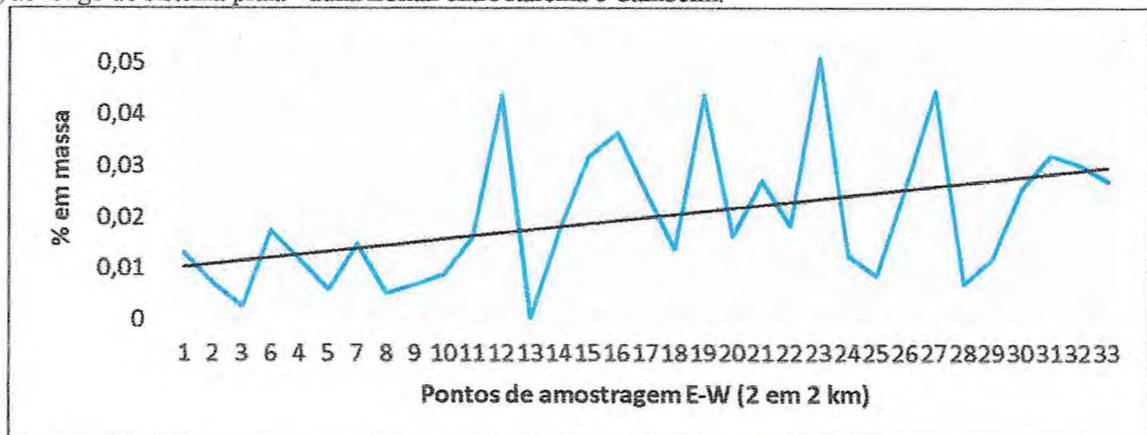


Fonte: Elaborada pelos autores.

### 5.3 Resultados da análise de minerais pesados

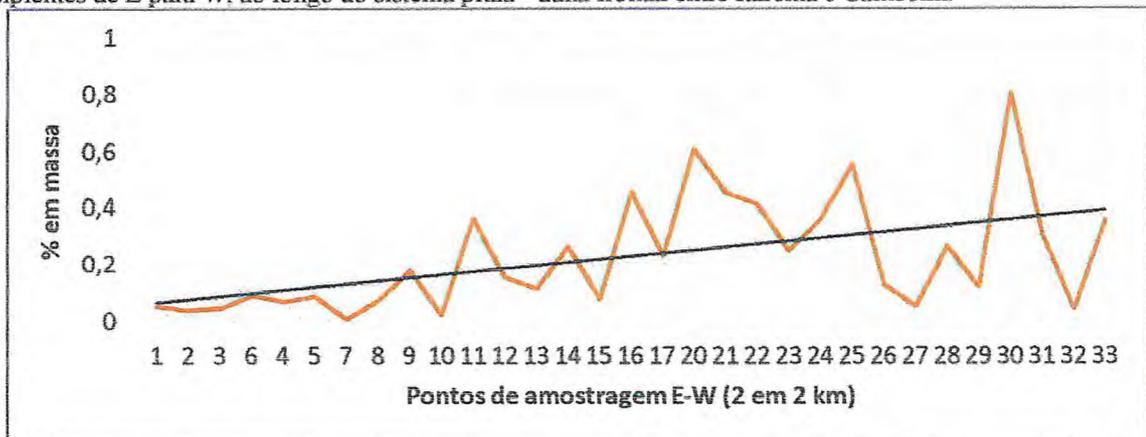
O sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim apresentou areias na fração muito fina compostas, em média, de 2,7% em massa de minerais pesados (0,1% na praia, 3,7% nas dunas). Dessas, foram separados, em média, 46,34% de magnéticos (51,56% na praia, 25,51% nas dunas). O teor em massa de minerais pesados quantificado ao longo da praia apresentou aumento rumo W (Figura 26 e Figura 27).

Figura 26 - Distribuição dos teores em massa de minerais pesados na fração areia muito fina da praia de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 27 - Distribuição dos teores em massa de minerais pesados na fração areia muito fina das dunas frontais incipientes de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O aumento para oeste de minerais pesados mostra que seu controle se dá antes por fontes locais a regionais do que pelo transporte por deriva litorânea (NASCIMENTO, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2008), onde neste último caso o esperado seria redução no mesmo rumo. Corroboram para isso o resultado em gráficos de muita oscilação nos teores. A presença de diversas desembocaduras de rios e estuários (Itarema, Imburana, Arpoeiras, Acaraú, Guriú e Coreaú) teria, portanto, considerável influência nos resultados obtidos.

