

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**LUIZ JOSÉ CRUZ BEZERRA**

**CARACTERIZAÇÃO DOS TABULEIROS PRÉ-LITORÂNEOS**  
**DO ESTADO DO CEARÁ**

**FORTALEZA**  
**2009**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**CARACTERIZAÇÃO DOS TABULEIROS PRÉ-LITORÂNEOS**  
**DO ESTADO DO CEARÁ**

**LUIZ JOSÉ CRUZ BEZERRA**

**ORIENTADORES**  
**Prof. Dr. Luís Parente Maia**  
**Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda**

**FORTALEZA**  
**2009**

LUIZ JOSÉ CRUZ BEZERRA

CARACTERIZAÇÃO DOS TABULEIROS PRÉ-LITORÂNEOS DO ESTADO DO CEARÁ

**Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, outorgado pela Universidade Federal do Ceará.**

Orientadores : Prof. Dr. Luís Parente Maia  
Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

**FORTALEZA  
2009**

B469c

Bezerra, Luiz José Cruz

Caracterização dos Tabuleiros Pré- Litorâneos do Estado do Ceará / Luiz José Cruz Bezerra. 2009.

144 f.; il. col. enc.

Orientador: Prof. Dr. Luís Parente Maia

Co- Orientador: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos

Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, Fortaleza, 2009.

1. Tabuleiros Pré-Litorâneos. 2. Sedimentologia. 3. Geoquímica. I. Maia, Luís Parente. II. Universidade Federal do Ceará – Curso de Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais. III. Título

CDD : 552.5

LUIZ JOSÉ CRUZ BEZERRA

Caracterização dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará

**Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, outorgado pela Universidade Federal do Ceará.**

Aprovada em 17 de abril de 2009

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Luís Parente Maia

Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR - UFC  
Universidade Federal do Ceará - UFC (Orientador)

---

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles

Departamento de Geografia  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR - UFC  
Universidade Federal do Ceará - UFC

Aos meus avós,  
1° Sargento Severo e Nizeth \* 03.04.1924 †23.01.2007(*in Memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Luís Parente Maia pelo apoio, pelo conhecimento compartilhado e por ter acreditado no desenvolvimento deste trabalho e pela paciência durante esses anos. Também pela confiança ao me indicar trabalhos de suma importância, me focalizar em responsabilidades que tento manter em respeito e consideração a um amigo e conselheiro pessoal, profissional e acadêmico.

Ao Professor Doutor Luiz Drude de Lacerda pela amizade e apoio, conhecimento e atenção.

Ao Professor Doutor Antônio Jeovah de Andrade Meireles por sua presença e saber compartilhado, bem como pela amizade.

À Professora Doutora Rozane Valente Marins, pela amizade constante e apoio nas análises de metais no Laboratório de Biogeoquímica Costeira, cedendo o espaço e equipamentos, como sua contribuição científica.

À Doutora Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco, pelo apoio no fechamento deste trabalho e pelos momentos engraçados, contribuindo com discussões sobre o assunto; e pela grande amizade.

Ao “Doutor” José Reginaldo Lima Verde Leal e Wanda, pelas conversas que me ensinaram o que é o mundo e como me comportar nele; e pela grande amizade.

Aos meus irmãos do Laboratório de Dinâmica Costeira no Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC, Leonardo Hislei, Eduardo Gentil, e Francisco Gleidson, Cecílio, Ana Cláudia, Evandro Malanski, Eduardo Borba e aos que passaram e os que chegam a cada dia me ajudando bastante com sua amizade e críticas construtivas; além dos momentos de descontração.

Ao meu amigo Franzé e sua esposa Cristiane que, mesmo distantes, me conferem apoio constante.

Aos amigos do Laboratório de Oceanografia Geológica, Cida, Pedro “Bacurin”, Gonzaga e Paulo.

Aos amigos do Laboratório de Biogeoquímica, principalmente a José “Bigodim” Edvar, e Tiago Farias com a realização das análises; Talita, Moisés, Márcia, Lincoln, Regina, Diógenes “Cabeça”, Cecília, Jailton, entre outros integrantes.

As minhas amigas e amigos dos demais laboratórios do LABOMAR descritos abaixo:

- Microbiologia – Professora Regine, Gleire (uma irmã), Edirsana, Cristiane, Camila, Norma, Oscarina, Carlos, Fábio, aos antigos integrantes e aos novos, pelos momentos de amizade e descontração;
- Equal – Professora Sandra, Katiany, Fernanda, Rosa, Socorro, e todos os que realizam seus trabalhos diários ou não;
- Leca – Professor Tito, Ronaldo, Andréa e os demais;
- Zoobentos – Professora Cristina Rocha, Professora Helena Matthews-Cascon, Wilson, Rafaela, Krishna, Rossana, Adriana, Márcia, Ismália e os demais que o compõem;
- Ecotoxicologia – Professora Letícia, Paula, Belle, Marcela, Janaína Bernardo (uma filha), Lívia, Janisi, Jeamilly e a molecada mais nova;e
- CEDECAM e GEMB – Professora Tereza Cristina, Raquel, Max, Diego, Cecília, aos graduandos que têm um belo futuro, pois vejo o esforço deles.

Um especial agradecimento aos meus digníssimos colegas de turma de Mestrado que ingressaram em 2007: **Breno, Louize, Roseline, Eduardo “Picolé”, Cristiane, Marcionília, Karine, Flávia, Rubens, Régis, Lula, Felipe, Lucas e Carlos** (Será que esqueci alguém?). Pessoas de caráter “inoxidável”, ímpares, incomparáveis, indescritíveis; meus amigos, irmãos e irmãs. Sou grato por estarmos sempre juntos apesar das distâncias.

Aos que eu tenha esquecido minhas desculpas, mas é uma multidão.

Aos funcionários desta instituição, onde fico a maior parte do tempo e considero a minha casa, me passando muito conhecimento sobre diversas áreas.

Ao **Projeto INCT-TMCOcean**, na pessoa dos professores Luiz Drude de Lacerda e Rozane Valente Marins, pelo apoio logístico.

À **CAPES** pelo fomento a bolsa de mestrado

*“O verdadeiro culto não consiste em oferecer incenso, flores ou outras coisas materiais; mas sim no esforço por seguir o caminho daquele (ou daquilo) a quem se reverencia.” (Buda)*

*“Sempre que pensamos em mudar queremos tudo o mais rápido possível. Não tenha pressa, pois as pequenas mudanças são as que mais importam. Por isso, não tenha medo de mudar lentamente, tenha medo de ficar parado”. (Provérbio Chinês)*

*“Eu aprendi que não importa quanta seriedade a vida exija de você, cada um de nós precisa de um amigo brincalhão para se divertir junto.” (William Shakespeare)*

*“Se conheces o inimigo e te conheces a ti mesmo, não precisas de temer o resultado de cem batalhas. Se te conheces a ti mesmo, mas não conheces o inimigo, por cada vitória sofrerás também uma derrota. Se não te conheces a ti mesmo nem conheces o inimigo, perderás todas as batalhas.” (Sun Tzu, A Arte da Guerra)*

## **BUDA**

Siddhartha Gautama, o Buda, nasceu no século VI a.C. (provavelmente em 556 a.C.) em Kapilavastu, no sopé do Himalaia, território do atual Nepal. Era filho do rei Suddhodana - governante do reino dos Çakias - e da rainha Maya. Logo que nasceu, Siddhartha foi levado a um templo onde os sacerdotes identificaram em seu corpo os 32 grandes sinais, e os 80 pequenos sinais, que o predestinavam a ser um grande homem. Um sábio de então profetizou que Siddhartha seria um poderoso imperador e um asceta<sup>1</sup> que libertaria a humanidade de todos os sofrimentos. Suddhodana, impressionado com a profecia, criou o filho em área confinada do Palácio, de maneira que Siddhartha ficasse alheio às misérias do Mundo.

Aos 16 anos casou-se com uma prima, Yassodhara. Dez anos mais tarde, nasceu Rahula, seu único filho.

Por volta dos 30 anos, Siddhartha saiu pela primeira vez do Palácio para dar quatro célebres passeios consecutivos, atravessando a cidade em direção ao parque de diversões. No primeiro passeio, encontrou um mendigo, no segundo um cadáver e no terceiro um velho trêmulo. Deste modo, conheceu simultaneamente a dor, a morte, e o tempo que tudo consome. Sofreu um grande abalo ao constatar que o homem está invariavelmente sujeito a todas essas misérias, porém, no quarto passeio ele avistou um monge - mendicante, esquelético, mas com um sorriso de vencedor. Foi na serenidade desse monge que Siddhartha percebeu que existia uma saída que conduzia ao despertar. Decidiu partir em busca da verdade e do despertar. Tornou-se discípulo dos ascetas Alaha Kalama e Uddaka, exercitando-se nas diversas práticas da Yoga. Entregou-se a penitências e jejuns mortificadores. A lenda conta que, nessa época, ele se alimentava com apenas um grão de arroz por dia.

Depois de muito sofrimento, ele compreendeu que o enfraquecimento do corpo e do espírito não o conduzia ao despertar. Resolveu então renunciar ao ascetismo e voltou a se alimentar de maneira equilibrada.

Aos 35 anos, sentado sob uma figueira - a árvore da sabedoria - e, após ter "vencido" Mara, o demônio das ilusões, caiu em profunda meditação. Foi o momento em que ocorreu a iluminação.

Pela primeira vez, reconheceu no mal a causa de todos os sofrimentos, e vislumbrou os meios pelos quais poderia triunfar sobre ele. Desse momento em diante, o príncipe Siddhartha

---

<sup>1</sup> Ascetas - monges que acreditavam que penitenciar o corpo levava ao enriquecimento do espírito.

Gautama, passou a ser um Buda, pois a denominação "Buda" é dada a um desperto, um iluminado.

Logo após proferir, em Benares, seu primeiro sermão, conhecido como *O Caminho do Meio*, seguiu para Uruvela onde viveu algum tempo na escola dos "Brâmanes Adoradores do Fogo". Lá Siddhartha realizou dois milagres memoráveis: venceu e domou a serpente furiosa que vivia no Templo do Fogo, e reacendeu o "Fogo dos Brâmanes", utilizando-se apenas das suas faculdades sobrenaturais. Em consequência destes milagres, o mestre dessa escola, juntamente com seus 500 discípulos, decidiram caminhar ao lado de Buda. Os 40 anos que se seguem à Iluminação são marcados pelo incansável apostolado de Buda e pelas intermináveis peregrinações de seus discípulos, que logo foram se espalhando por toda a Índia.

Buda faleceu aos 80 anos, em Kusinara, no bosque de Mallas. Seu corpo foi cremado sete dias após sua morte, suas cinzas divididas em dez partes e dadas aos rajás, em cujas terras ele vivera e morrerá.

"Todas as coisas compostas estão sujeitas à corrupção. Lutai pelo vosso ideal com sobriedade." Estas foram as últimas palavras pronunciadas por aquele que encontrara a verdade e que, depois de tantas existências de meditação e devoção, conseguira atingir o último degrau na escala da perfeição, o fim da individualidade, a absorção do espírito pelo Universo, o Nirvana<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>Nirvana - No budismo, acredita-se que o espírito é imortal e que, depois de várias reencarnações nas quais se adquire conhecimento, finalmente o espírito se liberta da existência física e atinge a quietude perpétua.

## RESUMO

A zona costeira cearense tem aproximadamente 600 km de extensão, distribuída em diversas unidades geoambientais. O foco deste trabalho são os Tabuleiros Pré-Litorâneos, moldados em rochas da Formação Barreiras, de Paleodunas e Dunas. O plano amostral é composto de 71 poços rasos totalizando 360 amostras distribuídas por toda zona de Tabuleiros. Por intermédio de análises granulométricas, teor de carbonato, morfoscopia, geomorfologia por sensoriamento remoto e determinação dos teores de metais em 9. Pelos parâmetros analisados foi descoberto que a zona de dunas costeiras (paleodunas) não se limita somente aos grandes campos de toda a área e com forma definida, sendo encontrados em locais antes mapeados como da Formação Barreiras. Em geral, as paleodunas se encontram logo abaixo das recentes tendo as mesmas características. A estratigrafia destes depósitos é formada no topo por uma camada bem fina de solo ou por sedimentos provenientes de rios, quando próximos ou na abrangência de suas planícies de inundação. Sotopostos, os sedimentos da Formação Barreiras, sendo uma das principais feições características dos Tabuleiros Pré-Litorâneos com granulometria variando de areia média a fina, com a presença de níveis arenoargilosos e conglomeráticos. O tom predominante é o avermelhado, que vai clareando ao se aproximar do nível freático. A partir de imagens Landsat ETM+ e SRTM, onze perfis topográficos foram traçados, identificando o comportamento dos Tabuleiros e sua delimitação, com ênfase as drenagens que recorta a unidade. Os teores de metais presentes nos sedimentos apresentam ordem de abundância  $Al > Fe > Pb > Mn > Cu$ , o alumínio é mais abundante com teor médio de  $5,47 \text{ mg.g}^{-1}$ , seguido do ferro, com  $1,93 \text{ mg.g}^{-1}$ , chumbo com  $4,58 \text{ ug.g}^{-1}$ , manganês com  $4,14 \text{ ug.g}^{-1}$  e o cobre, com  $0,11 \text{ ug.g}^{-1}$ . O alumínio é derivado do intemperismo das rochas do embasamento, o ferro de um grupo de minerais que compõe o embasamento, o chumbo também é encontrado nas rochas em regiões mais interiores, contudo a explicação pra seus teores é a urbanização na região, o manganês e o cobre estão na ordem de  $\text{ug.g}^{-1}$  sua concentrações muito baixas tem explicação na deficiência deste elementos no embasamento. A quantidade média de matéria orgânica não excedeu 1,17%, e 2.42 % para carbonato de cálcio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tabuleiros Pré-Litorâneos. Sedimentologia. Geoquímica.

## ABSTRACT

The coastal area Ceará has approximately 600 km long, divided into several units geoenvironmental. The focus of this work are the Pre coastal trays, molded in the Barreiras Formation rocks of Paleodunas and dunes. The sampling plan consists of 71 flat wells total in 360 samples distributed throughout the Tablelands area. Through analysis of size, content of carbonate, morphoscopy, geomorphology and remote sensing for determining the levels of metals in the 9 flat. By the parameters analyzed it was discovered the area of coastal dunes (paleodunes) does not limit only to major fields of the whole area and shape, before being found in local map and the Barreiras Formation. In general, the paleodunes are below the recent dunes having the same characteristics. The stratigraphy of these deposits is formed on top and a thin layer of soil or sediment from rivers, or when coming in from their coverage of flood plains. Below, the sediments of the Barreiras Formation, one of the main features characteristic of pre-coastal trays with a range of medium to fine sand, with the presence of sand-clay levels and conglomerates. The predominant tone is reddish, which will clear when approaching the water table level. The images from Landsat ETM + and SRTM eleven topographic profiles were traced, identifying the behavior of the trays and their boundaries, emphasizing the drainages that cut the unit. Concentrations of metals in sediments presented the following order  $Al > Fe > Pb > Mn > Cu$ , aluminum is more abundant with average content of  $5.47 \text{ mg.g}^{-1}$ , followed by iron, with  $1.93 \text{ mg.g}^{-1}$ , lead  $4.58 \text{ ug.g}^{-1}$ , manganese  $4.14 \text{ ug.g}^{-1}$  and copper, with  $0.11 \text{ ug.g}^{-1}$ . Aluminum is derived from the weathering of rocks of the basement, the iron of a group of minerals that make up the rock, lead is also found on rocks in the more inland, manganese and copper are the order of  $\text{ug.g}^{-1}$ . The average quantity of organic matter did not exceed 1,17% and 2.42% for calcium carbonate.

Keywords: Pre Coastal Tray. Sedimentology. Geochemistry

## LISTA DE FIGURAS

1 Evolução da separação dos continentes com ênfase na ruptura dos Continentes Africano e Americano e da formação do oceano Atlântico há 140 milhões de anos.....	10
2 Classificação das unidades morfoestruturais do Ceará (SOUZA, 1988). ....	14
3 Distribuição dos Tabuleiros na região Nordeste (SILVA <i>et al.</i> , 1993).....	20
4 Desenho Esquemático da Deposição da Formação Barreiras (MAIA, 1993). ....	23
5 –: Desenho Esquemático das Mudanças Eustáticas do litoral Leste do Brasil . ....	25
6 Processos envolvidos no ciclo de alteração das rochas e formação dos sedimentos (PELLEGATI, 2000).....	28
7 Processos interativos que governam a solubilidade, disponibilidade e mobilidade de elementos nos solos. Fonte: McBride (1994). ....	36
8 Localização da área de estudo e dos pontos amostrados. ....	39
9 Esquema da geologia e geomorfologia costeira na área de estudo. Fonte: Modificado de Maia, 1998. ....	40
10 Relações estratigráficas entre as gerações de dunas no Ceará. Fonte: Maia, 1998. ....	44
11 Localização da área de estudo em imagens Landsat 5 TM e 7 ETM+ RGB: 543. ....	55
12 Localização da área de estudo em imagens SRTM. ....	57
13 Fotos do uso do trado manual, das amostras e do detalhe do poço. ....	59
14 Esquema de ensaio para a obtenção dos teores de CaCO <sub>3</sub> em sedimentos, Calcímetro de Bernard (modificado). ....	66
15 Tabela de Comparação visual de arredondamento e esfericidade da areia (segundo Krumbein e Sloss, 1963) ....	68
16 Espectrometria de absorção atômica de chama modelo AA-6200 da Shimadzu. ....	70
17 Imagem SRTM com realce topográfico de 250 metros e localização dos perfis realizados. ....	75
18 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 1. ....	76
19 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 1.....	76
20 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 1. ....	77
21 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 2. ....	78
22 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 2.....	79
23 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 2. ....	79

24 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 3.	80
25 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 3.....	80
26 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 3. ....	81
27 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 4.	82
28 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 4.....	82
29 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 4. ....	83
30 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 5.	84
31– Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 5.....	84
32 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 5. ....	85
33 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 6.	86
34 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 6.....	86
35 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 6. ....	87
36 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 7.	88
37 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 7.....	88
38 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 7. ....	89
39 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 8.	90
40 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 8.....	90
41 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 8. ....	91
42 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 9.	92
43 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 9.....	92
44 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 9. ....	93
45 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 10. ....	94
46 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 10.....	94
47 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 10. ....	95

48 Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 11. .....	96
49 Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 11.....	96
50 Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo a área do Perfil 11. ....	97
51 Mapa com a localização dos Poços que foram usados nas análises de metais.....	98
52 Distribuição de Al e Fe no poço 43, região de Icapuí. ....	100
53 Distribuição de Mn e Pb no poço 43, região de Icapuí.....	100
54 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	101
55 Distribuição de Al e Fe no poço 49, região de Fortim. ....	102
56 Distribuição de Mn e Pb no poço 49, região de Fortim.....	103
57 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	103
58 Distribuição de Al e Fe no poço 66, região de Eusébio. ....	105
59 Distribuição de Mn e Pb no poço 66, região de Eusébio.....	105
60 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	106
61 Distribuição de Al e Fe no poço 03, região de Caucaia. ....	107
62 Distribuição de Mn e Pb no poço 03, região de Caucaia.....	107
63 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	108
64 Distribuição de Al e Fe no poço 09, região de Paraipaba.....	109
65 Distribuição de Mn e Pb no poço 09, região de Paraipaba.....	110
66 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	110
67 Distribuição de Al e Fe no poço 18, região de Amontada.....	112
68 Distribuição de Mn, Pb e Cu no poço 18, região de Amontada. ....	112
69 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	113
70 Distribuição de Al e Fe no poço 23, região de Acaraú.....	114
71 Distribuição de Mn e Pb no poço 23, região de Acaraú. ....	115
72 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	115
73 Distribuição de Al e Fe no poço 35, região de Camocim.....	117
74 Distribuição de Mn, Pb e Cu no poço 35, região de Camocim. ....	117
75 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	117
76 Distribuição de Al e Fe no poço 40, região de Barroquinha. ....	119
77 Distribuição de Mn e Pb no poço 40, região de Barroquinha. ....	119
78 Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões. ....	120

**LISTA DE TABELAS**

1 Composição elementar da crosta terrestre e sedimentos .....	34
2 Características dos Satélites dos LANDSAT. Fonte: INPE .....	56
3 Principais Instrumentos Sensores dos Satélites LANDSAT. Fonte: INPE .....	56
4 com as coordenadas dos poços ( Datum SAD-69) .....	59
5 Graus de arredondamento para caracterização descritiva do arredondamento.....	67
6 Resultados da abertura do Padrão de Referência NIST 2709.....	70
7 Valores limites dos coeficientes de correlação.....	71
8 Metais utilizados e seus valores pela composição elementar da crosta terrestre em diferentes fontes. ....	72
9 Valores limites de detecção do aparelho nas análises realizadas neste trabalho.....	73
10 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 43. ....	99
11 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 49. ....	102
12 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 66. ....	104
13 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 03. ....	107
14 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 09. ....	109
15 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 18 .....	111
16 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 23 .....	114
17 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 35. ....	116
18 Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 40. ....	118
19 Matriz de correlações dos elementos analisados para os sedimentos dos Tabuleiros.....	121

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	8
2.1 Introdução.....	8
2.2 Origem dos Tabuleiros .....	10
2.3 Formação Barreiras .....	14
2.4 Mecanismos Depositionais .....	19
2.5 Nordeste.....	19
2.6 Ceará .....	23
2.7 Geoquímica sedimentar .....	27
2.7.1 Sedimentos .....	27
2.7.2 Elementos-traço nos sedimentos .....	28
2.7.2.1 Fontes de elementos-traço .....	29
2.7.2.2 Fontes geoquímicas .....	29
2.7.2.3 Fontes antrópicas .....	30
3 OBJETIVOS.....	37
3.1 Objetivo Geral .....	37
3.2 Objetivos Específicos .....	37
4 ÁREA EM ESTUDO .....	38
4.1 Localização e Acesso.....	38
4.2 Geologia Regional .....	40
4.2.1 Introdução.....	40
4.2.2 Embasamento Pré-Cambriano .....	40
4.2.3 Terciário .....	41
4.2.4 Quaternário .....	43
4.2.4.1 Depósitos de Praia .....	43
4.2.4.2 Depósitos Eólicos .....	44
4.2.4.3 Depósitos fluviomarinhos.....	47
4.2.4.4 Rochas de praia (“Beach Rocks”) .....	47
4.3 Aspectos Fisiográficos.....	48
4.3.1 Clima .....	48
4.3.2 Temperatura.....	49

4.3.3 Pluviometria .....	50
4.3.4 Umidade .....	50
4.3.5 Vegetação .....	50
4.3.6 Solo .....	51
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
5.1 Etapa de Gabinete.....	54
5.2 Etapa de Campo.....	59
5.3 Etapas laboratoriais .....	60
5.3.1 Análise Granulométrica.....	60
5.3.1.1 Escalas granulométricas .....	62
5.3.1.2 Representação gráfica das análises granulométricas.....	63
5.3.1.3 Classificação de Folk e Ward (1957) .....	64
5.3.2 Análise dos teores carbonato de cálcio.....	65
5.3.3 Determinação do teor de matéria orgânica.....	66
5.3.4 Morfometria.....	66
5.3.5 Determinação das concentrações dos metais.....	69
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO.....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	123

## 1 INTRODUÇÃO

A região costeira do Estado do Ceará possui aproximadamente 573 km de extensão, caracterizada por exuberantes paisagens constituídas, principalmente, por diversificadas zonas de praia, expressivos campos de dunas e singulares escarpas, que atingem a zona de praia, talhadas em rochas sedimentares da Formação Barreiras. Em função desse conjunto de paisagens o turista a cada dia se sente mais atraído por “explorar” a região costeira cearense. Essa atividade muitas vezes ocasiona mudanças na paisagem. Dessa forma, a região costeira passou a ser alvo de estudos científicos. O presente trabalho tem por objetivo aprofundar o conhecimento acadêmico em relação à gênese e evolução dos tabuleiros, assim como buscar novas ferramentas de identificação da unidade geomorfológica.

O desenvolvimento do trabalho aconteceu em oito capítulos, orientados em uma sequência que induz o leitor a uma melhor compreensão da temática relacionada com os depósitos da Formação Barreiras presentes na zona costeira cearense. O Capítulo 2 retrata a evolução das pesquisas científicas voltadas para a caracterização dos tabuleiros pré-litorâneos, constituindo, portanto, um momento destinado aos fundamentos teóricos. O Capítulo 3 discrimina os objetivos da referida pesquisa. A caracterização da área em questão encontra-se inserida no Capítulo 4, enquanto as metodologias aplicadas nas diversas etapas deste ensaio estão apresentadas no Capítulo 5. Os resultados obtidos e as discussões constituem o Capítulo 6. As conclusões e recomendações compõem o Capítulo 7. O trabalho é concluído com as referências bibliográficas.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Introdução

Nos últimos 20 anos, cresceu bastante o número de trabalhos técnico-científicos versando sobre a cobertura pedológica dos tabuleiros Terciários, constituídos por sedimentos detríticos, continentais por excelência, da Formação Barreiras. Ao tempo em que tais conhecimentos gerados proporcionam melhores sistemas de manejo e de usos conservacionistas, deixam também um rastro de dúvidas e levantam novos problemas a resolver. Um desses problemas refere-se à gênese do material de origem desses solos, a Formação Barreiras, bem como a sua distribuição geográfica, que poderá levar a certa homogeneidade de usos e manejos adaptados. Isto porque, apesar da grande extensão geográfica de ocorrência desses sedimentos no Brasil, independentemente do clima, do relevo e da vegetação, os solos são sempre os mesmos, denotando o que Ribeiro (1986) chamou de solos litodependentes.

Alguns autores - Rezende (1984) e Rezende (2002) entre outros - com base em estudos históricos, afirmaram que os sedimentos em questão possuem sua fonte de origem nas rochas do embasamento cristalino que ocorrem próximo à costa oceânica. King (1956) e Matoso e Robertson (1959) entretanto, descreveram estes sedimentos em áreas continentais interiores, tais como na Amazônia e no Centro-Oeste brasileiro. Esses estudos são corroborados por Schobbenhaus (1984). Mais recentemente, pesquisadores vêm mapeando a Formação Barreiras e os solos por ela sustentados. Nesses mapeamentos, inclui-se um grande número de ocorrências sedimentares (Formação, Série), aparentemente isolados, de idade Terciária ou Tércio-Quaternária, que deverão fazer parte da nova cartografia da Formação Barreiras. Essas ocorrências sedimentares foram submetidas a descontinuidades no tempo e no espaço em virtude das “pulsações” (fluxos descontínuos) no processo de sedimentação, ou fragmentação em virtude dos episódios tectônicos e erosivos relacionados aos vários ciclos de aplainamento que ocorreram no espaço geográfico brasileiro, desde o que se costuma chamar de Pós-Gondwana.

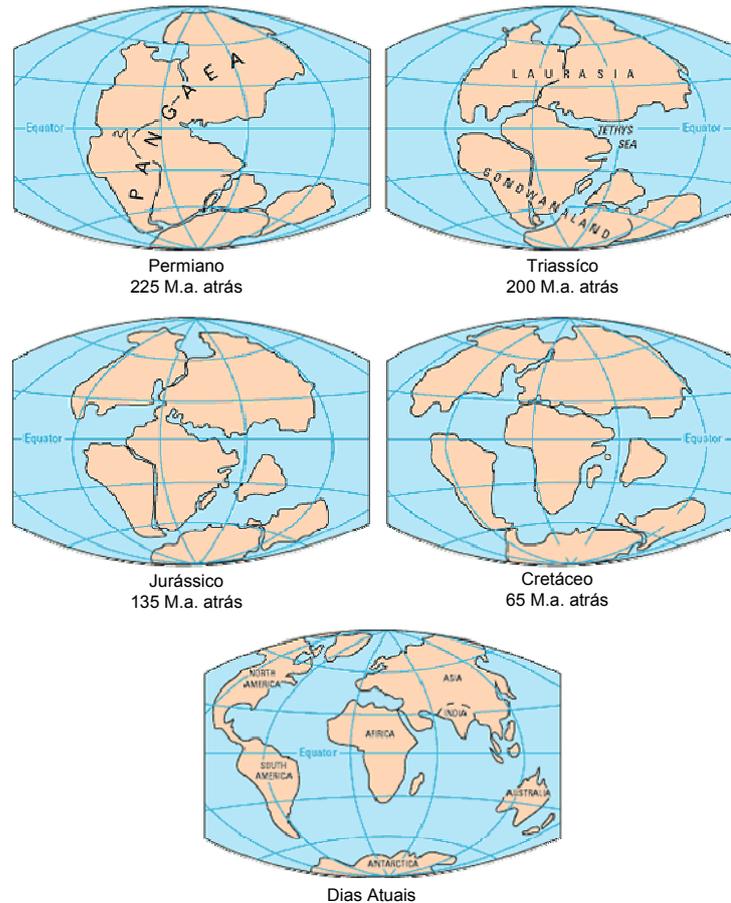
A leitura de vários estudos desenvolvidos no Continente Africano mostra uma distribuição semelhante dos sedimentos detríticos, notadamente continentais, que constituem a Formação Continental Terminal (McFarlane, 1976; Tardy, 1998), semelhante ao da Formação Barreiras no Brasil.

A formação da superfície do Planeta ocorre com suporte a liberação de forças internas que a fraturam e desnivelam, submergindo-a, abrindo fendas que são preenchidas no tempo por sedimentos transportados pela dinâmica exercida pela bacia hidrográfica, agente remodelador da superfície terrestre.

No esculpimento da superfície terrestre, as condições climáticas contribuem nas transformações da paisagem. Os ciclos de glaciação e aquecimento apresentam-se como agentes atuantes na formação do relevo. A ação das águas na forma sólida ou líquida tem papel preponderante na formação do relevo. Sua mudança de estado permite o arrastamento de materiais de granulometrias diferentes, burilando e esculpindo formas.

No Ceará, as paisagens naturais formadas foram constituídas por: maciços cristalinos e inselbergs; depressões periféricas; chapadas sedimentares; planícies sublitorânea, fluvial e litorânea. Essas morfologias foram esculpidas por movimentos tectônicos de epirogênese e orogênese, que fraturaram a crosta, formando graben (cuja extensão possibilitou a formação da rede de drenagem e seus principais rios, como o Jaguaribe).

Segundo Beurlen (1967), a morfoestrutura do Ceará começou a se delinear desde o Pré-Devoniano, período de ruptura dos continentes africano e americano e da formação do oceano Atlântico. Neste período, este Oceano era separado em norte e sul, ligando-se o bloco nordestino ao Continente Africano. O citado bloco encontrava-se sob pressão dos oceanos, tensionando a movimentação isostática da crosta, ocasionando: flexões das estruturas para leste; aberturas de fendas profundas e direcionais e movimentos verticais separando blocos escalonados(Figura 1).



**Figura 1** – Evolução da separação dos continentes com ênfase na ruptura dos Continentes Africano e Americano e da formação do oceano Atlântico há 140 milhões de anos. ( modificado de <http://www.mapsharing.org>).

## 2.2 Origem dos Tabuleiros

O Cenozóico na Província Borborema foi marcado por soerguimentos epirogenéticos, resultando no alçamento de superfícies mais antigas, superimposições fluviais com escavação de boqueirões e estabelecimento de um padrão centrífugo na rede de drenagem (SAADI & TORQUATO, 1992).

O modelamento do relevo da Província Borborema foi influenciado pela interação dos fatores exógenos (clima) e endógenos (tectônica), testemunhados pela organização das superfícies de aplainamento, depósitos correlativos e paleossolos. Em especial, as superfícies de aplainamento constituem feições representativas do relevo ora em foco, ocupando grandes extensões em níveis altimétricos variados segundo uma geometria escalonada (SAADI & TORQUATO, 1992). Peuvast & Sales (2004) separam as superfícies escalonadas em dois conjuntos poligenéticos:

- superfícies altas, com altitudes entre 700 a 1000 m, formando platôs e topos estreitos de morros-testemunho;
- superfícies baixas, a maioria abaixo de 300 m, conectadas em direção ao mar com uma larga superfície costeira.

As superfícies altas geralmente correspondem às mais antigas, incluindo remanescentes dissecados de superfícies estruturais de idade incerta (planalto da Ibiapaba, serra dos Martins), elementos exumados infrapaleozóicos (sudoeste do Ceará) e pré-cenomanianos (chapada do Araripe), além de uma superfície estrutural de idade cenomaniana (topo da chapada do Araripe) (PEUVAST & SALES, 2004).

As superfícies baixas não são sistematicamente mais recentes do que as mais elevadas. Dentre aquelas, destaca-se a superfície Sertaneja, com altitudes máximas em torno de 350 metros e que se compõe de depressões interiores e corredores conectados, em direção à costa, em ampla e rebaixada superfície de piemonte, levemente dissecada e parcialmente recoberta por depósitos sedimentares plio-pleistocênicos (PEUVAST & SALES, 2003). Nestes depósitos, denominados de Grupo Barreiras (BIGARELLA & ANDRADE, 1964), foi esculpida a Superfície dos Tabuleiros (MABESOONE & CASTRO, 1975), a qual alcança cotas entre 10 e 60 metros e é sucedida pela planície costeira.

A idade da superfície Sertaneja é considerada pliocênica a eopleistocênica (MABESOONE *et al*, 1972; MABESOONE & CASTRO, 1975), representando a feição morfológica mais distinta das regiões interiores do Estado do Ceará. Sua morfologia é largamente condicionada pelas estruturas produzidas pelas deformações cretáceas, comportando uma superfície rebaixada com *inselbergs* e incorporando os elementos de uma superfície pré-cenomaniana exumada (na periferia da Bacia Potiguar), assim como extensos apêndices que se estendem em direção ao interior (PEULVAST & SALES, 2002; 2004).

Próximo ao litoral, as Formações Infra-Barreira são sedimentos de concreções ferruginosas, com formação de canga na parte superior e presença de seixos de quartzos acumulados, nas proximidades do leito maior dos rios, quando do transporte por águas fluviais.

Transportados durante o período úmido, os sedimentos originários das rochas cristalinas foram depositados nas áreas depressivas próximas ao litoral, remodelando a paisagem. A rede de drenagem é controlada pelo sistema estrutural, com rios que correm em graben e cujos cursos são cortados por sedimentos correlatos oriundos do cristalino e formadores dos tabuleiros pré-litorâneos.

No Ceará, observam-se áreas depressivas circundantes posicionadas para o litoral. Estas depressões foram preenchidas por sedimentos correlatos e são identificadas quando ocorre afloramento. Resultam de reativação tectônica que elevou esses pacotes de sedimentos e formou as falésias litorâneas. Estas são compostas por sedimentos coluvionais argilosos, formados em período climático mais seco; e aluvionais lixiviados arenosos, depositados em período de clima mais chuvoso.

Em trechos do litoral leste, próximo à fronteira com o Rio Grande do Norte, essas falésias emergem com pacotes de calcário, superposto por sedimentos da formação do Barreiras e dunar. Neste trecho do litoral, as dunas adentram continente sob a ação dos ventos, transportando sedimentos ao longo do tabuleiro costeiro (Figura 2).

Castro (1979) enfatiza que os ciclos de mudanças climáticas de glaciações com fases mais frias e secas, com domínio das massas polares, à ação de anticiclones subtropicais, desencadeiam processos de erosão mecânica, identificados nos colúvios e sites nos interflúvios dos canais de pequeno porte.

Com base nos estudos anteriormente realizados, Santos *et al.* (1972) classificaram cinco domínios morfológicos no Ceará, subdividindo-os em 10 compartimentos de relevos, discriminados na sequência:

- Domínio do litoral, incluindo as planícies costeiras e os tabuleiros sobre sedimentos da formação barreira.
- Domínio das depressões interplanálticas e depressões periféricas, referendo-se às partes rebaixadas da superfície sertaneja.
- Domínio das planícies aluviais, constando trechos alargados dos vales principais.
- Domínio dos planaltos isolados e relevos residuais, subdivididos em três compartimentos de relevo: planaltos isolados, superfícies de planaltos dissecados em morros e patamares, e superfícies de planaltos dissecados em cristas estruturais.
- Domínio dos planaltos sedimentares, constando os compartimentos de relevo cuestasiformes e platôs, de relevos sedimentares dissecados e de superfícies conservadas de planaltos, capeadas por detritos ou laterizadas.

Com base na da classificação da morfoestrutura supramencionada, Moreira & Gatto (1981) e Prates *et al.* (1981), propõem consideração de cinco unidades morfoestruturais:

planície litorânea, tabuleiros litorâneos, superfície sertaneja, planaltos residuais e planalto da Ibiapaba.

As propostas de classificação morfoestruturais retromencionadas alicerçaram a proposta de Souza (1988), que sugere para o Ceará três unidades de domínio morfoestruturais (Figura 2):

- planícies e terraços fluviais, correspondentes aos depósitos sedimentares no cenozóico;
- chapadas e planaltos, correspondentes aos sedimentos das bacias sedimentares paleo-mesozóico, como a chapada da Araripe, chapada do Apodi, planalto do Ibiapaba e Serra Grande; e
- escudos e maciços antigos, correspondentes aos terrenos cristalinos pré-cambrianos, que formam os planaltos residuais e a depressão Sertaneja.



**Figura 2** – Classificação das unidades morfoestruturais do Ceará (SOUZA, 1988).

### 2.3 Formação Barreiras

A Formação Barreiras, com área de ocorrência ao longo da faixa costeira brasileira, sendo pouco detalhada, sem dúvida, análises mais abrangentes espacialmente, contribuem para um estudo mais integrado das formas de deposição destes depósitos sedimentares no Brasil.

Matoso e Robertson, em 1959 (In NASCIMENTO *et al.* 1981.) fizeram a seguinte análise sobre o uso geológico do termo “Barreiras”:

Os termos “Formação Barreiras”, “Formação das Barreiras” e “Séries das Barreiras” vêm sendo usados indistintamente no Brasil para designar todas as rochas não consolidadas que recobrem o cristalino ou que parecem ter sido depositadas discordantemente sobre rochas de idade cretácea estendendo-se com numerosas interrupções desde o Estado do Rio de Janeiro até o Pará e penetrando no vale Amazônico até a fronteira da Colômbia, Peru e Bolívia. E equivalentes sedimentares desta seqüências foram encontrados no Uruguai (MABESOONE, 1966).

Costa *et al.* (1973) também fizeram um breve resumo a cerca do Grupo Barreiras analisando-o assim: “O termo “Barreiras” foi usado por Branner, em 1902 (In MABESOONE *et al.*, 1972), quando se referiu aos sedimentos variegados, inconsolidados, que ocorrem de forma contínua por toda faixa costeira desde o Estado do Rio de Janeiro até a foz do Amazonas. Oliveira & Leonardos (1978) reúnem esses depósitos costeiros sob o nome de ‘Série Barreiras’. Oliveira & Ramos (1956) chamaram ‘Formação Barreiras’ aos mesmos sedimentos na costa norte de Recife. Kegel (1957) restringiu o termo “Formação Barreiras”, na região costeira do Rio Grande do Norte, às camadas variegadas superiores, e “Infra-Barreiras”, à camada de areias argilosas e caulínicas da base. Bigarella & Andrade (1964) estudaram alguns perfis em torno de Recife e propuseram o termo “Grupo Barreiras”, incluindo uma seqüência inferior, denominada de Formação Guararapes, e sobre esta depositada em discordância erosiva a Formação Riacho Morno, correlacionada à Formação Barreiras de Kegel.

Braga *et al.* (1977) fundamentados principalmente nas proposições feitas por Mabesoone *et al.* (1972) para a região de Aracati, adotaram a denominação de “Grupo Barreiras Indiviso” para toda a seqüência variegada, constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na costa, infrajacentes às dunas.

Nascimento *et al.* (1981) adotaram a expressão “Grupo Barreiras”, sem fazer possíveis correlações litoestratigráficas com as várias unidades litológicas já definidas em outras áreas do Nordeste Oriental, tanto pela falta de dados mais concretos, como pelas controvérsias já constatadas sob o ponto de vista de suas identificações nestas áreas.

A classificação estratigráfica dos sedimentos do Grupo Barreiras foi proposta pela primeira vez por Bigarella e Andrade (1964) e mais tarde confirmada por Bigarella (1975). Segundo esses autores, o Grupo Barreiras é composto por duas formações - Guararapes

(basal) e Riacho Morno (superior) separados por uma discordância erosiva.

Segundo Andrade (1955) e Bigarella e Andrade (1964), os sedimentos que compõem o Grupo Barreiras são correlativos depósitos de duas fases bem marcada de pediplanação que ocorreram durante o Cenozóico ao longo da costa brasileira.

Almeida (1964), que enquadra em seu trabalho a Formação Barreiras sob a denominação de "série Barreiras", os configura como sedimentos de natureza detrítica, com o predomínio de siltes e argilas, associados aos arenitos argilosos, leitos de conglomerados com seixos de quartzo e folhelhos.

Matoso e Robertson (1959) definiram a Formação Barreiras como uma sucessão de leitos e lentes de sedimentos elásticos, pouco consolidados, que variam desde conglomerados a arenitos de todas as granulometrias e folhelhos (NASCIMENTO *et al* 1981).

Souza (1973) distingue duas fácies no Grupo Barreiras na região do vale do rio Choró, na divisa entre os Municípios de Cascavel e Beberibe (CE). A primeira é constituída por uma seqüência de sedimentos mal selecionados, com textura arenossiltosa ou argiloarenosa, de coloração vermelho-amarelada, com seixos quartzosos dispostos em lentes e concreções ferruginosas intensamente mosqueadas (fácies argilosa). A outra, de maior expressão territorial, é dotada de textura arenosa na superfície, de coloração esbranquiçada, disposta sobre arenito friável. Esta será a fácies arenosa.

Oliveira e Leonardos (1978) retratam uma seção da então denominada "série Barreiras" na região da praia do Morro Branco, Município de Beberibe . Os autores apresentam a seqüência de camadas, da base para o topo, conforme a seguir delineado.

Litologicamente, Nascimento *et al.* (1981) caracterizam essa seqüência sedimentar por argilas variegadas e arenitos avermelhados com níveis caulínicos, conglomerados grosseiros com matriz arenosa avermelhada, reunidos por cimentos ferruginosos, localmente, às vezes, muito consistentes, incluindo seixos de quartzo, quartzito, bem selecionados, e de rochas cristalinas diversas, apresentando sempre uma estratigrafia não distinta.

Na zona litorânea, exibe-se como um pacote de material areno-argiloso de colorações vermelhas e creme-amareladas, mal selecionados, com raros níveis caulínicos, com acamamento não distinto e intercalações de leitos de granulação de mais grosseira a conglomerática. Nas porções mais próximas à costa, a lixiviação contribui para carrear a percentagem argilosa, resultando uma cobertura mais arenosa da parte superior do pacote sedimentar da Formação Barreiras (NASCIMENTO *et al.*, 1981).