### 5.3.1 Áreas-fontes

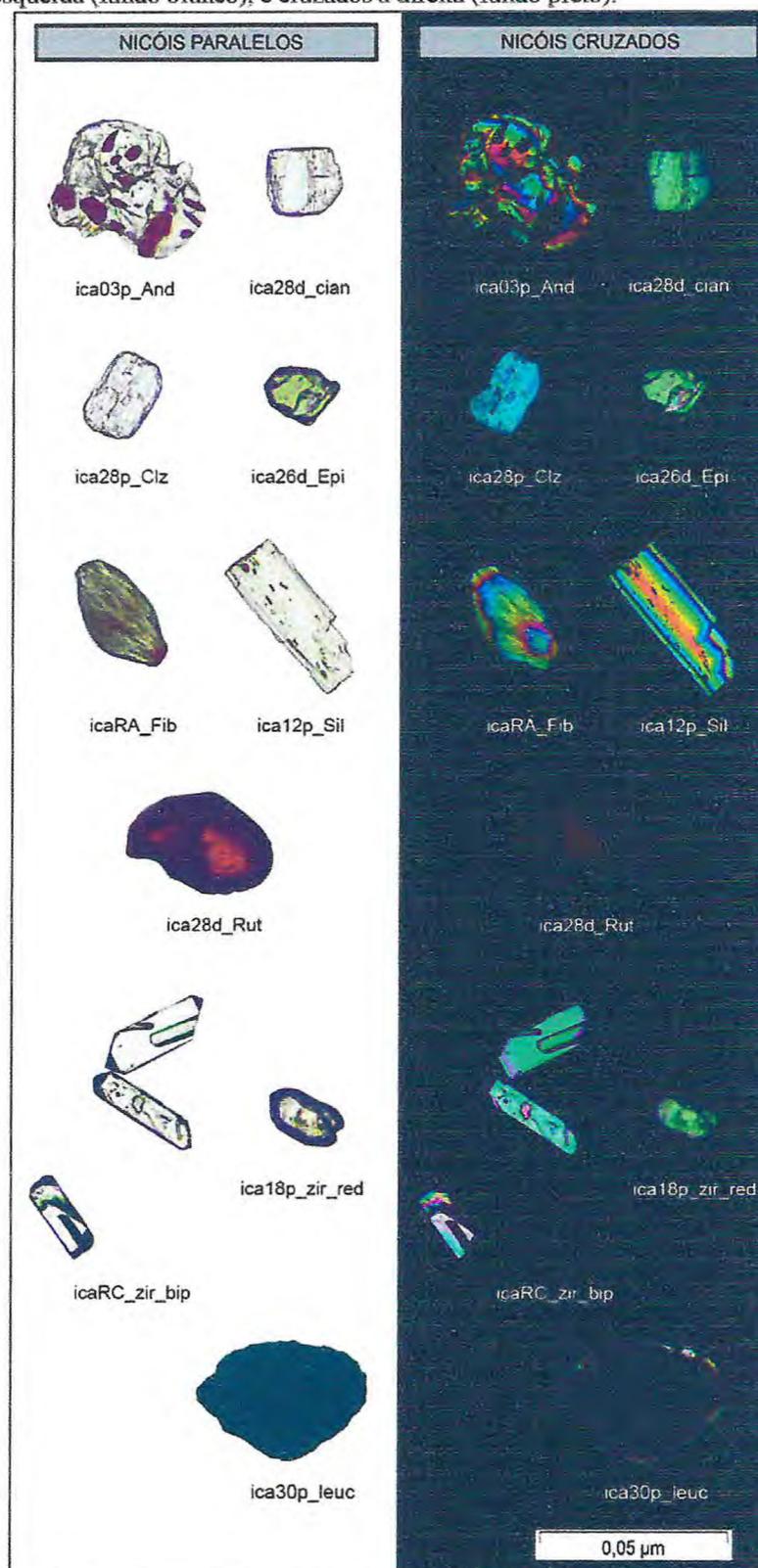
Entre os minerais pesados não-magnéticos, a proporção de opacos é de 4,17% em média. Nas amostras analisadas do sistema praia - duna frontal, os minerais pesados transparentes não micáceos (MPTNM) mais abundantes foram os seguintes (ordem decrescente de abundância): zircão (31,4%), hornblenda verde (20,9%), cianita (7,2%), sillimanita (4,5%), epidoto (4,4%), rutilo (4,2%), turmalina (3,9%), andaluzita (2,6%), estauroilita (1,9%), titanita (1,4%), clinzoisita (1,4%), clinopiroxênio (1,2%) e fibrolita (1%). Em menor quantidade (menos de 1% do total da fração MPTNM, em frequência de contagem), também são encontrados hornblenda marrom, zoisita, granada, anatásio, fluorita, apatita e augita. Ocorre também grande quantidade de alteritas (21,5%) e, em quantidades traço, limonita e glauconita, onde este último trata-se de produtos de alteração intempérica.

A proveniência primária geral dos minerais neste trabalho indica fontes principalmente de origem metamórfica orto e paraderivada de alto grau e origem ígnea plutônica. Minerais como zircão com cristais alongados e hornblenda apresentam origem em ambientes ígneos plutônicos ácidos e aluminosos. Cianita, andaluzita, sillimanita, e estauroilita apontam para origem em rochas de metamorfismo paraderivado de médio a alto grau.

Epidoto, rutilo, turmalina, clinozoisita, zoisita, fibrolita e clinopiroxênio enfatizam o caráter metamórfico de alto grau das fontes. Em geral, a proveniência primária dos minerais deve relacionar-se ao fato dos rios Acaraú e Coreaú cruzarem o Domínio Médio Coreaú, com gnaisses migmatizados e xistos, além dos metatexitos da Unidade Canindé, o granito Meruoca e os migmatitos e paragnaisses da Unidade Independência. Titanita, anatásio e leucoxênio, todos titaníferos e em associação, provavelmente possuem como área fonte secundária a Formação Barreiras, por se tratar de unidade sedimentar antiga capaz de gerar subprodutos de alteração pedogenética e diagenética (titanita → anatásio, leucoxênio).

A presença de glauconita, mineral autógeno formado em sedimentos marinhos rasos (por halmirólise da illita; SUGUIO, 1980), apresenta provável fonte primária na plataforma continental adjacente à área de estudo.

Figura 28 - Exemplos selecionados de minerais pesados da área de estudo. De cima para baixo: andaluzita, cianita, clinozoisita, epidoto, fibrolita, silimanita, rutilo, zircão bipiramidado, zircão arredondado, leucóxênio. Nicóis paralelos à esquerda (fundo branco), e cruzados à direita (fundo preto).



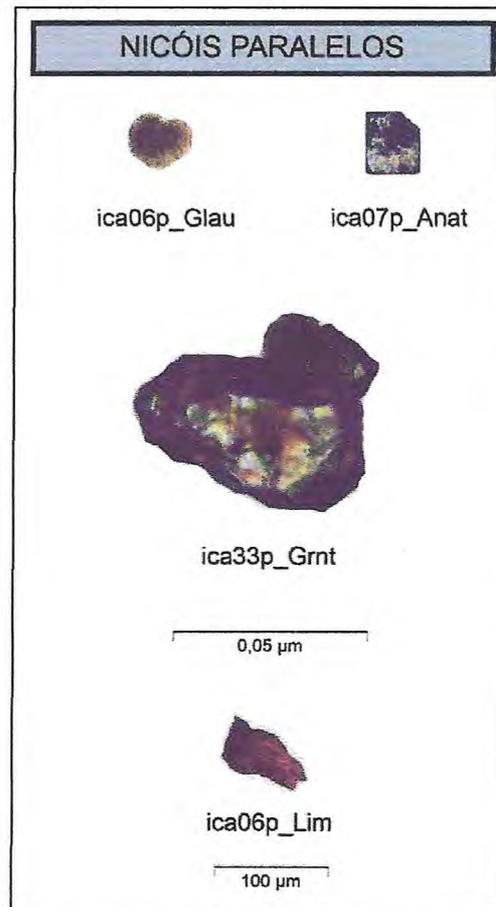
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 29 - Exemplos selecionados de minerais pesados da área de estudo. De cima para baixo: estaurólita, hornblenda verde, hornblenda marrom, turmalina, hiperstênio, titanita. Nicóis paralelos à esquerda (fundo branco), e cruzados à direita (fundo preto).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 30 - Exemplos selecionados de minerais pesados da área de estudo. De cima para baixo, glauconita, anatásio, granada e limonita. Imagens a nicóis paralelos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A comparação de tipos e porcentagem de minerais pesados transparentes (MPTs) entre as potenciais fontes secundárias (rios Acaraú e Coreaú) e os sistemas deposicionais estudados apresenta boa concordância, com diferenças em teor que, na maioria dos casos, não ultrapassam 10%. As exceções mais destacadas são zircão e fibrolita. No primeiro caso, interpreta-se que seleção eólica voltada para intervalos de classe mais finos tenha favorecido aumento relativo de zircão, mineral tipicamente fornecido com tamanhos reduzidos (<0,125 mm) já a partir das fontes primárias (PETTIJOHN, POTTER & SIEVER, 1987). No caso da fibrolita, que é uma variedade fibrosa da sillimanita, interpreta-se uma maior fragilidade mecânica por abrasão durante o transporte por deriva litorânea.

Tabela 4 - Porcentagem (%) de MPTs nos sistemas deposicionais estudados e nos rios de maior porte da região de estudo (potenciais fontes secundárias).

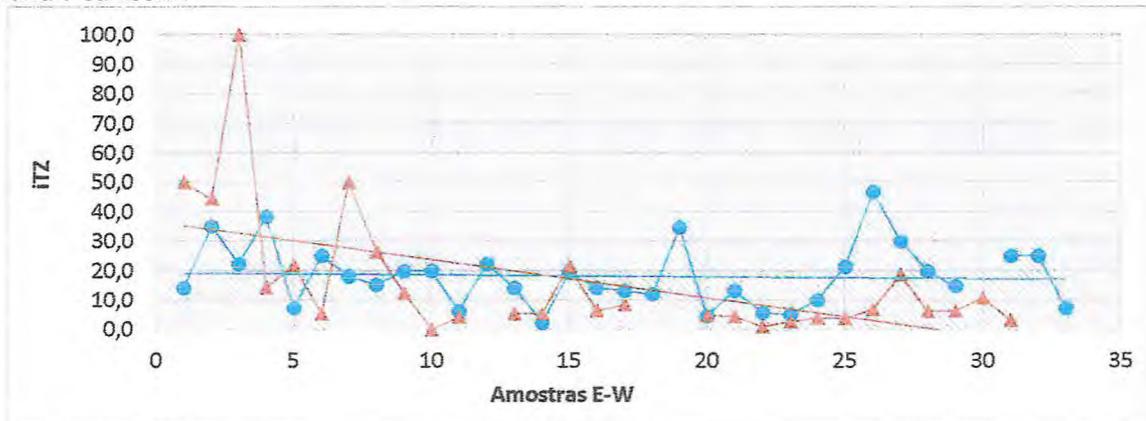
Minerais Pesados	Rio Coreaú	Rio Acaraú	Média Praias	Média Dunas
turmalina	7,1		3,9	3,9
zircão	23,8	5,4	21,5	42
rutilo	4,7		1	7,5
anatásio	2,3			
granada	2,3	1,8		
andalusita	4,7	7,2	3,8	1,4
sillimanita		7,2	6	
fibrolita		18,1	1,5	3
cianita	2,3	12,7	5,2	9,3
apatita	2,3			
estauroлита	4,7		3	
clinzoisita	2,3		2,2	
zoisita		1,8		
epidoto	7,1	12,7	5,8	3
titanita	1,1	1,8	1,7	1,1
biotita		2,4		
muscovita		3,6		
hornblenda verde	2,3	23,6	25,3	16,2
hornblenda marrom	1,1		1,5	
hiperstenio	1,1	1,8		
augita		3,6		
clinopiroxênio				
incolor	1,1			2,3
leucoxênio	28,5	1,8	14,9	6,4

### 5.3.2 Índices de transporte e de proveniência

Para índice de transporte das areias de praia e de duna, foram escolhidos turmalina e zircão (iTZ) na relação  $[T / (T+Z)] \times 100$  (Figura 31). Estes minerais possuem a mesma resistência ao intemperismo químico e físico (ambos ultraestáveis: PETTIJOHN, 1975), fontes potencialmente similares e formato prismático (MANGE & MAURER, 1992). Como a densidade relativa da turmalina é menor que a do zircão, pressupõe-se o transporte preferencial do primeiro mineral ao longo do sistema praial (MORTON & HALLSWORTH, 1994).

O resultado mostra que há diminuição de turmalina para oeste, quando o comportamento esperado devido ao rumo da deriva litorânea regional (para oeste) seria de aumento. Esse resultado pode ser devido a inversões locais no sentido de transporte por deriva litorânea (como apontado pela análise granulométrica) e/ou enriquecimento local renovado por drenagens de diferentes portes.