Localmente, segundo esses autores, por vezes, os pacotes se apresentam muito

consistentes, incluindo seixos de quartzo, quartzito bem selecionados e de rochas cristalinas diversas, apresentando sempre uma estratificação não distinta, ocorrem ainda areias inconsolidadas contendo seixos de quartzo e intercalações de areias siltosas e argilosas (NASCIMENTO *et al.*, 1981), como foi observado em setores costeiros de Caucaia. Em outros setores, ocorrem sob a forma de leitos conglomeráticos (MOREIRA e GATTO, 1981), predominantes na ponta da Taíba, São Gonçalo do Amarante.

Esse depósito, segundo Souza (1988), além de se distribuir de maneira contínua e paralela ao longo da fachada marítima, também é composto por uma complexidade de fácies sedimentares. Este autor caracteriza a Formação Barreiras por esta apresentar materiais, de maneira geral, de textura areno-argilosa e sedimentos malselecionados.

Castro (1989) ressalta que esses depósitos recobrem indistintamente todas as unidades estratigráficas regionais, além de terem, geralmente, tonalidade creme amarelada ou vermelha em decorrências da infiltração de óxidos de ferro.

A espessura da Formação Barreiras também apresenta acentuada variação. Este fator deve derivar, em parte, do substrato ondulado sobre o qual repousam em discordância (SOUZA, 1988), ou seja, a superfície de erosão das rochas Pré-Cambrianas do embasamento cristalino, como também, como cita Nascimento *et al.* (1981), pela erosão que trancou suas camadas, entalhando talvez mais profundos em setores mais propensos às condições climáticas mais úmidas, ou mesmo nivelando os seus topos em condições climáticas mais áridas.

Maia (1993), ao discutir os mecanismos de deposição em um setor do litoral leste cearense, destaca que a fácies proximal, litologicamente, se apresenta bastante heterogênea, com variações na granulometria, tanto lateral como verticalmente, estando cimentado por óxido de ferro, o que lhe atribuiria um tom vermelho intenso.

Segundo o autor, essa fácies é dotada de uma matriz constituída por siltes e areias imaturas, todas pobremente selecionadas, com grãos angulosos, compostos por quartzo, feldspato e concreções ferruginosas. Todas estas características são esperadas, já que, por se tratar do segmento proximal, não há a possibilidade da ação mais intensiva dos agentes externos na maturação dos sedimentos.

Por sua vez, os depósitos, componentes da fácies distal, segundo Maia (1993), são compostos por arenitos amarelados e avermelhados, maciço, apresentando seixos e grânulos angulosos e subangulosos de quartzo e blocos de argila trabalhada.

Claudino-Sales (1993) definiu que os depósitos da Formação Barreiras são uma

sucessão de lentes e leitos de sedimentos elásticos afossilíferos, pouco consolidados, constando de folhelhos, arenitos de todas as granulométrias e conglomerados, portanto, um depósito que corresponde a arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, frequentemente lenticulares, formando falésias na costa e bancos nas margens dos rios costeiros (MAIA, 1998).

Maia (1998) ressalta que as características sedimentológicas da Formação Barreiras apresentam pequenas variações, podendo ser subdividida em duas camadas bem diferenciadas. Na primeira camada, apresentam-se como lamas e grãos angulosos e subangulosos de quartzo e blocos de argila. Intercalados por horizontes conglomeráticos, dotados de litologia bastante heterogênea e variações granulométricas significativas. A matriz é constituída por silte e areias imaturas, pobremente selecionadas e com grãos angulosos de quartzo e feldspato, além de concreções de óxido de ferro. Na segunda camada, constituem predominantemente areias avermelhadas, médias a finas, inconsolidadas, com intercalações de níveis conglomeráticos, com os sedimentos variando de pobre a moderadamente selecionados, de subarredondados a angulosos (MAIA, *Op. Cit.*).

Vilas Boas *et al.* (2002), com base na interpretação de processos genéticos e de mecanismos deposicionais, enquadraram esses depósitos em três tipos distintos. O primeiro representado por sedimentos cascalhosos e areno-cascalhosos maciços, suportados por matriz areno-lamosa e/ou lamosa; o segundo inclui depósitos cascalhosos suportados por matriz arenosa e depósitos areno-cascalhosos-maciços; no terceiro tipo, foram englobados os depósitos cascalhosos e arenosos.

Peulvast e Claudino-Sales (2003) ressaltam que os sedimentos da Formação Barreiras apresentam camadas vermelho-amarelas ou brancas, areno-argilosas, com menores quantidade de cascalhos de quartzo e leitos de argila mais profundos.

Segundo estes autores, camadas de silte e argila, do tipo caulinita são intercaladas por camadas de arenitos ferruginosos compactos ou conglomerados com quartzos de arredondados a subangulares, além de seixos cristalinos, geralmente, pobremente diversificados, possivelmente assentados por deformações durante a sedimentação. Cascalhos ferruginosos, nódulos de argila, além de concreções carbonáticas e bioturbações são também encontrado nesses conglomerados.

## 2.4 Mecanismos Depositionais

A evolução sedimentológica da Formação Barreiras está associada a ciclos erosivos relacionados às oscilações climáticas que teriam predominado no Terciário, originando extensos pediplanos.

De acordo com Bigarella (1975), atribui-se uma idade de Miocênica superior a Pleistocênica para esta unidade. O caráter ambiental é admitido como predominantemente continental, onde os sedimentos foram depositados sob condições de um clima semiárido sujeito a chuvas esporádicas e violentas, formando amplas faixas de leques aluviais coalescentes em sopés de encostas. Durante essa época o nível do mar era mais baixo do que o atual, proporcionando o recobrimento de ampla plataforma (BRANDÃO, 1994).

Diversos autores, sustentados nesse raciocínio, explicam a evolução do relevo a partir das superfícies de aplainamento, que teriam predominado no Cenozóico, sendo que os sedimentos componentes da Formação Barreiras, como vimos anteriormente, correspondem às últimas etapas dessa evolução.

De maneira geral, segundo Arai *et al* (1988), embora a maioria dos sedimentos da Formação Barreiras ocorrentes da costa brasileira, seja considerada como sendo correspondente a depósitos continentais, não existe ainda um consenso com relação ao ambiente de deposição ou à validade de se fazer correlações estratigráficas entre afloramentos localizados em contextos geológicos diversos.

Considerando esta problemática e com atenção particular em relação a algumas considerações finais de alguns trabalhos realizados com o intuito de desvendar e contribuir para a elucidação dos mecanismos de deposição da Formação Barreiras em diversos setores do País, tem-se a convicção de que os sistemas deposicionais da Formação Barreiras se mostram variados ao longo da costa brasileira.

## 2.5 Nordeste

Segundo Almeida (1964), durante o Terciário, a Formação Barreiras, que se configura, segundo o autor, "como vastos mantos detríticos areno-argilosos que recobrem extensas áreas do país", refletiriam acumulações rápidas de detritos, trabalhadas sobre áreas "geomorficamente evoluídas", ou seja, sobre os setores mais rebaixados, que correspondem aos setores mais recentes da história geológica - os setores litorâneos.



**Figura 3** – Distribuição dos Tabuleiros na região Nordeste (SILVA *et al.*, 1993)

Estes pacotes de sedimentos, consoante o autor, resultaram de importantes retomadas de erosão, ligadas a deformações por falhamentos, que denunciam, em geral, uma deposição por meio de canais fluviais, planícies de inundação e lagos, em regiões de relevo senil que na concepção davisiana de ciclo de erosão corresponde ao fim da evolução do relevo, em setores onde predominam a sedimentação (GUERRA e GUERRA, 1997) sob influência de um clima quente e úmido, com a ocorrência de chuvas concentradas.

Para Silveira (1964), a intensidade da sedimentação é compreendida quando se passa a considerar as condições do litoral brasileiro. A deposição é consequência do vigor do intemperismo, favorecido pelo clima predominante na maior parte da costa; dos tipos de rocha (granito e gnaisses), de fácil decomposição e favoráveis ao fornecimento, em larga escala, de material silicoso, em grandes exposições na costa oriental e nordestina; do grande poder de transporte das drenagens, particularmente na região Norte; e, por fim, da pequena amplitude no movimento das marés em toda a costa meridional e oriental, que, por esse fato, se tornaria impotente para retirar da costa o material originado no continente.

Por fim, tem-se as fácies flúviolagunares, identificadas em falésias litorâneas, ocupando uma faixa estreita. Alguns afloramentos dessa fácies apresentam-se intensamente perturbados por tectonismo. Isto, segundo os autores, é evidenciado pelo forte mergulho das camadas argilosas e carbonosas, por brechas localizadas e pelas inúmeras fraturas e falhas de pequeno rejeito (ALHEIROS *et al.*, 1988).

Alguns trabalhos mais recentes consideram uma possível influência da neotectônica nos mecanismos deposicionais da Formação Barreiras. Borges e Moraes Filho (2002), com base em relações estratigráficas, acreditam que a Formação Barreiras eles tenham sido depositados em sistema fluvial entrelaçado e leques aluviais.

Essa movimentação crustal e a alternância faciológica indicam, uma certa instabilidade tectônica na área, durante o período deposicional dos sedimentos, considerando, portanto, o neotectonismo um elemento importante para o estudo da Formação Barreiras (BORGES e MORAES FILHO, *Op. Cit.*).

Para Nascimento *et al.*, (1981), a Formação Barreiras na área de estudo não apresenta evidências de perturbações tectônicas, mas sim apenas uma leve inclinação em direção ao mar, o que é explicado, em parte, pelo paleorrelevo das rochas do seu substrato.

Para Araújo *et al.* (2005), a associação litofaciológica descrita em seu trabalho é sugestiva de um sistema fluvial do tipo meandrante. A presença de rochas de textura fina, variando de arenitos finos a lamitos, foi relacionada pelos autores a depósitos de planície de inundação.

Shimabukuro e Arai (2001) relacionam a principal fase de deposição da Formação Barreiras a uma queda eustática ocorrida no início do Tortoniano (Neomioceno), um evento global que se relaciona à glaciação da antártica e que veio imediatamente depois da grande transgressão marinha do Mesomioceno.

Esta queda do nível de base provocaria, consoante os autores o surgimento de uma ampla discordância erosiva ao longo da faixa costeira - a discordância Tortoniana. Esta discordância estende-se para áreas emersas em forma de desconformidade intra-Barreiras, cujo registro se encontra na faixa do norte e sudeste do Brasil (SHIMABUKURO e ARAI, 2001).

De acordo com Arai (2005), o cenário na margem continental brasileira foi dominado pela grande transgressão do intervalo Aquitaniano - Serravaliano (Eomioceno-Mesomioceno), responsável pela acumulação de uma grande quantidade de sedimentos nas áreas hoje emersas do continente.

Voltando ao Nordeste, em trabalho realizado na faixa costeira do Rio Grande do Norte, Barreto *et al.* (2002), apresentam mais um mecanismo deposicional que parece se configurar como significativo nos setores distais dos tabuleiros costeiros: a influência marinha.

Segundo os autores, os depósitos pleistocênicos de intermarés a inframarés afloram na forma de falésias em dois setores do litoral do Estado do Rio Grande do Norte, cada qual

apresentando tipos litológicos e idades distintas, além de apresentarem contatos basais erosivos com a Formação Barreiras e acham-se recobertos por dunas inativas ou ativas.

Os materiais componentes desses terraços marinhos foram depositados num período de transgressão marinha significativo, provavelmente, o último grande evento transgressivo, permitindo assim, que estes depósitos não fossem erodidos pela abrasão marinha ao final desse evento e promovessem a estabilização do nível do mar ao patamar atual (BARRETO *et al.*, 2002).

Barreto *et al.* (2004) trazem um mecanismo deposicional até então, desconsiderado pelos trabalhos anteriores - a influência dos agentes eólicos no retrabalhamento dos sedimentos das camadas superiores dos tabuleiros costeiros.

Relacionando quatro domínios de depósitos eólicos (três de dunas inativas e um depósito de dunas atuais), identificados por datações feitas por termoluminescência, na região costeira potiguar, com variações eustáticas, os autores puderam indicar o retrabalho dos depósitos eólicos; sobretudo os mais antigos (com idades entre 390.000 a 5.700 anos), sugerindo que nessas unidades ocorreram reativações eólicas em função de ampla regressão marinha ocorrida exatamente neste intervalo de tempo (BARRETO *et al.*, 2004).

A queda do nível de base propiciou ao mesmo tempo, o fomento dos mecanismos erosivos nas camadas superiores dos tabuleiros costeiros e a remobilização dos sedimentos erodidos pelos ventos, provavelmente intensificados pelas condições menos úmidas do clima nessa fase (BARRETO *et al.*, 2004).

Desta forma, os autores ressaltam que a contribuição da Formação Barreiras como rocha-fonte deve ter variado em função direta do grau de exposição e dissecação. Desse modo, ela atuou como fonte principalmente em momentos de nível do mar mais baixo de que o atual, durante os períodos glaciais. A maior importância da Formação Barreiras como rocha-fonte imediata nos períodos de nível do mar muito mais baixo do que o atual explica a formação de dunas de coloração mais vermelha e de granulação mais grossa nesses períodos.

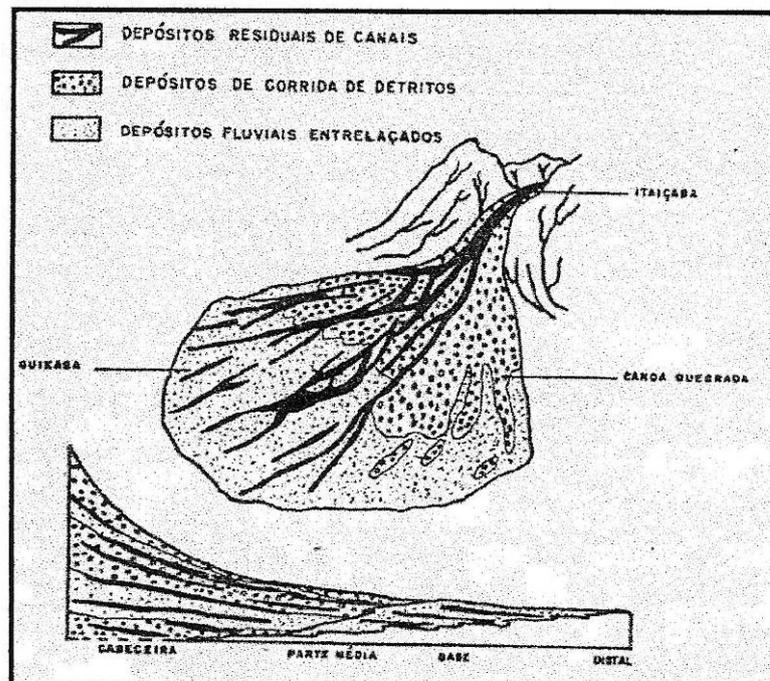
Reforçando este raciocínio, com base em resultados sedimentológicos de Giannini *et al.* (2001), os sedimentos eólicos depositados em contexto de mar baixo foram influenciados pela erosão mais efetiva da Formação Barreiras, em razão do rebaixamento do nível de base. As dunas deste contexto foram formadas com base no retrabalho de areias da planície exposta na regressão marinha.

## 2.6 Ceará

Souza (1973) sugere que a Formação Barreiras sendo um dos depósitos correlativos das superfícies de aplainamento, é mais precisamente a mais recente. A Formação na região do vale do rio Choró, é composto de duas fácies distintas: a fácies argilosa traduz por meio de seus sedimentos, a influência de processos de evacuação gerados sob condições de aridez ou semiaridez, sob a forma de corridas de lama e de areias. A segunda, a fácies arenosa, apesar dos aspectos texturais apresentarem melhor seleção dos sedimentos do que na fácies anterior, o autor indica o mesmo processo deposicional.

Maia (1993) propõe duas etapas deposicionais para a Formação Barreiras. A primeira etapa é formada por um conjunto de leques aluviais de pequena extensão, o que é confirmado pela presença de material mais fino nas zonas mais distais, afastadas das desembocaduras das redes de drenagem.

A segunda, de maior magnitude, foi responsável pela erosão dos sedimentos mais antigos, originados na primeira fase. Nesta segunda fase, o nível do mar estava mais baixo do que durante o evento anterior fazendo com que os sedimentos fossem depositados recobrendo parte da plataforma continental (Figura 4).



**Figura 4** – Desenho Esquemático da Deposição da Formação Barreiras (MAIA, 1993).

Os depósitos dessa etapa consistem de um conjunto de fácies de leques aluviais formados por depósitos residuais de canais e de corrida de detritos (fácies proximal) sobreposto por um sistema fluvial entrelaçado (fácies mediana/distal) (Figura 4) (MAIA, 1993).

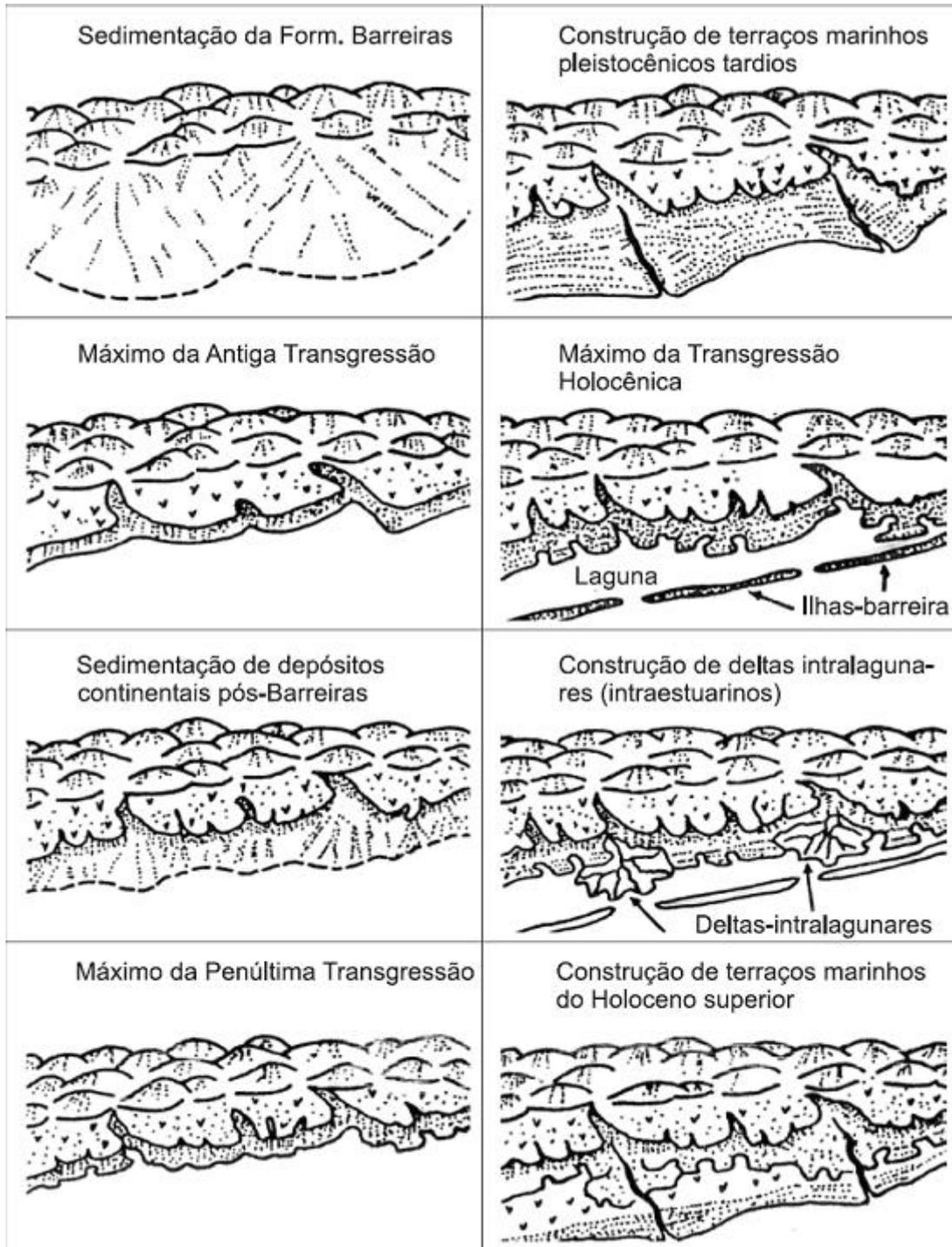
Segundo Maia, *op.cit.*, a fácies proximal dos leques aluviais originam-se de depósitos residuais de canais, ocorrendo na margem esquerda do rio Jaguaribe, na forma de terraços alongados acima no nível atual do rio. Sua espessura, de 8 metros, apresenta-se no local em contato erosivo com o embasamento aflorante, leito atual do Rio.

O início da deposição da Formação Barreiras, feita sob leques aluviais, foi ainda controlado pelas falhas antigas que controlaram o curso da drenagem da bacia Potiguar. Os depósitos proximais entulharam os vales, os depósitos medianos e distais, extravasados os "limites da drenagem principal, gerando uma série de canais menores divergentes (MAIA, 1993).

Em relação à fácies proximal, mais especificamente aos depósitos originados por corrida de detritos, o autor afirma que o conteúdo mineral destes depósitos indica, principalmente, que rochas metamórficas com associações envolvendo cianita, fácies anfíbolito (embasamento), foi a fonte para este mineral, e o transporte ocorreu sob condições de clima de árido a semiárido, preservando, assim, os minerais instáveis de uma alteração significativa. O mineral de argila predominante é a caulinita, que, segundo o autor, aparece bem cristalizada, indicando que o material foi formado em condições continentais ácidas, sob um intemperismo localizado (MAIA, *Op. Cit.*).

O contato inferior é marcado por estruturas sedimentares pré-deposicionais, formado por canais erosionais, seguido de estratificações cruzadas acanaladas e mutuamente truncadas, de portes variados (canais), com intercalações de estratificações cruzadas planas com ângulos variados (barras longitudinais), e níveis de linhas de seixos, que indicam uma paleocorrente no sentido do mar (Maia, *Op. Cit.*).

A deposição final da Formação Barreiras foi interrompida quando o clima passou a adquirir características mais úmidas. Este final, segundo Maia (*Op. Cit.*), concluiu com o episódio transgressivo de idade pleistocênica denominada por Bittencourt (1979), de transgressão mais antiga, e que erodiu a porção mais externa da Formação Barreiras (Figura 5).



**Figura 5** —: Desenho Esquemático das Mudanças Eustáticas do litoral Leste do Brasil (BITTENCOURT *et al.*, 1979).

Após transgressão máxima, e no decorrer da regressão, o clima voltou a adquirir características semiáridas (VILAS BOAS, 1979). Essa retomada de condições climáticas reativou a drenagem propiciando a formação de novos depósitos continentais (MAIA, 1993).

Em suma, as características gerais destas duas fácies indicam para estes depósitos uma

origem ligada a um sistema de leques aluviais. Portanto, as fácies descritas da Formação Barreiras na região de Aracati, por Maia (1993), apresenta grande semelhança com as descritas por Alheiros *et al.* (1988), inclusive com as mesmas condições de evolução sob um clima árido, sujeito a oscilações, consoante observado na Paraíba e em Pernambuco.

O mecanismo da flexura marginal, segundo Peulvast e Claudino-Sales (2000), constitui uma etapa fundamental tanto da evolução dos complexos morfoestruturais que propiciam a diversidade natural na fachada litorânea do Estado, como se ressaltou anteriormente, que parece ter sido encerrada realmente no Terciário Superior ou Neógeno (23,3 - 1,64 M.a), como também ter influenciado na deposição da Formação Barreiras.

Tal fato certamente elevou as porções mais interiores do continente, tornando-o altimetricamente mais elevado que o setor litorâneo, nivelando o segmento costeiro com a superfície do oceano, configurando o suave declive que há do interior do continente em direção ao mar (PEULVAST e CLAUDINO-SALES, *Op. Cit.*).

Desta forma, o mecanismo de flexura marginal também pode ter contribuído para a deposição da cobertura sedimentar Barreiras, por meio da disponibilidade de sedimentos transportados por agentes lineares - cursos fluviais com vazão significativa, com a formação e coalescência de leques aluviais, de porte pequeno, como foi apresentado por Maia (1993), e movimentos de massa, como deslizamentos e corridas de lama (ALHEIROS *et al.*, 1988; CLAUDINO-SALES, 2005).

Carvalho (2003) mostrou em estudos estratigráficos que a Formação Barreiras pode ser interpretada como resultado da deposição um sistema fluvial do tipo meandrante, O que sugere um estágio de maior maturidade do sistema de drenagem nos trechos estudados.

Para os depósitos da Formação Barreiras, também efetuou-se um estudo petrográfico dos materiais litificados. Este estudo revelou que entre os materiais componentes desta formação, o quartzo se destaca como o elemento detrítico principal, correspondendo em média a 87,60%, seguido por feldspatos (8,0%) (CARVALHO, 2003).

Tais resultados só reforçam a concepção de que as áreas-fonte devam se caracterizar nos maciços cristalinos situados nas proximidades da zona costeira, constituídos, sobretudo por granitos, gnaisses e migmatitos, de onde se originam os clastos de quartzo, presentes nas porções mais distais dos tabuleiros costeiros e das areias e argilas predominantes em sua matriz.

Carvalho (2003) ressalta que os aspectos petrográficos observados, relativos principalmente aos fragmentos líticos e caráter dos cristais de quartzo e conteúdo mineral,

indicam que rochas metamórficas com associações envolvendo cianita ( fácies anfíbolito) além de rochas graníticas, devem ter servido como fontes principais de materiais, sendo estes aspectos compatíveis com as características das rochas do complexo gnaiss-migmatítico.

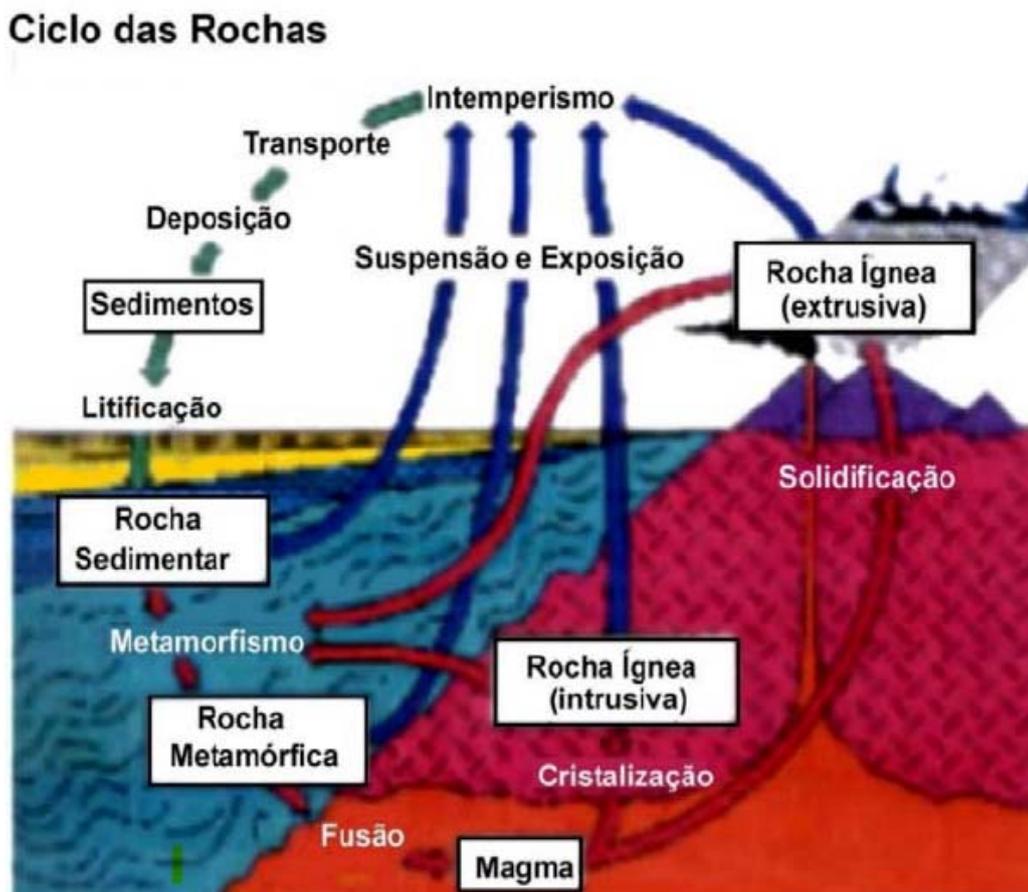
## 2.7 Geoquímica sedimentar

### 2.7.1 Sedimentos

O termo sedimento vem do latim e significa de acordo com uma tradução etimológica literal, deposição ou aquilo que é passível de se depositar (Ribeiro, 2002). A origem do sedimento tem início, de certa forma, no ciclo de transformação das rochas que começa pelo intemperismo (Figura 6), o qual é o conjunto de fenômenos de ordem física e química pelos quais as rochas são expostas ao aflorar na superfície da Terra.

Os sedimentos normalmente são constituídos de uma mistura de minerais com dimensões granulométricas finas, médias e grossas, incluindo argilas, silte e areia, quando se trata de sedimentos de origem detrítica. Para os sedimentos de origem química há uma concentração elevada dos elementos na bacia de sedimentação, permitindo sua precipitação, em virtude da saturação do meio. Sua composição pode variar entre sedimentos compostos exclusivamente de minerais, material orgânico ou de misturas salinas (evaporitos) em graus variados (RIBEIRO, *Op. Cit.*).

Os produtos do intemperismo, rocha alterada e solo estão sujeitos a processos como erosão, transporte e sedimentação. É importante ressaltar entretanto, que os processos intempéricos não envolvem transporte mecânico significativo; dessa maneira, o resultado de uma rocha intemperizada não é ainda um sedimento, mas um manto de alteração *in situ*, no qual se inclui uma camada superior de solo, constituído pelo que se pode chamar de “partículas” da rocha-mãe e do próprio solo. A partir do momento em que esta partícula começa a sofrer transporte mecânico em superfície, ela passa a constituir uma partícula sedimentar (que em Geologia é sinônimo de grão) (GIANNINI e RICCOMINI, 2000).



**Figura 6** - Processos envolvidos no ciclo de alteração das rochas e formação dos sedimentos (PELLEGATI, 2000).

Com a formação dos sedimentos, estes poderão permanecer no local e originar os sedimentos autóctones ou poderão ser transportados por diferentes agentes da natureza, com modificação na forma e nas dimensões iniciais, originando os sedimentos alóctones.

Durante esta movimentação, as partículas de maiores dimensões são depositadas a distâncias menores da origem e as partículas com dimensões menores são transportadas para locais mais distantes de sua origem. Além disso, durante esta movimentação, será sempre possível que sedimentos formados de rochas diferentes sejam englobados e depositados no mesmo conjunto, alterando assim sua composição inicial. (NOGUEIRA, 1988).

### 2.7.2 Elementos-traço nos sedimentos

A expressão elemento-traço é usado para definir metais catiônicos e oxiânionicas normalmente presentes em baixas concentrações no ambiente, ordinariamente menores

que 1 mg/kg (ppm) (PIERZYNSKI *et al.*, 1994; SPARKS, 1995). A dicção é preferida em diversas publicações que tratam desse assunto (MCBRIDE, 1994; SPARKS, 1995; STUMM e MORGAN, 1996; HAYES e TRAINA, 1998; KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001), em detrimento da expressão *metal pesado*, a qual nunca foi definida por nenhum órgão oficial na área de química (p.e., IUPAC), tendo perdido seu sentido (DUFFUS, 2001).

Dependendo da forma como o metal se liga ao sedimento, é possível detectar se ele se acumula ou é liberado para o meio (FÖRSTNER, 1984). A fração metálica mais fortemente ligada ao retículo cristalino dos minerais no sedimento é considerada como inerte, de forma que os elementos-traço não são solubilizados para o meio pelos processos físico-químicos comuns. Este caráter de fixação ou remobilização vai definir o tempo de residência dos elementos-traço no sedimento, dependendo do ecossistema considerado.

#### 2.7.2.1 Fontes de elementos-traço

Os elementos-traço, em depósitos de sedimentos recentes, em geral são divididos em duas categorias, de acordo com a sua origem predominante: geoquímica e antrópicas. Elementos-traço como zircônio, rubídio e estrôncio são derivados de material de rochas de processos temporais naturais, constituindo o primeiro grupo. O segundo grupo é formado por elementos-traço que aparecem principalmente como resultado das atividades antrópicas, incluindo, entre outros, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinco, cádmio, mercúrio e chumbo (SILVA, 2002).

Fontes antrópicas contribuem com cerca de 11% (no caso do Mn) a 96% (no caso do Pb) do total das emissões atmosféricas, além de serem responsáveis por adições de até 1,16 milhão de toneladas do metal (caso do Pb) por ano a ecossistemas terrestres e aquáticos (NRIAGU, 1979; NRIAGU e PACYNA, 1988; NRIAGU, 1989).

#### 2.7.2.2 Fontes geoquímicas

A natureza descarrega grandes quantidades de vários elementos sobre o ambiente e seus habitantes. Desde o seu aparecimento o homem interfere nas atividades naturais, dela extraíndo ou nela descartando, alterando as condições naturais. Por outro lado, a natureza também faz descargas por meio das atividades geológicas, intemperismo e vulcanismo (FERREIRA, 2001). No intemperismo, grandes e importantes modificações

são realizadas. Há reações químicas formadoras e ou transformadoras de minerais, às vezes com lixiviação de elementos importantes, que são transportados e podem reagir com outros, formando novos compostos (BARRETO, 1998).

O conteúdo de elementos-traço em sedimentos indica a ocorrência e a abundância de certas rochas ou depósitos minerais nas áreas de drenagem do manancial (RESENDE *et al.*, 2002). Entre os minerais formadores de rochas, destacam-se os silicatos, por sua abundância e diversidade. São exemplos de silicatos o quartzo, os feldspatos, os piroxênios, os anfibólios, as olivinas, as micas e os argilominerais (LEMES *et al.*, 2003).

Os elementos-traço de origem natural ocorrem principalmente como componentes traços de minerais detríticos. Esses podem originar-se da erosão das planícies aluvionares e do solo contendo elementos-traço (RIBEIRO, 2002).

O elevado grau de variação de metais nos sedimentos pode ser um indicativo de que o local estudado teve aporte de metais a partir das rochas. O enriquecimento natural de metais nos sedimentos pode causar efeitos nocivos à vida dos organismos vivos (ALLOWAY e AYRES, 1997).

### 2.7.2.3 Fontes antrópicas

São as fontes oriundas das atividades humanas. As concentrações de elementos-traço irão variar em função da geologia local em decorrência de alterações antrópicas. Sabe-se, entretanto, atividades humanas vêm aumentando os níveis de íons metálicos em muitos dos ecossistemas aquáticos naturais. Mineração, efluentes domésticos e industriais, drenagens urbanas e agricultura, resíduos sólidos acondicionados de maneira inadequada, emissão de poluentes atmosféricos, entre outros, são atividades responsáveis por esse crescimento inevitável (SAMANIDOU e FYTIANOS, 1990).

O uso de produtos agrícolas, como fertilizantes e pesticidas, podem ser importantes fontes antrópicas de elementos-traço como Cd, Cr, Mo, Pb, U, Zn, Cu, As, Hg e Mn (FERREIRA, 2001).

Outras fontes antrópicas de emissão de elementos-traço são as baterias, tintas e pigmentos, catalisadores, estabilizadores de polímeros, impressão gráfica, ligas dentárias, drogas medicinais, aditivos de combustíveis e lubrificantes, efluentes industriais e domésticos (FERREIRA, *Op. Cit.*).

Nas jazidas a concentração de metais é em geral alta com sua exploração sendo economicamente viável. A valorização dos metais também causou a exploração de locais

com teores metálicos mais baixos e que requerem a exploração numa extensão de área bem maior. Isto provoca um impacto ambiental maior, pois há necessidade de uma área muito maior para estocar grandes quantidades de rejeitos (FERREIRA, 2001). Estes ficam sujeitos às intempéries, tornando-se assim uma importante fonte de elementos-traço no ambiente. Os elementos-traço de origem antrópica, uma vez descarregados em águas superficiais, são associados ao material particulado ou transportados nas formas dissolvidas e eventualmente, coloidais. (RIBEIRO, *Op. Cit.*).

Os rios podem ser considerados a principal fonte de sedimentos para o ambiente costeiro (SALOMONS *et al.*, 1988; LACERDA, 1994), que são importantes carreadores de elementos pesados e traços (SALOMONS e STIGLIANI, 1995). Considerando que a hidrodinâmica exerce uma seleção progressiva dos sedimentos em respeito à composição e ao tamanho, o entendimento apropriado desse fenômeno não é apenas essencial para a sedimentologia, mas também para previsões do comportamento dos elementos ligados aos sedimentos, como os metais pesados (SALOMONS *et al.*, 1984).

Sob o ponto de vista do transporte de sedimentos, pode-se dizer que existem dois grupos distintos de sedimentos, os sedimentos arenosos e os finos – silte e argila (relação descrita pelo diagrama de Hjulstrom - vide item anterior). O termo argila é aplicado a todas as partículas com diâmetro inferior a 0,004 mm, segundo Wentworth (1922; apud SUGUIO, 1982), ou inferior a 0,002 mm, segundo Folk e Ward (1957). A grande área superficial das argilas, em função do seu diâmetro reduzido, contribui enormemente para a adsorção e subsequente sedimentação de elementos de origem natural ou antrópica em ambientes aquáticos (GIBBS, 1977; FISHER *et al.*, 1982; SALOMONS e FORSTNER, 1984).

Sendo assim, a granulometria tem papel fundamental no estudo de contaminação ambiental. Förstner e Salomons (1980) apresentam uma compilação de métodos diferentes de correção do efeito granulométrico na avaliação de contaminação ambiental por metais e substâncias orgânicas. Esses métodos reduzem mas não eliminam o efeito “diluição” da fração sedimentar amplamente inerte sob o ponto de vista químico e pobre em metais (basicamente as partículas de quartzo, carbonato e feldspatos). Além disso, esses métodos de correção do efeito granulométrica magnífica a influência das substâncias ativas no enriquecimento de metais (como sulfetos, sílica amorfa e matéria orgânica) nos sedimentos.

A composição mineralógica juntamente com as características texturais dos sedimentos, revelam muito sobre a origem e o transporte desse material, pois é função direta do

intemperismo das rochas matrizes pré-existentes na bacia de drenagem. A natureza e a efetividade dos processos de intemperismo dependem principalmente das condições climáticas, das propriedades das rochas matrizes, da vegetação e do lençol freático (SUGUIO, 1982; SALOMONS e FORSTNER, *Op. Cit.*).

Rochas sedimentares mostram maior diversidade em composição do que rochas ígneas, pois são produtos de amplos processos de fracionamentos químicos e/ou mecânicos (SUGUIO, 1982). Cerca de 150 espécies de minerais têm sido identificadas nas rochas sedimentares, entretanto, muitas dessas são raras e apenas 20 espécies (aproximadamente) compõem 99% dos sedimentos e rochas sedimentares (KRYNINE, 1948; *apud* SUGUIO, 1982). Os minerais podem ser classificados em terrígenos(ou químicos) e autigênicos. Os minerais terrígenos são derivados do intemperismo de rochas matrizes e compreendem 60-80% dos sedimentos. O quartzo é o mineral terrígeno de maior frequência relativa (35-50%), seguido nos minerais de argila (25-35%), cujos representantes principais são montmorilonita, illita, caulinita e clorita. Os minerais químicos e autigênicos são precipitados no ambiente deposicional e abrangem cerca de 20-40% dos sedimentos. A calcita é o mineral autigênico mais comum nos registros sedimentares, seguido da opalina e dos sulfetos.

A composição dos solos é influenciada pelas diferentes fontes primárias e o percentual relativo de cada uma dessas rochas deve ser levado em consideração. Bowen (1979; *apud* SALOMONS e FÖRSTNER, 1984) observou grande similaridade na composição média de rochas ígneas e sedimentares: 75% folhelho + 15% calcário + 11% arenito.

Rochas argilosas, essencialmente argilominerais (além de matéria orgânica detrítica fina e óxidos hidratados de Fe) constituem aproximadamente 75% de todos os sedimentos e dominam a composição média de rochas sedimentares (colunas 2 e 3 da Tabela 1). Exceto pela perda de Na, o incremento de K e Li, e o característico enriquecimento de As, Sb e Hg na composição de folhelhos, as rochas sedimentares são similares aos dados médios da crosta terrestre (coluna 1). O forte enriquecimento de Sn, As, Sb e Se é explicado pela grande capacidade de adsorção dos sedimentos; os hidróxidos de Mn, que na forma de colóides são negativamente carregados (enquanto que hidróxidos de Fe geralmente exibem colóides positivamente carregados) adsorvem preferencialmente cátions como Ba, Zn, Ni, Cu, Pb, Co e Mo (MANSON, 1966; *apud* SALOMONS e FORSTNER, 1984). Esse mecanismo provê uma explicação para o acréscimo de elementos observados nas argilas de oceano profundo (coluna 4) comparada com os níveis do folhelho.

Os sedimentos argilosos costeiros (coluna 5; Tabela 1) constam do “Handbook of Geochemistry” (WEDEPOHL, 1969; 1972; 1974; 1978; *apud* SALOMONS e FORSTNER, (1984); uma comparação desses valores com os valores de folhelhos (coluna 3) mostra discrepâncias consideráveis para Cr, Ni, Co e Cu, especialmente para elementos derivados de rochas máficas. Uma estimativa de média fluvial da composição de material particulado em suspensão (coluna 6) é baseada na análise de material dos rios Amazonas, Congo, Ganges, Magdalena, Mekong, Paraná e Orinoco (MARTIN e MEYBECK, 1979; *apud* SALOMONS e FORSTNER, 1984), aos quais foram adicionados dados da literatura de outros 13 grandes rios mundiais, cobrindo toda a gama de feições morfoclimáticas. Os dados são similares aos valores de folhelhos, exceto para Zn, Cu e Pb, de onde efeitos antrópicos na composição do material fluvial não podem ser excluídos.

**Tabela 1** – Composição elementar da crosta terrestre e sedimentos (elementos maiores em %; elementos menores e traços em µg/g (modificado de SALOMONS e FÖRSTNER, 1984).