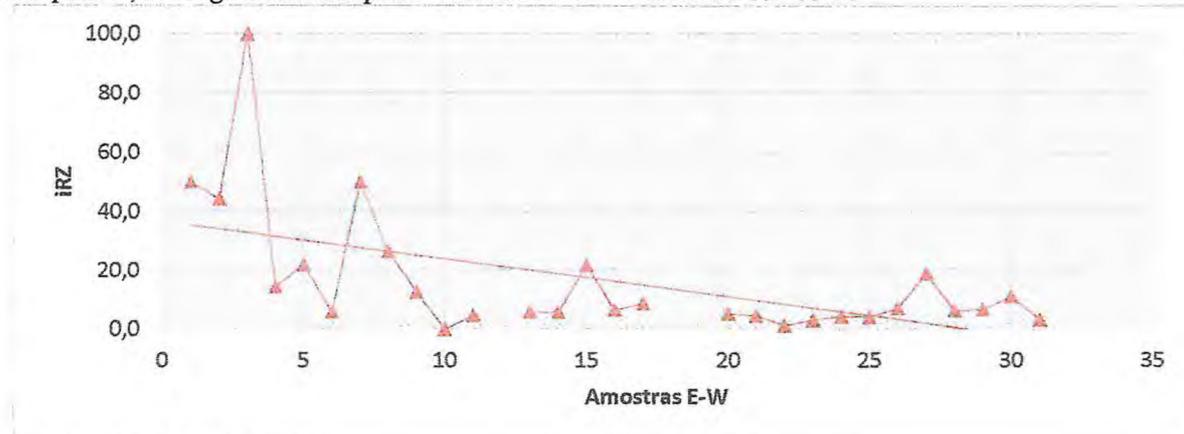
Figura 31 - Distribuição dos índices rutilo - zircão na fração areia muito fina da praia (azul) e das dunas (vermelho) e suas respectivas linhas de tendência, de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para calcular índice de proveniência, utilizamos zircão e rutilo (iRZ), minerais de origem potencialmente distinta (ígnea e metamórfica, respectivamente), segundo a relação  $[R / (R+Z)] \times 100$  (Figura 32). Este índice foi calculado apenas para areias de duna, pois diversas amostras das areias de praia não apresentaram sequer um dos dois minerais do índice.

Figura 32 - Distribuição dos índices rutilo - zircão na fração areia muito fina das dunas e sua linha de tendência, de E para W, ao longo do sistema praia - duna frontal entre Itarema e Camocim.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Da mesma forma que em *iTZ*, os valores diminuirão à medida que a quantidade de rutilo diminui. Neste caso, o valor do índice RZ diminui para oeste. Esta diferença pode decorrer do fato de o Rio Acaraú (a leste) captar nascentes de mais terrenos metamórficos, embora presente, em suas proximidades, uma quantidade maior de corpos graníticos. O Rio Coreaú (a Oeste), comparativamente, capta mais nascentes em terrenos ígneos (suíte granítica Meruoca), fornecendo assim maiores quantidades de zircão, e menores de rutilo.

## 9 CONCLUSÕES

A diversidade morfológica do sistema praia-duna frontal entre Itarema e Camocim inclui, em escala maior, o predomínio de esporões alongados segundo a deriva litorânea regional, a leste, e de praias anexadas sem interrupções com formas eólicas mais extensas, a oeste. Em escala menor, as variedades morfológicas observadas neste estudo não apresentaram tendências claras ao longo do trecho estudado. A maior extensão horizontal das morfologias a oeste pode ser função do maior espaço de acumulação disponível para as formas eólicas.

A comparação entre os três primeiros momentos de Pearson (diâmetro médio, desvio padrão e assimetria) da distribuição granulométrica das areias de praias e dunas entre Itarema e Camocim foi verificada por correlação linear entre seus resultados para o grupo total de amostras. Bons níveis de significância foram encontrados, sendo os melhores ( $\alpha < 0,005$ ) entre diâmetro médio e assimetria (praias), e entre desvio-padrão e assimetria com o diâmetro médio (dunas frontais).

A distribuição dos momentos de Pearson das areias praias para todo o intervalo amostrado (100 km) condiz com a deriva litorânea regional para oeste, e ressalta o poder interpretativo dos parâmetros de McLaren & Bowles (1985). O resultado se deu para transporte do tipo 2, com grãos ativamente transportados pela corrente, onde ocorre afinamento, melhora do grau de seleção e assimetria mais negativa rumo oeste. Para as dunas frontais incipientes adjacentes aos pontos amostrados nas praias, o resultado se inverte para diâmetro médio e assimetria. Este último fator ressalta a capacidade seletora do vento naquela região, apesar do curto transporte. Para desvio-padrão, o resultado nas dunas oscila em demasia seu valor ponto a ponto, e dificulta uma tendência indicativa de variação longitudinal.

Em intervalos menores (até poucas dezenas de quilômetros), ficou demonstrado que o bloqueio físico exercido por proeminências rochosas e por drenagens (efeito de “molhe hidráulico”) na deriva regional é capaz de permitir o transporte no sentido oposto, por correntes longitudinais que de outro modo seriam sobrepujadas. Os grandes rios da região, Acaraú e Coreaú, são os principais responsáveis por esse tipo de efeito.

A combinação entre vetores de deriva litorânea local indica áreas susceptíveis a mudanças na linha de costa. No presente estudo, foram identificadas duas áreas: 1. praia do Preá 10 km a oeste de Barrinhas, início do Parque Nacional de Jericoacoara, com vocação

erosiva; 2. leste do rio Guriú, próximo do início da praia de Tatajuba, com vocação deposicional. Estas áreas correspondem a locais onde fatores naturais de deriva litorânea combinados à fisiografia da linha de costa e hidrodinâmica de canais de maré atuam como modificadores naturais da paisagem em escala de tempo de anos a dezenas de anos. Não considera, portanto, a influência antrópica sobre esses elementos, caso ocorra.

A proximidade da desembocadura de algumas drenagens, em particular, gerou alguns maus indicadores de transporte marinho nos locais onde houve mistura com areias fluviais/estuarinas pouco retrabalhadas no sistema praiial. Locais onde obras como a de construção de cataventos para produção de energia eólica e viveiros para carcinicultura podem constituir fator adicional de mistura de areias imaturas trazidas de locais diversos e retrabalhadas pela deriva litorânea local.

O resultado da análise de minerais pesados aponta para fontes primárias predominantemente metamórficas de grau médio a alto (principalmente cianita, andaluzita, sillimanita e estauroлита) e ígneas plutônicas (zircão e hornblenda alongados). Rochas com potencial fornecimento primário encontram-se no Domínio Médio Coreau, com destaque para gnaisses e migmatitos das unidades Canindé e Independência, e granito Meruoca. Quanto às fontes secundárias, minerais titaníferos de origem pedogenética e/ou diagenética podem ter sua origem na Fm. Barreiras, enquanto glauconita atestaria para sedimentos fornecidos a partir da plataforma continental adjacente à área de estudo. O índice de transporte turmalina-zircão (iTZ) parece condicionado a inversões locais no transporte ou fornecimento mineral renovado. Já o índice de proveniência rutilo-zircão (iRZ) aponta para aumento relativo da proveniência plutônica nas porções mais a oeste.

**BIBLIOGRAFIA**

ALMEIDA, A.R.; PARENTE, C.V.; ARTHAUD, M.H. Folha Itatira SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem. **CPRM/Serv. Geol. Brasil**. Conv. UFCE/CPRM, 196 p, 2008.

ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

ARAI, M & NOVAIS, L. C. C. Microflora de Comandatuba - BA: novos reforços para a idade miocênica do Grupo Barreiras. **Paleontologia em Destaque: Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia**, Porto Alegre, ano 21, n. 53, p. 9, 2006.

ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozoica do grupo Ceará (Domínio Ceará Central, BE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. Tese de doutorado. Universidade de Brasília – UNB, 2007.

BEZERRA, L. J. C. **Caracterização dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, 2009.

BLATT, H. Provenance determinations and recycling of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 37, p. 1031-1044, 1967.

CASTRO, N. A. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 221 p., anexos, 2004.

CASTRO, J. W. A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru-Ceará**. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, 200p., 2001.

CAPUTO, M. V. & E. C. LIMA. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba. **Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia 2: 740-759**, 1984

CARVALHO, A.M. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões-Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 188p. 2003.

CARVALHO, A.M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L.P.; CASTRO, J.W.A. Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil - Registro ímpar de um paleosistema eólico costeiro. In: Winge,M.; Schobbenhaus,C.; Souza,C.R.G.; Fernandes,A.C.S.; Berbert-Born,M.; Queiroz,E.T.; (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, 2008.

CARVALHO, A. M. & MAIA, L. P. **Estudos dos sedimentos Cenozóicos da região de Paracuru, Ceará, Brasil.** Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, 86p., 1990.

CAVALCANTE, J. C. Estratigrafia Precambriana do Estado do Ceará – Uma síntese. In: **Simp. Geol. do Nordeste**. 15. Natal, 1993. Atas. Natal, Boi. Núcleo Nordeste da SBG. v. 13. p. 313-316, 1993.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; MEDEIROS, M.F.; PAIVA, I.P.; GOMES, F.E.M.; CAVALCANTE, S.N.; CAVALCANTE, J.E.; MELO, A.C.R.; DUARTE NETO, V.C. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). **Mapa Geológico do Estado do Ceará.** Fortaleza, 2003. Escala 1:500.000.

CLAUDINO-SALES, V.C. **Les littoraux du Ceará. Géomorphologie de la zone côtière de l'Etat du Ceará: du long terme au court terme.** Thèse de doctorat, Université Paris-Sorbonne, France, 549p, 2002.

COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ (COGERH). Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Coreaú – Síntese do Relatório Final, 99 p., 2010

(<http://www.ceara.gov.br/?secretaria=COGERH&endereco=http://portal.cogerh.com.br/>)

DEAN, R. G. **Heuristic models of sand transport in the surf zone.** In: **Proceedings of the Conference on Engineering Dynamics in the Surf Zone**, Sydney, p.208-214, 1973.

DILLENBURG, S. R. & HESP, P. A. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. The Holocene Barriers of Maranhão, Piauí and Ceará States, Northeastern Brazil.** p. 325-329.

DOMINGUEZ, J. M. L. **As coberturas plataformais do Proterozóico Médio e Superior.** In: Barbosa, J. S. F. & Dominguez, J. M. L (Coord.), 1996, **Geologia da Bahia.** Texto Explicativo. 1ª edição. Salvador: SICM/SGRM, 1996. 1ª Parte. cap.V, p.105-125, 1996.

FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; ARTHAUD, M; NOGUEIRA NETO, J. A. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constrains on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the paleoproterozóico supercontinent Atlantica.** **Revista Brasileira de Geociências**, 30, p. 102-106, 2000.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks.** The University of Texas. Geology, 370K, 38L, 383M. Hemphills, Austin, Texas, 170 p., 1968.

FUJIMORI, S; FERREIRA, Y. A. **Introdução ao uso do microscópio petrográfico.** 1ª ed. Salvador: Editora da UFBA, 1979.

GALEHOUSE, J. S. **Point counting.** In: **CARVER R.E. (Org.). Procedures in Sedimentary Petrology.** New York: Wiley-Interscience, 1971, p. 385-407.

GIANNINI, P. C. F. **Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil.** São Paulo, Instituto de Geociências, Univ. de São Paulo. Tese de Livre Docência (inéd.), 205 p., 2007.

GIANNINI, P. C. F.; MACHADO, J. A.; SANTOS, E. R. **Propriedades granulométricas no sistema praia-duna ao longo da costa noroeste portuguesa, de Porto a Nazaré.** **Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário, 9 & Congresso do quaternário dos países de língua ibérica, 2**, Recife, PE. Recife, ABEQUA, Anais. (cd), 2003.

GONÇALVES, R. S. B., **Estudo geofísico do arcabouço estrutural da Bacia Jaibaras – CE**. Relatório de graduação, Universidade Federal do Ceará, 54p. 2006.

HACKSPACHER, P. C., SANTOS, T. J. S., LAFON, J. M. **Evolução geocronológica do Complexo gnáissico-migmatítico do NW Ceará. XIV Simpósio de Geologia do Nordeste**. Recife, Anais: 168-271, 1991.

HESP, P.A.; MAIA, L.M.; CLAUDINO-SALES, V. **The Holocene barriers of Maranhão, Piauí and Ceará States, Northeastern Brazil**. In: DILLENBURG SR AND HESP P (Eds), **Geology of the Brazilian Coastal Barriers**. Lecture Notes in Earth Sciences. Berlin: Springer, p. 325-345, 1999.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas – Uma Revisão Bibliográfica**. 1a. ed. Itajaí: Editora da Univali, 92 p, 1998.

KERR, P. F. **Optical mineralogy**. New York: McGraw Hill, 1959, 372p.