Elementos	Crosta Terrestre	Sedimentos	Folhelhos	Argila de Oceano Profundo	Sedimentos Costeiros	Sedimentos Fluviais em suspensão	Arenito	Calcário
Si	27.7%	24.5%	27.3%	25.0%	25.0%	28.5%	32.7%	3.2%
<b>Al</b>	<b>8.2%</b>	<b>7.2%</b>	<b>8.0%</b>	<b>8.4%</b>	<b>8.4%</b>	<b>9.4%</b>	<b>4.3%</b>	<b>0.7%</b>
<b>Fe</b>	<b>4.1%</b>	<b>4.1%</b>	<b>4.7%</b>	<b>6.5%</b>	<b>6.5%</b>	<b>4.8%</b>	<b>2.9%</b>	<b>1.7%</b>
Ca	4.1%	6.6%	2.2%	2.9%	2.9%	2.2%	3.1%	34.0%
Mg	2.3%	1.4%	1.5%	2.1%	2.1%	1.2%	1.2%	0.6%
Na	2.3%	0.6%	1.0%	4.0%	4.0%	0.7%	1.0%	0.1%
K	2.1%	2.0%	2.7%	2.5%	2.5%	2.0%	1.5%	0.3%
Ti	0.6%	0.4%	0.5%	0.5%	0.5%	0.6%	0.4%	0.03%
P	1000	670	700	1500	550	1150	440	700
<b>Mn</b>	<b>950</b>	<b>770</b>	<b>850</b>	<b>6700</b>	<b>850</b>	<b>1050</b>	<b>460</b>	<b>620</b>
Ba	500	460	580	2300	-	600	320	90
Sr	370	320	140	110	160	150	320	610
Zr	190	150	160	150	240	-	220	20
V	160	105	130	120	145	170	20	45
Cr	100	72	90	90	60	100	35	11
Ni	80	52	68	250	35	90	9	7
Zn	75	95	95	165	92	350	30	20
<b>Cu</b>	<b>50</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>250</b>	<b>56</b>	<b>100</b>	<b>30</b>	<b>5.1</b>
Co	20	14	19	74	13	20	0.3	0.1
Li	20	56	66	57	77	25	38	7.5
Sr	16	10	13	19	12	18	1	1
<b>Pb</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>80</b>	<b>22</b>	<b>150</b>	<b>10</b>	<b>5.7</b>
Cs	3.0	4.2	5	6	-	6	0.5	0.5
Be	2.6	2	3	2.6	3	-	<1	1
U	2.4	3.1	3.7	1.3	-	3	0.5	2.2
Sn	2.2	4.6	6.0	1.5	2	-	0.5	0.5
Mo	1.5	2.0	2.6	27	1	5	0.2	0.2
As	1.5	7.7	13	13	5	-	1	1
Tg	1.0	1.7	1.8	1.1	-	2.5	1.6	0.6
Sb	0.2	1.2	1.5	1.0	-	1	0.05	0.3
Cd	0.11	0.17	0.22	0.42	-	-	0.05	0.03
Ag	0.07	0.06	0.07	0.11	-	-	0.25	0.12
Hg	0.05	0.19	0.18	0.08	-	-	0.29	0.16
Se	0.05	0.42	0.06	0.17	-	-	<0,01	<0,03

Comparados aos valores de folhelhos, o conteúdo de elementos-traços nos arenitos (coluna 7; Tabela 1) é mais ou menos diluído. Isso decorre das baixas concentrações de elementos-traços observadas em quartzo e feldspato. Um pequeno decréscimo relativo é observado nos conteúdos de Mn, Ba, Cu, Pb, W e Ag que chegam a ser três vezes menores do que os valores de folhelhos. Em contraste, o conteúdo de elementos-traços como Sr, Ni, Co, As, Be, Mo, Sb e Hg, em arenitos, é pelo menos dez vezes menor do que seus respectivos

valores em folhelhos (SALOMONS e FORSTNER, 1984). Isso enfatiza o efeito granulométrico que deve ser levado em consideração quando se comparam diferentes amostras.

A maioria das rochas calcárias (coluna 8; Tabela 1) também mostra um efeito da diluição de elementos, quando comparada com os conteúdos em folhelhos. Apenas Mn e Sr apresentam maiores concentrações; há pouca diferença nos valores de Pb, U, W e Ag. A concentração de Cr, Li, Cu, As, Be, Hg e Cd, em contraste, é bastante reduzida, apresentando aproximadamente um décimo do conteúdo em folhelhos (SALOMONS e FORSTNER, 1984). Outra grande redução é observada na concentração de Co em calcário (apenas 1/200 do respectivo conteúdo em rochas argilosas).

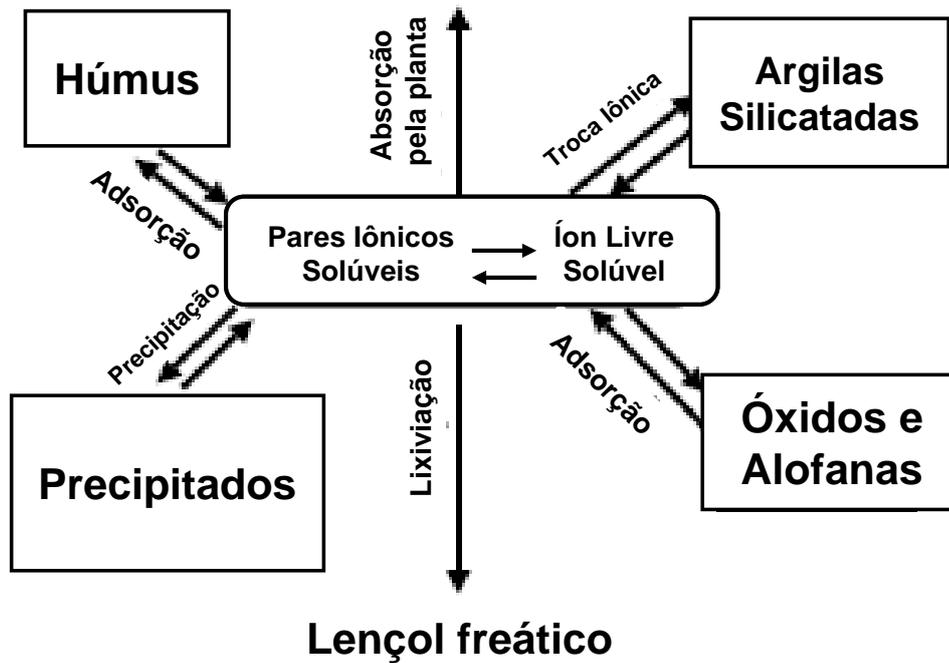
A exposição de depósitos metálicos ou rochas específicas enriquecidas com determinados metais ao intemperismo produz concentrações naturalmente maiores nos diversos compartimentos ambientais adjacentes (atmosfera, água, sedimento, biota - SALOMONS *et al.*, 1988), o que, no entanto, não caracteriza uma contaminação ambiental. Além disso, é importante lembrar que os processos naturais de intemperismo podem ser intensificados por efeitos antrópicos como, por exemplo, chuva ácida e desmatamento (FORSTNER e WITTMANN, 1981). De um modo geral, as atividades industriais e domésticas, que liberam metais pesados para o meio ambiente se tornaram equivalentes, e em muitos casos, superiores às fontes naturais de metais em escala local, regional e até global (SALOMONS e FORSTNER, *Op. Cit.*).

A concentração regional natural de um elemento é definida como nível de referência ou nível de base (concentração background) e sua determinação analítica requer amostras isentas de interferências antrópicas (SALOMONS e FORSTNER, *Op. Cit.*). Uma abordagem geoquímica amplamente aplicada na definição do fator de enriquecimento em relação aos níveis de base é a normalização da concentração metálica nos sedimentos pela concentração do elemento considerado num material de referência, como a composição média do folhelho ou da crosta terrestre (SALOMONS e STIGLIANI, 1995). Segundo Sinex e Helz (1981) e Covelli e Fontollan (1997), esse procedimento não é eficiente em situações mais complexas de grande variabilidade granulométrica.

Vale ressaltar que embora os teores totais de elementos-traço nativos no solo sejam reflexos, dentro de certas limitações impostas pelo grau de intemperismo, da composição química do material de origem, a sua determinação não é normalmente e grande utilidade

quando se quer entender os processos que afetam a ciclagem e a biodisponibilidade desses elementos (MCBRIDE, 1994).

As reações que controlam a disponibilidade de elementos-traço em solos compreendem *adsorção* e *desorção*, *precipitação* e *dissolução*, e *complexação* (BARROW, 1989). A figura 7 ilustra resumidamente os processos que governam a solubilidade, disponibilidade e mobilidade de elementos no solo.



**Figura 7** - Processos interativos que governam a solubilidade, disponibilidade e mobilidade de elementos nos solos. Fonte: McBride (1994).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Esta dissertação tem como objetivo estabelecer caracterização sedimentológica e geoquimicamente dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará, visando linear parâmetros para aprimoramento dos conhecimentos científicos que margeiam a zona costeira, cearense dando maior ênfase aos sedimentos que compõem os Tabuleiros.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Mapear os Tabuleiros Pré-Litorâneos por intermédio de interpretações com sensoriamento remoto (SRTM, LANSAT 7 e 5);
- analisar granulometricamente as amostras;
- determinar o teor de metais (Cu, Pb, Fe, Mn e Al) nos Tabuleiros Pré-Litorâneos; e
- correlacionar, interpretar e definir os parâmetros sedimentológicos e de sensoriamento remoto para a diferenciação dos Tabuleiros.

## 4 ÁREA EM ESTUDO

### 4.1 Localização e Acesso

A área em estudo está localizada na região Nordeste do Brasil, precisamente na região costeira do Estado do Ceará, delimitada ao noroeste pelo Estado do Piauí e a sudeste pelo Estado do Rio Grande do Norte. A área abrange 22 municípios, situados no litoral oeste (Costa do Sol Poente) e litoral leste (Costa do Sol Nascente), tendo como ponto de partida a capital do Estado, Fortaleza (Figura 8). Suas principais vias de acesso são as BR-116 e CE-040, que ligam a Capital ao litoral leste, e a BR-222 e a CE-083, que liga ao litoral oeste.

Os municípios do Litoral Oeste, desde o Estado do Piauí até o Município de Fortaleza são respectivamente:

- Barroquinha;
- Camocim;
- Jijoca de Jericoacoara;
- Cruz;
- Acaraú;
- Itarema;
- Amontada;
- Itapipoca;
- Trairi;
- Paraipaba;
- Paracuru;
- São Gonçalo do Amarante;
- Caucaia.

E pelo litoral leste tem-se:

- Icapuí;
- Aracati;
- Fortim;
- Beberibe;
- Cascavel;
- Pindoretama;
- Aquiraz;
- Eusébio.

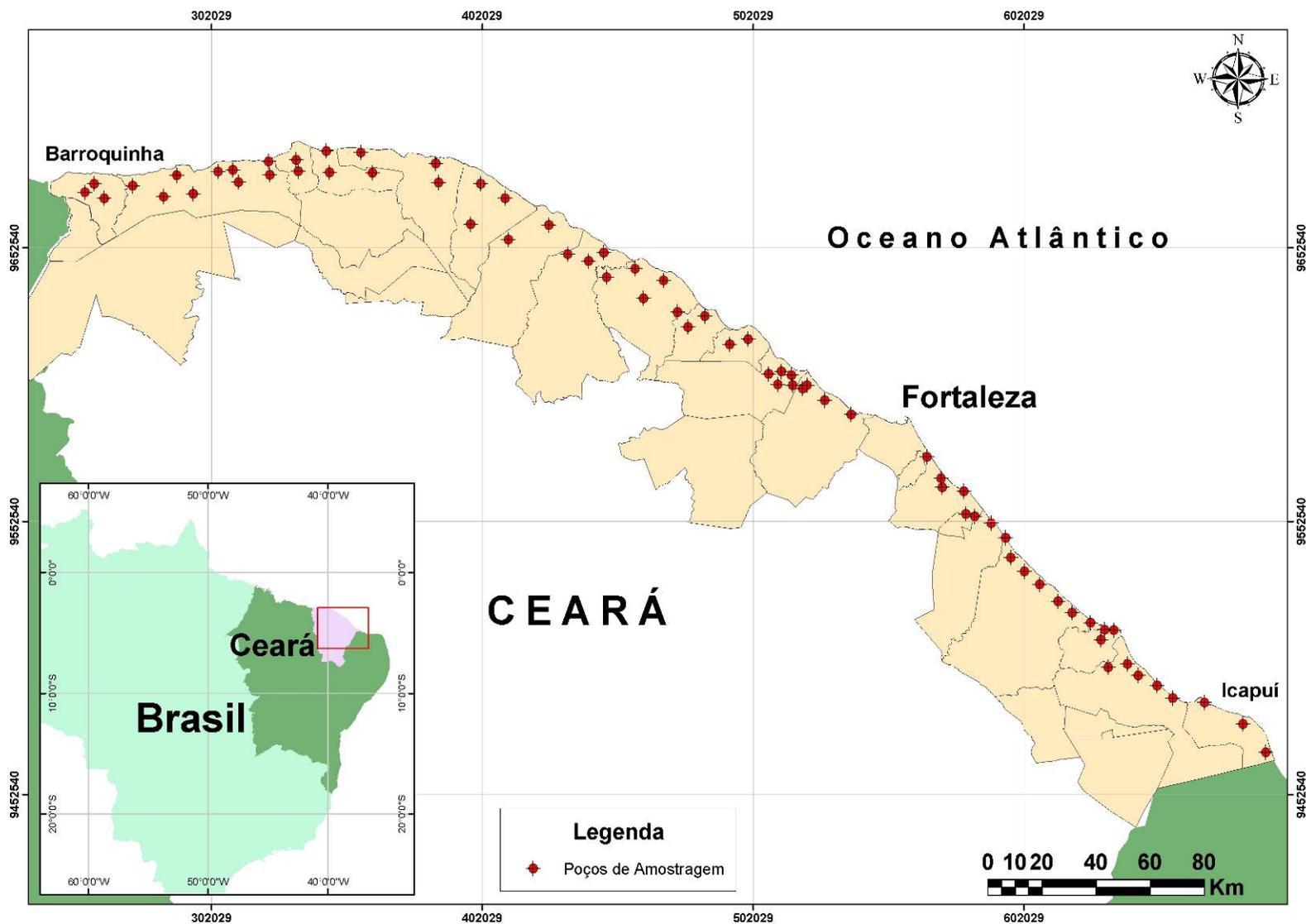
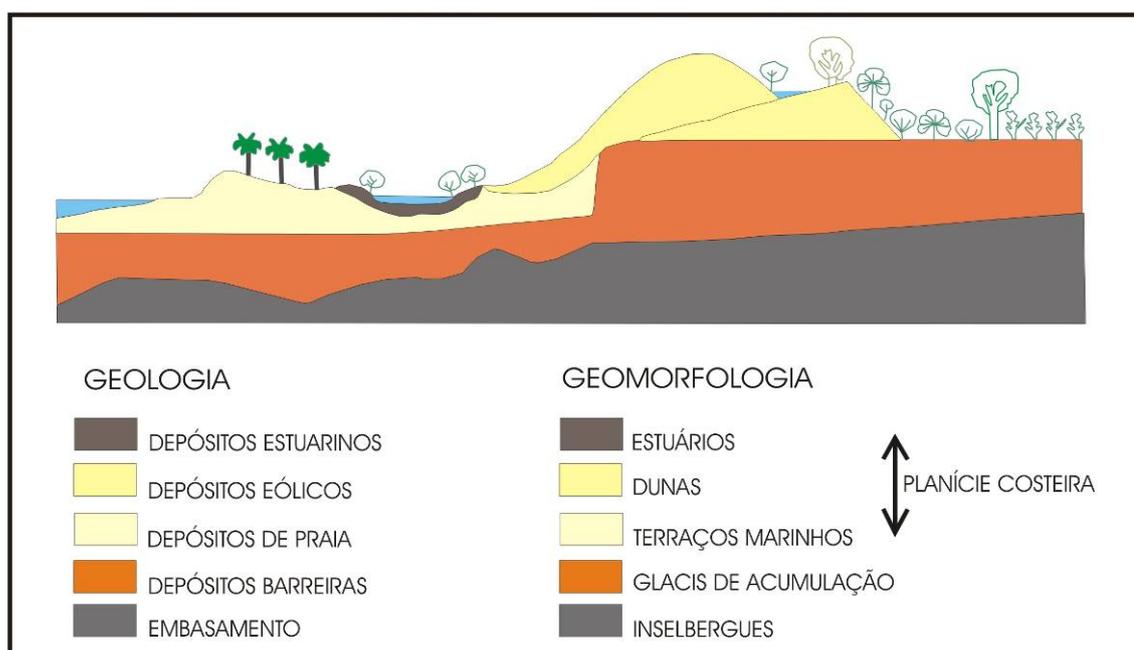


Figura 8 – Localização da área de estudo e dos pontos amostrados.

## 4.2. Geologia Regional

### 4.2.1. Introdução

A geologia da área é composta por um empilhamento estratigráfico da base para o topo, composta de rochas Pré-Cambrianas, sedimentos Plio-Pleistocênicos e Quaternários (Figura 9).



**Figura 9** – Esquema da geologia e geomorfologia costeira na área de estudo. Fonte: Modificado de Maia, 1998.

### 4.2.2 Embasamento Pré-Cambriano

Brito Neves (1981) diz que o embasamento regional da porção norte do Estado do Ceará insere-se em sua maior parte no contexto geológico/geotectônico da faixa de dobramentos jaguaribeana.

Os estudos sobre esta entidade são muito fragmentados para o estabelecimento de uma litoestratigrafia inquestionável de suas unidades pré-cambrianas, e alguns autores atribuem a essa faixa uma idade proterozóica inferior, enquanto outros advogam uma evolução no Ciclo Brasileiro. Existe ainda a terceira corrente que admite a presença de sequências do Proterozóico Inferior sotoposta as do Proterozóico Superior, deformadas conjuntamente no Ciclo Brasileiro (BRANDÃO, 1995).

Caby & Arthaud (1986) assumem que o embasamento regional está representado pelo Grupo Ceará, sendo constituído por dois conjuntos litológicos. O primeiro, com uma idade arqueana, é constituído de xistos e gnaisses de composição tonalítica e granodiorítica, em que

o bandamento magmático é algumas vezes preservado, e por alguns remanescentes de anfíbolitos e metassedimentos. Em áreas que não apresentam grandes deformações, as relações estruturais indicam que os granitos foram intrudidos após os dioritos e tonalitos, e que os anfíbolitos são derivados de antigas seqüências residuais de *Greenstone Belts*.

O segundo conjunto é representado por rochas de idade proterozóica, consistindo essencialmente de metaquartzitos aluminosos e uma grande expressão de mármore e calciossilicáticas que determinam horizontes mapeáveis intercalados com rochas pelíticas. Também é comum a presença de rochas alcalinas, subalcalinas e gnaisses sieníticos, apresentando acamamento migmatítico de pequena escala.

Segundo Campos *et al.* (1979 in CABY & ARTHAUD 1986), todas as estruturas foram geradas por uma tectônica extensional e que envolvem tanto as rochas do embasamento arqueano como as unidades proterozóicas.

Segundo Carvalho (2003), as cristas ou promontórios (zonas altas do litoral) são coincidentes com os eixos das estruturas do tipo antiformal ou zonas altas do interior, enquanto as feições sinformais ou rebaixadas podem ser associadas aos embainhamentos na linha de costa.

Os gnaisses apresentam uma ocorrência mais localizada dentro do pacote, identificados por uma coloração cinza, bandamento fino e composição mineralógica de quartzo, feldspato e mica como elementos essenciais, tendo como acessórios zircão e turmalina.

#### 4.2.3 Terciário

O terciário está representado pelos sedimentos da Formação Barreiras, amplamente distribuídos ao longo da faixa costeira brasileira, representando uma das unidades mais importantes do Tércio-Quaternário. De forma geral, seu estudo, muitas vezes embasado em exageros estratigráficos, produziu uma extensa fonte bibliográfica, no entanto, não produziu até então uma conceituação consistente, para estabelecer critérios identificativos seguros, fazendo com que a Formação Barreiras até hoje constitua um assunto controverso e atual (CARVALHO, *Op. Cit.*).

Os primeiros estudos na região em referência à Formação Barreiras foram feitos por Kegel (1957), que dividiu esta unidade em Formação Infra-Barreiras e Barreiras. Pesquisas efetuadas pela SUDENE – ASMIC (1967 in MAIA, 1993) nos sedimentos posicionados na base do rio Jaguaribe mostram que os mesmos são definidos como eluviões e

paleocascalheiras fluviais do rio Jaguaribe, denominados de Formação Barreiras e posteriormente agrupados como pertencentes à Formação Guararapes, definida por Campos *et al.* (1971).

No mapa geológico do Estado do Ceará (DNPM, 1983), os depósitos da Formação Barreiras são definidos como Grupo Barreiras e Formação Faceira. Andrade (1986 *in* MAIA, 1998), em pesquisas feitas na região costeira de Icapuí-CE, definiu as falésias ali existentes como Formação Guararapes do Grupo Barreiras. Durante o mapeamento da Bacia Potiguar, os depósitos foram definidos como terraços fluviais Tércio-Quaternários, associados à Formação Barreiras (FORTES, 1987 *in* MAIA, 1993).

Segundo Brandão (1995), a existência de trabalhos sobre a Formação Barreiras na área é ainda precária, em geral as bibliografias fazem apenas uma abordagem genérica dos depósitos.

Os depósitos da Formação Barreiras distribuem-se ao longo da costa como uma faixa de espessura variável, dispostos a retaguarda dos sedimentos eólicos antigos e atuais; por vezes, afloram na linha de praia, formando as falésias vivas, como as encontradas na praia de Canoa Quebrada, Município de Aracati, litoral leste.

Sua espessura também é bastante variável em função do seu relacionamento com a superfície irregular do embasamento, sobre o qual repousa em discordância erosiva angular, aprofundando-se em direção à costa, onde se encontra abaixo dos sedimentos eólicos que constituem as paleodunas (BRANDÃO, 1995).

Segundo Maia (1998), nas faixas onde o embasamento está e mais próximos da linha de costa, os depósitos são formados predominantemente por fácies de leques aluviais, enquanto que na situação de maior distanciamento domina os depósitos fluviais.

Em seções estratigráficas realizadas por Carvalho (2003.) nas localidades de Taíba, Paracuru e Lagoinha, o autor expressa que a Formação Barreiras pode ser interpretada como resultado da deposição em um sistema fluvial do tipo meandrante, o que sugere um estágio de maior maturidade do sistema de drenagem. Nestas seções, a Formação Barreiras pode ser definida como uma sucessão de camadas aluviais estratificadas, limitadas predominantemente por contatos gradacionais, muito embora contatos bruscos também estejam presentes. Este aspecto é marcado pela presença de canais constituídos por material cascalhoso, alternando com camadas areno-argilosas e argilosas.

#### 4.2.4 Quaternário

A planície costeira do Estado do Ceará está vinculada diretamente com flutuações do nível do mar durante o Quaternário, as quais controlaram a distribuição das areias, a posição e intensidade da deriva litorânea e, como consequência o nível de erosão/deposição e, por último, a disponibilidade de material para a formação dos depósitos eólicos (MEIRELES & MAIA, 1998).

As principais unidades quaternárias que compõem a área de estudos são: depósitos de praias, dunas, rochas de praia (*beach rocks*) e depósitos fluviomarinhos.

##### 4.2.4.1 Depósitos de Praia

Os depósitos de praias são formados predominantemente por areia média, constituída por grãos de quartzo. Em virtude de modificações espaciais e temporais as características granulométricas tendem a variar em função do estágio evolutivo da costa (areia grossa a fina), podendo ocorrer ocasionalmente a presença de cascalhos próximos a desembocaduras de grandes rios, matéria orgânica e minerais pesados.

Pesquisadores australianos (Wright *et.al.*, 1979; Short & Hesp, 1982 e WRIGHT & SHORT, 1984) classificaram as praias em seis estados morfodinâmicos, associados a diferentes regimes de onda e caracterizados por dois estados extremos (dissipativo e refletivo) e quatro estados intermediários.

O estado dissipativo é caracterizado por larga zona de surfe, exibindo baixo gradiente topográfico da praia e elevado estoque de areia. Ocorre sempre em condições de ondas altas e de elevada declividade ou na presença de areias de granulometria fina; o estado refletivo caracteriza-se por uma berma íngreme, com uma crista plana ou suavemente inclinada rumo ao continente. Apresenta baixa energia de onda e elevados gradientes de praia. Os sedimentos que a compõem são grossos (cascalho e areia); os estados intermediários variam por meio de estados morfológicos distintos, em função de cada estado morfológico da praia, forma e volume da areia disponível sobre ela (WRIGHT & SHORT, *Op. Cit.*).

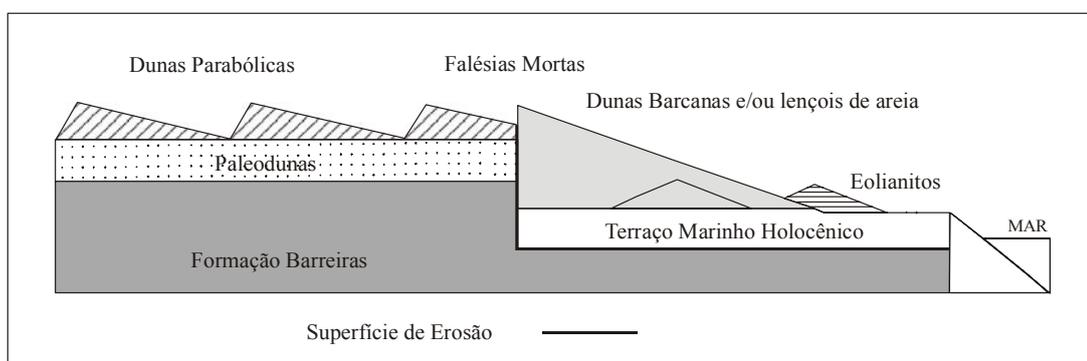
Nas praias, encontram-se principalmente areias quartzosas, apresentando-se de média a moderadamente selecionadas com granulometria média e fina em sua maioria, aparecendo também areias grossas sob a forma de pequenas faixas onde sua concentração está associada a trechos em erosão ou aprisionadas por barreiras naturais formadas por “beach rocks”. Essas

areias apresentam coloração creme ou cinza, com grãos subarredondados a arredondados e esfericidade variando de média a alta.

#### 4.2.4.2 Depósitos Eólicos

Na zona costeira do Estado do Ceará, foram definidas várias gerações de dunas que se distribuem de maneira contínua ao longo de seu litoral.

Maia (1998), tomando como referência relações estratigráficas, diferenciou quatro gerações de dunas (Figura 10).



**Figura 10** – Relações estratigráficas entre as gerações de dunas no Ceará. Fonte: Maia, 1998.

#### 1º Geração: paleodunas

Foi identificada como um depósito eólico (paleodunas) sem forma definida e que se encontra em contato direto com os sedimentos da Formação Barreiras.

Constituem-se de areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosa, com tons amarelados, alaranjados e acinzentados, de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspática. Normalmente são sedimentos inconsolidados, sendo que em alguns locais podem apresentar certo grau de compactação. Apresentam por vezes estratificações planoparalelas e cruzadas, ocorrendo também níveis pelíticos de espessura centimétrica intercalados no pacote arenoso, os quais podem ser interpretados como depósitos em ambiente úmido correspondente a áreas baixas de interdunas (BRANDÃO, 1995).

As paleodunas ocorrem normalmente á retaguarda das dunas móveis e que se encontram fixadas por densa vegetação que impede a remobilização pela atividade eólica.

A cobertura vegetal não é o único indicativo da existência de paleodunas pois, outros critérios tais como: morfológico, sedimentológico/estratigráfico e biológico - devem ser

previamente aplicados na sua caracterização (THOMAS & SHAW, 1991 *in* BARRETO, 1993).

As paleodunas são a geração de dunas litorâneas mais antigas do litoral cearense. Elas têm os grãos de areia rejuntados pelo cimento ferruginoso, daí sua coloração vermelha. As expressões mais notáveis do ponto de vista cênico correspondem às formações das falésias de Canoa Quebrada (Leal, 2003), embora ocorram no topo das falésias de Ponta Grossa e Morro Branco, também em Paracuru, Baleia, Trairi, Preá e Tatajuba. Na maioria das vezes, elas estão erodidas e recobertas por dunas mais recentes.

## **2º Geração: dunas parabólicas**

Consistem de dunas parabólicas inativas, fixadas por vegetação do tipo arbórea, bastante intensa, compostas de areias quartzosas inconsolidadas de granulometria de média a fina, com grau de seleção entre bem a moderadamente selecionado. Morfologicamente, vista em planta, as dunas parabólicas exibem uma forma de U ou V, com alturas entre 20 e 40 metros, comprimento entre 1.200 a 2.000 metros e uma largura variável, normalmente em torno de 320 a 460 metros. Para que seja formada, é necessária a estabilização parcial de seus braços pela vegetação ou umidade, fazendo com que sua parte central migre mais rápido que os extremos (Maia, 1998).

No litoral cearense, as dunas parabólicas ocorrem em profusão nas regiões do Iguape, Pecém e Icarai de Amontada. Nesta última localidade é possível observar a seção de uma duna parabólica formada por meio de um *blowout* na estrada que liga Icarai a Moitas, no Aracatiaçu.

Talvez a mais alta duna parabólica fixada por vegetação do litoral cearense seja aquela do Iguape.

## **3º Geração: eolianitos**

Compõem-se de dunas cimentadas por carbonato de cálcio (eolianitos). Este termo foi originalmente proposto por Sayles, 1931 (*in* GOLDSMITH, 1978) para descrever todas as rochas sedimentares consolidadas que foram depositadas pela atividade eólica.

Os eolianitos ocorrem nas zonas áridas e semiáridas de muitas regiões do mundo, particularmente em áreas costeiras com grandes acumulações de areias biogênicas (PYE, 1994).

Consiste de um tipo distinto de dunas inativas, que apresenta características bastante peculiares, como a preservação de estruturas sedimentares e ausência de vegetação .

Segundo Goldsmith,1978 (*in* DAVIS, 1978) os processos de formação e crescimento destas dunas são similares aos processos de dunas de areia quartzosa. Deste modo, um eolianito é permanentemente imobilizado, enquanto uma duna de areia quartzosa fixada por vegetação pode inesperadamente começar a movimentar-se se a cobertura for destruída.

Quanto à sua composição os eolianitos apresentam como elemento principal o quartzo (48 – 51%), com uma granulometria entre 0,1 a 0,6 mm e um grau de arredondamento entre subarredondados a arredondados. Apresentam-se cimentada por baixo magnésio para calcita com baixo teor de Mg, valores de CaCO<sub>3</sub> superior a 95% e de MgCO<sub>3</sub> inferior a 4%. Apresentam baixos teores de estrôncio e sódio, quase ao nível mínimo de detecção e a geometria do cimento de primeira geração varia entre os tipos isópacos e meniscos com porcentagem entre 16 a 31%, indicativos de precipitação na zona vadosa meteórica. A porosidade do tipo intergranular apresenta uma relação inversa com o cimento (> % de porosidade - < % de cimento) e varia entre 16 a 33%. Os grãos de feldspato e fragmentos líticos variam de 0,6 a 1% e os componentes biodetríticos entre 1,3 a 1,6%. O conteúdo total de carbonato de cálcio varia entre 10 a 14% (MAIA *et al.*, 1997).

As áreas de maior incidência dos eolianitos do estado do Ceará são Pecém, Paracuru, Trairi, Baleia, Apiques, Icarai de Amontada, Almofala e Bitupitá.

#### **4º Geração: dunas móveis**

Em geral, distribuem-se paralelamente à linha de costa, as quais migram em direção ao continente até aproximadamente 6 km.

São formadas da acumulação de sedimentos removidos da face de praia pela deflação eólica e distribuem-se como um cordão contínuo, dispostos paralelamente à linha de costa, o qual começa a ser esboçado a partir da linha de praia alta (*backshore*) possuindo uma largura média de 2 – 3 km e espessura que atinge até 30 m. São constituídas por areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados. Muitas vezes encerram níveis de minerais pesados, principalmente ilmenita. Estratificações cruzadas de médio a grande porte e marcas ondulares eólicas podem ser registradas em algumas exposições (BRANDÃO, 1995).

As dunas ativas apresentam formas distintas, que variam entre os tipos barcanas, cadeias barcanóides, transversas e lençóis de areia (*sand sheets*). O maior campo de dunas

móveis contínuas do Ceará se estende entre Porto Canoas e a foz do rio Jaguaribe. Novos campos de dunas móveis extensos voltam a aparecer entre Iguape e Prainha, estendendo-se até Fortaleza. No litoral oeste da Cidade, entre o Pirambu e a Barra do Ceará, dunas de porte elevado movimentam-se soterrando casas e ruas. Outro grande campo de dunas móveis inicia-se na Tabuba estendendo-se pelo Cauípe, Pecém e Paracuru, Trairi e Baleia e Marinheiros (Itapipoca), porém o maior campo de dunas barcanas do Estado está em Jericoacoara.

#### 4.2.4.3 Depósitos fluviomarinhos

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 mangues que formam a planície de inundação e as rochas de praia, na zona de domínio de maré.

Os mangues limitam-se à zona submetida à presença periódica das águas com salinidade elevada que compõem os estuários dos rios. Nos principais rios da região, o estuário penetra em direção ao continente em torno de 20 km, tendo como fator limitante a influência das águas marinhas, identificada pela presença da vegetação de mangue, composta pelas espécies *Rizophora mangle* e *Avicenia*.

Os manguezais constituem ambientes especiais, pois têm solo, fauna e flora característicos e posicionamento geográfico restrito bem definido. É conhecida a múltipla utilização desses ambientes sob o ponto de vista econômico. Estes ambientes mistos podem ser pesquisados segundo os enfoques geológico/geomorfológico, ecológico, botânico, sedimentológico, sócio-econômico, etc.

No Ceará, os rios que demandam ao litoral são os rios Jaguaribe, Pirangi, Choró, Malcozinhado e Pacoti,. Curú, Mundaú, Aracatiaçu, Aracatimirim, Acaraú, Coreaú, Palmeiras-Remédio e Timonha.

#### 4.2.4.4 Rochas de praia (“Beach Rocks”)

Segundo Maia (1993), a formação das rochas de praia (*beach rocks*) está associada à presença de antigas e atuais desembocaduras de rios, em virtude de só eles serem os lugares (estuário e marinho) onde se encontram as condições físico-químicas para a formação destes depósitos .

As análises efetuadas nos *beach rocks* ocorrentes no litoral do Estado do Ceará mostram que consistem de areias de praia cimentadas por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ou um outro tipo de cimento, tendo como componente principal o quartzo (45 a 75%), com granulometria entre 0,05 a 2,2 mm, cujos grãos variam de subangulosos a subarredondados. A composição do cimento consiste de calcita magnesiana com valores de Ca ( $\text{CO}_3$ ) inferiores a 87% e de Mg ( $\text{CO}_3$ ) superiores a 10% constituindo uma capa isópaca, indo desde os tipos “bladed” e micrítico, a porosidade principal é do tipo intergranular (6 a 29%). Como elementos secundários, tem-se a presença de feldspatos e fragmentos de rochas (1 a 3,8%) e componentes bioclásticos (gastrópodes, bivalves e algas calcárias do tipo *Lithothamium*) com um percentual entre 1 a 5,26%. Mineralogicamente, as rochas de praia (*beach rocks*) são consideradas maduras, entretanto, apresentam horizontes e ocorrências texturalmente imaturas (Maia *et al.*, 1997).

Podem ser encontradas na praia da Baleia no Município de Itapipoca, Jericoacoara, Volta do Rio, em Itarema, praia do Futuro, em Fortaleza, Sabiaguaba e COFECO, em Aquiraz, Canoa Quebrada, em Aracati, desde a foz do rio Malcozinhado, em Águas Belas, até à foz do rio Choró, em Barra Nova, no município de Cascavel; Praia Nova, em Barroquinha, Morro Branco, praia das Fontes, Uruaú, Barra da Sucatinga e Barra do Correia, no Município de Beberibe, e Porto Canoas, em Aracati, no litoral leste. Ao oeste, os *beachrocks* podem ainda ser encontrados na margem direita do rio Aracatimirim, perto da foz e, ainda, em frente a Camocim.

### **4.3. Aspectos Fisiográficos**

#### **4.3.1. Clima**

O CLIVAR/BRASIL (1998) identificou o clima brasileiro como sendo caracterizado por forte variação anual da precipitação, onde as chuvas mais fortes ocorrem durante o verão e a estação das secas durante o inverno, e associa esta variação anual no regime de precipitação à variação anual na circulação atmosférica sobre a América do Sul.

Nas latitudes tropicais, as maiores variações climáticas estão associadas com as mudanças sazonais na posição da zona de convergência intertropical (ZCIT) e das monções de verão, responsáveis por grande parte da precipitação de verão nesta região.

A ZCIT corresponde a uma grande região onde confluem os ventos alísios de nordeste e sudeste, caracterizada por uma intensa nebulosidade e baixa pressão atmosférica.

Normalmente, a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, no Atlântico, para posição mais ao sul, durante o verão austral. Os ventos alísios de sudeste são mais intensos quando a ZCIT se encontra ao norte (agosto a outubro), diminuindo progressivamente com sua migração em direção ao equador, para alcançar os mínimos valores anuais durante os meses de março e abril, quando os ventos de sudeste são mais fracos.

O movimento para o norte da ZCIT e a intensificação dos ventos de sudeste, que se inicia em maio, apresenta fortes efeitos no oceano, como as variações no padrão da circulação oceânica, variações do nível do mar e o aumento da velocidade das correntes costeiras. Além deste ciclo sazonal, o clima da região apresenta uma série de modificações interanuais, geralmente associadas ao fenômeno El Niño, como a variação de maior magnitude do ano 1983, quando recebeu considerável intensificação nos ventos zonais em função do El Niño.

O fenômeno El Niño é caracterizado pelo aparecimento de águas quentes onde estas normalmente são frias (como ocorre na costa oeste da América do Sul). Estas águas quentes aparecem decorrência do aprofundamento da termoclina no lado leste da bacia do Pacífico, onde esta normalmente intersecta a superfície.

Por outro lado, destaca-se ainda o fenômeno “La Niña”, caracterizado pelo esfriamento das águas na faixa equatorial do oceano Pacífico, produzindo índices mais significativos de chuvas entre os meses de novembro e janeiro, nas áreas mais setentrionais do Nordeste (centro sul dos Estados da Bahia, Maranhão e Piauí) do que na região mais semiárida (MAIA, 1998).

#### 4.3.2. Temperatura

A temperatura média anual para os últimos 26 anos, medida na estação da FUNCEME em Fortaleza, situa-se na faixa de 27°C, com máxima de 32°C e mínima de 21°C, produzindo uma amplitude máxima de variação em torno de 11°C.

Este aspecto caracteriza o regime térmico da região como de temperaturas elevadas, mas de baixa amplitude.

Com base na análise das médias mensais de temperatura durante o período de 1974 a 2004, em Fortaleza, verificaram-se temperaturas mínimas entre os meses de junho e agosto e máximas entre outubro e fevereiro, coincidindo, respectivamente, com as quadras secas e chuvosas, o que caracteriza uma forte influência sazonal, desenvolvendo uma relação diretamente proporcional com as variações na pluviometria.

#### 4.3.3. Pluviometria

O regime de pluviosidade da região pode ser definido como do tipo tropical com estação de chuvas concentradas em 12 meses consecutivos e um ciclo de variação anual.

Tomando como base uma série histórica de evolução da pluviometria da região costeira, verifica-se que em períodos considerados de boa pluviosidade as chuvas têm início em dezembro, com precipitações fracas. Estas se intensificam ao longo dos meses seguintes, atingindo um ápice no mês de abril e se estendendo até junho. A partir daí, passa a descrever uma trajetória decrescente como mínimos entre agosto e novembro

#### 4.3.4. Umidade

A umidade relativa da região estudada situa-se na faixa de 85%, apresentando um comportamento semelhante à distribuição das chuvas na região. Assim como para as chuvas, os valores de umidade aumentam gradativamente de dezembro a junho, com valores mínimos entre julho e novembro .

#### 4.3.5. Vegetação

O Atlas do Ceará (IPECE, 2000), divide o Estado em 11(onze) unidades fitoecológicas, baseadas nas diferenças litológicas, geologia, topografia, clima e, principalmente, nos solos.

Na área de estudos existem três unidades fitoecológicas representadas pelo complexo vegetariano da zona litorânea, a floresta perenifólia paludosa marítima (mangue) e a floresta mista dicótilo-palmácea (mata ciliar), sendo a primeira a unidade dominante. O complexo vegetariano da zona litorânea se divide em vegetação pioneira psamófila, floresta a retaguarda das dunas e vegetação de tabuleiros litorâneos.

- Vegetação pioneira psamófila: presente na planície litorânea e muitas vezes na área de dunas moveis e fixas. Exemplos: salsa-da-praia (*Ipomoea pescaprae*), bredo-da-praia (*Iresine portulacoides*), capim-da-praia (*Paspalum vaginatum*), cipó-da-praia (*Remirea marítima*), oró (*Phaseolus ponduratus*) e murici (*Byrsonima cerícea*).
- Floresta à retaguarda das dunas: encontram-se espécies vegetais que ocorrem nas serras úmidas, serras secas e na caatinga arbórea. Exemplos: João-mole (*Pisonia tormentosa*),

jucá (*caesalpinia ferrea*), juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), pau d'arco roxo (*Tabebuia avellanedae*), tatajuba (*Chloroflora tinctoria*) e cajueiro (*Anacardium occidentale*).

- Vegetação dos tabuleiros litorâneos: apresenta a maior diversificação vegetal e florística, sendo encontrado a mata de tabuleiro, o cerrado e a caatinga. Exemplos: pau d'arco roxo (*Tabebuia caraíba*), caraíba (*Tabebuia caraíba*), arapiroca (*Pithecellobium foliolosum*), freijó (*Cordiaa trichotoma*), angelim (*Andira retusa*) e cajueiro (*Anacardium occidentale*).
- Floresta perenifólia paludosa marítima (mangue), ocorre na zona de maré dos estuários dos Rios Ceará e Curu. Os manguezais são ecossistemas costeiros que ocorrem em regiões tropicais e subtropicais, apresentando um solo lamacento e sujeito à influência das marés, onde desenvolve uma vegetação característica, os mangues, e uma fauna bastante diversificada, composta por espécies de origem terrestre e aquática. O manguezal está representado pelas seguintes espécies arbóreas: mangue vermelho, mangue roxo, mangue verdadeiro ou mangue sapateiro (*Rhizophora mangle*), mangue branco ou mangue manso (*Lagunculária racemosa*), mangue canoé (*Avicennia germinans*), mangue rajado (*Avicennia schaueriana*) e mangue botão ou mangue ratinho (*Conocarpus erectus*). As herbáceas mais comuns: embrira do mangue (*Iresine portulacoides*), samambaia do mangue ou avencão (*Acrostichum aureum*), bredinho (*Batis maritima*), *Spartina* sp. (Leal, 2003).
- Floresta mista dicótilo-palmácea (mata ciliar). Em planícies aluviais, são de fácil observação espécies como; carnaúba (*Copernicia prunifera*), sempre dominante entre as demais espécies arbóreas. Esta palmeira endêmica do Nordeste do Brasil ocorre no Ceará geralmente em associação com juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.), oiticica (*Licania rigida* Benth.), coaçu (*Coccoloba* sp.), torém (*Cecropia* sp.), cajueiro (*Anacardium occidentale*), além de outras espécies arbustivas e trepadeiras.