LIMA, M. G.; VASCONCELOS, P.; FARLEY, K.; JARDIM DE SÁ, E. F. **Datação do Intemperismo Impõe Limites na Idade da Formação Barreiras, Bacia Potiguar Nordeste do Brasil**. Anais do XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, ABEQUA, 2007.

MAIA, P L. **Procesos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicações para una gestión adecuada de la zona litoral**. Universitat de Barcelona. Facultat de Geologia. Dep. D'Estratigrafia i Paleontologia. Tesis Doctoral. Barcelona. 269p, 1998

MAIA, P. L.; NASCIMENTO, P.; JUNIOR, A. P. **Parabéns Guarapari, 112 anos de emancipação política**. *Jornal A Gazeta (Caderno Especial)*, p. 3-15, 2003.

MAIA, P.L.; SABADIA, J.A.B.; FREIRE, G.S.S.; RAVENTOS, J.S. **Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos “Beach rocks” e Eolianitos da região costeira do Ceará. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste**, Fortaleza, 177-181, 1997.

MANGE, M. A.; MAURER, H. F.W. **Heavy minerals in colour**. 1st ed. London: Chapman & Hall, 1992, 147 p.

MCGREGOR, G.R. & NIEUWOLT, S. **Tropical Climatology: an introduction to the climates of the low latitudes**. Wiley, New York, 1998.

McLAREN, P.; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 55, n. 4, p. 457-470, 1985.

MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira**. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Org.). **Geomorfologia – Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1996, p. 191-233.

MORTON, A. C. & HALLSWORTH, C. R. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v. 90, n. 1, p. 241-256, 1994.

NASCIMENTO, D. R., JR. **Morfologia e sedimentologia ao longo do sistema praia - duna frontal de Ilha Comprida**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 136p, 2006.

NASCIMENTO, D. R., JR; TANAKA, A. P. B.; GIANNINI, P. C. F.; GUEDES, C. C. F. **Morfologia e granulometria ao longo do sistema praia - duna frontal da Ilha Comprida, SP. X Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário, Guarapari (ES). Resumo expandido**. ABEQUA (cd-rom), 2006.

NASCIMENTO, D. R., Jr.; GIANNINI, P. C.F.; TANAKA, A. P. B.; GUEDES, C. C. F. **Mudanças morfológicas da extremidade NE da Ilha Comprida (SP) nos últimos dois séculos**. **Geologia USP Série Científica**, v.8, n.1, p.25-39, 2008.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE – série recursos naturais e meio ambiente, n. 4, Rio de Janeiro, 1979.

PARENTE, C. V., BOTELHO, N. F., SANTOS, R. V., GARCIA, M. G. M., OLIVEIRA C. G., VERÍSSIMO, C. U. V. Contexto geológico, tipológico e geoquímico isotópico das brechas hidrotermalizadas de ferro e cobre tipo IOCG, associadas a bacia Eo-Paleozóica Jaibaras, da província Borboremas, Brasil. In: José Carlos Frantz., Juliana Marques, Hardy Jost (Org.). **Contribuições a metalogenia do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, v. 1. 2011.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Reconstruindo a evolução morfotectônica da margem passiva do Nordeste brasileiro. In: SILVA, J.B.; LIMA, L.C.; ELIAS, D. (Orgs.). **Panorama da Geografia Brasileira**. 1 ed.: São Paulo. AnnaBlume, 2006, v. 1, p. 47-99, 2006.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks**. 3rd ed. New York: Harper & Row Publs. Inc., 1975, 628p.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. **Sand and Sandstone**. 1st ed. New York: Springer-Verlag Inc., 1987, 553p.

PRADO, E. S.; MENDONÇA, J. C. G. S.; MORAIS, J. B. A.; MEDEIROS, M. E.; ASSUNÇÃO, P. R. S.; ANDRADE, V. A.; MEDEIROS, R. P. Geologia da região NW do Estado do Ceará – Projeto Martinópolis. **DNPM/CPRM Série geologia básica 17 Brasília 59 pp, incluindo mapa**, 1981.

SAWAKUCHI, A. O.; KALCHGRUBER, R.; GIANNINI, P. C. F.; NASCIMENTO, D. R., Jr.; GUEDES, C. C. F.; UMISED, N. K. The development of blowouts and foredunes in the Ilha Comprida barrier (Southeastern Brazil): the influence of Late Holocene climate changes on coastal sedimentation. **Quaternary Science Reviews**, v.27, p.2076-2090, 2008.

SANTOS, T. J. S. **Aspectos geológicos de uma área sudoeste de Granja região noroeste do Ceará**. Dissertação de Mestrado, Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Campos de Rio Claro. 159p, 1993.

SANTOS, T. J. S., FETTER, A. H.; HACKSPACHER, P. C., VAN SCHMUS, W. R.; NOGUEIRA NETO, J. A. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of the Borborema Province, NE Brazil, during assembly of western Gondwana. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 25, p. 271-284, 2008.

SIAL, A. N., FIGUEIREDO, M. C. H., LONG, L. E. Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo Plutons, Ceará, Northeast Brazil. **Chemical Geology**, 31, 271-283. 1981.

SUCUPIRA, P.A.P.; PINHEIRO, L.S.; ROSA, M.F. Caracterização Morfométrica do Médio e Baixo Curso do Rio Acaraú, Ceará, Brasil. Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia, p.1-10, 2006.

SUGUIO, Kenitiro. Rochas Sedimentares: Propriedades, Gênese e Importância Econômica. 4a. reimp. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1980, 500 p.

TRÖGGER, W. E. **Optical determination of rock-forming minerals, part 1: determination tables**. Stuttgart, 1979, 188p.

VAN SCHMUS W. R. V.; BRITO NEVES B. B.; HACKSPACHER P. C.; BABINSKY M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil, initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, 4: 267-288, 1995.

VAN SCHMUS, W. R.; OLIVEIRA, E. P.; DA SILVA FILHO, A.; TOTEU, S.F.; PENAYE, J.; GUIMARÃES, I.P. Proterozoic Links between the Borborema Province NE Brazil and the Central African Fold Belt, vol. 294. **Geological Society**, London, Special Publications. pp. 69-99, 2008.

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v.56, p. 93-118, 1984.

**APÉNDICE**

## Apêndice A

Tabela I - Distribuição granulométrica e parâmetros dos momentos de Pearson para amostras das praias.

Cuidadol Colunas Imexivels...	CÓDIGO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)											RELAÇÃO FINO/GROSSO
		DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CASCALHO			ÁREA					PELÍCOS			
						SEXOS	GRÂNULOS	TOTAL	M. GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	TOTAL	
1	ICA. 1	2,30	0,96	-0,88	3,33	0,00	0,00	0,00	4,04	11,96	19,29	54,79	9,92	100,00	0,00	0,00	0,0000
2	ICA. 2	1,38	1,14	0,54	2,17	0,00	0,00	0,00	11,45	49,33	9,86	23,03	6,33	100,00	0,00	0,00	0,0000
3	ICA. 3	1,03	0,79	2,30	7,48	0,00	0,00	0,00	1,91	83,26	3,81	6,88	4,14	100,00	0,00	0,00	0,0000
4	4	3,07	0,76	-1,23	4,65	0,00	0,00	0,00	0,00	4,56	4,36	45,45	45,63	100,00	0,00	0,00	0,0000
5	5	2,87	0,97	-1,63	5,77	0,00	0,00	0,00	4,07	4,87	2,76	51,79	36,52	100,00	0,00	0,00	0,0000
6	6	2,77	1,17	-0,87	2,37	0,00	0,00	0,00	1,35	17,16	8,49	24,39	48,61	100,00	0,00	0,00	0,0000
7	ICA. 7	2,40	1,19	-0,44	1,94	0,00	0,00	0,00	2,59	21,75	13,93	31,76	29,96	100,00	0,00	0,00	0,0000
8	ICA. 8	3,05	0,76	-1,63	7,48	0,00	0,00	0,00	1,49	1,86	3,91	50,38	42,36	100,00	0,00	0,00	0,0000
9	ICA. 9	3,08	0,89	-1,43	4,88	0,00	0,00	0,00	1,25	3,61	9,96	31,64	53,54	100,00	0,00	0,00	0,0000
10	ICA. 10	2,87	0,81	-1,12	4,91	0,00	0,00	0,00	1,14	3,39	10,49	51,29	32,14	98,45	0,00	1,55	0,0157
11	ICA. 11	2,30	1,17	-0,86	2,87	0,00	0,00	0,00	9,40	10,31	13,92	49,08	17,29	100,00	0,00	0,00	0,0000
12	ICA. 12	2,93	0,79	-1,07	4,74	0,00	0,00	0,00	0,92	2,48	11,24	48,79	36,57	100,00	0,00	0,00	0,0000
13	ICA. 13	0,78	0,48	0,50	5,97	0,00	0,00	0,00	9,20	78,82	11,29	0,65	0,03	100,00	0,00	0,00	0,0000
14	ICA. 14	1,21	1,09	0,74	2,67	0,00	0,00	0,00	14,65	51,89	11,23	17,20	5,04	100,00	0,00	0,00	0,0000
15	ICA. 15	0,92	0,90	1,24	4,62	0,00	0,00	0,00	16,87	63,41	8,48	8,70	2,54	100,00	0,00	0,00	0,0000
16	ICA. 16	1,27	1,16	0,57	2,14	0,00	0,00	0,00	16,40	49,27	5,31	24,12	4,91	100,00	0,00	0,00	0,0000
17	ICA. 17	2,56	0,82	-1,16	5,31	0,00	0,00	0,00	2,61	3,28	18,88	60,46	14,76	100,00	0,00	0,00	0,0000
18	ICA. 18	3,06	0,91	-1,05	3,09	0,00	0,00	0,00	0,37	3,59	17,66	21,69	56,69	100,00	0,00	0,00	0,0000
19	ICA. 19	3,11	0,85	-0,92	2,56	0,00	0,00	0,00	0,31	0,31	21,99	17,71	59,67	100,00	0,00	0,00	0,0000
20	ICA. 20	3,25	0,84	-1,73	5,29	0,00	0,00	0,00	0,26	4,82	6,98	20,82	67,11	100,00	0,00	0,00	0,0000
21	ICA. 21	3,42	0,67	-2,38	9,22	0,00	0,00	0,00	0,44	1,34	5,05	17,21	75,96	100,00	0,00	0,00	0,0000
22	ICA. 22	3,17	0,96	-1,79	5,53	0,00	0,00	0,00	1,71	5,87	5,99	21,29	65,13	100,00	0,00	0,00	0,0000
23	ICA. 23	3,46	0,53	-2,12	9,53	0,00	0,00	0,00	0,16	0,47	1,30	24,03	74,03	100,00	0,00	0,00	0,0000
24	ICA. 24	3,35	0,81	-2,24	7,54	0,00	0,00	0,00	0,60	4,32	4,56	15,67	74,85	100,00	0,00	0,00	0,0000
25	ICA. 25	3,30	0,76	-1,88	6,55	0,00	0,00	0,00	0,43	2,63	6,00	23,69	67,25	100,00	0,00	0,00	0,0000
26	ICA. 26	2,93	0,80	-1,06	4,45	0,00	0,00	0,00	0,56	3,92	9,33	49,01	37,17	100,00	0,00	0,00	0,0000
27	ICA. 27	1,54	1,56	0,41	1,55	0,00	0,00	0,00	23,43	37,36	2,81	9,87	26,54	100,00	0,00	0,00	0,0000
28	ICA. 28	3,49	0,51	-2,20	9,57	0,00	0,00	0,00	0,10	0,46	1,32	21,80	76,32	100,00	0,00	0,00	0,0000
29	ICA. 29	3,49	0,77	-3,07	11,82	0,00	0,00	0,00	1,08	2,68	5,37	2,99	87,88	100,00	0,00	0,00	0,0000
30	ICA. 30	3,43	0,77	-2,48	8,48	0,00	0,00	0,00	0,48	3,20	6,59	7,76	81,97	100,00	0,00	0,00	0,0000
31	ICA. 31	2,93	1,11	-1,20	3,43	0,00	0,00	0,00	3,05	7,36	14,46	18,98	56,16	100,00	0,00	0,00	0,0000
32	ICA. 32	3,46	0,65	-2,67	10,96	0,00	0,00	0,00	0,45	1,37	4,10	15,09	78,98	100,00	0,00	0,00	0,0000
33	ICA. 33	3,18	0,73	-1,70	7,52	0,00	0,00	0,00	1,02	1,40	4,04	41,11	52,43	100,00	0,00	0,00	0,0000

Fonte – Elaborada pelos autores.