#### 4.3.6. Solo

Com base no Atlas do Ceará (Iplance, 1997) e no Anuário Estatístico do Estado do Ceará (Instituto de Desenvolvimento Agrário do Ceará (IDACE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) 2004), dos vários tipos de solo ocorrentes no estado do Ceará, na área de estudo são encontrados: areias quartzosas distróficas e marinhas, solonchak solonético, aluviais, podzólico vermelho-amarelo eutrófico e distrófico e planossolo solódico.

➤ Areias quartzosas distróficas e marinhas

As areias quartzosas marinhas localizam-se na planície litorânea, em toda a extensão da área, constituindo uma estreita faixa que acompanha paralelamente a linha de costa.

Caracterizam-se por apresentar uma sequência de horizonte A-C, onde o horizonte A é fracamente desenvolvido, de textura arenosa e coloração cinza-escura a muito escura. Nas áreas mais próximas ao mar, em razão da ação dos ventos ser mais intensa, esse horizonte pode estar ausente. O horizonte C apresenta características semelhantes ao horizonte A, porém com coloração mais clara. São solos de fertilidade muito baixa, profundos, excessivamente drenados e acham-se recobertos por formações vegetais litorâneas de restinga e dunas.

Já as areias quartzosas distróficas ocorrem na faixa litorânea e pré-litorânea e ocupam áreas de campos de dunas e coberturas arenosas da Formação Barreiras. São originadas do retrabalho dos sedimentos da Formação Barreiras, muitas vezes estando associadas a areias marinhas e podzólicos vermelho-amarelos, ambos distróficos. Caracterizam-se por possuírem uma seqüência de horizontes A-C, agrupa solos profundos, excessivamente drenados em função de uma permeabilidade rápida em todo o perfil, fortemente ácida e com baixa saturação de bases, com baixos teores de argila e cor variando de vermelha até branca, sendo frequentes as tonalidades amareladas.

A utilização deste tipo de solo é bastante limitada em virtude de suas características eutróficas, sendo utilizado em pouquíssimas áreas para culturas de subsistência.

➤ Solonchak solonético

São solos halomórficos, intermediários para solonetz, pouco diferenciados e com elevados teores de sódio trocável. Apresentam sequência de AC e o horizonte C pode ser por vezes gleyzado.

Originam-se de deposições fluviais recentes, diferenciando-se dos aluviais principalmente por causa da alta salinidade.

➤ Solos aluviais

Ocorrem a jusante dos solos solonchak solonético no rio Curu. São solos pouco desenvolvidos, originados de deposições recentes e de natureza diversa, apresentando um horizonte A ou Ap, diferenciado, sobre camadas estratificadas II C, III C e outras, os quais normalmente não têm relações genéticas entre si. São de medianamente profundos a muito profundos com as mais variadas texturas, apresentando drenagem moderada ou imperfeita.

➤ Podzólico vermelho-amarelo distrófico

Esses solos caracterizam-se como solos profundos, com granulometria variando de argila a areia média, bem drenados, porosos e de coloração vermelho-amarelo, amarelo e vermelho. Ocorrem na área de estudos relacionados ao domínio da Formação Barreiras.

➤ Solo planossolo solódico

Distribui-se em relevos planos nas planícies fluviais, planícies fluviolacustres e áreas de acumulação inundáveis ou setores de pedimentos conservados da depressão sertaneja.

Apresenta os horizontes A (arenoso), Bt (altamente argiloso) e C. Os horizontes sub-superficiais, especialmente durante a estação chuvosa, têm umidade em excesso ou drenagem imperfeita, justificando a frequência de mosqueado ou cores de redução. Possuem problemas de encharcamento durante a estação chuvosa e ressecamento ou fendilhamento durante a estação seca. Com baixa permeabilidade, são susceptíveis às ações erosivas, sobretudo aos processos ligados ao escoamento difuso e ao escoamento em lençol.

Os tons dominantes variam de bruno-claro-acinzentado a bruno-escuro, mostrando coloração de redução em decorrência da drenagem deficiente ocasionada pela existência de um horizonte de grande compactação.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras analisadas nesta dissertação foram coletadas ao longo da zona dos Tabuleiros pré-litorâneos do estado do Ceará, com base nas imagens de satélite, em 71 poços rasos, com profundidades de até oito metros, espaçados entre si a cada 10 km, resultando em 360 amostras (Figura 8), O trabalho de amostragens foi realizado juntamente ao Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – LGPSR do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (CASTELO BRANCO, 2005).

O material amostrado foi submetido a análises granulométricas, do teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e morfoscópica dos grãos.

A quantificação dos metais foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Costeira.

### 5.1 Etapa de Gabinete

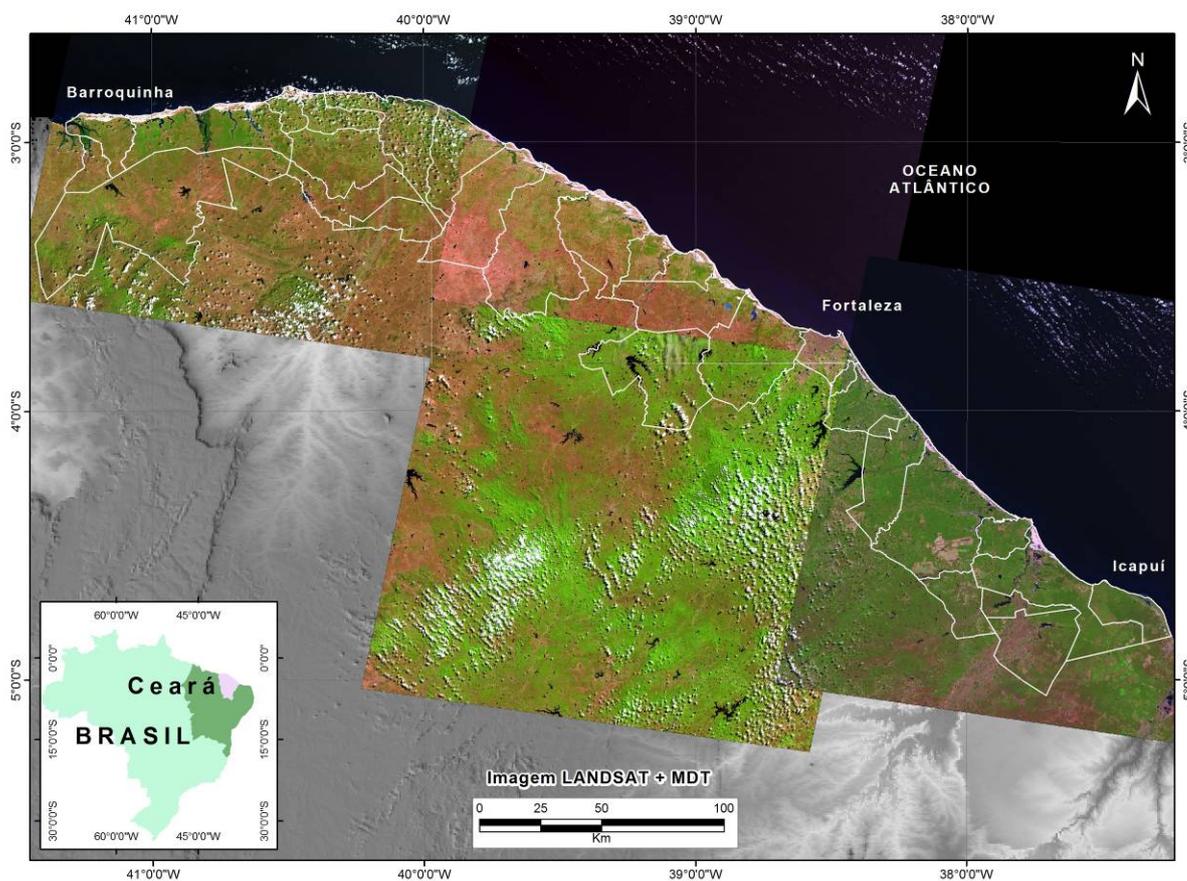
Neste trabalho foram utilizadas as imagens digitais multiespectrais do satélite Landsat, georreferenciadas para o Datum horizontal SAD 69. As imagens foram selecionadas admitindo um baixo índice de nebulosidade e com datas de geração pelo satélite nos anos mais recentes possíveis para o mapeamento.

O *software* para processamento digital das imagens foi o ENVI (*The Environment for Visualizing Images*) versão 4.0 e para a integração de dados georreferenciados o *software* ArcGIS versão 9.2, como também do *software* 3DEM. As imagens de satélite (Landsat TM-7 ETM+ e Landsat 5 TM e SRTM) foram processadas e interpretadas visualmente em ambiente SIG, tendo como finalidade a delimitação das feições geomorfológicas presentes na área e para a definição da malha amostral (Figura 7 e Tabela 4).

### LANDSAT

A série LANDSAT foi iniciada no final da década de 1960, como parte de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana (NASA) dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do LANDSAT-7. Atualmente o único satélite em operação é o LANDSAT-5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre. O LANDSAT-7 iniciou suas atividades em abril de 1999 e encerrou em 2003, utilizando o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper

Plus – Mapeador Temático de Maior Realce) são compostas por 8 bandas espectrais, que podem ser combinadas, formando diversas composições coloridas a fim de realçar as feições de interesse. Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos LANDSAT (Figura 11), porque manteve a alta resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução (Tabelas 2 e 3). A antena de recepção do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizada em Cuiabá capta desde os anos 1970 imagens de todo o Território Nacional, o que representa um enorme e único acervo de dados sobre o Brasil.



**Figura 11** – Localização da área de estudo em imagens Landsat 5 TM e 7 ETM+ RGB: 543.

**Tabela 2** – Características dos Satélites dos LANDSAT. Fonte: INPE

Missão	Land Remote Sensing Satellite (Landsat)						
Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)						
País/Região	Estados Unidos						
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7
Lançamento	27/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	5/10/1993	15/4/1999
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	em atividade	Inativo (05/10/1993)	Inativo (2003)
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	s.d.	Polar, Circular e heliossíncrona
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	s.d.	705 km
Inclinação	99°	99°	99°	98,20°	98,20°	s.d.	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	103,27 min	103,27 min	103,27 min	98,20 min	98,20 min	s.d.	98,9 min
Horário de Passagem	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:45 A.M.	9:45 A.M.	s.d.	10:00 A.M.
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	s.d.	16 dias
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+

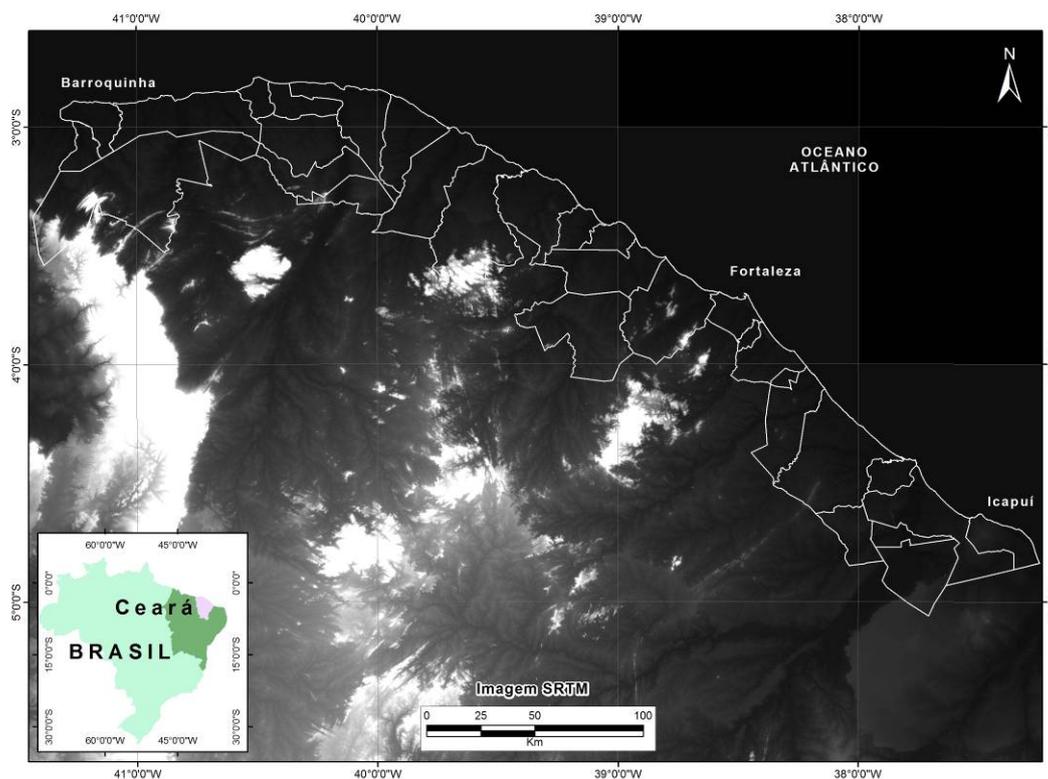
s.d. = sem dados/informações

**Tabela 3** – Principais Instrumentos Sensores dos Satélites LANDSAT. Fonte: INPE

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
MSS	4	0,5 - 0,6 $\mu\text{m}$	80 m	18 dias	185 km
	5	0,6 - 0,7 $\mu\text{m}$			
	6	0,7 - 0,8 $\mu\text{m}$			
	7	0,8 - 1,1 $\mu\text{m}$			
	8	10,4 - 12,6 $\mu\text{m}$			
TM	(somente para o Landsat 3)		120 m		
	1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 $\mu\text{m}$			
	3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$			
	4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$			
	5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$			
	6	10,4 - 12,5 $\mu\text{m}$			
	7	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$			
8	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$				
ETM+	1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 $\mu\text{m}$			
	3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$			
	4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$			
	5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$			
	6	10,4 - 12,5 $\mu\text{m}$			
	7	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$			
	8	0,50 - 0,90 $\mu\text{m}$			

## SRTM

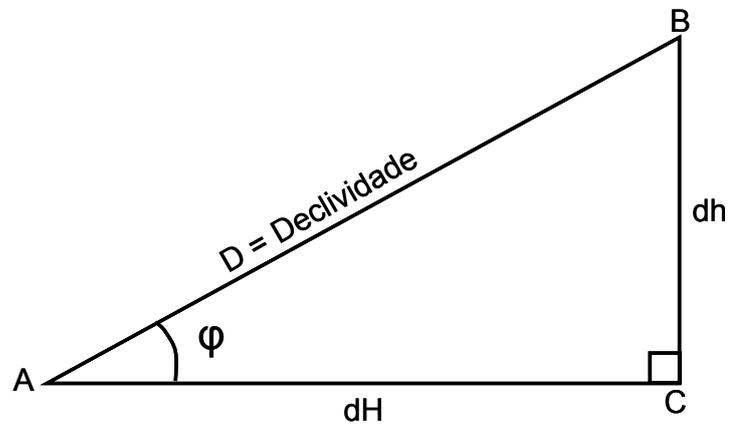
O SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) é um projeto conjunto entre a NIMA (*National Imagery Mapping Agency*) e a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). O objetivo deste projeto foi produzir dados digitais da topografia de 80% da superfície terrestre (área contida entre as latitudes 60°N e 56°S). Os dados foram coletados a cada 1 arco de segundo (aproximadamente 30 m) numa grade de latitude/longitude. O sobrevôo do ônibus espacial “Endeavour” ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, durante o qual foram percorridas 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. O SRTM utilizou a técnica de interferometria por meio de radar. Nesta técnica são geradas duas imagens de radar de duas posições ligeiramente diferentes. As diferenças entre essas duas imagens permitem calcular a elevação da superfície ou a diferença. Estas imagens são obtidas pelo uso de duas antenas de radar, uma acoplada no ônibus espacial e outra no final de um mastro de 60m preso ao ônibus espacial, resultando em dados de altimetria com acurácia de 16m com nível um de confiança de 95% (Figura 12) .



**Figura 12** – Localização da área de estudo em imagens SRTM.

## DECLIVIDADE

Declividade é a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos.



dh = Diferença de altura BC (equidistância vertical)

dH = Distância horizontal AC (distância entre os pontos)

Assim,  $\varphi$

Declividade (D) é a relação:  $= \frac{dh}{dH}$

A tg expressa o coeficiente angular de uma reta em relação ao eixo das abscissas

$$tg\varphi = \frac{dh}{dH}$$

Para expressar a declividade em graus:

$$arctg\varphi = \frac{dh}{dH} = \text{alfa} = D$$

**Tabela 4** –Coordenadas dos poços ( Datum SAD-69)

POÇO	E	N	POÇO	E	N	POÇO	E	N
1	507910	9606331	25	357384	9687353	50	630550	9509191
2	512659	9607257	26	344616	9687894	51	635372	9512676
3	538433	9591627	27	345816	9680178	52	631896	9512819
4	528581	9596733	28	334270	9680564	53	626756	9515398
5	520406	9601008	29	333519	9684678	54	619938	9519069
6	493523	9617179	30	323703	9679202	55	614813	9523190
7	500345	9619108	31	323212	9684112	56	607940	9529408
8	484365	9627517	32	312199	9676507	57	602388	9534180
9	478136	9623633	33	310068	9681067	58	597343	9539226
10	474269	9629054	34	304607	9680473	59	595373	9546506
11	461720	9634096	35	295376	9672293	60	590011	9551733
12	469062	9640557	36	289374	9679133	61	583973	9554211
13	458556	9644929	37	284409	9671257	62	580752	9555240
14	448097	9641793	38	273075	9675199	63	579922	9563507
15	433642	9650219	39	258943	9675973	64	572026	9564946
15A	441441	9647622	40	255535	9672909	65	571520	9568241
16	447055	9650774	41	262616	9670569	66	566414	9576111
17	426677	9660896	42	691399	9467926	67	511234	9602472
18	411811	9655612	43	682972	9478322	68	516272	9605920
19	410580	9670606	44	668789	9486160	69	516710	9602301
20	401543	9676031	45	657041	9487848	70	522145	9602317
21	397902	9661237	46	651383	9492435			
22	384954	9683395	47	644352	9496052			
23	386071	9676482	48	640398	9500192			
24	361677	9680037	49	633217	9499097			

## 5.2 Etapa de Campo

Para obtenção destas amostras, foi utilizado um trado manual, com coleta de testemunhos de sondagens a cada metro (Figura 13).



**Figura 13** – Fotos do uso do trado manual, das amostras e do detalhe do poço.

### 5.3 Etapas laboratoriais

Nos Laboratórios de Oceanografia Geológica e Geoquímica Costeira Ambiental do LABOMAR/UFC foram realizadas as análises granulométricas, a determinação do teor de carbonato de cálcio, e do teor de metais-traço (Cu, Pb, Fe, Al e Mn), bem como a determinação do teor de matéria orgânica e o estudo morfooscópico dos grãos conforme, descrito a seguir.

#### 5.3.1 Análise Granulométrica

Ao atingir esta etapa as amostras de sedimentos coletadas no campo passaram pelos procedimentos ordinários de análise granulométrica, inicialmente acondicionadas a 60°C em estufa para a secagem, em seguida o quarteamento e fracionamento em 100,0g da amostra de sedimento. Processados então, segue para o mecanismo de peneiramento úmido o qual separa a fração lama da arenosa (limites das classes = 0,062mm de diâmetro). Por conseguinte, a amostra é passa pelo peneiramento mecânico donde se separam as classes arenosas e cascalhos, ou seja, frações de 0,062mm até 2,00mm diametrais para as classes de areia e frações com diâmetro superior a 2,00mm para as definições de cascalho.

A análise granulométrica dos sedimentos consiste de um processo mecânico que permite estabelecer uma expressão quantitativa da distribuição granulométrica de certos materiais. Estão envolvidas nesta atividade três operações fundamentais, consoante explicado adiante.

#### ➤ Procedimento mecânico

-Secagem em estufa a uma temperatura não superior a 60°C, evitando desta forma a alteração dos argilominerais e a destruição da matéria orgânica;

-quarteamento manual – técnica de homogeneização de amostras;

-pesagem em balança digital, separando 100g de cada amostra para análise granulométrica;

-peneiramento úmido ou lavagem –lavagem da amostra sobre uma peneira (acoplada à boca de um balde por um suporte) de malha com abertura igual a 0,062 mm, com o objetivo de separar os sedimentos mais finos (silte e argila) dos grossos (areia e cascalho);

-decantação em baldes das porções finas e secagem dos sedimentos com diâmetro de partícula superior a 0,062 mm (material grosso);

-material grosso segue para um agitador mecânico (rot up), onde cada amostra é disposta em um jogo de 12 peneiras com aberturas de  $\frac{1}{4}$  de phi, de acordo com a escala de classificação de Wentworth, 1922 (in SUGUIO, 1973), variando de 2 a 4 phi (onde  $\phi = -\log_2 d$ , sendo “d” o diâmetro em milímetros dos grãos) por dez minutos. Ao final pesa-se o conteúdo de cada peneira e acondiciona-se em sacos a com identificação da amostra e da fração granulométrica a qual pertence; e

-separação do material fino por pipetagem, método baseado nas mudanças de concentração das partículas em uma suspensão aquosa de acordo com sua velocidade de decantação ou Lei de Stock.

#### ➤ **Cálculos estatísticos dos parâmetros granulométricos**

Os resultados das análises granulométricas (*valores de phi para as frações fina e grossa de cada amostra*) foram submetidos ao programa de análise granulométrica ANASED 4.3i, desenvolvido no próprio Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada – UFC.

Os parâmetros granulométricos são calculados com base em dados gráficos obtidos das curvas acumulativas da distribuição e frequência elaboradas na escala (phi), caracterizando a curva em relação a sua tendência central e grau de dispersão, assimetria e agudez dos picos. Estes valores avaliam a descrição dos sedimentos em termos de suas várias propriedades, incluindo a média e a mediana, obtendo-se ainda as medidas de tendência central, os graus de seleção e assimetria e a curtose.

#### ➤ **Interpretação dos resultados**

A interpretação dos parâmetros de cada amostra permite classificar os sedimentos e tentar correlacioná-los de modo a inferir aspectos sobre a sua gênese, transporte e modo de deposição.

### 5.3.1.1 Escalas granulométricas

Na maioria das análises sedimentológicas, os resultados são expressos sob a forma de escala de tamanho (que pode ser diâmetro, área ou volume). No caso das análises granulométricas, existem várias escalas propostas.

A escala granulométrica frequentemente usada na Alemanha, chamada de escala de Atterberg (G. Muller, 1967). Os intervalos de classes foram baseados no valor unitário 2 mm; envolvendo razão fixa para cada classe sucessiva, fornecendo diâmetros limitantes 200, 20, 2, 0.2, etc. ou em outros termos, com suporte numa divisão logarítmica sistemática de base 10. Esses intervalos maiores foram subdivididos em intervalos menores, delimitados pelos valores das médias geométricas dos valores extremos.

A escala adotada nos Estados Unidos é a chamada escala de Wentworth (1922), que, embora seja sistemática e logarítmica, é sustentada na base 2. Os limites de suas classes em termos de propriedades físicas envolvidas no transporte dos grãos mostram-se concordante com os limites das distinções entre cargas transportadas em suspensão e por tração.

Diversos autores, em vez de darem os valores das granulometrias em medidas absolutas (mm), usam o símbolo  $\phi$ (fi), introduzido por Krumbein(1934), que é o logaritmo negativo de base 2 da granulometria em milímetro, onde d é o diâmetro do grão em mm.

$$\phi = -\log_2 d$$

Nesta escala, a granulação 1 mm possui um valor de  $\phi = 0$ . Granulações mais finas têm valores de  $\phi$  positivos e granulações mais grosseiras têm valores negativos. Esses valores são números inteiros e coincidem com os limites de classes da escala de Wentworth.

Além das escalas usadas pelos sedimentólogos e pedólogos, há uma grande variedade de escalas baseadas no sistema MESH, que é bastante usada em Engenharia e para fins industriais. Uma das mais conhecidas é a escala adotada pela A. S. T. M. (American Society Testing Materials).

### 5.3.1.2. Representação gráfica das análises granulométricas

A maior parte dos métodos granulométricos determina as porcentagens em peso dos grãos em cada classe granulométrica, nas amostras de sedimentos. Esses dados depois são convertidos em informações gráficas ou numéricas, que caracterizaram as amostras analisadas. Esta representação gráfica é um dos primeiros passos em uma interpretação de quaisquer resultados de análises granulométricas de rochas sedimentares. A maior parte dos gráficos envolve a representação de um conjunto de dados em função do outro, em geral, por meio de um ponto para cada par de observações.

#### ➤ **Tipos de gráficos usados**

Diagramas convencionais são usados para ilustração das distribuições granulométricas. Dessa forma, histogramas, diagramas de barras, curva de frequência simples e especialmente curva de frequência acumulada podem ser empregadas. As curvas de frequência permitem visualizar mais facilmente certas propriedades da distribuição, tais como assimetria e curtose. As curvas de frequência acumulada têm a vantagem de permitir a leitura dos diferentes tipos de percentis, em quaisquer pontos e de modo bastante fácil, sendo muito importante para diversos parâmetros estatísticos.

Gráficos envolvendo duas variáveis abrangem uma grande variedade de formas: frequência dos diâmetros dos grãos, mudanças na granulação média em função da distância, comparação de tamanho dos grãos de seleção, comparação de formas dos grãos, de composição mineralógicas, e outros.

#### **Análise estatística de dados granulométricos**

Os parâmetros de análise estatística mais usados atualmente são calculados com base nos dados extraídos graficamente de curvas acumulativas da distribuição de frequência das amostras de sedimentos analisados. Estes parâmetros são geralmente calculados com dados granulométricos na escala de  $\phi$  de Krumbein e servem para caracterizar a curva no que se diz respeito a tendência central e graus de dispersão, e de assimetria,

### 5.3.1.3 Classificação de Folk e Ward (1957)

#### **Cálculo dos parâmetros**

##### **Cálculo da média (Mz)**

A média para a classificação de Folk e Ward, 1957 (*In* SUGUIO, 1973) é o valor médio obtido de uma extensão de curva de frequência e tomada a partir de uma série de valores, refletindo na média geral de tamanho dos sedimentos, sendo dada pela fórmula:

$$Mz = (\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}) / 3$$

$\varphi_n$  = Diâmetro da peneira na qual n % do peso da amostra teria diâmetro superior (enésimo percentil)

##### **Cálculo da mediana (Md)**

A mediana é um parâmetro que pode trazer imprecisões se considerada a medida no tamanho médio, uma vez que se baseia apenas no ponto correspondente a 50 % da distribuição sobre o gráfico de frequência acumulada. A mediana corresponde a uma medida de posição tomada no percentual de 50 % da curva acumulativa. A fórmula relativa à mediana é a seguinte:

$$Md = \varphi_{50}$$

$\varphi_{50}$  = Diâmetro da peneira na qual 50% do peso da amostra teria diâmetro superior

##### **Cálculo da curtose (Kg)**

É um parâmetro que define o grau de agudez dos picos, nas curvas de distribuição de frequência. Para a curtose, tem-se:

$$Kg = (\varphi_{95} - \varphi_{05}) / (2.44 * (\varphi_{75} - \varphi_{25}))$$

$\varphi_n$  = Diâmetro da peneira na qual n % do peso da amostra tem diâmetro superior

##### **Cálculo da Assimetria (Sk)**

O grau de assimetria é a tendência da distribuição em afastar-se para forma simétrica, sendo determinado pela distância entre a média e a mediana. O cálculo da assimetria consiste em:

$$S_k = [(\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2 * \varphi_{50}) / (2 * (\varphi_{84} - \varphi_{16}))] + [(\varphi_{05} + \varphi_{95} - 2 * \varphi_{50}) / (2 * (\varphi_{95} - \varphi_{05}))]$$

$S_k$  = Assimetria

$\varphi_n$  = Diâmetro da peneira na qual n % do peso da amostra tem diâmetro superior

### **Cálculo do Grau de Seleção ( $S_o$ )**

O grau de seleção é um aspecto muito importante nas análises granulométricas dos sedimentos. O desvio-padrão pode ser usado como medida da dispersão. Em uma curva normal, cerca de 2/3 da amostra ficam situados nos valores dados pelo desvio-padrão. Desta forma Folk e Ward sugeriram para calcular o desvio-padrão a fórmula:

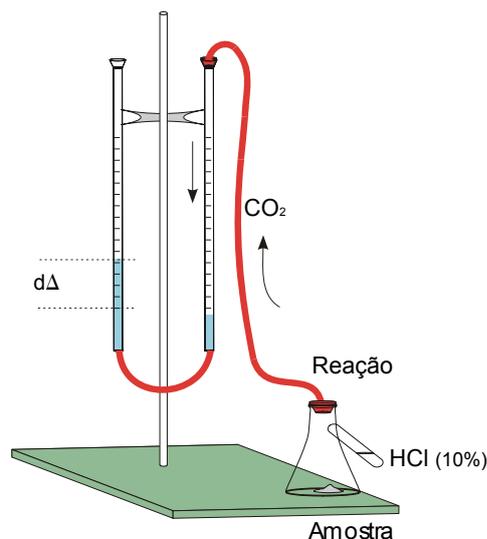
$$S_o = [(\varphi_{84} - \varphi_{16}) / 4] + [(\varphi_{95} - \varphi_{05}) / 6.6]$$

$S_o$  = Grau de Seleção

$\varphi_n$  = Diâmetro da peneira na qual n % do peso da amostra tem diâmetro superior

### 5.3.2 Análise dos teores carbonato de cálcio

A quantificação dos teores de  $\text{CaCO}_3$  foram determinadas pelo método do *Calcímetro de Bernard* modificado, em que as amostras sedimentares são atacadas com ácido clorídrico (HCL) diluído em 10% em um sistema de vasos comunicantes. O sedimento é inicialmente seco a 60°C em estufa, fracionado 5,0g e acondicionado num *erlenmeyer* adaptado a um tubo de ensaio que será ligado a um sistema de provetas onde existe uma certa porção de água. O gás  $\text{CO}_2$  desprendido pela reação  $\text{HCL} + (\text{amostra} + \text{CaCO}_3)$  faz com que a coluna d'água dentro das provetas se desloque. É admitido um valor máximo de deslocamento para uma amostra de 99% de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 14).



**Figura 14** – Esquema de ensaio para a obtenção dos teores de  $\text{CaCO}_3$  em sedimentos, Calcímetro de Bernard (modificado).

### 5.3.3 Determinação do teor de matéria orgânica

Em laboratório, o teor de matéria orgânica total foi obtido pelo método gravimétrico, com a combustão de 2g do sedimento previamente seco em forno mufla (em duplicata) à 450°C por 24 horas (Loring & Rantala, 1992). O teor de matéria orgânica [ MO ] analisada foi obtido pela seguinte expressão:

$$[ \text{MO} ] = (m_c \times 100) / m_s$$

onde:

$m_c$  = massa perdida após a calcinação

$m_s$  = massa do sedimento

### 5.3.4 Morfometria

A forma e arredondamento dos grãos de areia e dos seixos têm sido usados há muito tempo para decifrar a história dos depósitos sedimentares, dos quais estes fazem parte. As formas típicas dos seixos que passam por abrasão em ambientes eólicos são bem conhecidas. Já os efeitos causados por outros ambientes nem são assim tão esclarecidos, mantendo-se muitas controvérsias.

Uma descrição da forma das partículas envolve normalmente vários conceitos. De um lado, tem-se os fatores de forma, que dependem dos comprimentos dos seixos principais perpendiculares entre si; e, de outro a angularidade ou arredondamento das partículas. Os dois conceitos são importantes nos estudos dos sedimentos de maneiras diferentes. A forma ou as relações dos eixos durante o transporte e deposição, enquanto o arredondamento ou angularidade reflete a distância e o rigor do transporte. Acredita-se que muitos fatores estão envolvidos no desenvolvimento da forma das partículas, tais como:

- a forma original do fragmento;
- a estrutura do fragmento;
- a durabilidade do material;
- a natureza do agente geológico e seu rigor de atuação; e
- o tempo ou distância por meio do qual a ação se estendeu.

### **Grau de arredondamento**

Russel e Taylor, 1937 (*In* SUGUIO,1973) desenvolveram tabelas de comparação com cinco diferentes graus de arredondamento para a determinação comparativa. Estas classes são caracterizadas por certos valores numéricos de graus de arredondamento de Wandell. Para isso, usa-se a tabela 5 que mostra as classes individuais de intervalos diferentes.

**Tabela 5** – Graus de arredondamento para caracterização descritiva do arredondamento (segundo Pettijohn, 1957)

Limites de classes de arredondamento	Graus de arredondamento (Wandell)
Angular	0 a 0.15
Subangular	0.15 a 0.25
Sudarredondado	0.25 a 0.40
Arredondado	0.40 a 0.60
Bem-arredondado	0.60 a 1.00

### **Grau de esfericidade**

A esfericidade é uma grandeza que tenta expressar numericamente o grau de aproximação da forma de uma partícula qualquer com a forma de uma esfera perfeita. A

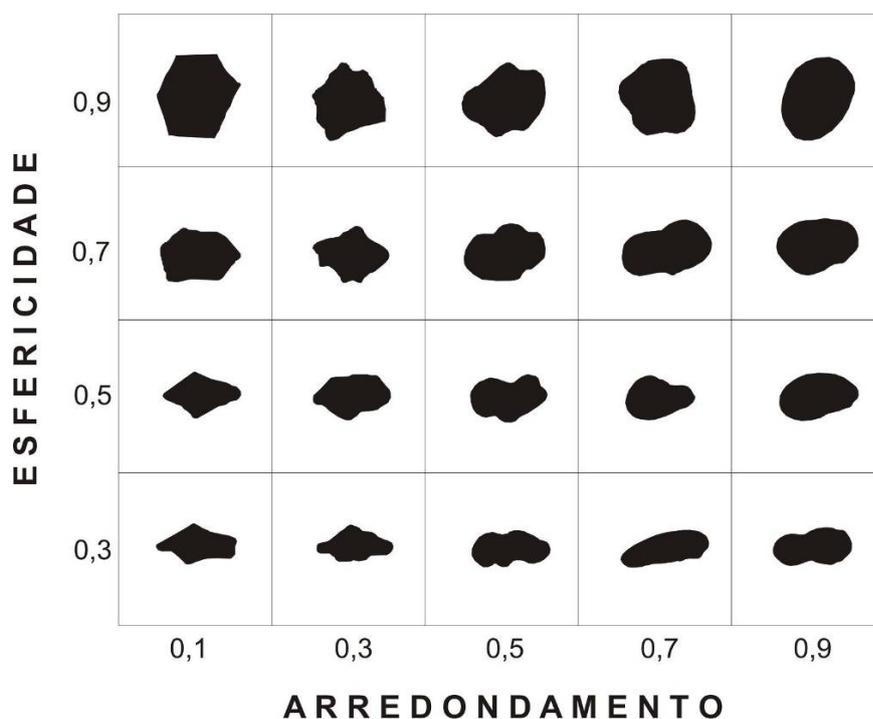
esfericidade de uma partícula pode ser expressa como função de relações entre diâmetros principais perpendiculares. O conceito original de esfericidade, segundo Wandell,1932(In SUGUIO,1973) fora definido pela fórmula:

$$\text{Esfericidade} = \frac{\text{Área da superfície da partícula}}{\text{Área da superfície da esfera de mesmo volume da partícula}}$$

A esfericidade é, em parte, a função da relação entre a área de superfície (também conhecida como superfície específica) e o volume da partícula.

**Relações entre arredondamento e esfericidade**

Para melhor entendimento na relação entre arredondamento e esfericidade de grãos arenosos foi conveniente situar-se com a tabela de comparação visual de Krumbein e Sloss ,1963 ( In SUGUIO,1973), onde a esfericidade está relacionada às proporções de comprimento - largura das imagens das partículas, e o arredondamento é expresso pela curvatura das arestas das imagens. Para uma análise rápida, pode-se examinar através de lupa binocular comparando os seus graus de arredondamento e esfericidade (Figura 15).



**Figura 15** – Tabela de Comparação visual de arredondamento e esfericidade da areia (segundo Krumbein e Sloss, 1963)

### 5.3.5 Determinação das concentrações dos metais

As concentrações parciais dos metais (Cu, Zn, Mn, Al e Fe) foram obtidas com base na digestão parcial de 2g de amostra seca (em duplicata), digeridas em *erlenmeyers* de 125mL, fechados com dedo frio, contendo 20 mL de água régia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1) diluída (50%) em banho-maria na faixa de 70 – 80°C por 2 horas (Gonçalves 1993). Essa digestão permite que todo o metal que esteja na fração trocável, oxidável e carbonática seja retirado, excetuando-se a fração residual (metal associado a silicatos de origem litogênica que não caracteriza contaminação por atividade antrópica) (Fizman *et al.*, 1984; Marins, 1998).

As concentrações finais dos metais nas amostras foram obtidas por intermédio das equações das curvas de calibração corrigidas pelos fatores de diluição dos extratos (quando necessário) e pelo volume do extrato. Em seguida, a concentração do metal por volume do extrato foi transformada em unidade de massa, dividindo-se a concentração em volume pela massa de material em suspensão analisado.

Os teores dos metais foram determinados dos extratos obtidos e por espectrofotometria de absorção atômica de chama, tendo sido a chama obtida para a maioria dos metais (exceto o Al) pela mistura de gás acetileno (combustível) e ar (oxidante), que chega a uma temperatura máxima de 2300°C. Para o Al, por ser capaz de formar óxidos bastante estáveis, dificultando a dissociação em átomos, é necessária uma chama que produza um ambiente redutor para inibir a formação destes óxidos. Assim, foi utilizada a chama com o gás acetileno (combustível) e óxido nitroso (oxidante), que além de produzir uma chama de alta temperatura (2950°C), apresenta baixa concentração de oxigênio livre.

As leituras dos teores dos metais em absorvância foram efetuadas no equipamento modelo AA-6200 da Shimadzu (Figura 16), utilizando-se para a calibração do equipamento por soluções-padrão dos respectivos metais analisados. O teor do metal [ Me ] analisado é dado pela seguinte expressão:

$$[ \text{Me} ] = ( C \times V \times f ) / m$$

C = concentração em ug/mL obtida por curva de calibração do metal

V = volume total do extrato

F = fator de diluição do extrato original, quando necessário

m = massa do sedimento.



**Figura 16** - Espectrometria de absorção atômica de chama modelo AA-6200 da Shimadzu.

### **Validação da metodologia empregada para determinação de metais em sedimentos**

A metodologia analítica da digestão e detecção analítica de metais em sedimentos foi validada mediante a análise do padrão de referência de sedimento de solo NIST (National Institute of Standards & Technology) 2709 *San Joaquim*, com valores certificados para: Cu (ug/g)  $34.6 \pm 0.7$ , Pb (ug/g)  $18.9 \pm 0.5$ , Mn (ug/g)  $538 \pm 17$ , Al (%)  $7.50 \pm 0.06$ , Fe (%)  $3.50 \pm 0.11$ .(Tabela 6)

A análise do padrão de referência foi igual e paralela a das amostras, diferenciando-se apenas na massa utilizada, que foi de 1 g, tendo-se em vista os teores dos metais são mais elevados no padrão comparados às amostras deste estudo.

**Tabela 6** – Resultados da abertura do Padrão de Referência NIST 2709. As concentrações estão expressas em percentual para Al e Fe e em  $\text{ug} \cdot \text{g}^{-1}$  para Cu, Pb e Mn.

<b>PADRÃO UTILIZADO NIST 2709 SAN JOAQUIM SOIL</b>			
<b>METAL</b>	<b>VALOR CERTIFICADO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>% RECUPERAÇÃO</b>
<b>Cu (ug/g)</b>	<b><math>34.6 \pm 0.7</math></b>	<b>23.82</b>	<b>68.90</b>
<b>Pb (ug/g)</b>	<b><math>18.9 \pm 0.5</math></b>	<b>16.46</b>	<b>87.07</b>
<b>Mn (ug/g)</b>	<b><math>538 \pm 17</math></b>	<b>501.22</b>	<b>93.20</b>
<b>Al (%)</b>	<b><math>7.50 \pm 0.06</math></b>	<b>3.83</b>	<b>51.00</b>
<b>Fe (%)</b>	<b><math>3.50 \pm 0.11</math></b>	<b>2.78</b>	<b>79.60</b>

## Coeficientes de correlação

Mede o grau de associação entre valores pela representação de pontos num sistema de coordenadas e suas respectivas posições em relação a uma linha reta. Podem ser considerado, o coeficiente de correlação paramétrico (*Pearson*), bem como o não paramétrico (*spearman*). Será apresentado a seguir o coeficiente de correlação paramétrico (*Pearson*).

O coeficiente de correlação paramétrico (*Pearson*) é o coeficiente de correlação da amostra  $r$  (ou  $\rho^*$ ) o qual é uma estimativa do coeficiente de correlação populacional  $\rho^*$ , obtido pela seguinte expressão:

$$r = \frac{\text{cov}(x,y)}{[\text{var}(x) \text{ var}(y)]^{1/2}} = \frac{\frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}}{\left[ \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \cdot \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1} \right]^{1/2}}$$

onde  $n$  é número de pares de valores para  $(x_j, y_j)$ , variáveis com distribuição normal e  $(\bar{x}, \bar{y})$  são os valores médios para  $(x_j, y_j)$ . Os valores de  $r$  são medidas adimensionais, podendo variar entre -1 e + 1, expressando desde comportamento totalmente inverso até comportamento totalmente direto entre duas variáveis. Quando  $r = 0$  significa que não há relação linear entre (X e Y). Podemos ver estes valores na Tabela 7.

**Tabela 7** – Valores limites dos coeficientes de correlação

<b>n</b>	<b><math>\alpha</math> 0.95</b>	<b><math>\alpha</math> 0.99</b>	<b>n</b>	<b><math>\alpha</math> 0.95</b>	<b><math>\alpha</math> 0.99</b>
<b>5</b>	0.75	0.87	<b>16</b>	0.47	0.59
<b>6</b>	0.71	0.83	<b>18</b>	0.44	0.56
<b>7</b>	0.67	0.80	<b>20</b>	0.42	0.54
<b>8</b>	0.63	0.77	<b>25</b>	0.38	0.49
<b>9</b>	0.60	0.74	<b>30</b>	0.35	0.45
<b>10</b>	0.58	0.71	<b>40</b>	0.30	0.39
<b>12</b>	0.53	0.66	<b>50</b>	0.27	0.35
<b>14</b>	0.50	0.62	<b>60</b>	0.25	0.33

## Metais analisados

Neste estudo, foram utilizados cinco metais para se referendar sobre o solo da área estudada e dos sedimentos dos Tabuleiros: alumínio, ferro, manganês, cobre e chumbo, em ordem de concentração. A utilização do folhelho é bem frequente para assumir um valor de *background* estudos de geoquímica na região. Também por sua sua abundância, visto que é a rocha sedimentar predominante na crosta terrestre. É uma rocha composta por silte, argila e matéria orgânica lamosa, apresentando aspecto estratificado (SALOMONS & FÖSTNER, 1984). A concentração de cada metal no folhelho médio como também outros tipos de fontes são observadas na Tabela 8.

**Tabela 8** – Metais utilizados e seus valores pela composição elementar da crosta terrestre em diferentes fontes. (adaptado de SALOMONS & FÖSTNER, 1984)

Metais analisados	Ordem de Abundância	Crosta Terrestre	Sedimentos	Folhelhos	Sedimentos Costeiros	Arenito	Calcário
<b>Al</b>	2	8.2%	7.2%	8.0%	8.4%	4.3%	0.7%
<b>Fe</b>	3	4.1%	4.1%	4.7%	6.5%	2.9%	1.7%
<b>Mn</b>	10	950	770	850	850	460	620
<b>Cu</b>	18	50	33	45	56	30	5.1
<b>Pb</b>	22	14	19	20	22	10	5.7

O alumínio, por exemplo, é oriundo da alteração de minerais silicatados, como feldspatos, que têm como rocha geradora granitos pré-cambrianos, típicos do embasamento geológico cearense.

O embasamento é recoberto pelos sedimentos terciários da Formação Barreiras cuja formação é considerada como fonte principal de ferro, manganês, titânio e cromo, entre outros (MULLER *et al.*, 1999; FREIRE *et al.*, 2004). Os solos da região litorânea, podsols eutróficos vermelho-amarelados e latossolos, constituem-se importantes fontes desses metais. Nos sedimentos, porém identificadas concentrações significativas de minerais pesados, dentre os quais ilmenita, rutilo, magnetita e cromita. Esses minerais são considerados como fonte importante de titânio, ferro e cromo.

Essa deposição ocorre geralmente nas regiões de maior precipitação pluviométrica e o processo de incorporação do Pb aos sedimentos é bastante lento. Por outro lado, a deposição via seca (partículas) é típica de regiões áridas. O cobre tem como fonte natural sulfetos e carbonatos, dentre os quais calcopirita e malaquita (CARVALHO, 1995).

### **O limite de detecção do equipamento e do método**

O limite de detecção do equipamento (em concentração) para cada um dos metais determinados foi considerado igual a três vezes o desvio estimado por  $Sy/x$  dividido pela sensibilidade da reta, a partir da reta de regressão obtida da curva de calibração, tendo-se em conta do fato de que no método dos mínimos quadrados não ponderados, cada ponto do gráfico (incluído o ponto representativo do branco) tem variação normalmente distribuída (somente na direção de  $y$ ) (MILLER & MILLER, 1994; MARINS *et al.*, 2002).

O limite de detecção do método, em concentração, para os metais analisados foi determinado com suporte em sete determinações dos respectivos brancos de análise, pela equação  $LD = 3,14*s$ , onde 3,14 corresponde ao valor de  $t$  de uma tabela de distribuição STUDENT, para grau de liberdade 6 e nível de confiança de 99% (APHA, 1995). Este limite é muitas vezes superior ao limite de detecção do equipamento para os diferentes metais analisados porque engloba a variabilidade de todos os passos do procedimento analítico (Tabela 9).

**Tabela 9** – Valores limites de detecção do aparelho nas análises realizadas neste trabalho.

<b>Metal Analisado</b>	<b>Limite de Detecção</b>
<b>Cu (ug/g)</b>	0.16
<b>Pb (ug/g)</b>	1.07
<b>Mn (ug/g)</b>	1.05
<b>Al (mg/g)</b>	0.15
<b>Fe (mg/g)</b>	2.47

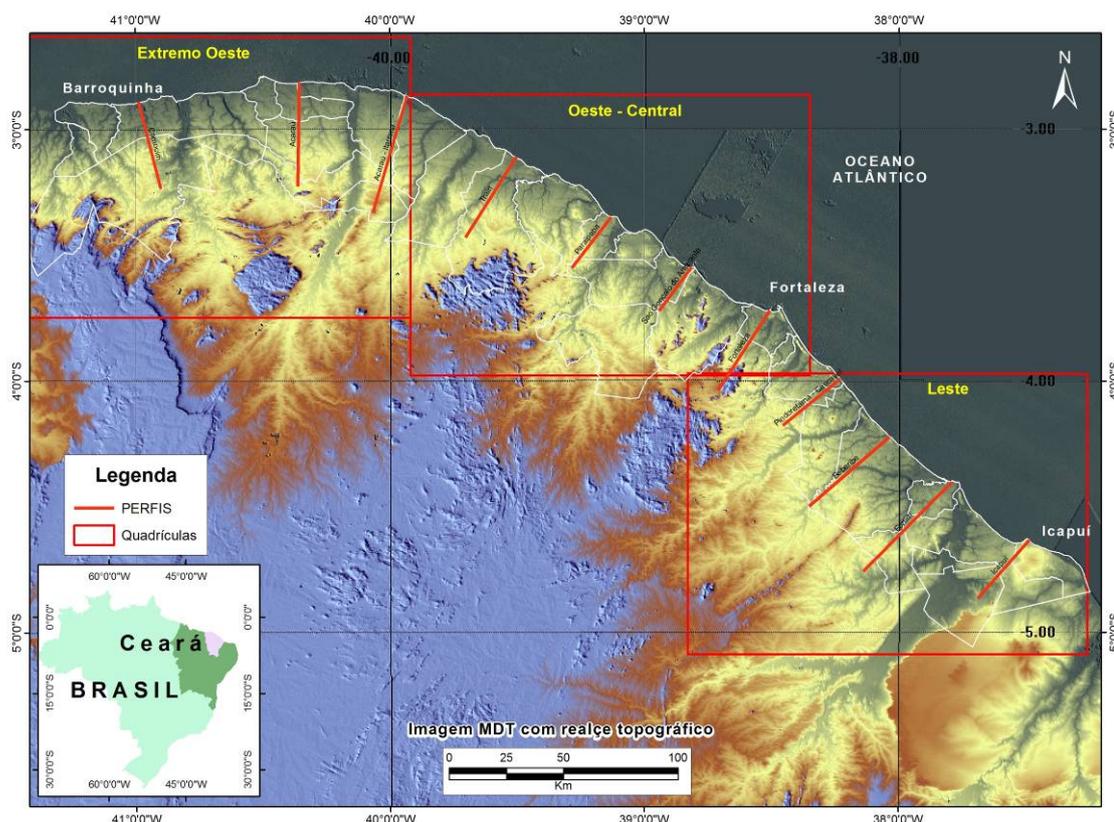
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Sensoriamento remoto e sedimentologia

Os perfis de estudo foram distribuídos ao longo da zona litorânea cearense, inseridos desde o extremo oeste, que faz limite com o Estado do Piauí, até o extremo leste, lindeiro com o Rio Grande do Norte. No primeiro momento da pesquisa a área em estudo foi dividida em três retângulos, correspondendo às quadrículas denominadas de extremo oeste, oeste-central e leste.

Os perfis topográficos, que totalizaram em onze, foram traçados no sentido litoral-interior, em função das variações topográficas e morfológicas verificadas por interpretações visuais realizadas em imagens de satélite (LANDSAT-SRTM) (Figura 17). Nas descrições dos perfis sobrepostas as imagens SRTM colocou-se as unidades geoambientais referentes aos trabalhos realizados no Zoneamento Ecológico Econômico do Estado (SEMACE/LABOMAR, 2005) e Bezerra, 2006. São denominados, neste trabalho, de acordo com o município em destaque:

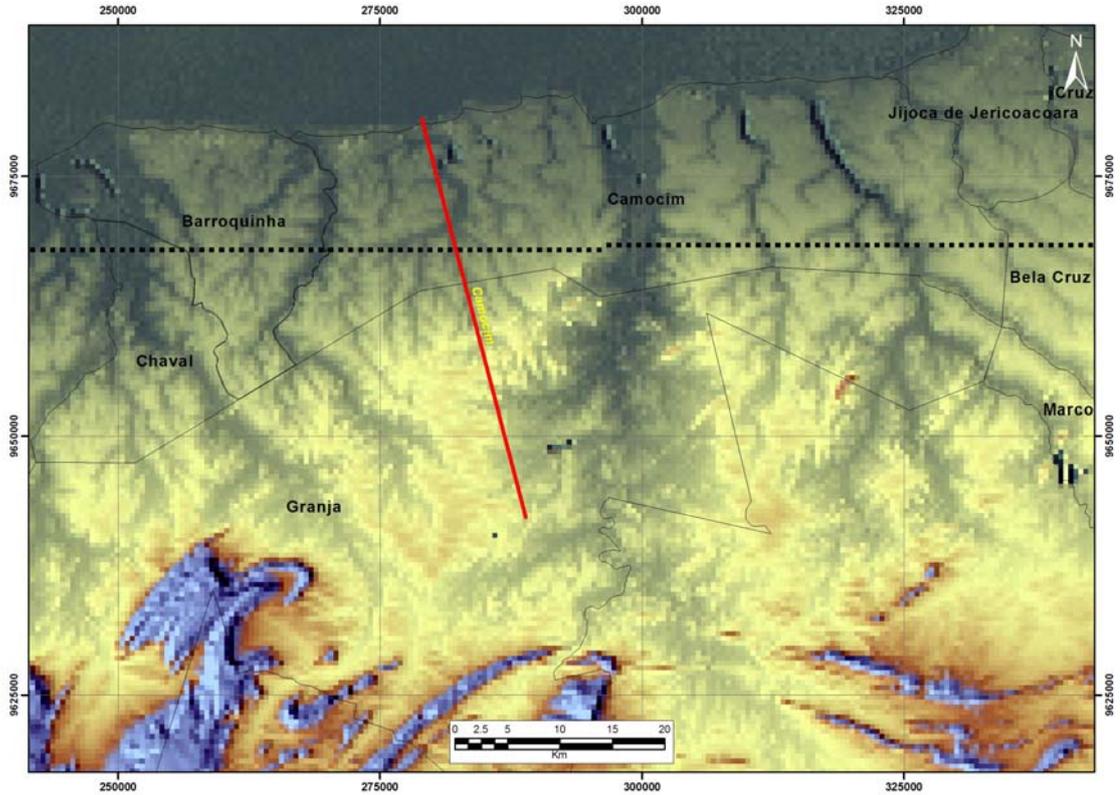
- Perfil 1 – Camocim;
- Perfil 2 – Acaraú;
- Perfil 3 – Acaraú-Itarema;
- Perfil 4 – Trairi;
- Perfil 5 – Paraipaba;
- Perfil 6 - São Gonçalo do Amarante;
- Perfil 7 – Fortaleza;
- Perfil 8 - Pindoretama-Cascavel;
- Perfil 9 – Beberibe;
- Perfil 10 – Fortim;
- Perfil 11 – Icapuí.



**Figura 17** – Imagem SRTM com realce topográfico de 250 metros e localização dos perfis realizados.

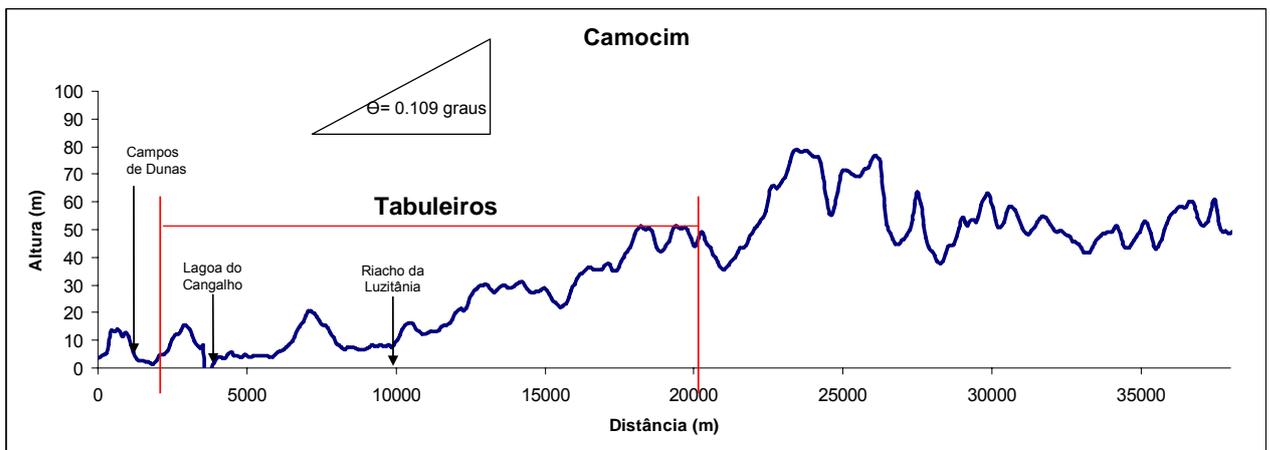
#### Perfil 1 - Camocim

O perfil 1, situado nos Municípios de Camocim e Granja, apresenta o domínio dos Tabuleiros em torno de 20 km de extensão (Figuras 18 e 19). Na Figura 17, pode-se observar, com base nas curvas de níveis, as diferenças topográficas entre a região mais costeira e a mais interiorana, sendo medida, nesse perfil, uma declividade dos tabuleiros em torno de 0.109 graus, demonstrando o caráter quase planificado desta região. Dessa maneira, comprova-se a denominação de Tabuleiros, apesar dos picos vistos no perfil, estes decorrentes de ruídos do próprio sensor do radar cuja pontualidade fica em torno de 90 m em 90 m. As cavas vistas no perfil resultam das drenagens encontradas na região, sendo detectadas pelo sensor do SRTM. Com isso, podemos perceber que o sistema de drenagem natural é bem diversificado. Na figura 18, na imagem SRTM, nota-se a mudanças na coloração do solo, a tonalidade mais escura está ligada a terrenos mais baixos em contato com água e/ou corpos hídricos desta forma, a drenagem prioritária e algumas secundárias são destacadas, assim como a planície fluvial dos principais corpos d'água.



**Figura 18** – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 1.

O perfil 1 é cortado por diversas drenagens (ravinamentos), tendo como principal o riacho Luzitânia e secundários a lagoa de Cangalho, localizada na extremidade mais próxima do oceano (Figura 19). A Lagoa é abastecida pelos riachos Luzitânia e Cangalha. Este perfil está entre três grandes rios: o Timonha e Remédios, ao oeste, e Choró, ao leste

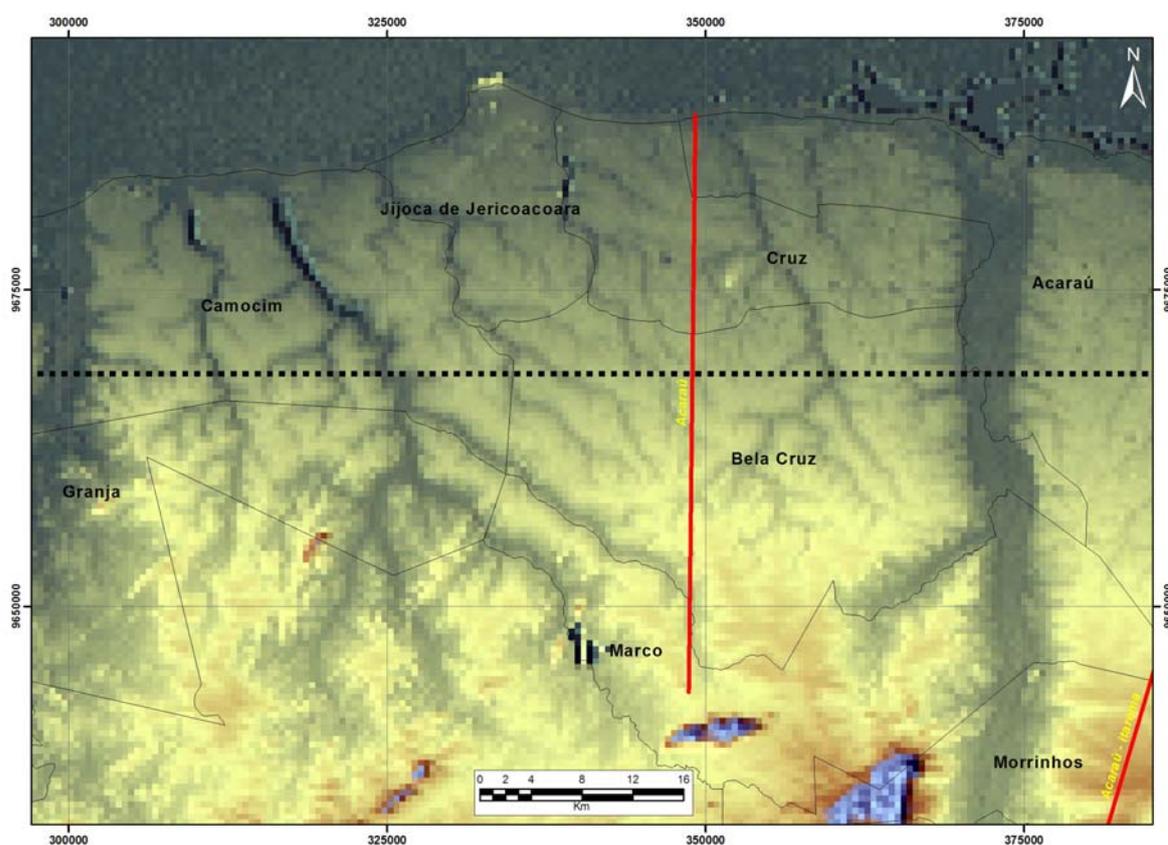


**Figura 19** – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 1.



córrego da Poeira e rio Acaraú. Na figura 21 são observadas as drenagens recortando os Tabuleiros, as quais alimentam o açude da Prata.

Neste perfil, têm-se os poços # 24, 25, 26, 27, 28 e 29 (Figura 23). O perfil litológico desse poço é constituído por sedimentos de granulometria de areia média, com níveis de areia média e fina (0,30 mm), subarredondados, de coloração variando de tonalidade escura, nos estratos superficiais, clareando com a profundidade, onde assumem tons avermelhados nas camadas mais profundas. O teor médio de carbonato de cálcio ficou em 3,33%, com valores máximos de 4,24% e mínimo de 2,42%. Os sedimentos caracterizam sedimentos tipicamente dunares, sendo, também verificada uma sedimentação típica da Formação Barreiras. Dessa maneira, o perfil representa uma zona de transição entre dunas e sedimentos do Barreiras.



**Figura 21** – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 2.

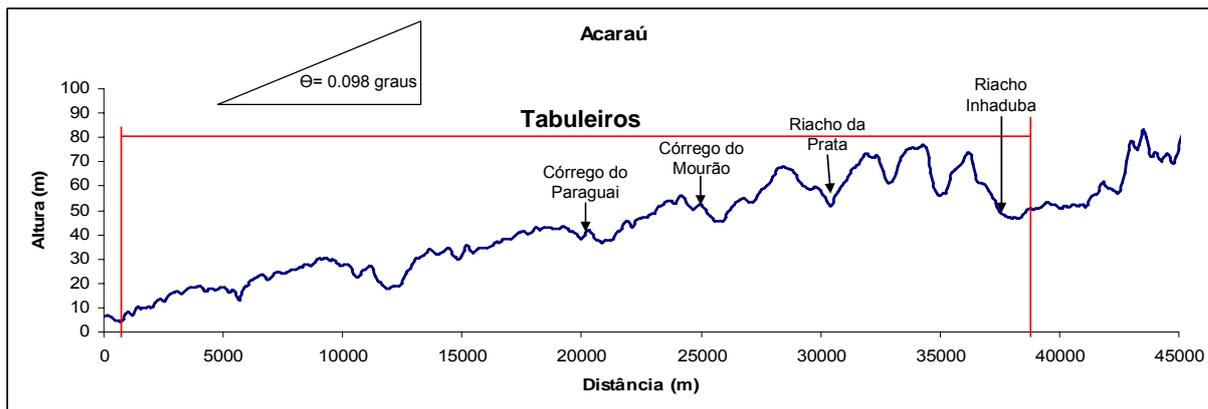


Figura 22 – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 2.

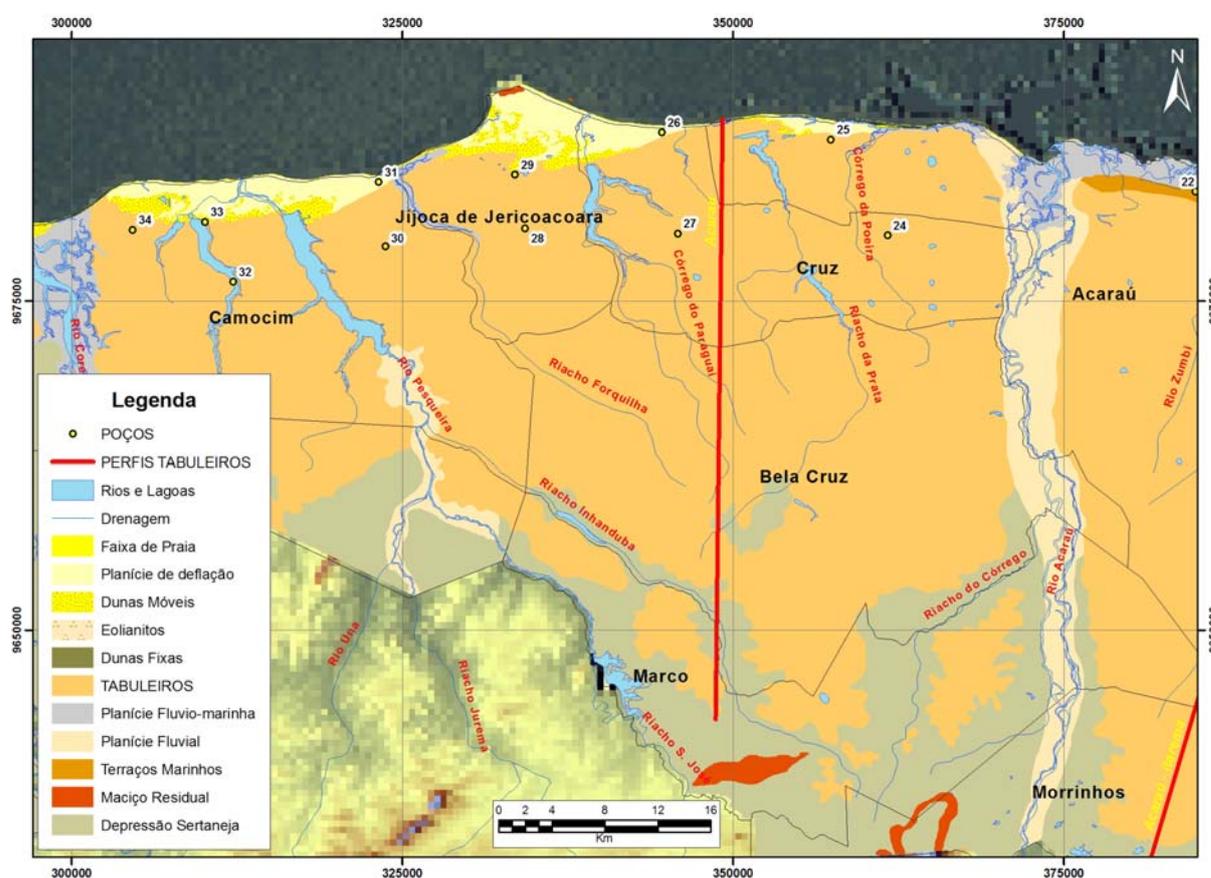
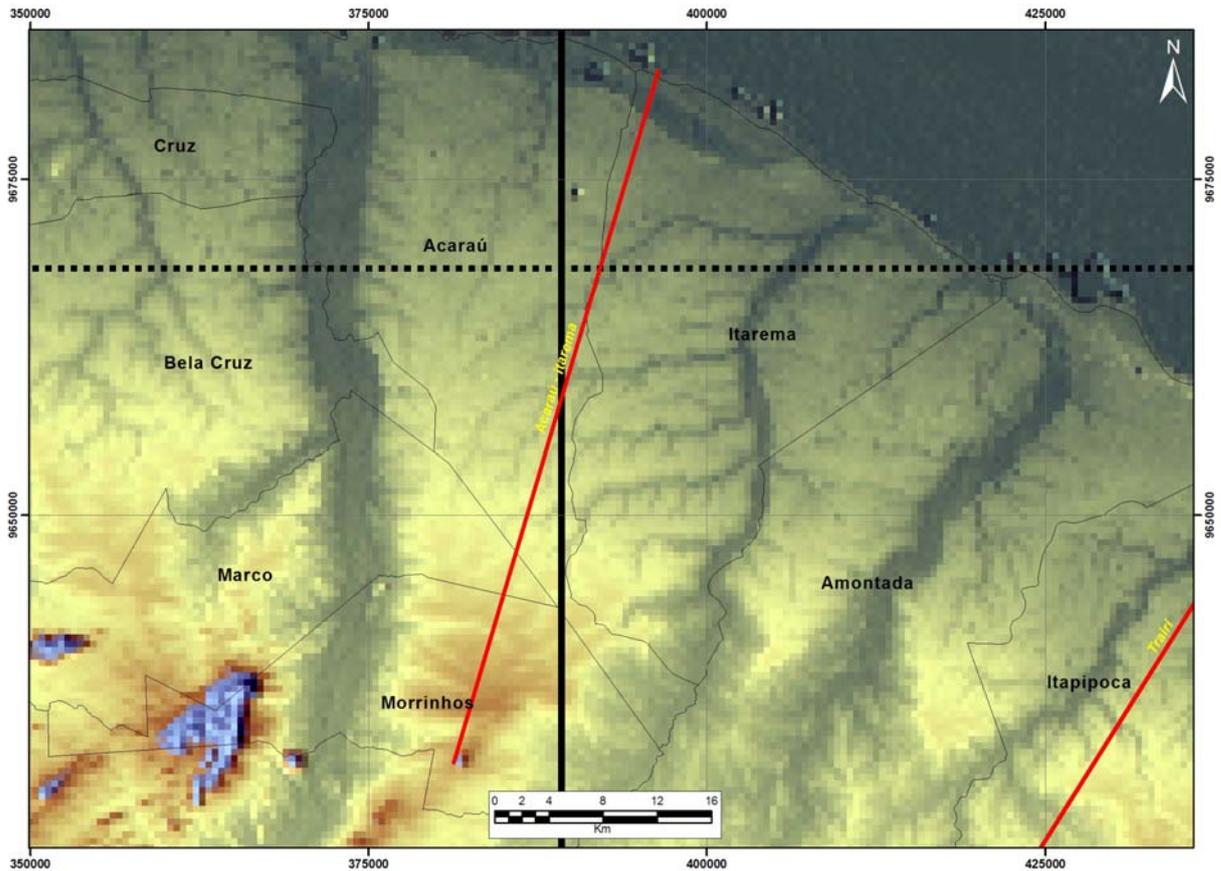


Figura 23 – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo a área do Perfil 2.

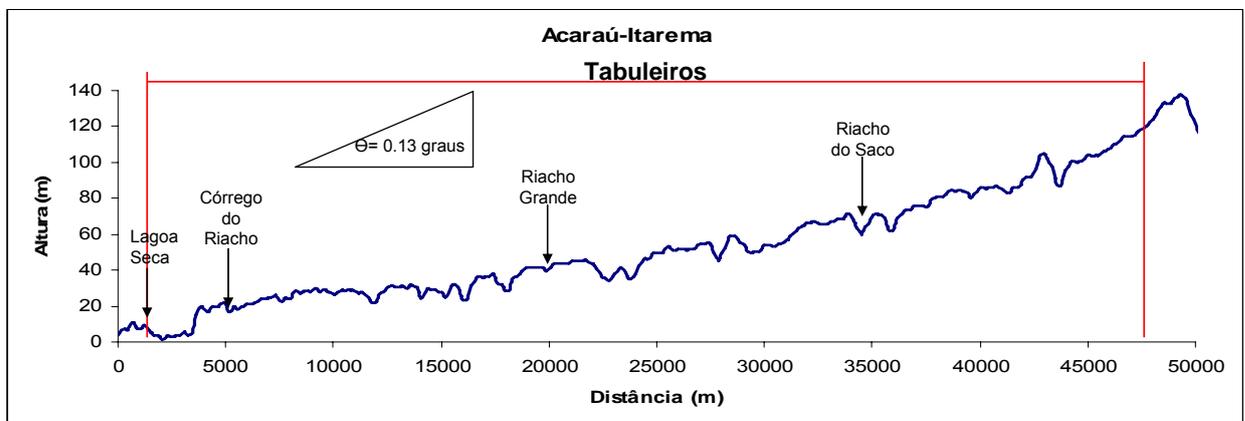
### Perfil 3 - Acaraú-Itarema

Este perfil está localizado exatamente na divisa dos Municípios de Acaraú e Itarema, compreendendo pequenos trechos dos Municípios de Acaraú, Marco e Morrinhos (Figuras 17 e 24). Os tabuleiros neste perfil se estendem por quase 35 km, apresentando uma declividade da ordem de 0.13 graus. Este perfil se localiza entre dois rios de grande extensão: Acaraú e Aracatimirin, além de riachos tais como do Saco e Grande (Figura 25).

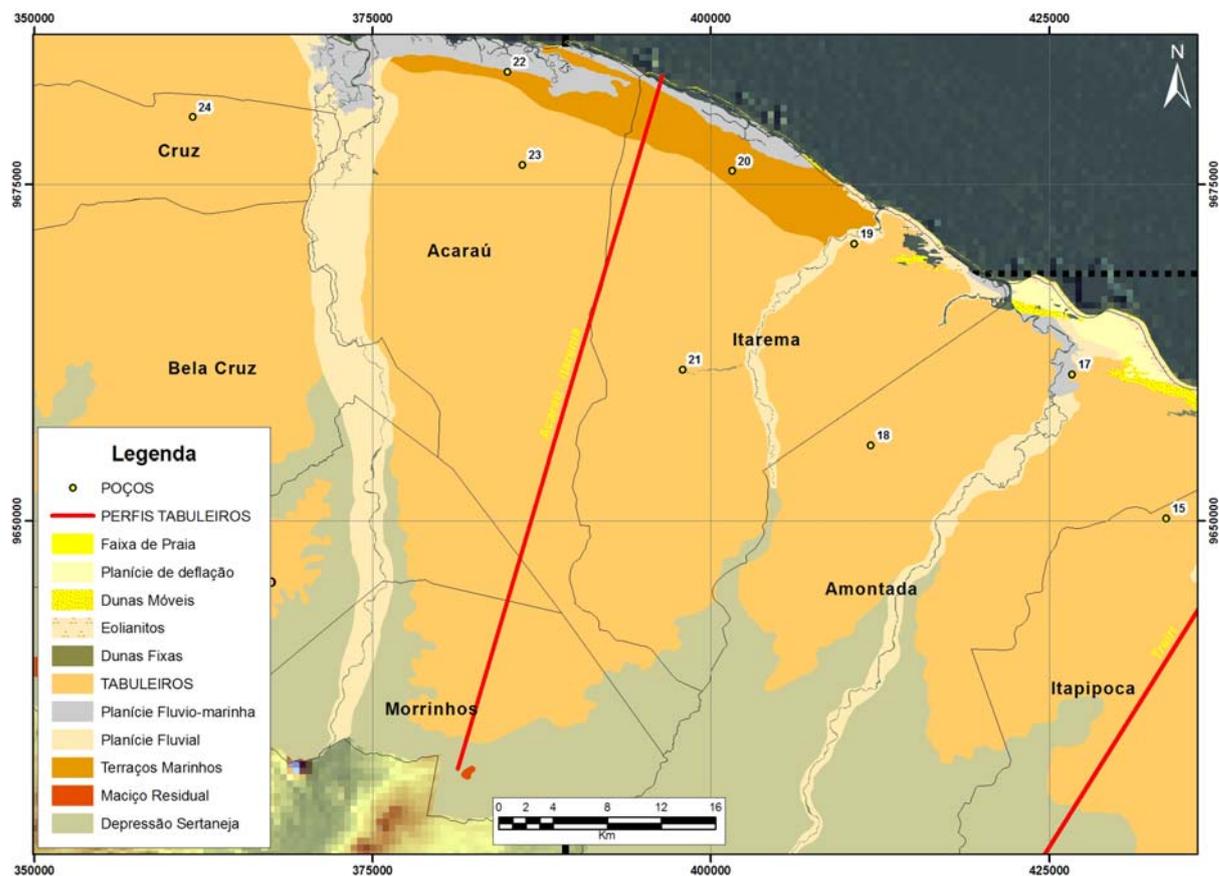
Neste perfil, têm-se os poços # 18, 19, 20, 21 e 22 (Figura 26). Os sedimentos encontrados no entorno deste perfil caracterizam-se como areia média, variando de areia grossa a areia muito fina, com tamanho médio dos grãos perto de 0,30 mm e média dos valores de carbonato de cálcio em torno de 2,99%.



**Figura 24** – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 3.



**Figura 25** – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 3.



**Figura 26** – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 3.

#### Perfil 4 - Itapipoca

O perfil está localizado no Município de Itapipoca, que faz o limite leste do perfil, e os municípios de Amontada, Itarema e Morrinhos, que fazem o limite oeste do perfil (Figuras 17 e 27). Os tabuleiros neste perfil se estendem por quase 30 km, apresentando uma declividade da ordem de 0,125 graus (Figura 28). Este recortado por diversas drenagens, tendo como principal o rio Mundaú, bem visualizadas na imagem processada e no perfil, apresentando uma grande cava, esta do vale pertencente ao rio Mundaú.

Em torno deste perfil, têm-se os poços # 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21 (Figura 29). A granulometria variou de areia grossa a areia muito fina, com valor médio para areia média, com grãos com tamanho médio de 0.28 mm. O perfil caracteriza-se pelos primeiros estratos com colorações escuras, gradando ao longo da profundidade para sedimentos avermelhados e níveis conglomeráticos. Os teores de carbonato de cálcio variaram de 1.22 a 4.03 %, com valor média de 2.68%.

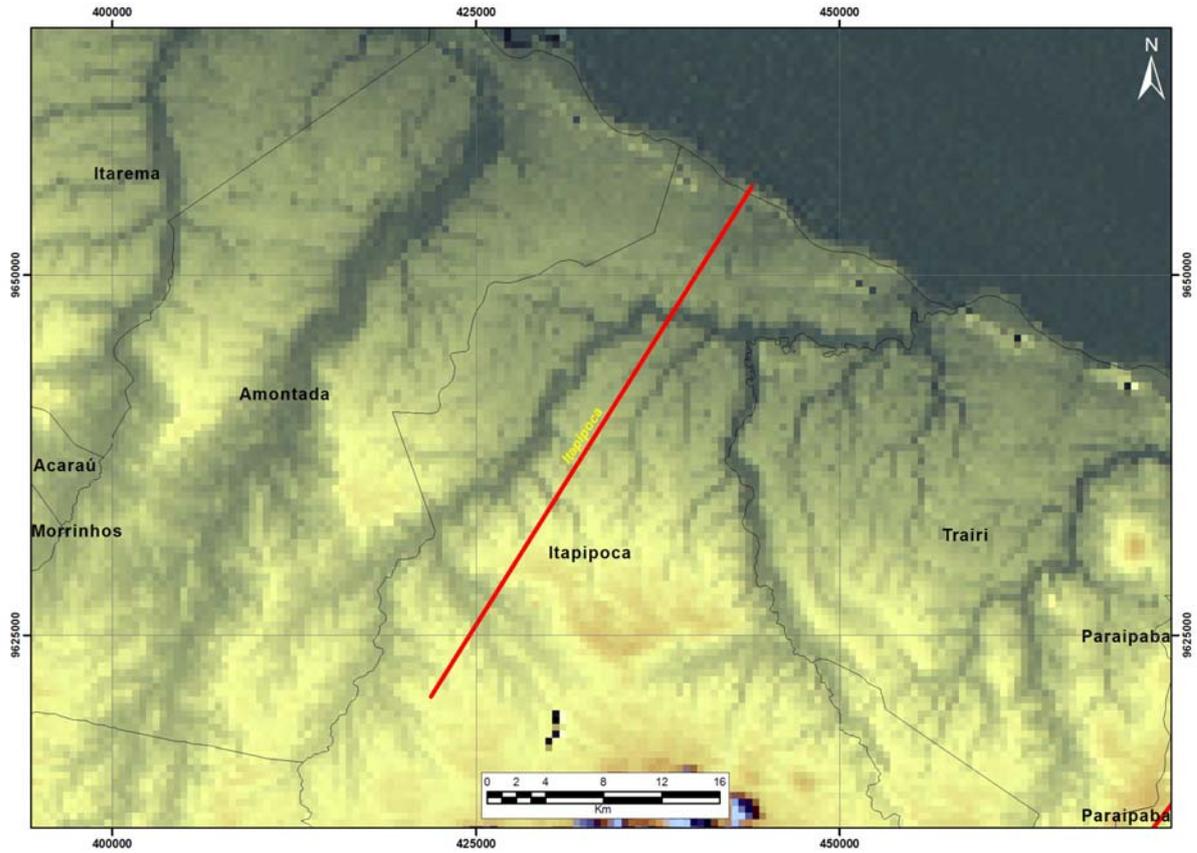


Figura 27 – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 4

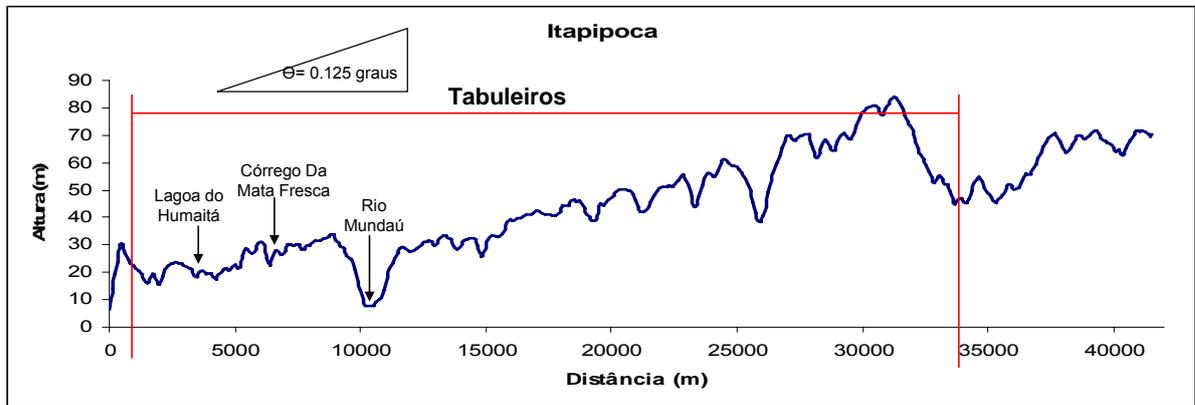


Figura 28 – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 4.



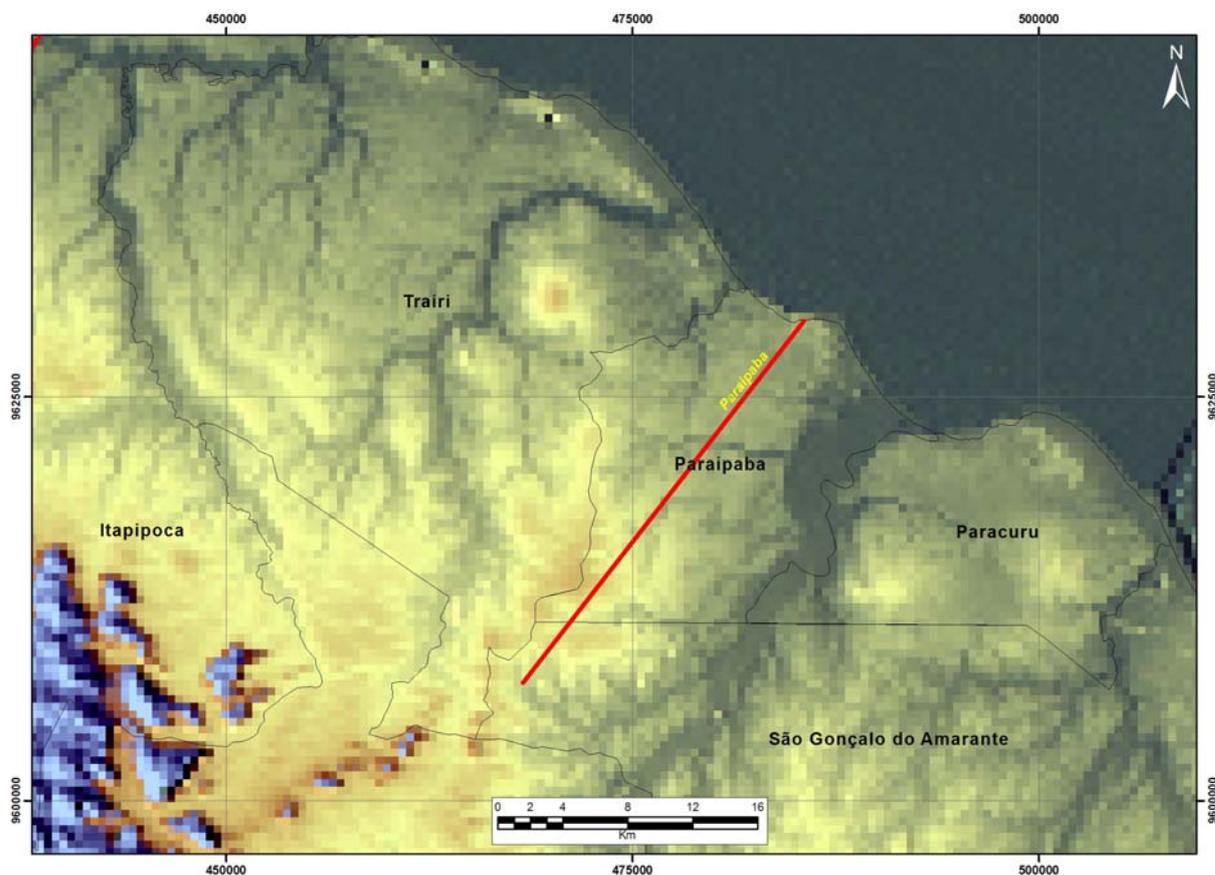


Figura 30 – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 5.