## Apêndice B

Tabela II - Distribuição granulométrica e parâmetros dos momentos de Pearson para amostras das dunas frontais incipientes.

Cuidador Colunas Imexíveis...	CÓDIGO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA ( $\phi$ )				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)											RELAÇÃO FINO/GROSSO
		DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CASCALHO			ÁREA					PELÍTICOS			
						SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL	M. GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	TOTAL	
1	ICA01D	2,99	0,49	0,46	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	2,32	70,74	26,87	100,00	0,00	0,00	0,0000
2	ICA02D	1,76	0,95	0,85	2,92	0,00	0,00	0,00	0,05	31,75	47,61	8,02	12,58	100,00	0,00	0,00	0,0000
3	ICA03D	3,46	0,47	-1,23	3,73	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,58	27,41	71,97	100,00	0,00	0,00	0,0000
4	ICA04D	2,02	1,02	0,14	1,85	0,00	0,00	0,00	0,05	29,23	26,61	31,61	12,49	100,00	0,00	0,00	0,0000
5	ICA05D	3,69	0,23	-3,87	16,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	5,65	94,33	100,00	0,00	0,00	0,0000
6	ICA06D	2,64	0,92	-0,59	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	10,53	16,77	46,10	26,60	100,00	0,00	0,00	0,0000
7	ICA07D	2,63	0,86	-0,30	2,43	0,00	0,00	0,00	0,24	4,74	28,27	40,28	26,48	100,00	0,00	0,00	0,0000
8	ICA08D	2,28	0,72	-0,19	2,91	0,00	0,00	0,00	0,15	6,43	39,66	47,49	6,27	100,00	0,00	0,00	0,0000
9	ICA09D	1,37	1,01	1,11	3,30	0,00	0,00	0,00	3,43	58,26	19,60	10,25	8,47	100,00	0,00	0,00	0,0000
10	ICA10D	3,07	0,76	-1,07	4,10	0,00	0,00	0,00	0,11	2,99	8,19	42,53	46,19	100,00	0,00	0,00	0,0000
11	ICA11D	2,56	1,27	-0,49	1,82	0,00	0,00	0,00	3,11	16,12	24,66	8,46	47,66	100,00	0,00	0,00	0,0000
12	ICA12D	2,85	0,57	-0,14	3,77	0,00	0,00	0,00	0,06	0,22	10,46	67,86	21,41	100,00	0,00	0,00	0,0000
13	ICA13D	1,95	1,02	0,02	1,77	0,00	0,00	0,00	0,83	33,12	19,76	38,17	8,12	100,00	0,00	0,00	0,0000
14	ICA14D	1,26	0,90	0,94	3,09	0,00	0,00	0,00	4,75	60,56	16,44	15,92	2,32	100,00	0,00	0,00	0,0000
15	ICA15D	1,14	0,76	0,99	3,59	0,00	0,00	0,00	4,40	63,68	20,61	10,73	0,58	100,00	0,00	0,00	0,0000
16	ICA16D	2,37	1,01	-0,44	2,43	0,00	0,00	0,00	1,55	15,28	22,10	41,91	19,16	100,00	0,00	0,00	0,0000
17	ICA17D	2,38	0,94	-1,18	4,33	0,00	0,00	0,00	5,37	6,08	19,16	58,70	10,69	100,00	0,00	0,00	0,0000
18	ICA20D	2,50	0,50	-0,37	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	27,85	68,79	3,32	100,00	0,00	0,00	0,0000
19	ICA21D	2,73	0,34	-0,33	8,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,69	88,53	4,77	100,00	0,00	0,00	0,0000
20	ICA22D	2,81	0,48	0,11	4,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	8,26	77,16	14,46	100,00	0,00	0,00	0,0000
21	ICA23D	2,35	0,92	-0,39	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	16,30	21,03	48,59	14,09	100,00	0,00	0,00	0,0000
22	ICA24D	2,01	1,12	-0,36	2,19	0,00	0,00	0,00	6,90	21,68	20,56	40,13	10,73	100,00	0,00	0,00	0,0000
23	ICA25D	1,42	0,95	0,45	2,34	0,00	0,00	0,00	5,79	47,37	23,48	21,17	2,20	100,00	0,00	0,00	0,0000
24	ICA26D	1,07	0,87	0,91	3,47	0,00	0,00	0,00	10,64	61,28	14,50	12,40	1,18	100,00	0,00	0,00	0,0000
25	ICA27D	2,81	0,50	-0,46	6,49	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	6,06	78,17	14,56	100,00	0,00	0,00	0,0000
26	ICA28D	1,99	0,94	-0,12	2,10	0,00	0,00	0,00	1,25	25,09	28,30	38,84	6,53	100,00	0,00	0,00	0,0000
27	ICA29D	2,58	0,77	-1,32	5,57	0,00	0,00	0,00	1,49	6,29	11,45	68,89	11,89	100,00	0,00	0,00	0,0000
28	ICA30D	2,24	0,63	-0,24	3,16	0,00	0,00	0,00	0,30	3,50	46,04	47,48	2,68	100,00	0,00	0,00	0,0000
29	ICA31D	2,86	0,35	1,62	6,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,98	86,53	12,46	100,00	0,00	0,00	0,0000
30	ICA32D	1,04	0,98	0,43	2,37	0,00	0,00	0,00	22,22	41,65	21,80	13,66	0,66	100,00	0,00	0,00	0,0000
31	ICA33D	2,27	0,88	-0,61	2,82	0,00	0,00	0,00	1,23	14,59	23,26	52,65	8,27	100,00	0,00	0,00	0,0000

Fonte – Elaborada pelos autores.