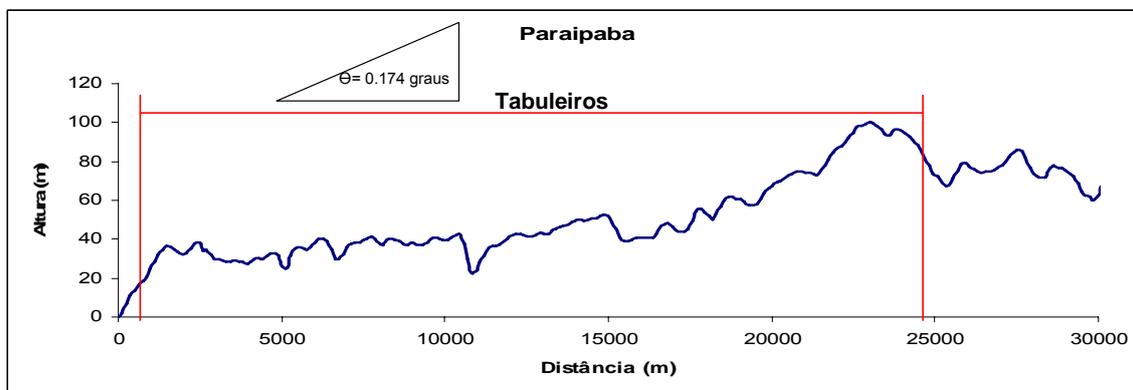
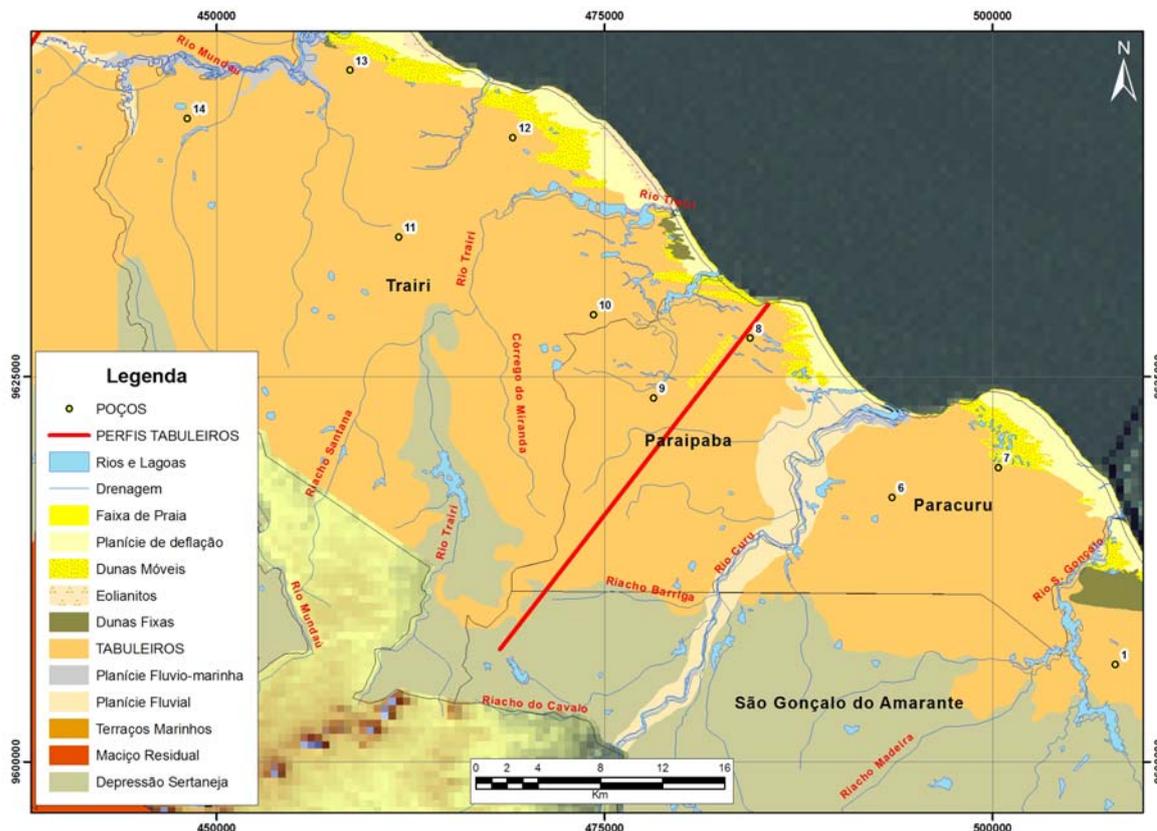


Figura 31– Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 5.



**Figura 32** – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 5.

#### Perfil 6 - São Gonçalo do Amarante

Este perfil está localizado na divisa dos Municípios de São Gonçalo do Amarante e Caucaia, envolve muito pouco deste, recortando os Municípios de São Gonçalo do Amarante e Caucaia (Figura 31). Os Tabuleiros neste perfil se estendem por quase 10 km, apresentando uma declividade da ordem de 0,21 graus (Figura 32). Este perfil é recortado por diversos corpos hídricos, rio São Gonçalo, riacho das Guaribas, lagamar do Gereau. Ao contrário dos perfis anteriores, é observada a extensão mais reduzida dos Tabuleiros, em razão do barramento ocasionado por maciços residuais situados ao leste. A figura que representa o perfil em perspectiva extraída diretamente das imagens SRTM, apresentou ruído, causando o aparecimento de picos negativos muito grandes, contudo os dados tratados em planilhas eletrônicas proporcionaram um perfil mais realista.

Neste perfil, estão os poços # 1, 2, 3, 4, 5; 67, 68, 69 e 70 (Figura 33). Os sedimentos no entorno deste perfil são areias média que variam até areias muito finas com grãos subarredondados, com tamanho médio de 0,28 mm de coloração clara, variando ao vermelho com o aumento da profundidade. Os teores de carbonato variam de 0 a 4,91%. Em certos

locais há a ocorrência de argila, que recobre os grãos de quartzo; dispostos, estão sedimentos de dunas, paleodunas e barreiras.

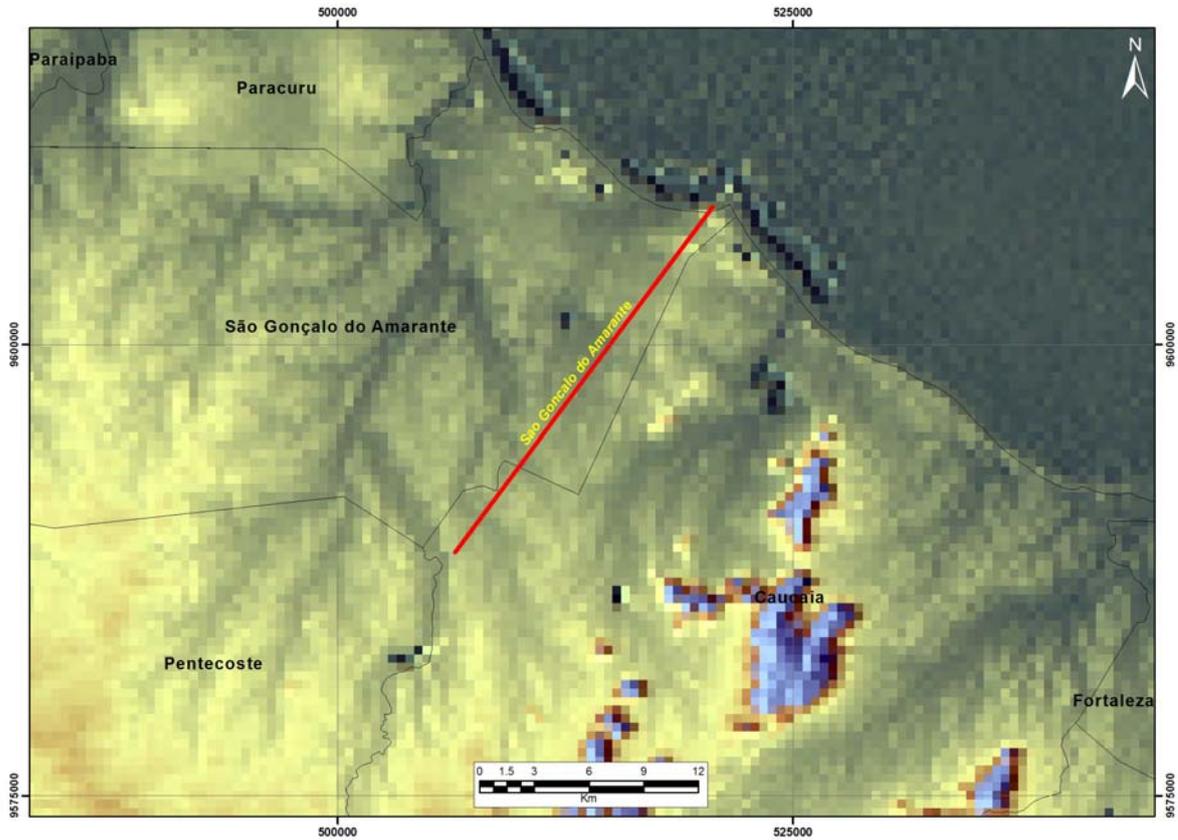


Figura 33 – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 6.

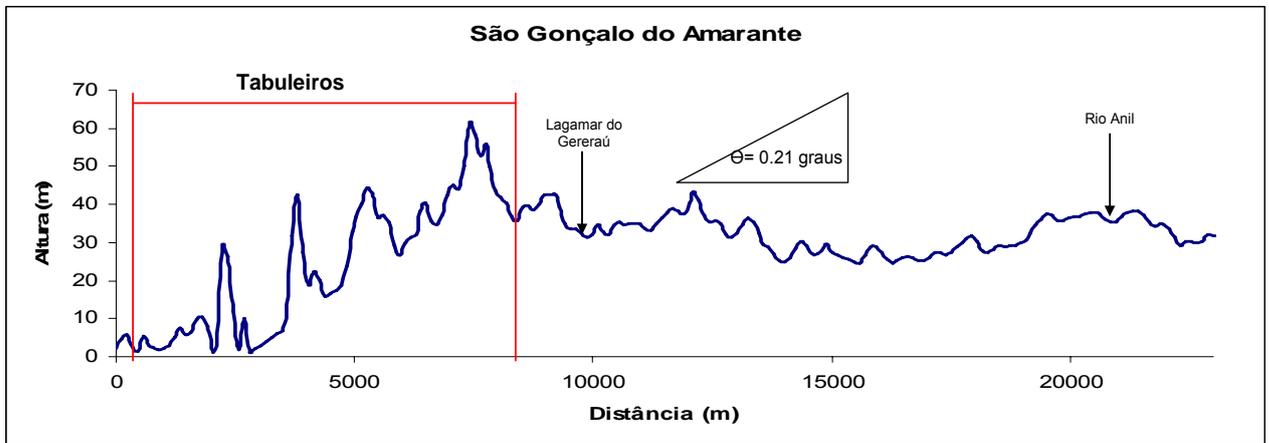
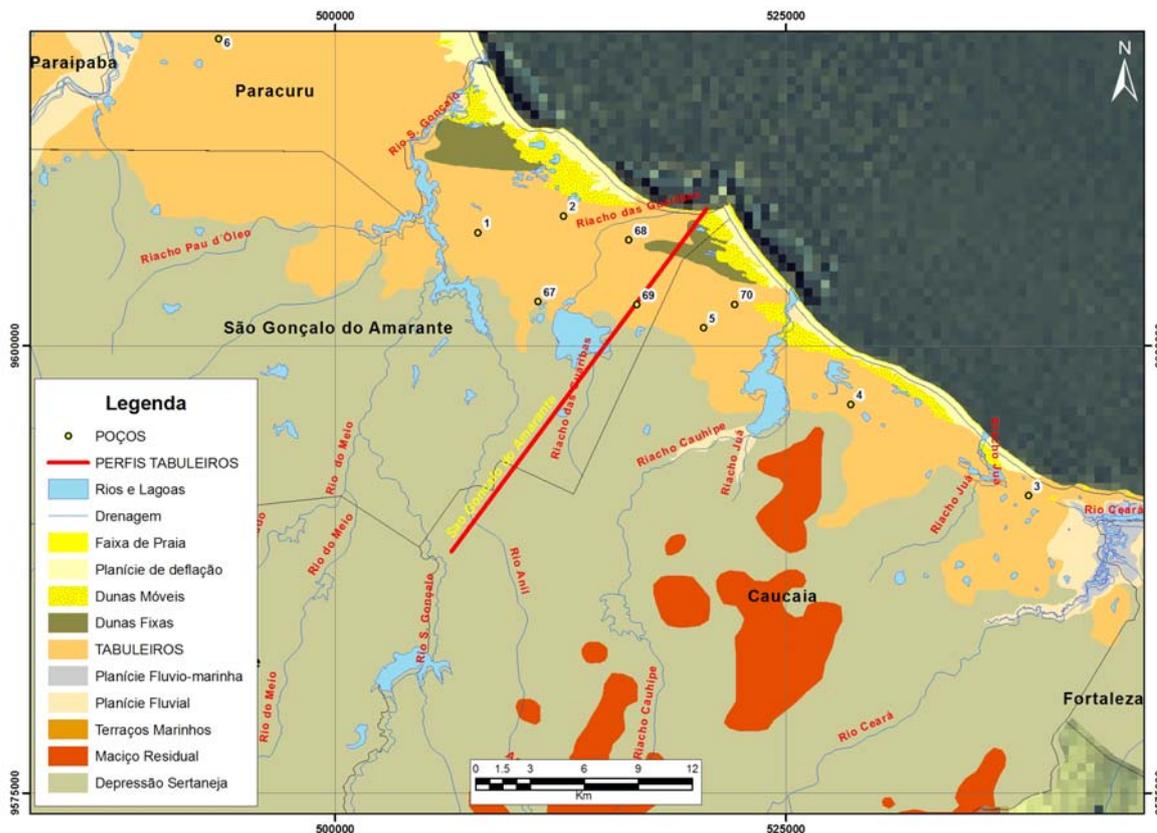


Figura 34 – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 6.

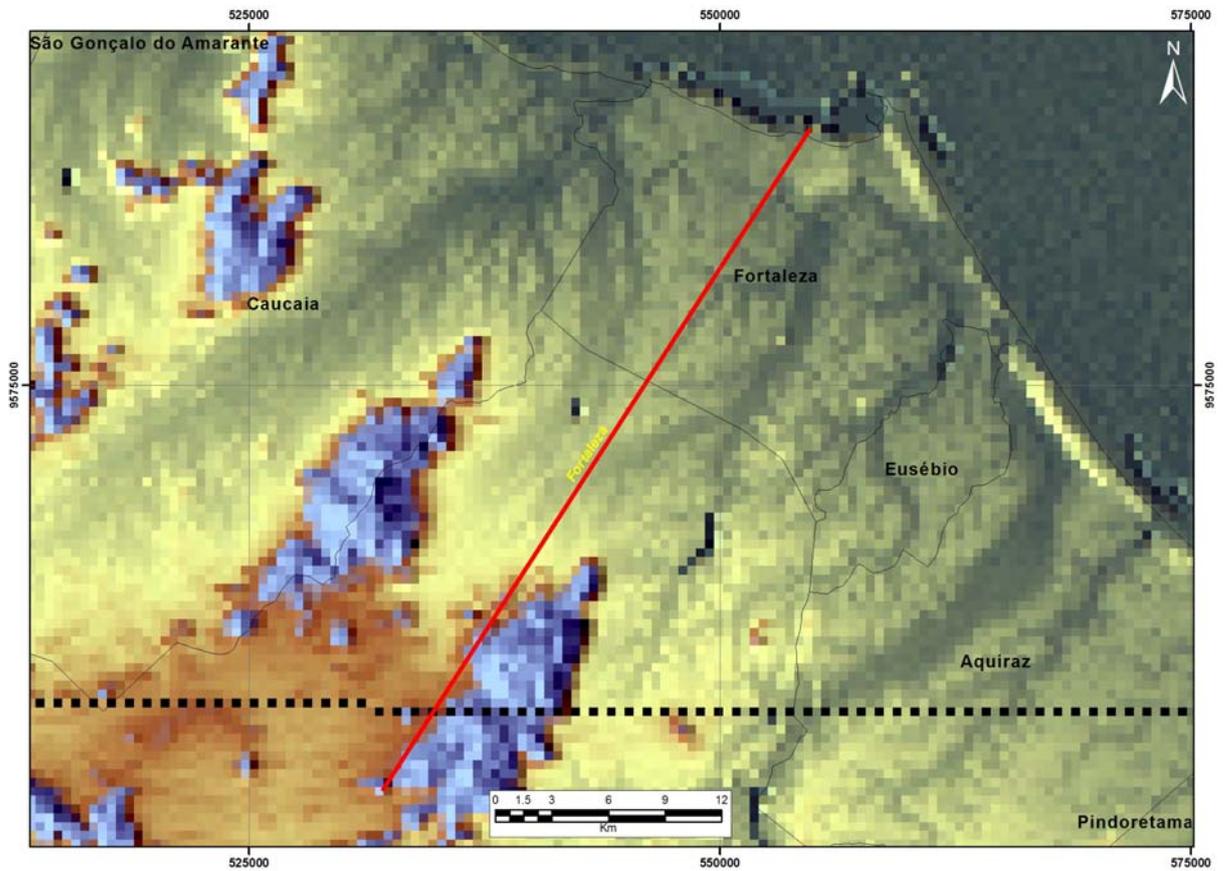


**Figura 35** – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 6.

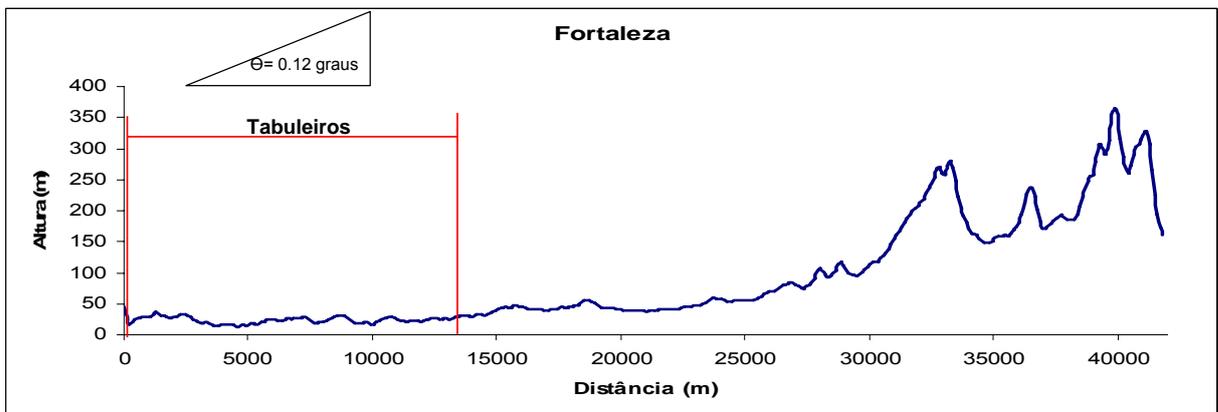
#### Perfil 7 - Fortaleza

Este perfil está localizado no Município de Fortaleza (Figuras 17 e 36). O trecho pesquisado apresenta poucos corpos hídricos, entretanto, pode-se verificar a presença do rio Cocó, a leste, e do rio Ceará, ao oeste. Os Tabuleiros neste perfil se estendem por quase 14 km, apresentando uma declividade da 0,12 graus (Figura 37). Neste perfil tem-se em destaque a presença do embasamento cristalino na sua porção interiorana (Figuras 36 e 37).

Há um aumento gradativo da declividade a partir dos 14 quilômetros do litoral, em função da presença das serras da Pacatuba, Maranguape e, na retaguarda, numa escala de maior grandeza, o maciço de Baturité; havendo, portanto, no perfil um decréscimo da faixa de Tabuleiros (Figura 38). Os sedimentos são caracterizados por areias médias a finas.



**Figura 36** – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 7.



**Figura 37** – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 7.



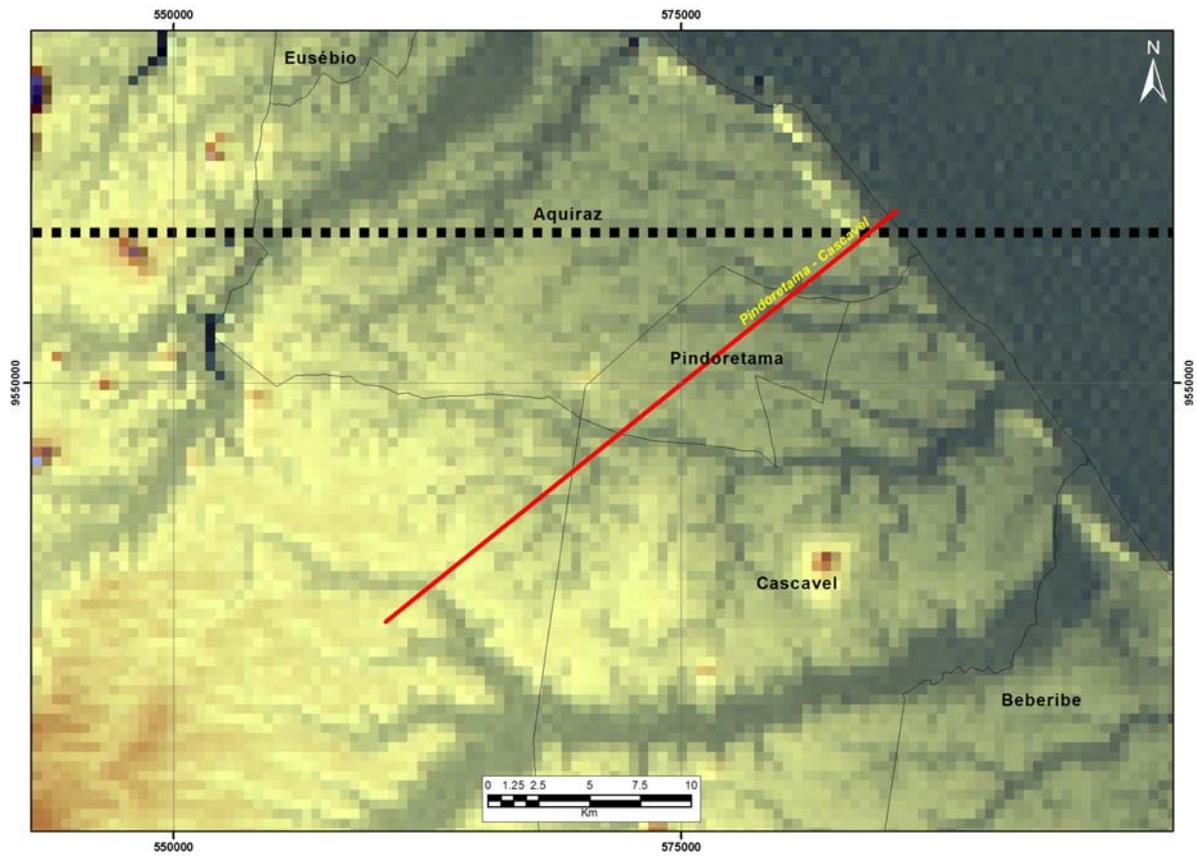


Figura 39 – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 8.

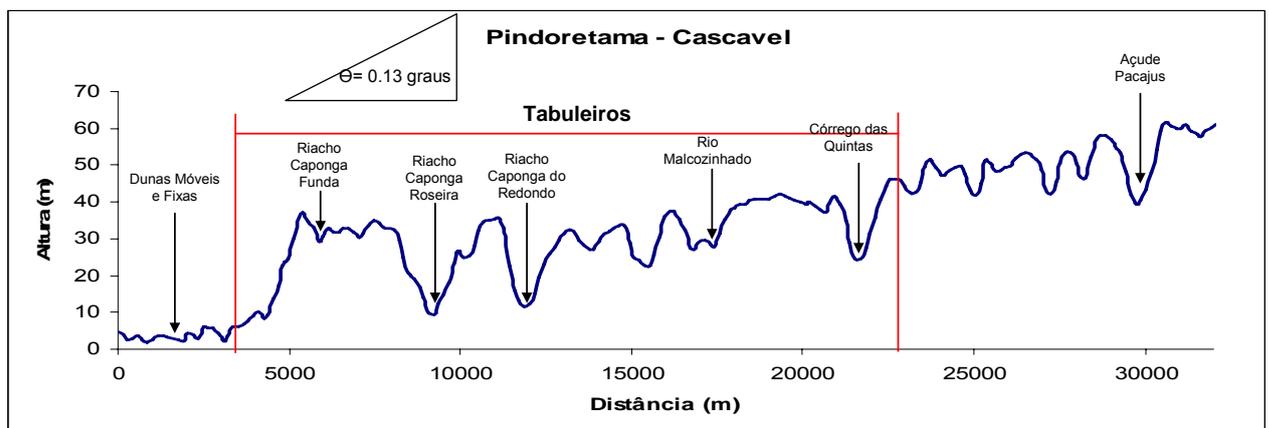
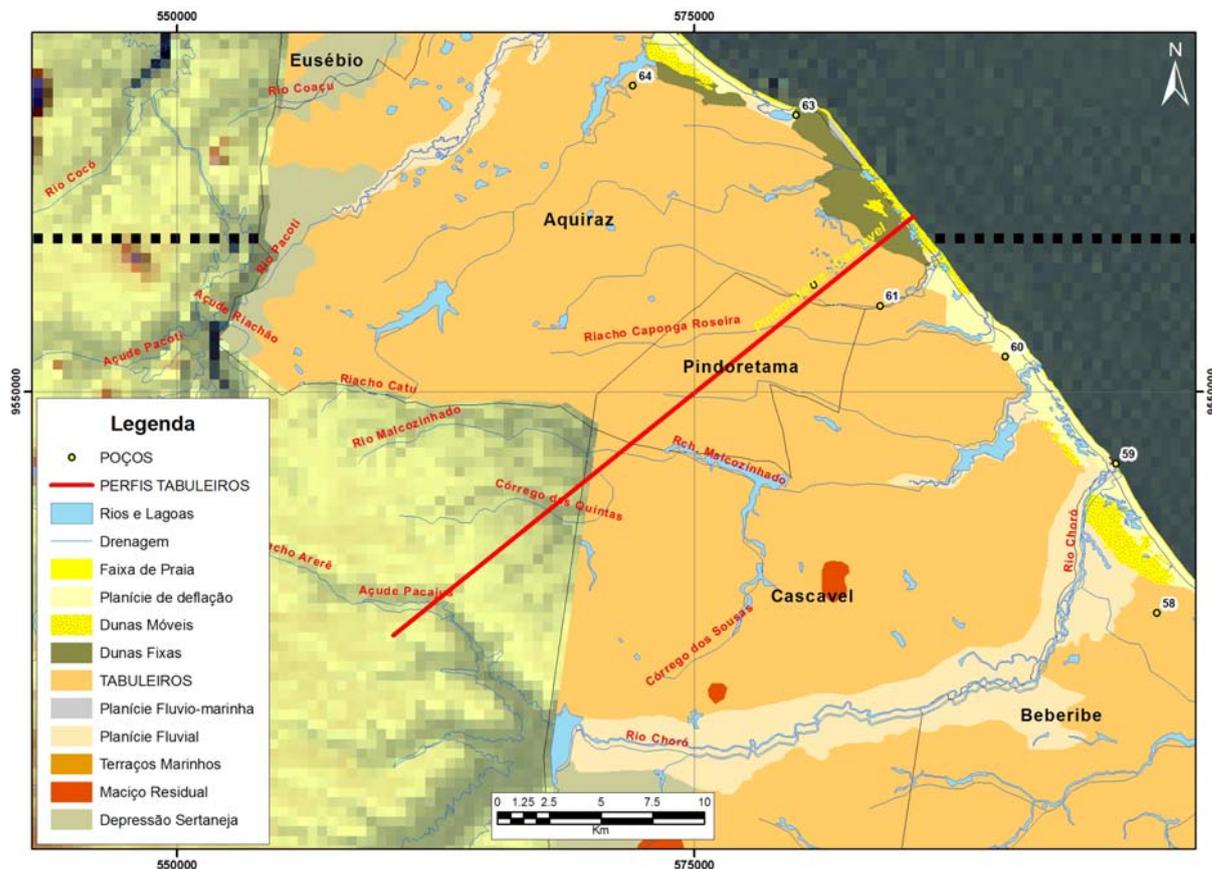


Figura 40 – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 8.

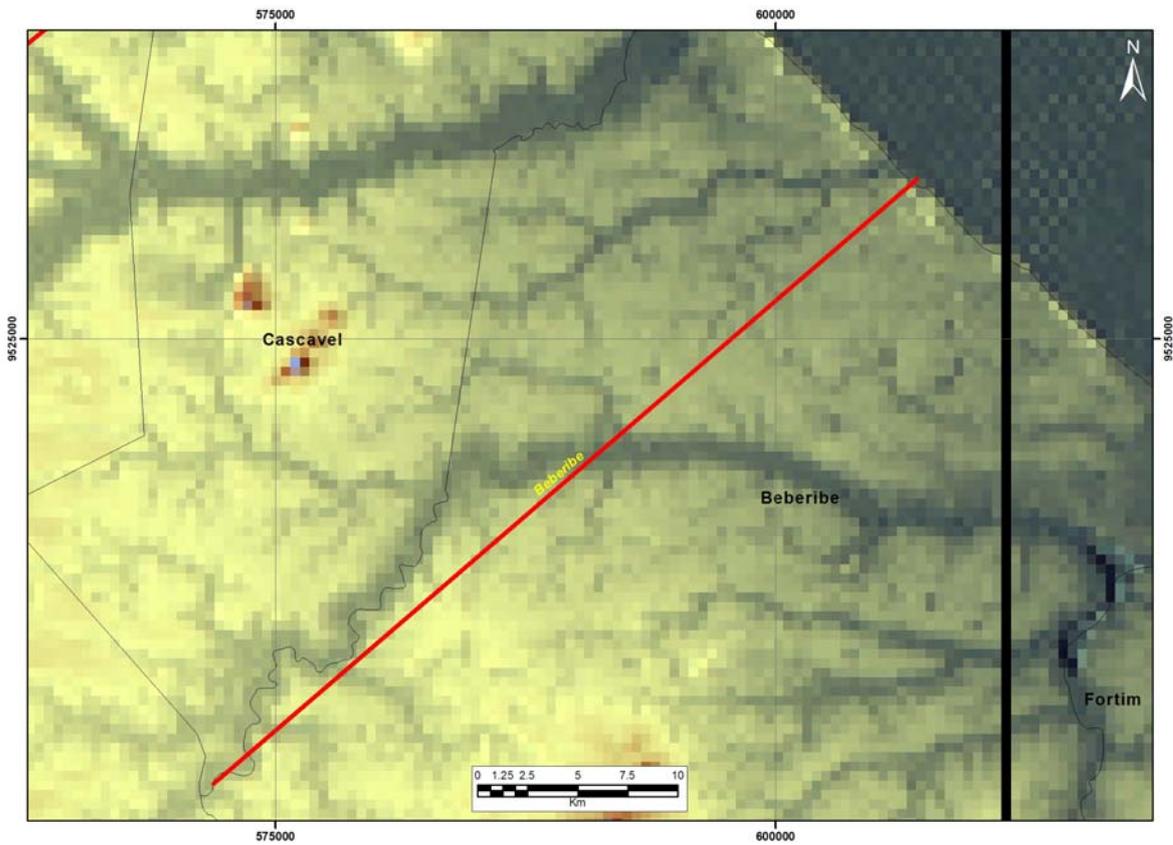


**Figura 41** – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 8.

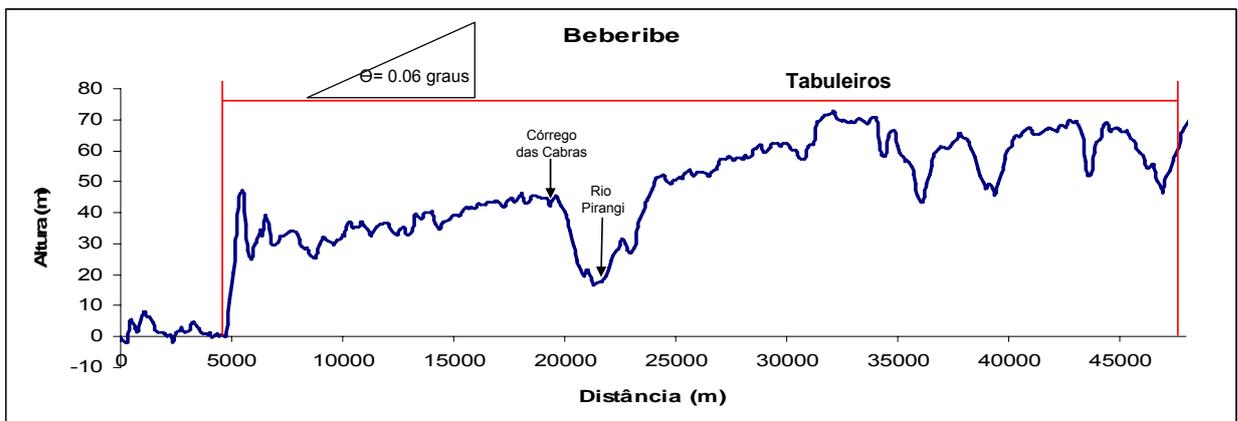
### Perfil 9 - Beberibe

Este perfil está localizado exatamente no Município de Beberibe (Figuras 17 e 42). O Tabuleiro neste perfil se estende por quase 40 km, apresentando uma declividade da ordem de 0,06 graus (Figura 43). Este perfil é recortado por diversos corpos hídricos, entre os quais se destaca o rio Pirangi e a lagoa do Uruaú . Na linha de costa para o começo das falésias, há uma variação topográfica em torno de 40 metros entre o tpo da falésia e a zona praial. As drenagens presentes por o todo perfil são bem superficiais, tendo apenas o riacho Umburuna, que é um afluente do rio Pirangi, que se destaca no perfil.

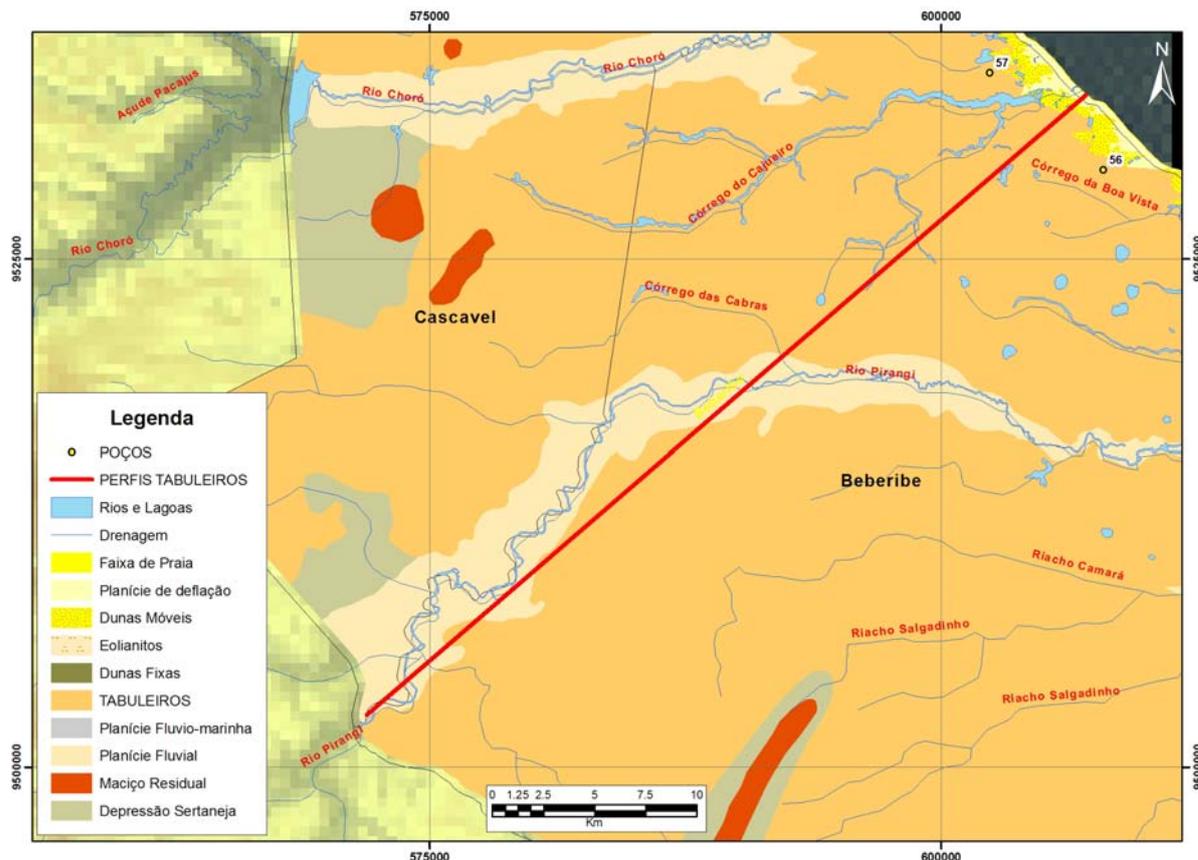
Neste perfil, têm-se os poços # 55, 56, 57 e 58 (Figura 44). Os sedimentos são areias médias que variam até areia muito fina, com grãos subarredondados a arredondados, com tamanho médio de 0.25 mm e coloração escura que grada para tons claros com a profundidade. O teor médio de carbonato de cálcio ficou em 2.26% (0.61-4.43). No entorno deste perfil sedimentar pode-se registrar depósitos típicos de dunas e paleodunas.



**Figura 42** – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 9.



**Figura 43** – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 9.



**Figura 44** – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 9.

#### Perfil 10 - Fortim

Este perfil está localizado nos Municípios de Fortim, Aracati e Palhano (Figuras 17 e 45). O Tabuleiro neste perfil se estende por quase 40 km, apresentando uma declividade da ordem de 0,076 graus (Figura 46). Este perfil é recortado por diversos corpos hídricos: rio Jaguaribe, ao leste, e rio Pirangi e o açude Medeiros, ao oeste. As drenagens existentes neste perfil são do tipo perene, mas é apresentada no perfil proporcionando o aspecto rugoso a superfície do local.

Neste perfil, têm-se os poços # 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53 e 54 (Figura 47). Os sedimentos são caracterizados por areias médias, variando até areia fina, com grãos de aproximadamente 0.28 mm, subarredondados a arredondados e de coloração escura ou clara na superfície, gradando para tons avermelhados com a profundidade. Os teores médio de carbonato de cálcio ficaram por volta de 2.61%. Os poços relatam a distribuição bem evidente dos sedimentos dunares e sedimentos plio-pleistocenicicos (Formação Barreiras).

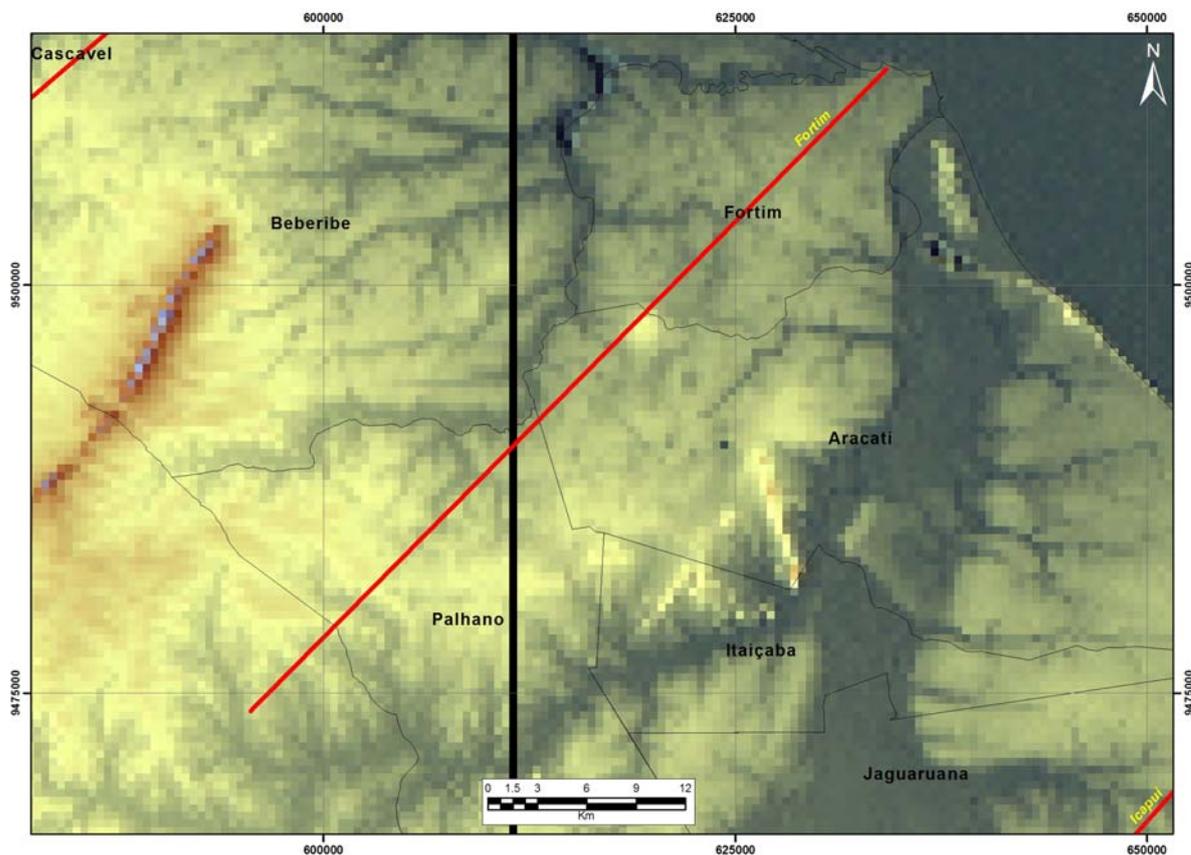


Figura 45 – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 10.

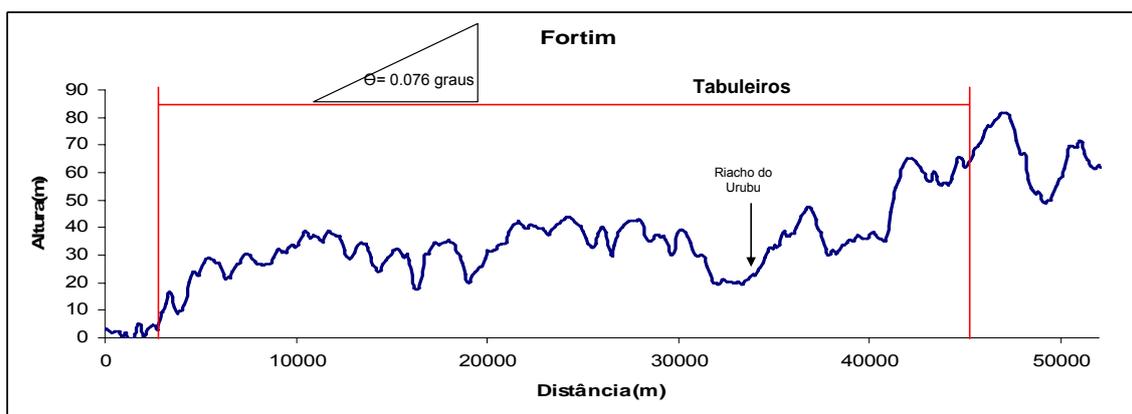


Figura 46 – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 10.



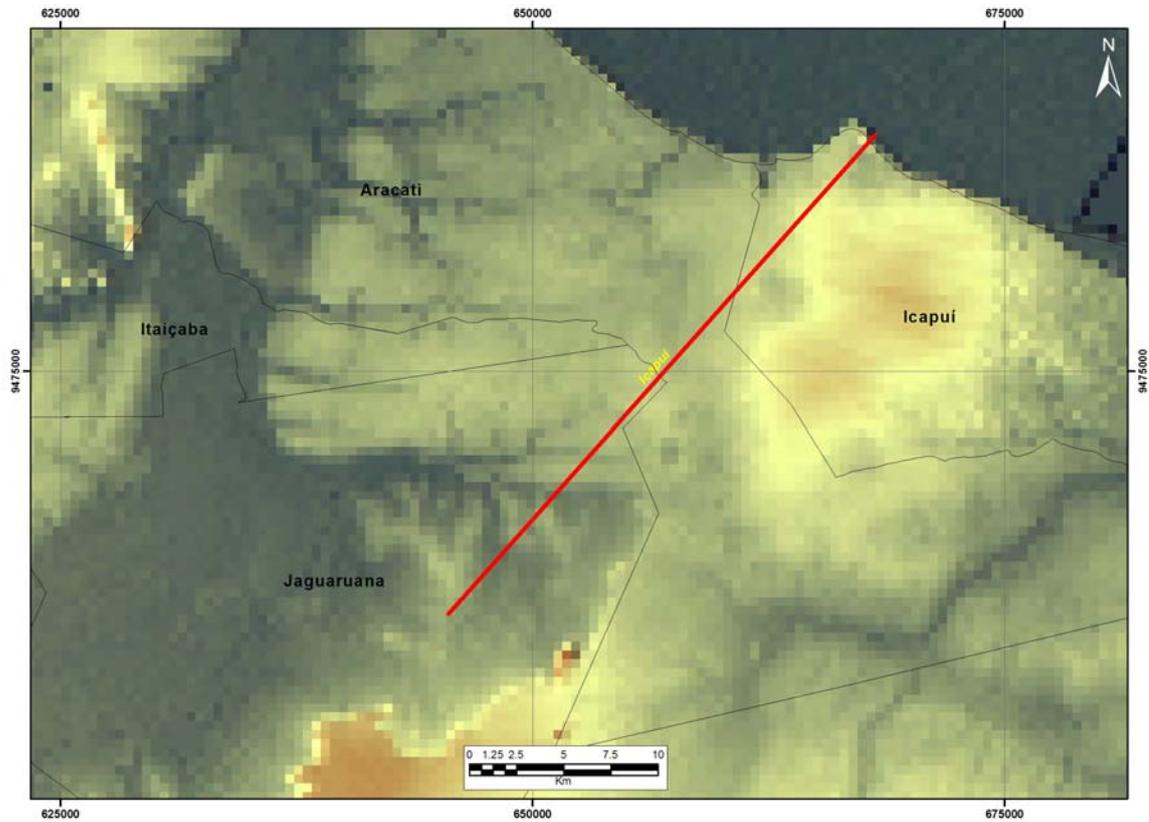


Figura 48 – Imagem SRTM com realce de 250 metros da topografia da área abrangida pelo Perfil 11.

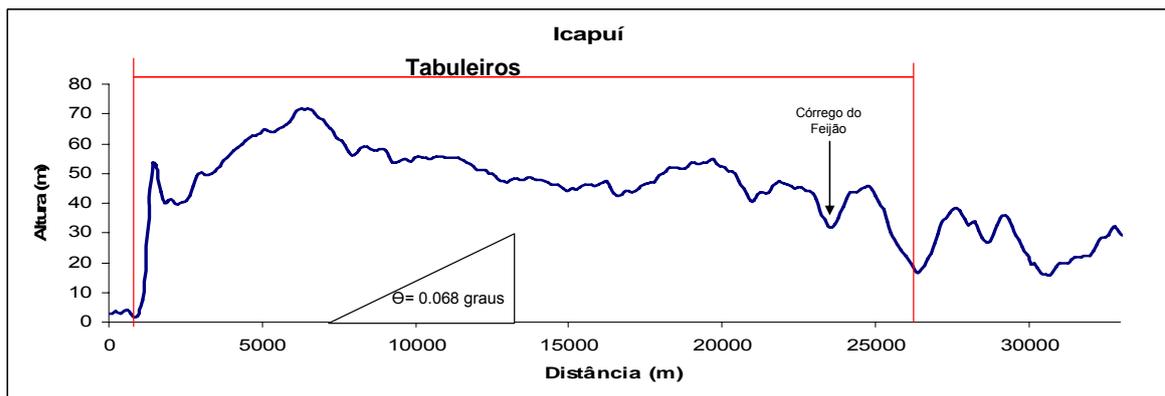
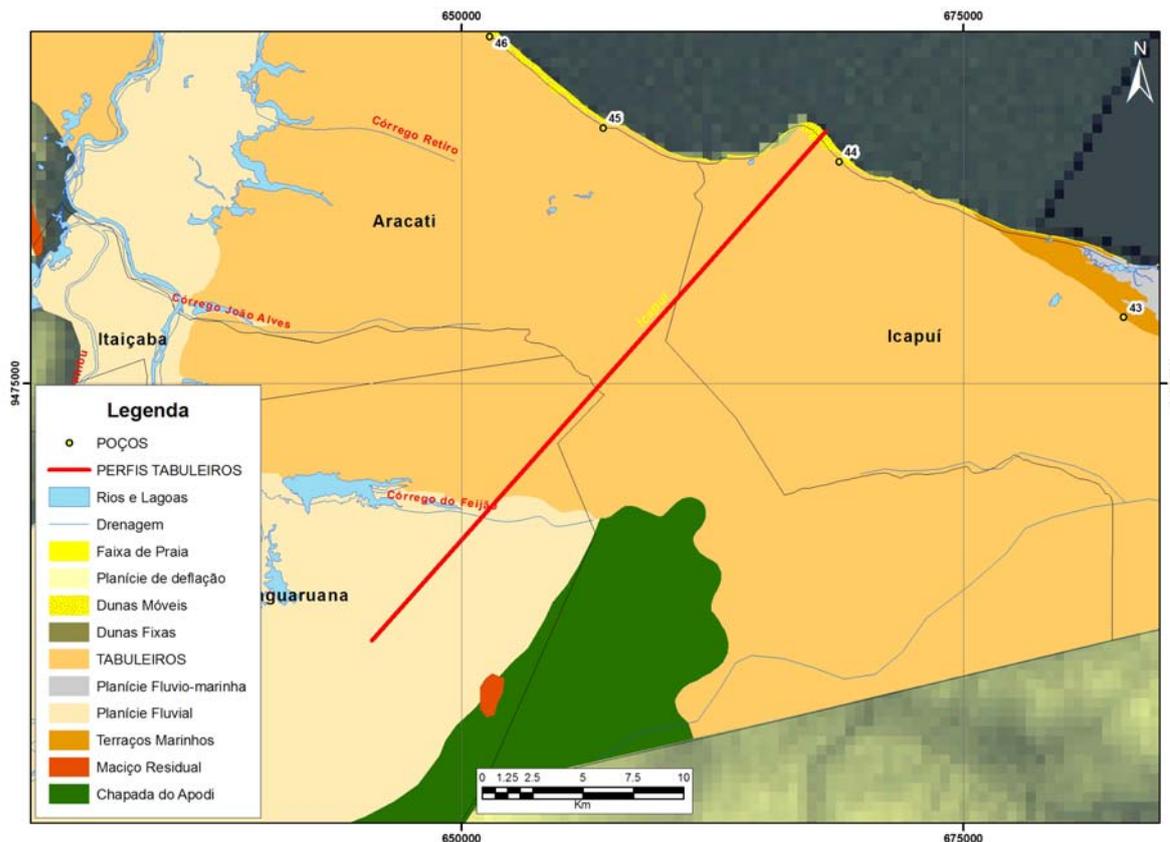


Figura 49 – Perfil extraído das imagens SRTM do Perfil 11.



**Figura 50** – Combinação das imagens SRTM-Unidades Geoambientais compreendendo á área do Perfil 11.

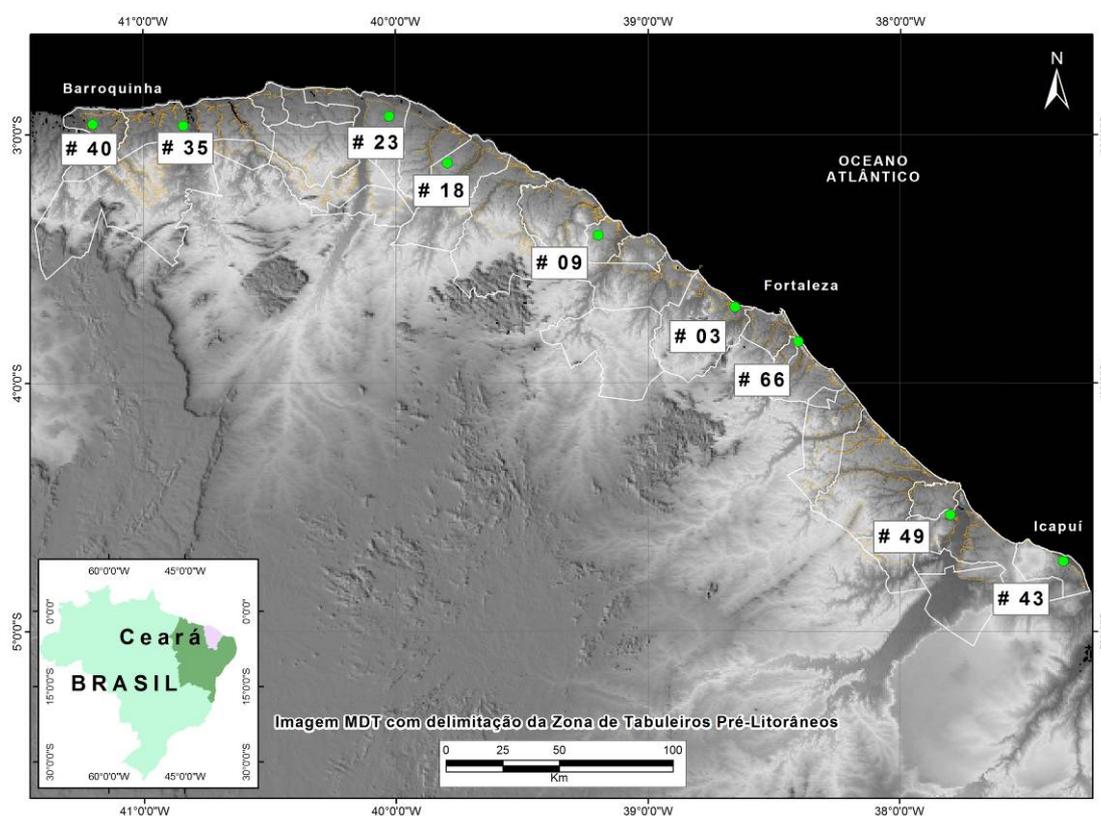
## 6.2 Metais

Os silicatos constituem cerca de 95% do volume da crosta terrestre, dos quais cerca de 59,5% são representados por feldspatos, 16,8% por anfibólios (silicato hidratado de Fe, Mg, Ca, podendo ter óxido de alumínio.) e piroxênios (silicatos de Fe que podem conter Mg, Fe, Al, Ti, Mn, Cr, Ca, Na, Ni, 12% por quartzo e 3,8% pelas micas e os outros minerais (silicatos e não silicatos), perfazendo o volume de aproximadamente 7,9%. Dessa maneira, a maioria das rochas é formada por silicatos, sendo raras as rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares que não possuem como minerais essenciais silicatos. Petrograficamente, este depósito apresenta o quartzo como principal elemento detrítico (87%) do conteúdo terrígeno, seguido por feldspatos (8%) e, em menores proporções, fragmentos líticos; micas, cianita, epidoto, zircão e minerais pesados, entre eles, ilmenita, estauroлита, zircão e epidoto (MAIA, 1993).

As amostras para análise de metais constituem nove poços (# 03, 09, 18, 23, 35, 40, 43, 49 e 66) escolhidos por suas localizações e pela distribuição sedimentar para se referendar os teores de metais nos sedimentos dos Tabuleiros (Figura 50), usamos Composição elementar da

crosta terrestre e sedimentos conforme estão em Salomons e Förstner(1984), como também a composição química dos minerais encontrados na área e nos tabuleiros, sendo estes:

- feldspato, é um silicato de alumínio, tendo como cátions, átomos de potássio, sódio e cálcio, com fórmula química geral  $(K,Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$ ;
- micas, silicatos hidratados de alumínio e potássio, podendo conter ferro, magnésio e lítio. As micas mais comuns são biotita  $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Al,Fe)Si_3O_{10}$  e muscovita  $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ ;
- cianita, basicamente um silicato de alumínio com formula geral  $Al_2SiO_5$ .
- epidoto, um silicato hidratado de alumínio, ferro, cálcio e sódio.  $(Ca,Na,Fe)Al_2O.Si_3O_{11}OH$ ;
- zircão, um silicato de zircônio ( $ZrSiO_4$ );
- ilmenita, um óxido de titânio e ferro com fórmula química geral  $(FeTiO_3)$ ; e
- estauroлита, um silicato de alumínio e ferro. Fórmula Química:  $(Fe^{++},Mg)_2Al_9(Si,Al)_4O_{20}(O,OH)_4$



**Figura 51** - Mapa com a localização dos Poços que foram usados nas análises de metais.

No poço 43, perfurado na região de Icapuí (Tabela 11), as concentrações de Al no solo do Barreiras foram de 0,5 a 5,4 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 1,7 mg.g<sup>-1</sup>, para n=5. As maiores concentrações de Al foram observadas na superfície, com valores de 5,4 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto as menores concentrações foram encontradas entre 1 e 2 metros de profundidade, 0,5 mg.g<sup>-1</sup>. As concentrações de Fe no solo variaram entre 0,1 a 1,7 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 0,7 mg.g<sup>-1</sup>, para n=5. As maiores concentrações de Fe foram observadas em superfície (1,7 mg.g<sup>-1</sup>), e no restante do perfil a variação foi de 0,07 a 0,13 mg.g<sup>-1</sup>, Figura 51.

O Mn variou entre não detectável (Nd) a 3,5 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 1,6 mg.g<sup>-1</sup>, para n=5. As maiores concentrações de Mn ocorreram em superfície, com 3,5 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a 0,8 mg.g<sup>-1</sup>, sendo não detectáveis nas profundidades de 2 e 3m. A variabilidade observada para o Pb foi de 1,6 a 4,7 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 2,8 mg.g<sup>-1</sup>, para n=5. Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas em superfície, 4,7 mg.g<sup>-1</sup>, com tendência decrescente em relação às maiores profundidades, Figura 52. A figura 53 mostra as médias dos metais no perfil 43 com seus respectivos desvios-padrão.

**Tabela 10** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 43, na Região de Icapuí.

<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> µg/g	<b>Pb</b> µg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> µg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	Nd	4.70	1.73	3.50	5.35	3.73	2.77	1.00
<b>1 m</b>	Nd	1.60	0.13	0.77	0.51	3.11	0.55	0.36
<b>2 m</b>	Nd	3.07	0.08	Nd	0.54	1.83	0.31	0.16
<b>3 m</b>	Nd	2.45	0.07	Nd	0.94	3.05	0.49	0.19
<b>4 m</b>	Nd	2.11	0.12	0.47	0.98	2.48	0.69	0.19
<b>MÉDIA</b>	<b>Nd</b>	<b>2.79</b>	<b>0.43</b>	<b>1.58</b>	<b>1.67</b>	<b>2.84</b>	<b>0.96</b>	<b>0.38</b>
<b>MIN</b>	<b>Nd</b>	<b>1.60</b>	<b>0.07</b>	<b>Nd</b>	<b>0.51</b>	<b>1.83</b>	<b>0.31</b>	<b>0.16</b>
<b>MÁX</b>	<b>Nd</b>	<b>4.70</b>	<b>1.73</b>	<b>3.50</b>	<b>5.35</b>	<b>3.73</b>	<b>2.77</b>	<b>1.00</b>
<b>DVP</b>	<b>Nd</b>	<b>1.20</b>	<b>0.73</b>	<b>1.67</b>	<b>2.07</b>	<b>0.72</b>	<b>1.02</b>	<b>0.36</b>

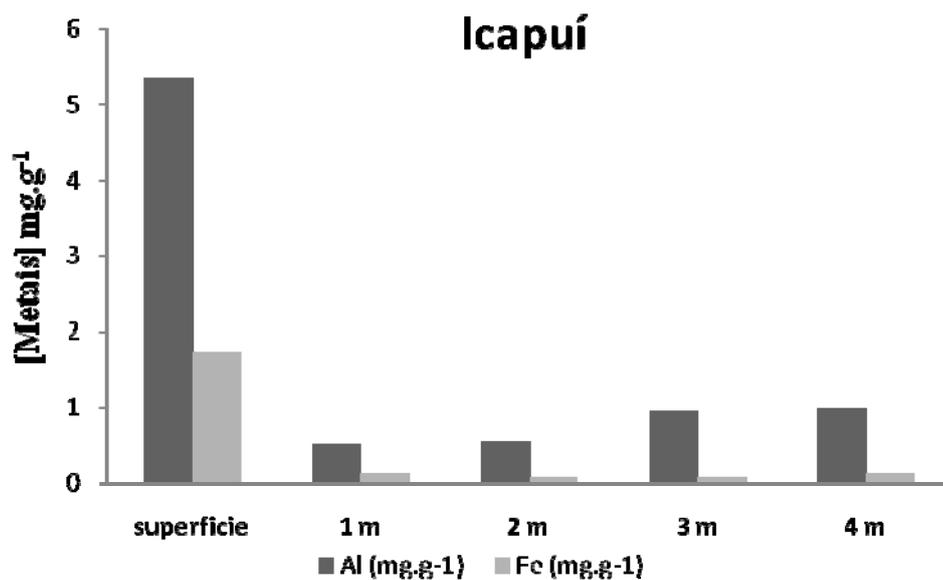


Figura 52 – Distribuição de Al e Fe no poço 43, região de Icapuí.

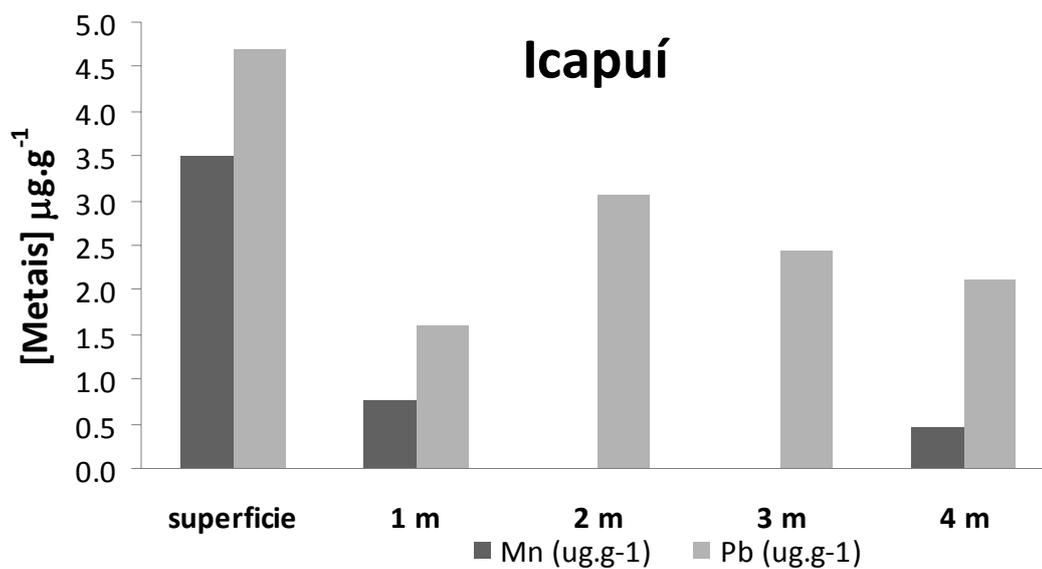


Figura 53 – Distribuição de Mn e Pb no poço 43, região de Icapuí.

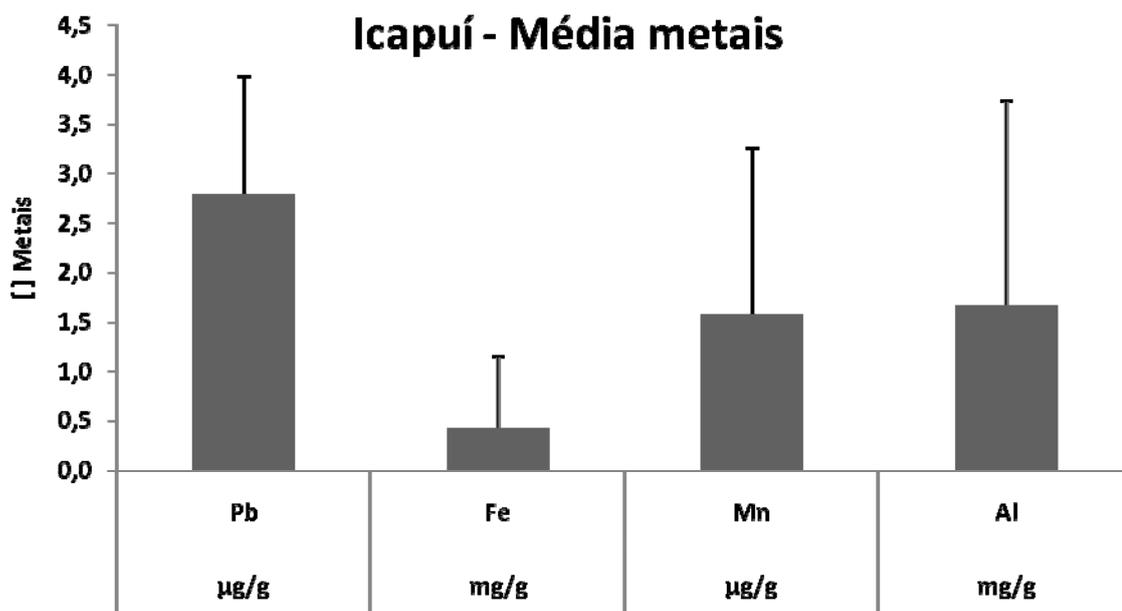


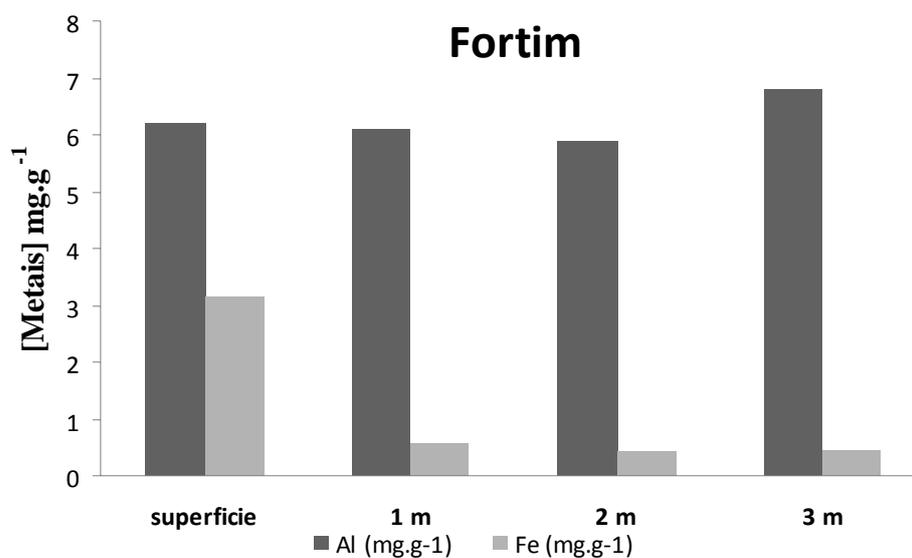
Figura 54 – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

No poço 49, perfurado na região de Fortim (Tabela 12), as concentrações de Al no solo (aluvião na parte superior, alternando a sedimentos eólicos para o fundo) foram de 5,89 a 6,81  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 6,26  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=4$ . As maiores concentrações de Al foram observadas a 3 m de profundidade, com valores de 6,81  $\text{mg.g}^{-1}$ , enquanto as menores concentrações foram encontradas a 2 m de profundidade, 5,89  $\text{mg.g}^{-1}$ . As concentrações de Fe no solo variaram entre 0,43 a 3,16  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 1,5  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=4$ . As maiores concentrações de Fe foram observadas em superfície (3,16  $\text{mg.g}^{-1}$ ), e no restante do perfil a variação foi de 0,43 a 3,16  $\text{mg.g}^{-1}$  (Figura 1).

O Mn variou entre 2 a 16  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 6,2  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=4$ . As maiores concentrações de Mn ocorreram em superfície, com 16  $\text{mg.g}^{-1}$ , enquanto, nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a 3,5  $\text{mg.g}^{-1}$ . A variabilidade observada para o Pb foi de 3,88 a 6,84  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 5,27  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=4$ . Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas em superfície, 4,7  $\text{mg.g}^{-1}$ , com tendência decrescente em relação às maiores profundidades (Figura 2). A figura 3 mostra as médias dos metais no perfil 49 com seus respectivos desvios-padrão.

**Tabela 11** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 49, na Região de Fortim.

<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> μg/g	<b>Pb</b> μg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> μg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	Nd	6.84	3.17	16.28	6.22	1.89	0.11	1.14
<b>1 m</b>	Nd	5.27	0.55	2.97	6.12	2.44	10.99	1.15
<b>2 m</b>	Nd	3.89	0.43	2.01	5.90	1.89	7.37	0.33
<b>3 m</b>	Nd	5.09	0.46	3.54	6.82	3.11	10.45	0.35
<b>MÉDIA</b>	Nd	<b>5.27</b>	<b>1.15</b>	<b>6.20</b>	<b>6.26</b>	<b>2.33</b>	<b>7.23</b>	<b>0.74</b>
<b>MIN</b>	Nd	<b>3.89</b>	<b>0.43</b>	<b>2.01</b>	<b>5.90</b>	<b>1.89</b>	<b>0.11</b>	<b>0.33</b>
<b>MÁX</b>	Nd	<b>6.84</b>	<b>3.17</b>	<b>16.28</b>	<b>6.82</b>	<b>3.11</b>	<b>10.99</b>	<b>1.15</b>
<b>DVP</b>	Nd	<b>1.21</b>	<b>1.35</b>	<b>6.75</b>	<b>0.39</b>	<b>0.58</b>	<b>5.01</b>	<b>0.46</b>

**Figura 55** – Distribuição de Al e Fe no poço 49, região de Fortim.

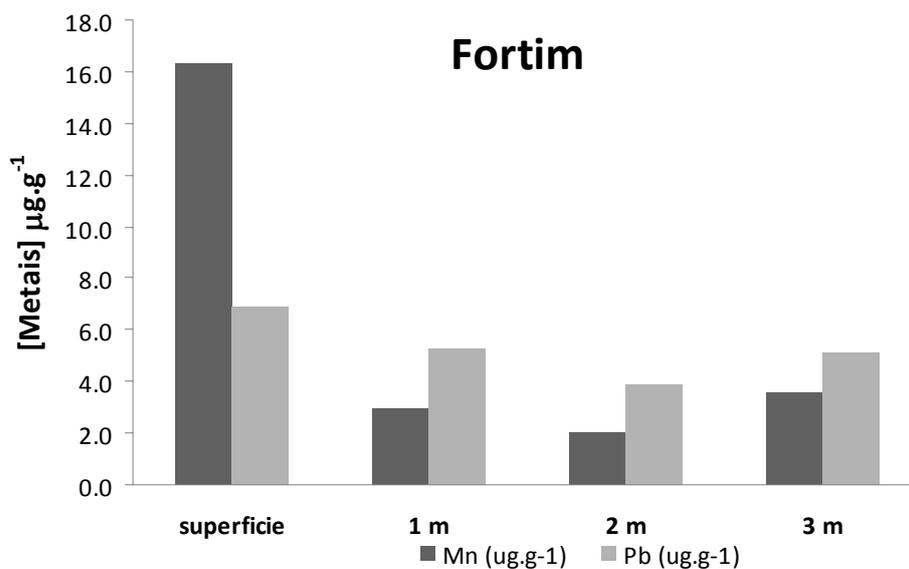


Figura 56 – Distribuição de Mn e Pb no poço 49, região de Fortim.

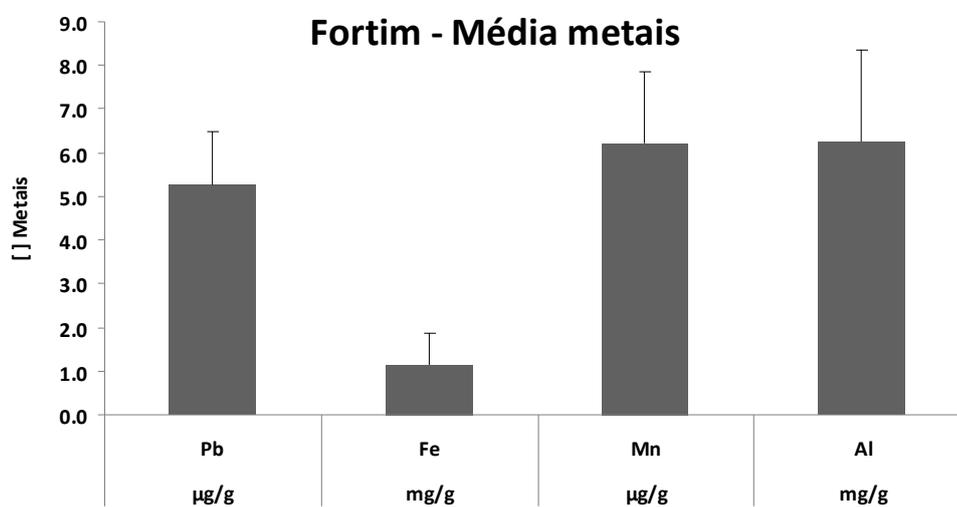


Figura 57 – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

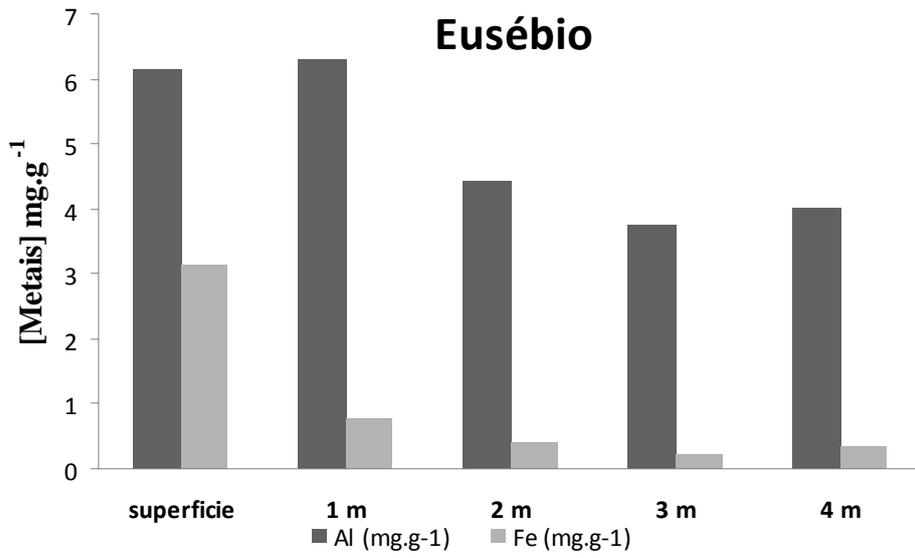
No poço 66, perfurado na região de Eusébio, as concentrações de Al no solo (dunar) foram de 3,75 a 6,29 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 4,92 mg.g<sup>-1</sup>, para n=4. As maiores concentrações de Al foram observadas a 1 m de profundidade, com valores de 4,92 mg.g<sup>-1</sup>,

enquanto que as menores concentrações foram encontradas a 3 m de profundidade,  $3,75 \text{ mg.g}^{-1}$ . As concentrações de Fe no solo variaram entre 0,21 a  $3,12 \text{ mg.g}^{-1}$ , com média de  $0,97 \text{ mg.g}^{-1}$ , para n=4. As maiores concentrações de Fe foram observadas em superfície ( $3,12 \text{ mg.g}^{-1}$ ), e no restante do perfil a variação foi de 0,21 a  $3,12 \text{ mg.g}^{-1}$ , Figura 57.

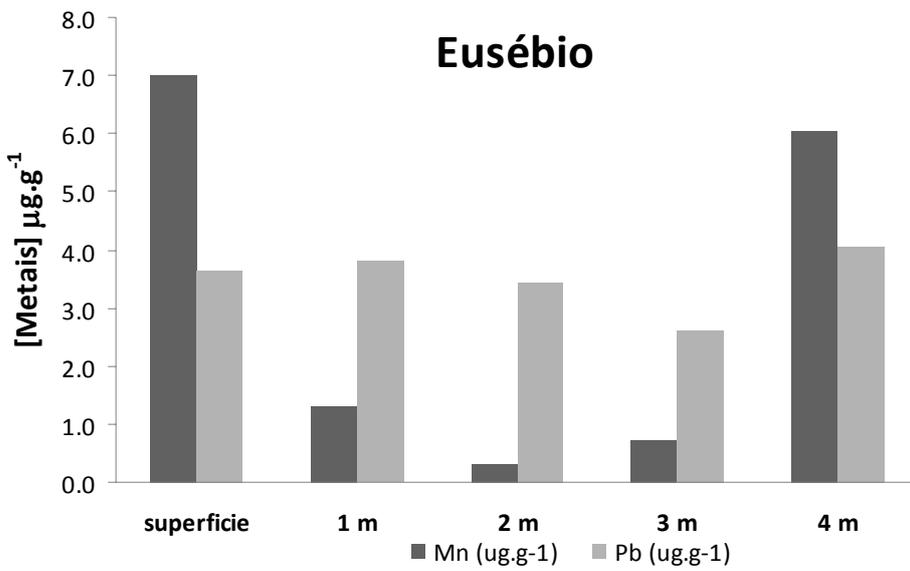
O Mn variou entre 0,32 a  $7,02 \text{ mg.g}^{-1}$ , com média de  $3,08 \text{ mg.g}^{-1}$ , para n=4. As maiores concentrações de Mn ocorreram em superfície, com  $7,02 \text{ mg.g}^{-1}$ , enquanto, nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a  $6,02 \text{ mg.g}^{-1}$ . A variabilidade observada para o Pb foi de 2,6 a  $4,04 \text{ mg.g}^{-1}$ , com média de  $3,5 \text{ mg.g}^{-1}$ , para n=4. Como os demais metais descritos até aqui, às maiores concentrações de Pb foram observadas a 4 m,  $4,04 \text{ mg.g}^{-1}$ , com tendência decrescente em relação as maiores profundidades (figura 58). A figura 59 mostra as médias dos metais no perfil 66 com seus respectivos desvios-padrão. O teores de Pb nos solos segundo a CPRM variam de 2 a  $60 \text{ mg.g}^{-1}$ .

**Tabela 12** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 66, na Região de Eusébio.

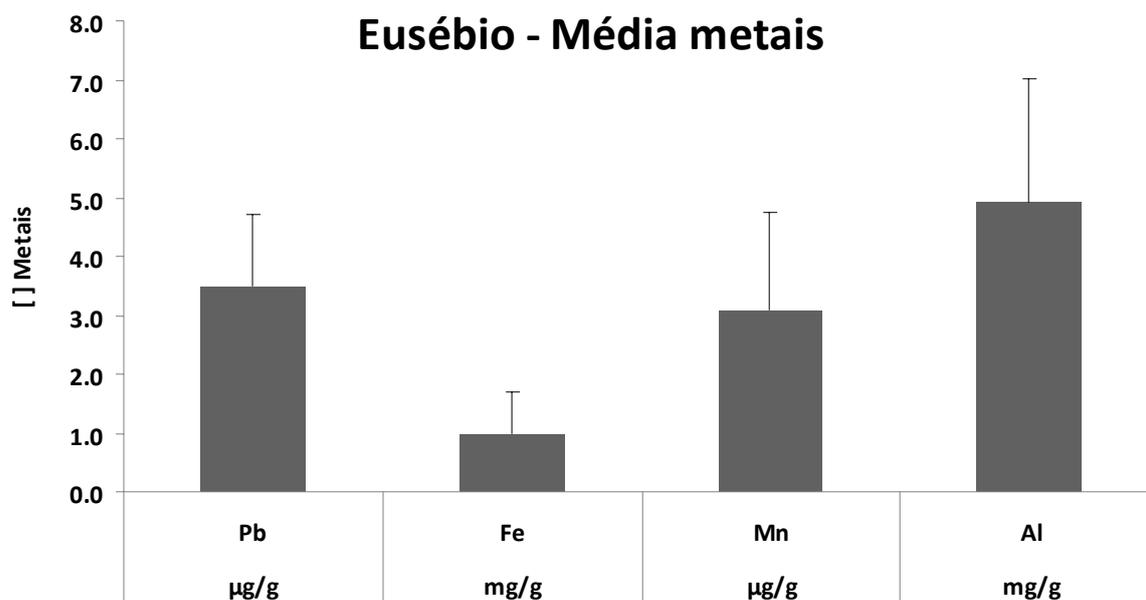
<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> μg/g	<b>Pb</b> μg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> μg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	Nd	3.63	3.13	7.02	6.13	1.83	3.86	0.79
<b>1 m</b>	Nd	3.80	0.78	1.31	6.30	3.11	1.63	0.68
<b>2 m</b>	Nd	3.44	0.40	0.32	4.43	5.52	1.27	0.34
<b>3 m</b>	Nd	2.62	0.21	0.73	3.75	3.11	0.10	0.37
<b>4 m</b>	Nd	4.05	0.35	6.03	4.03	1.22	0.05	1.85
<b>MÉDIA</b>	Nd	3.51	0.97	3.08	4.93	2.96	1.38	0.81
<b>MIN</b>	Nd	2.62	0.21	0.32	3.75	1.22	0.05	0.34
<b>MÁX</b>	Nd	4.05	3.13	7.02	6.30	5.52	3.86	1.85
<b>DVP</b>	Nd	0.54	1.22	3.18	1.20	1.65	1.55	0.61



**Figura 58** – Distribuição de Al e Fe no poço 66, região de Eusébio.



**Figura 59** – Distribuição de Mn e Pb no poço 66, região de Eusébio.



**Figura 60** – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

No poço 03, perfurado na região de Caucaia (Tabela 14), as concentrações de Al no solo (Barreiras) foram de 2,37 a 7,65  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 5,01  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=2$ . As maiores concentrações de Al foram observadas a 1 m de profundidade, com valores de 7,65  $\text{mg.g}^{-1}$ , enquanto as menores concentrações foram encontradas a superfície, 2,37  $\text{mg.g}^{-1}$ . As concentrações de Fe no solo variaram entre 1,58 a 3,88  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 2,33  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=2$ . As maiores concentrações de Fe foram observadas em 1 metro (3,88  $\text{mg.g}^{-1}$ ), e no restante do perfil a variação foi de 1,58 a 3,88  $\text{mg.g}^{-1}$  (figura 60).

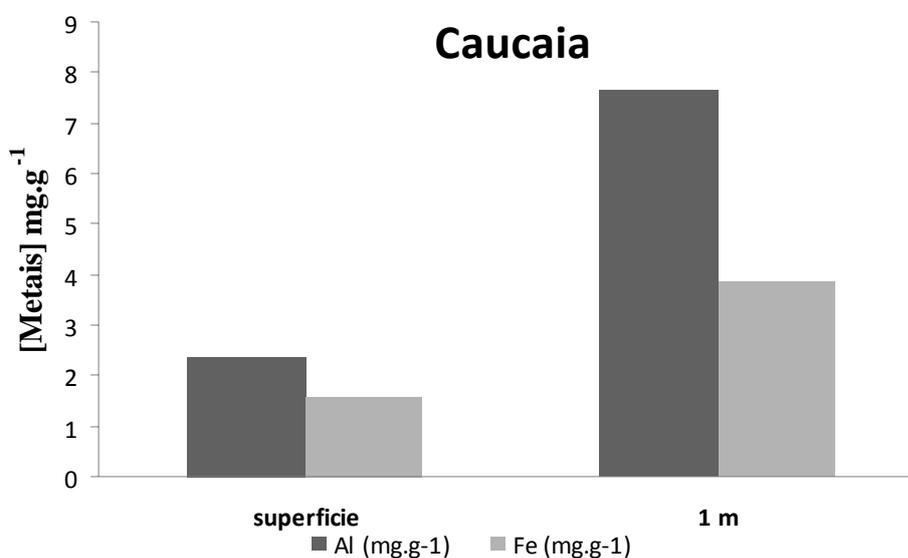
O Mn variou entre 3,97 a 6,31  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 5,14  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=2$ . As maiores concentrações de Mn ocorreram em 1 metro, com 6,31  $\text{mg.g}^{-1}$ , enquanto, nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a 3,97  $\text{mg.g}^{-1}$ . A variabilidade observada para o Pb foi de 6,18 a 8,89  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 7,54  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=2$ . Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas a 1 m, 8,89  $\text{mg.g}^{-1}$ , com tendência crescente em relação à superfície (figura 61). Estes valores de Pb e Mn têm como explicação a própria lixiviação do material localizado a retaguarda da formação destes depósitos sedimentares. Em análises realizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2003), encontra-se valores que variam de 200 a 500  $\text{mg.g}^{-1}$  para Mn e de 20 a 60  $\text{mg.g}^{-1}$  de Pb.

A variabilidade observada para o Cu foi de Nd a 0,03  $\text{mg.g}^{-1}$ . As concentrações de Cu foram observadas a 1 m, 0,03  $\text{mg.g}^{-1}$ , com tendência crescente em relação às maiores

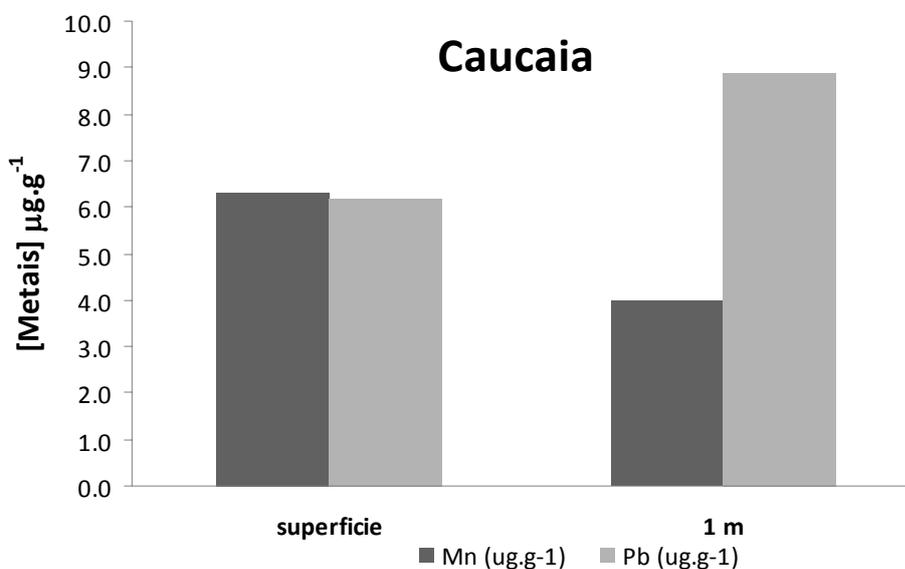
profundidades, Figura 2. Nos trabalhos da CPRM os valores de Cu variam de 2 a 30 mg.g<sup>-1</sup>. A figura 62 mostra as médias dos metais no perfil 03 com seus respectivos desvios-padrão.

**Tabela 13** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 03, na Região de Caucaia.

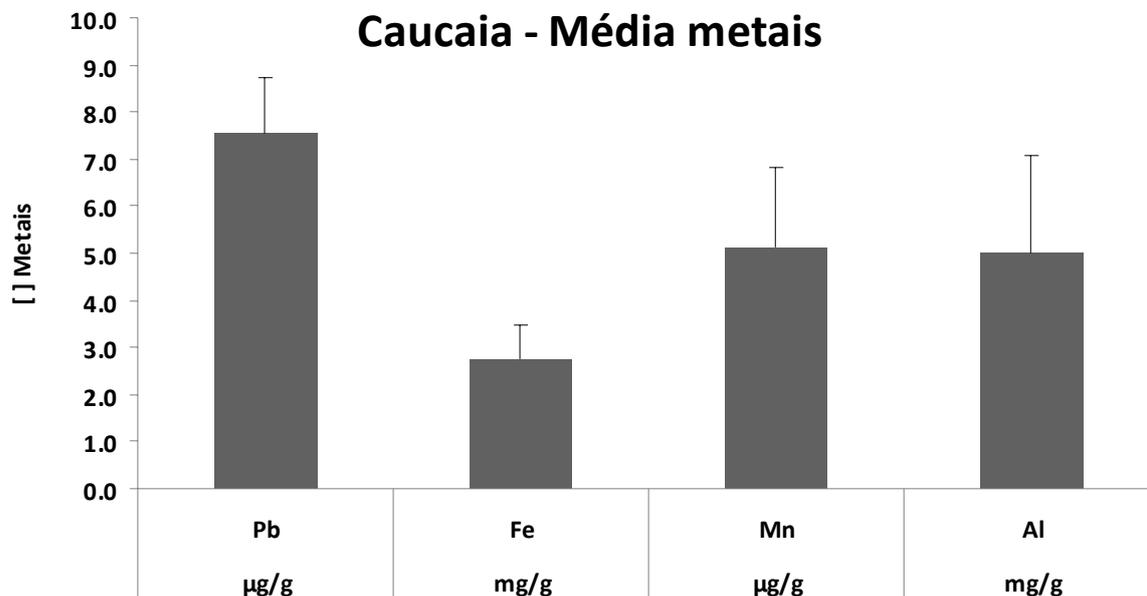
Profundidades	Cu μg/g	Pb μg/g	Fe mg/g	Mn μg/g	Al mg/g	Carbonato %	Teor de Finos %	MO %
superfície	Nd	6.19	1.58	6.32	2.38	0.63	0.08	1.75
1 m	0.03	8.90	3.88	3.97	7.66	0.63	28.71	5.24
<b>MÉDIA</b>	<b>0.03</b>	<b>7.54</b>	<b>2.73</b>	<b>5.14</b>	<b>5.02</b>	<b>0.63</b>	<b>14.40</b>	<b>3.50</b>
<b>MIN</b>	<b>Nd</b>	<b>6.19</b>	<b>1.58</b>	<b>3.97</b>	<b>2.38</b>	<b>0.63</b>	<b>0.08</b>	<b>1.75</b>
<b>MÁX</b>	<b>0.03</b>	<b>8.90</b>	<b>3.88</b>	<b>6.32</b>	<b>7.66</b>	<b>0.63</b>	<b>28.71</b>	<b>5.24</b>
<b>DVP</b>	<b>nd</b>	<b>1.92</b>	<b>1.63</b>	<b>1.66</b>	<b>3.73</b>	<b>0.00</b>	<b>20.24</b>	<b>2.47</b>



**Figura 61** – Distribuição de Al e Fe no poço 03, região de Caucaia.



**Figura 62** – Distribuição de Mn e Pb no poço 03, região de Caucaia.



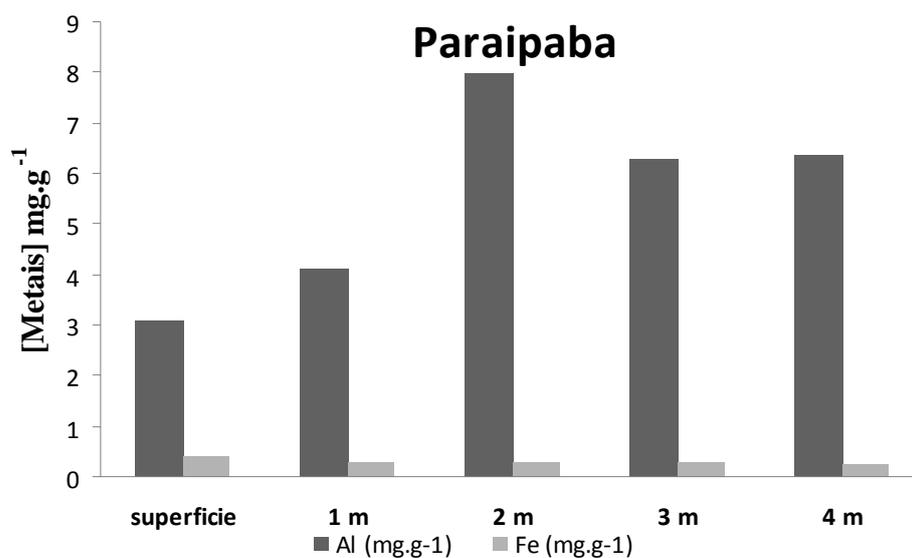
**Figura 63** – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

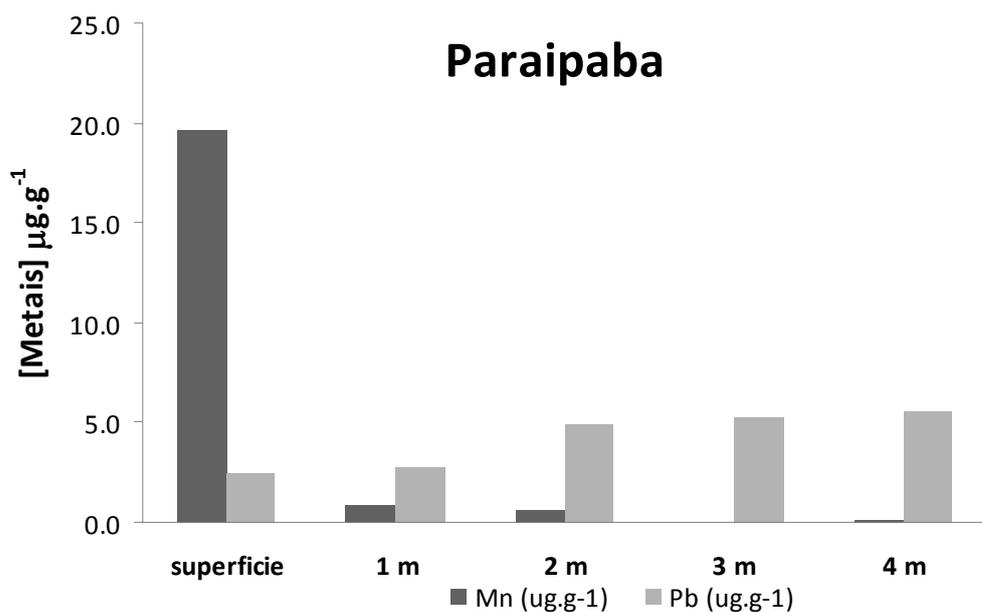
No poço 09, perfurado na região de Paraipaba (Tabela 15), as concentrações de Al no solo (Dunas-Barreiras) foram de 3,08 a 7,98  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , com média de 5,56  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , para  $n=5$ . As maiores concentrações de Al foram observadas a 2 m de profundidade, com valores de 7,98  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , enquanto que as menores concentrações foram encontradas à superfície, 3,08  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . As concentrações de Fe no solo variaram entre 0,23 a 0,39  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , com média de 0,29  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , para  $n=5$ . As maiores concentrações de Fe foram observadas em superfície (0,39  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), e no restante do perfil a variação foi de 0,23 a 0,39  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , Figura 63.

O Mn variou entre 0,00 a 19,68  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , com média de 4,25  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , para  $n=5$ . As maiores concentrações de Mn ocorreram em superfície, com 19,68  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , enquanto, nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a 0,89  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . A variabilidade observada para o Pb foi de 2,47 a 5,96  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , com média de 4,21  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , para  $n=5$ . Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas a 4 m, 5,56  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , com tendência crescente em relação as maiores profundidades (figura 64). A figura 65 mostra as médias dos metais no perfil 09 com seus respectivos desvios-padrão.

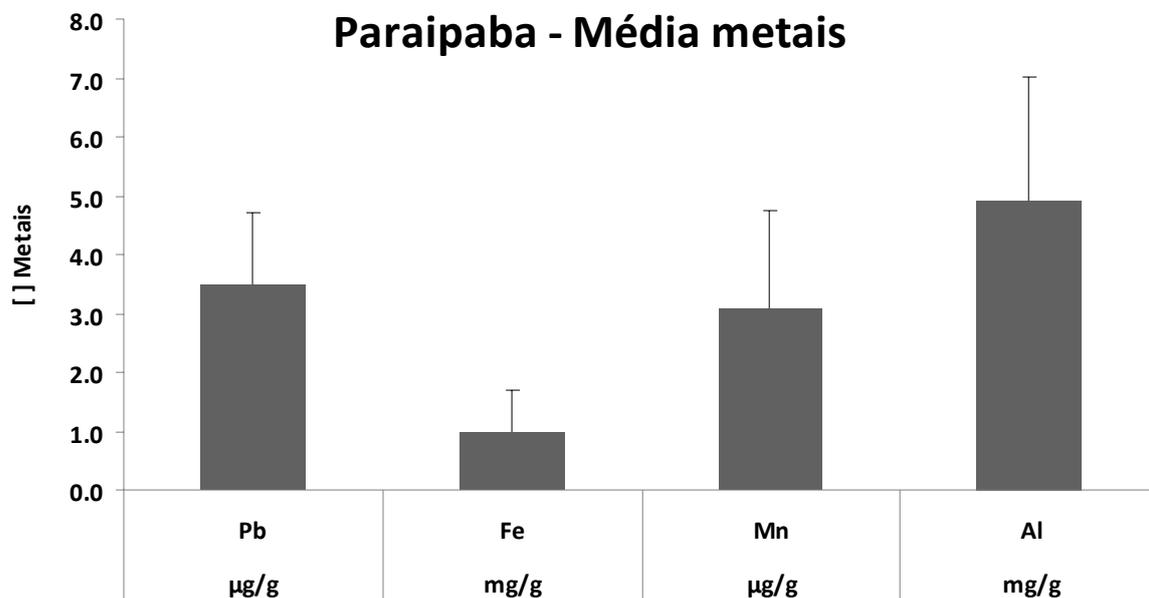
**Tabela 14** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 09, na Região de Paraipaba.

<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> μg/g	<b>Pb</b> μg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> μg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	Nd	2.48	0.40	19.69	3.09	1.88	0.32	1.33
<b>1 m</b>	Nd	2.81	0.26	0.90	4.12	1.25	0.07	0.30
<b>2 m</b>	Nd	4.96	0.29	0.61	7.99	1.88	0.21	0.38
<b>3 m</b>	Nd	5.27	0.27	0.01	6.26	1.88	23.45	1.29
<b>4 m</b>	Nd	5.57	0.24	0.08	6.36	1.88	0.25	1.34
<b>MÉDIA</b>	Nd	<b>4.22</b>	<b>0.29</b>	<b>4.26</b>	<b>5.56</b>	<b>1.75</b>	<b>4.86</b>	<b>0.93</b>
<b>MIN</b>	Nd	<b>2.48</b>	<b>0.24</b>	<b>0.01</b>	<b>3.09</b>	<b>1.25</b>	<b>0.07</b>	<b>0.30</b>
<b>MÁX</b>	Nd	<b>5.57</b>	<b>0.40</b>	<b>19.69</b>	<b>7.99</b>	<b>1.88</b>	<b>23.45</b>	<b>1.34</b>
<b>DVP</b>	Nd	<b>1.46</b>	<b>0.06</b>	<b>8.63</b>	<b>1.95</b>	<b>0.28</b>	<b>10.39</b>	<b>0.54</b>

**Figura 64** – Distribuição de Al e Fe no poço 09, região de Paraipaba.



**Figura 65** – Distribuição de Mn e Pb no poço 09, região de Paraipaba.



**Figura 66** – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

No poço 18, perfurado na região de Amontada (Tabela 16), as concentrações de Al no solo (Barreiras) foram de 4,10 a 14,19 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 7,99 mg.g<sup>-1</sup>, para n=9. As maiores concentrações de Al foram observadas a 3m de profundidade, com valores de 14,19 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto que as menores concentrações foram encontradas a superfície, 4,10 mg.g<sup>-1</sup>. As concentrações de Fe no solo variaram entre 1,89 a 4,44 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 3,25 mg.g<sup>-1</sup>,

para n=9. As maiores concentrações de Fe foram observadas em 3 metro (4,44 mg.g<sup>-1</sup>), e no restante do perfil a variação foi de 1,89 a 4,44 mg.g<sup>-1</sup>(Figura 66).

O Mn variou entre 1,04 a 20,69 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 7,28 mg.g<sup>-1</sup>, para n=9. As maiores concentrações de Mn ocorreram na superfície, com 20,69 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto, nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a 9,79 mg.g<sup>-1</sup>. A variabilidade observada para o Pb foi de 3,63 a 7,69 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 5,57 mg.g<sup>-1</sup>, para n=9. Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas a 3 m, 8,89 mg.g<sup>-1</sup>, com tendência crescente até os 3 m e decrescente a partir desta em relação as maiores profundidades(Figura 67). Na parte anterior aos tabuleiros, a CPRM indicou para o Pb valores de 2 a 100 mg.g<sup>-1</sup>, mostrando que os teores encontrados tem proveniência das rochas da região.

A variabilidade observada para o Cu foi de 0,11 a 1,2 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 0,46 mg.g<sup>-1</sup>, para n=9. Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Cu foram observadas a 3 m, 1,2 mg.g<sup>-1</sup>, com tendência crescente em relação às maiores profundidades, Figura 67. A figura 68 mostra as médias dos metais no perfil 18 com seus respectivos desvios-padrão

**Tabela 15** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 18, na Região de Amontada.

<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> µg/g	<b>Pb</b> µg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> µg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	0.74	3.63	1.90	20.70	4.10	3.05	7.43	2.44
<b>1 m</b>	0.24	5.55	3.78	6.58	9.97	2.42	0.00	3.08
<b>2 m</b>	0.40	5.55	3.86	3.44	7.93	2.45	0.41	2.82
<b>3 m</b>	1.21	7.69	4.44	8.09	14.19	2.44	0.00	1.91
<b>4 m</b>	0.51	6.19	4.03	9.13	12.01	1.84	20.79	0.69
<b>5 m</b>	0.59	5.84	3.10	3.95	4.97	3.23	16.81	0.68
<b>6 m</b>	0.12	5.29	2.49	9.79	8.28	3.23	0.62	0.63
<b>7 m</b>	0.12	5.52	2.79	2.87	6.20	3.23	0.07	0.50
<b>8 m</b>	0.23	4.90	2.94	1.05	4.29	2.42	0.05	0.59
<b>MÉDIA</b>	<b>0.46</b>	<b>5.57</b>	<b>3.26</b>	<b>7.29</b>	<b>7.99</b>	<b>2.70</b>	<b>5.13</b>	<b>1.48</b>
<b>MIN</b>	<b>0.12</b>	<b>3.63</b>	<b>1.90</b>	<b>1.05</b>	<b>4.10</b>	<b>1.84</b>	<b>0.00</b>	<b>0.50</b>
<b>MÁX</b>	<b>1.21</b>	<b>7.69</b>	<b>4.44</b>	<b>20.70</b>	<b>14.19</b>	<b>3.23</b>	<b>20.79</b>	<b>3.08</b>
<b>DVP</b>	<b>0.35</b>	<b>1.07</b>	<b>0.82</b>	<b>5.86</b>	<b>3.53</b>	<b>0.50</b>	<b>8.17</b>	<b>1.07</b>

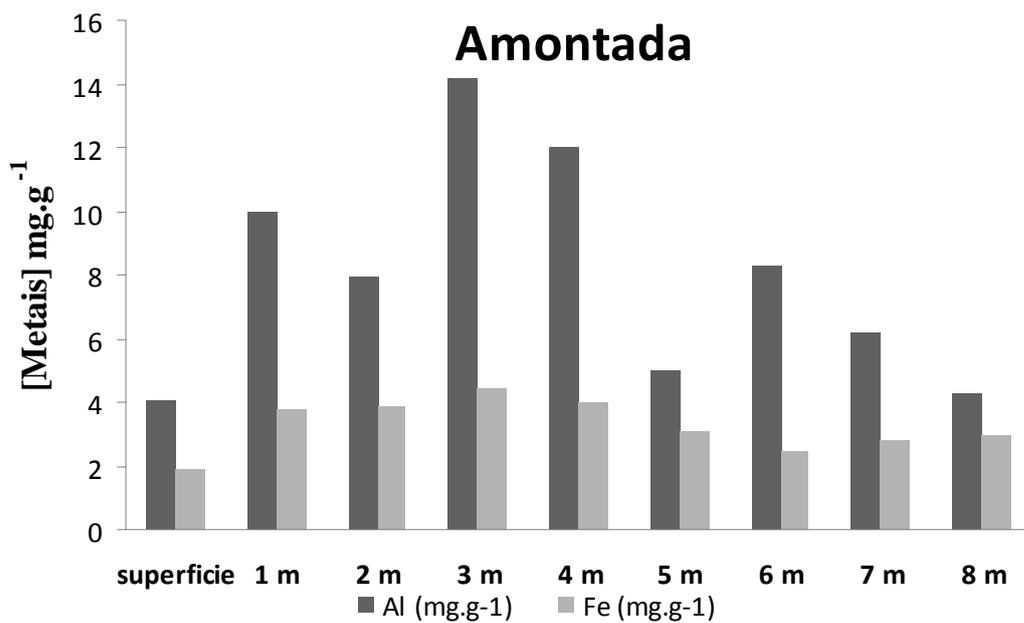


Figura 67 – Distribuição de Al e Fe no poço 18, região de Amontada.

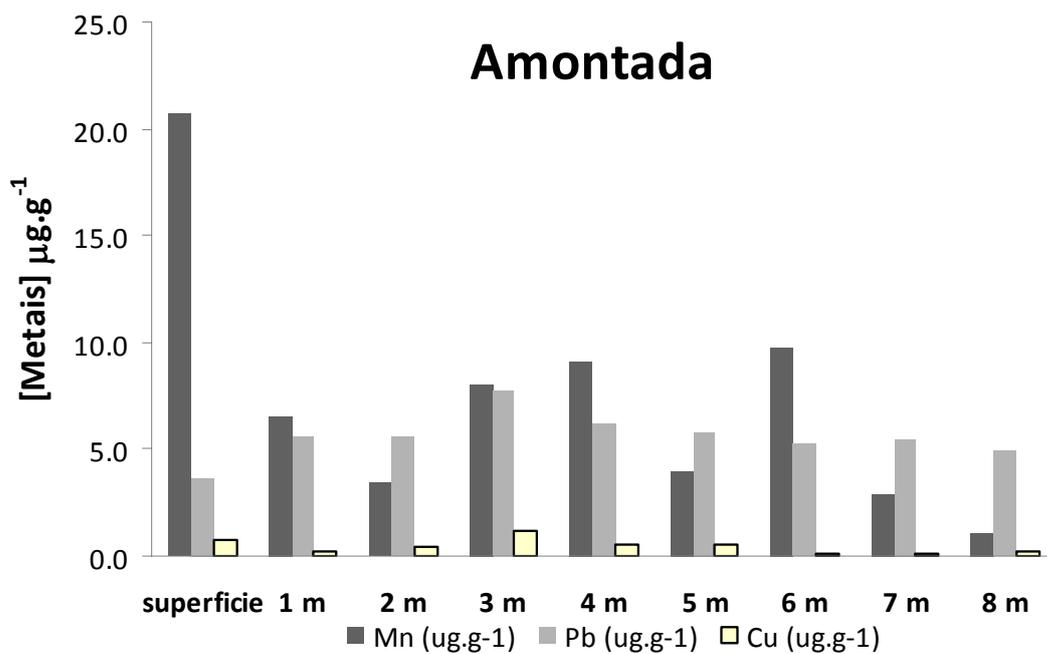
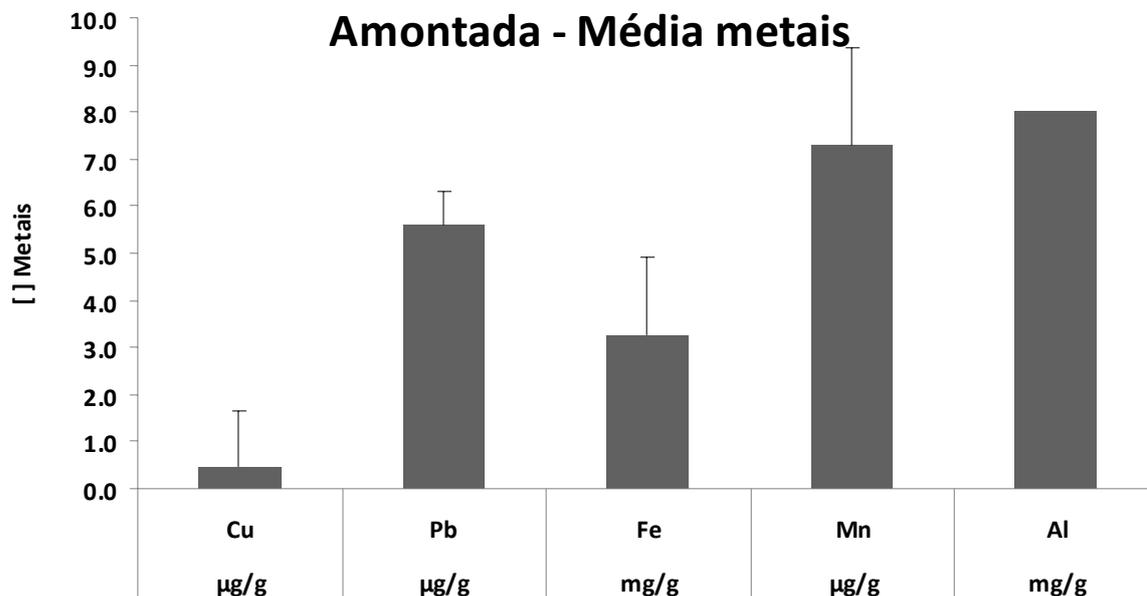


Figura 68 – Distribuição de Mn, Pb e Cu no poço 18, região de Amontada.



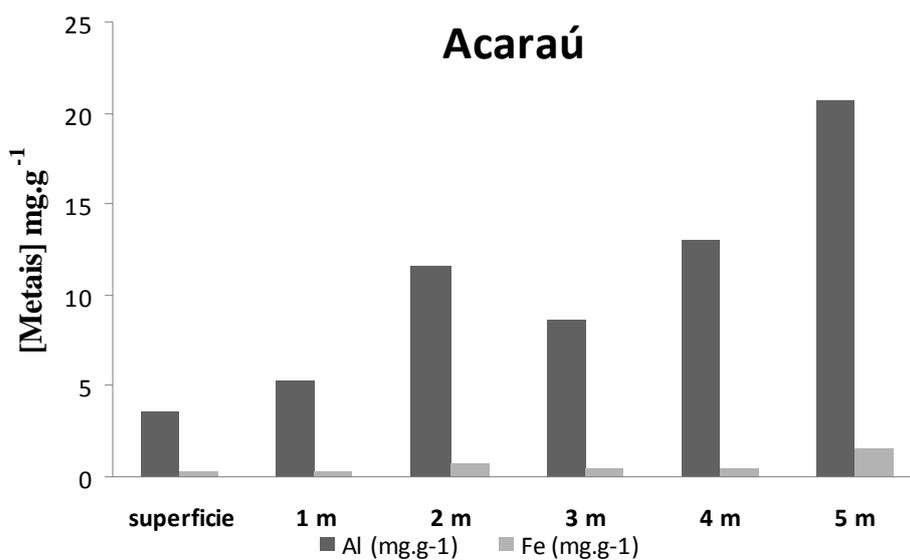
**Figura 69** – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

No poço 23, perfurado na região de Acaraú(Tabela 17), as concentrações de Al no solo (Barreiras e planície de inundação) foram de 3,66 a 20,74  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 10,52  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=6$ . As maiores concentrações de Al foram observadas a 5m de profundidade, com valores de 20,74  $\text{mg.g}^{-1}$ , enquanto, as menores concentrações foram encontradas a superfície, 3,66  $\text{mg.g}^{-1}$ . As concentrações de Fe no solo variaram entre 0,32 a 1,49  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 0,63  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=6$ . As maiores concentrações de Fe foram observadas em 5 metros (1,49  $\text{mg.g}^{-1}$ ), e no restante do perfil a variação foi de 0,23 a 0,39  $\text{mg.g}^{-1}$ , Figura 69.

O Mn variou entre 1,31 a 5,59  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 3,17  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=6$ . As maiores concentrações de Mn ocorreram a 5m, com 5,59  $\text{mg.g}^{-1}$ , enquanto que nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram 4,66  $\text{mg.g}^{-1}$ . A variabilidade observada para o Pb foi de 2,97 a 6,4  $\text{mg.g}^{-1}$ , com média de 4,31  $\text{mg.g}^{-1}$ , para  $n=6$ . Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas a 5m, 6,4  $\text{mg.g}^{-1}$ , com tendência crescente em relação às maiores profundidades(Figura 70). A figura 71 mostra as médias dos metais no perfil 23 com seus respectivos desvios-padrão.

**Tabela 16** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 23, na Região de Acaraú.

<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> µg/g	<b>Pb</b> µg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> µg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	Nd	2.98	0.32	4.67	3.66	3.64	0.00	0.70
<b>1 m</b>	Nd	3.44	0.38	3.59	5.29	3.64	0.29	0.57
<b>2 m</b>	Nd	4.89	0.77	1.50	11.67	2.44	9.12	0.71
<b>3 m</b>	Nd	3.92	0.43	1.31	8.71	1.83	2.08	1.70
<b>4 m</b>	Nd	4.26	0.41	2.39	13.06	3.05	6.12	2.22
<b>5 m</b>	Nd	6.40	1.49	5.60	20.74	2.42	13.84	2.75
<b>MÉDIA</b>	<b>Nd</b>	<b>4.32</b>	<b>0.63</b>	<b>3.18</b>	<b>10.52</b>	<b>2.84</b>	<b>5.24</b>	<b>1.44</b>
<b>MIN</b>	<b>Nd</b>	<b>2.98</b>	<b>0.32</b>	<b>1.31</b>	<b>3.66</b>	<b>1.83</b>	<b>0.00</b>	<b>0.57</b>
<b>MÁX</b>	<b>Nd</b>	<b>6.40</b>	<b>1.49</b>	<b>5.60</b>	<b>20.74</b>	<b>3.64</b>	<b>13.84</b>	<b>2.75</b>
<b>DVP</b>	<b>Nd</b>	<b>1.22</b>	<b>0.45</b>	<b>1.74</b>	<b>6.16</b>	<b>0.73</b>	<b>5.51</b>	<b>0.92</b>

**Figura 70** – Distribuição de Al e Fe no poço 23, região de Acaraú.

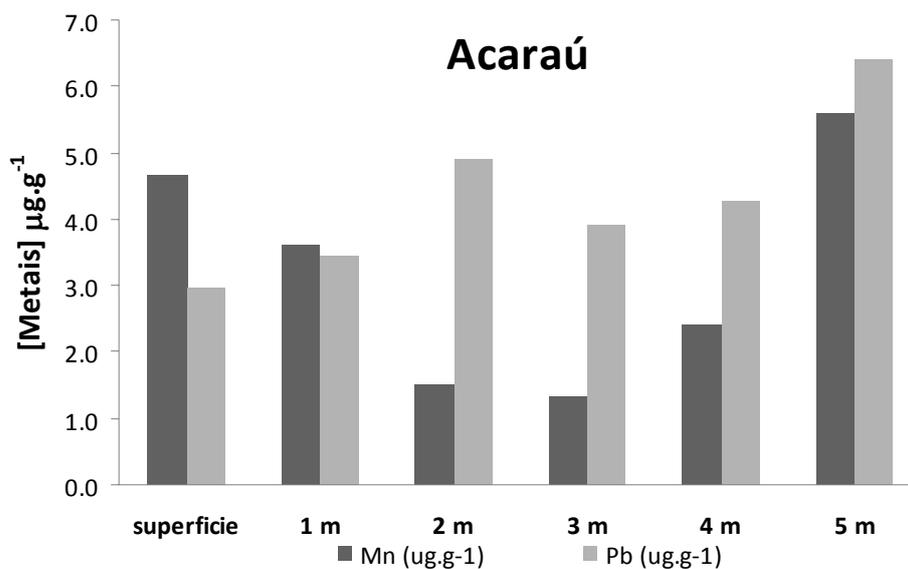


Figura 71 – Distribuição de Mn e Pb no poço 23, região de Acaraú.

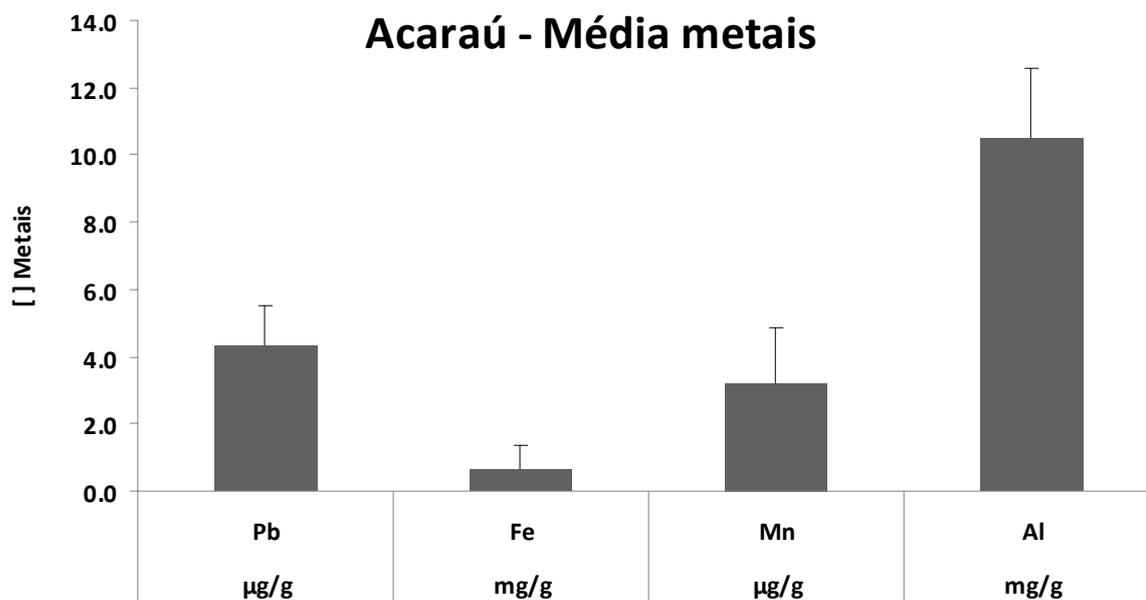


Figura 72 – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

No poço 35, perfurado na região de Camocim (Tabela 18), as concentrações de Al no solo (Barreiras) foram de 2,31 a 4,2 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 3,53 mg.g<sup>-1</sup>, para n=3. As maiores concentrações de Al foram observadas a 2m de profundidade, com valores de 4,20 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto as menores concentrações foram encontradas à superfície, 2,31 mg.g<sup>-1</sup>. As concentrações de Fe no solo variaram entre 2,32 a 4,21 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 3,43 mg.g<sup>-1</sup>,

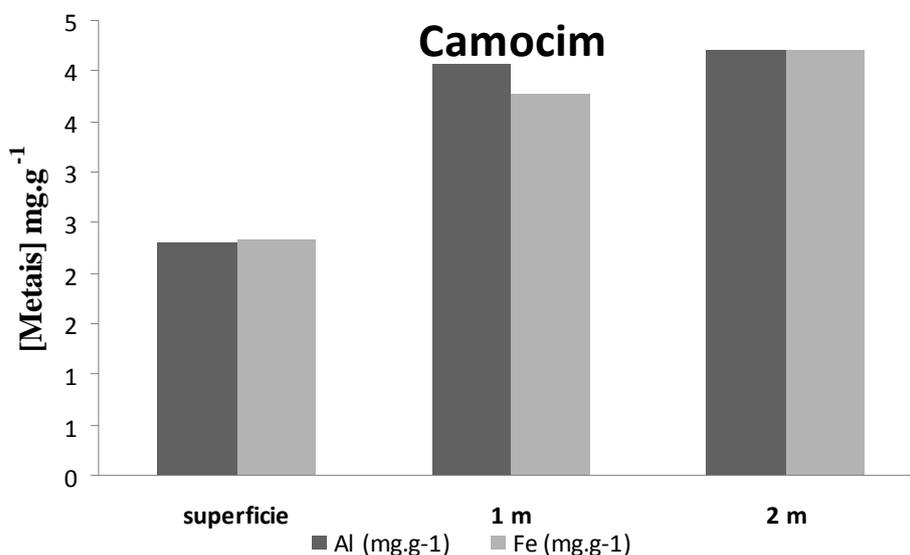
para n=3. As maiores concentrações de Fe foram observadas em 2 metros (4,21 mg.g<sup>-1</sup>), e no restante do perfil a variação foi de 2,32 a 4,21 mg.g<sup>-1</sup>, Figura 72.

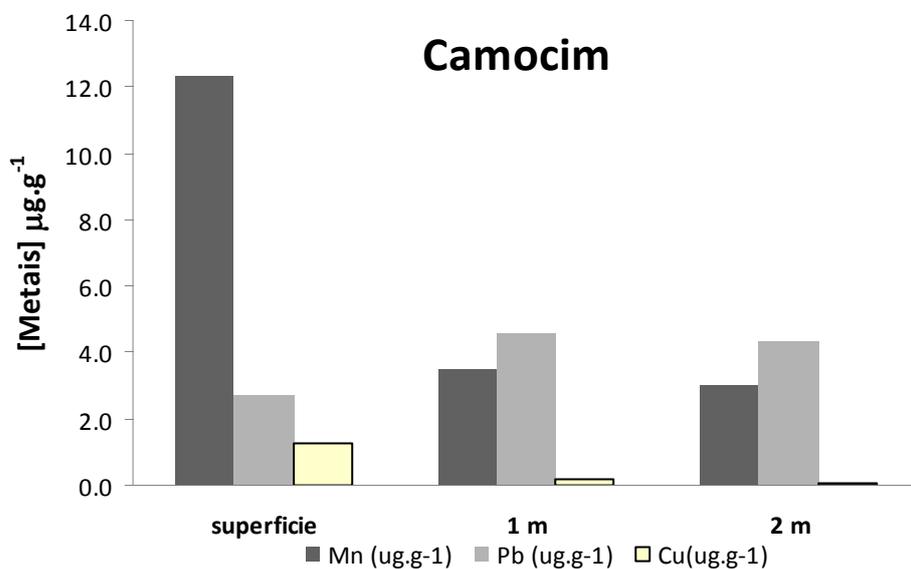
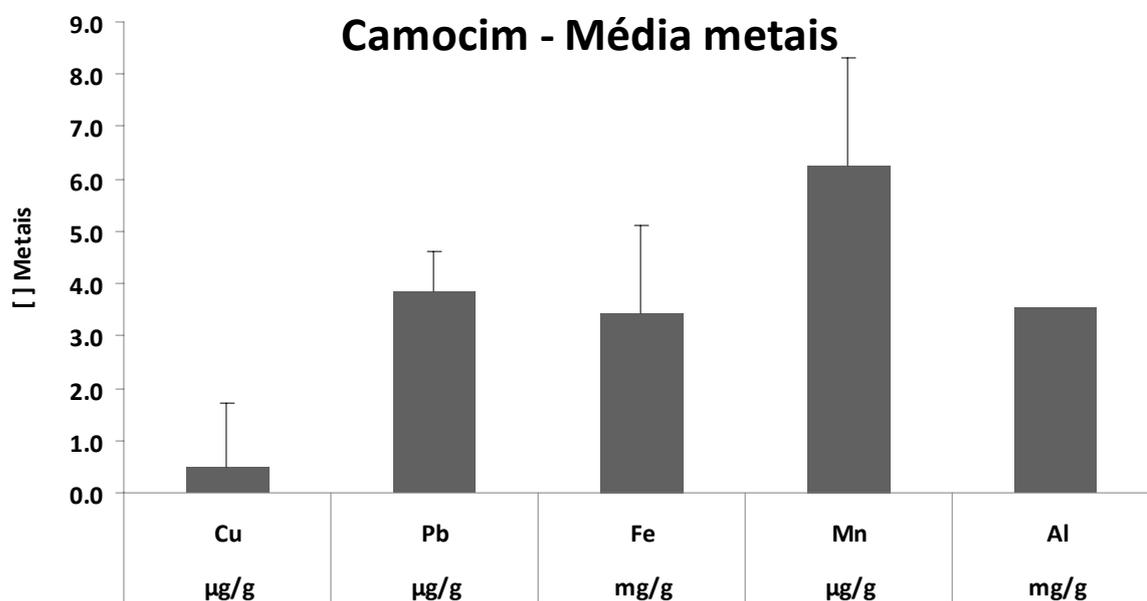
O Mn variou entre 2,97 a 12,31 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 6,25 mg.g<sup>-1</sup>, para n=3. As maiores concentrações de Mn ocorreram na superfície, com 12,31 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto, nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram a 3,47 mg.g<sup>-1</sup>. A variabilidade observada para o Pb foi de 2,72 a 4,56 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 3,86 mg.g<sup>-1</sup>, para n=3. Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas a 2 m, 4,56 mg.g<sup>-1</sup>, com tendência crescente em relação às maiores profundidades(Figura 73).

A variabilidade observada para o Cu foi de 0,08 a 1,25 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 0,5 mg.g<sup>-1</sup>, para n=3. Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Cu foram observadas na superfície, 1,25 mg.g<sup>-1</sup>, com tendência crescente em relação às maiores profundidades (Figura 73). A figura 74 mostra as médias dos metais no perfil 35 com seus respectivos desvios padrões.

**Tabela 17** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 35, na Região de Camocim.

Profundidades	Cu μg/g	Pb μg/g	Fe mg/g	Mn μg/g	Al mg/g	Carbonato %	Teor de Finos %	MO %
superfície	1.26	2.72	2.32	12.32	2.32	3.73	0.44	2.98
1 m	0.19	4.56	3.77	3.47	4.07	1.85	1.09	3.10
2 m	0.08	4.33	4.21	2.98	4.20	3.09	2.37	2.71
<b>MÉDIA</b>	<b>0.51</b>	<b>3.87</b>	<b>3.43</b>	<b>6.26</b>	<b>3.53</b>	<b>2.89</b>	<b>1.30</b>	<b>2.93</b>
<b>MIN</b>	<b>0.08</b>	<b>2.72</b>	<b>2.32</b>	<b>2.98</b>	<b>2.32</b>	<b>1.85</b>	<b>0.44</b>	<b>2.71</b>
<b>MÁX</b>	<b>1.26</b>	<b>4.56</b>	<b>4.21</b>	<b>12.32</b>	<b>4.20</b>	<b>3.73</b>	<b>2.37</b>	<b>3.10</b>
<b>DVP</b>	<b>0.65</b>	<b>1.00</b>	<b>0.99</b>	<b>5.26</b>	<b>1.05</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.20</b>



**Figura 73** – Distribuição de Al e Fe no poço 35, região de Camocim.**Figura 74** – Distribuição de Mn, Pb e Cu no poço 35, região de Camocim.**Figura 75** – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

No poço 40, perfurado na região de Barroquinha (Tabela 19), as concentrações de Al no solo (Barreiras) foram de 0,8 a 8,46 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 3,71 mg.g<sup>-1</sup>, para n=7. As maiores concentrações de Al foram observadas a 1m de profundidade, com valores de 8,46 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto as menores concentrações foram encontradas à superfície, 0,8 mg.g<sup>-1</sup>. As

concentrações de Fe no solo variaram entre 0,7 a 10,6 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 4.49 mg.g<sup>-1</sup>, para n=7. As maiores concentrações de Fe foram observadas a 5 metros (10,6 mg.g<sup>-1</sup>), e no restante do perfil a variação foi de 0,7 a 10,6 mg.g<sup>-1</sup>(Figura 75).

O Mn variou entre 0,00 a 3,53 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 1,04 mg.g<sup>-1</sup>, para n=7. As maiores concentrações de Mn ocorreram a 1m, com 3,53 mg.g<sup>-1</sup>, enquanto nas demais profundidades do perfil, as concentrações não ultrapassaram 2,24 mg.g<sup>-1</sup>. A variabilidade observada para o Pb foi de 2,21 a 6,51 mg.g<sup>-1</sup>, com média de 4,16 mg.g<sup>-1</sup>, para n=7. Como os demais metais descritos até aqui, as maiores concentrações de Pb foram observadas a 5 m, 6,51 mg.g<sup>-1</sup>, com tendência crescente em relação às maiores profundidades (Figura 76). A figura 77 mostra as médias dos metais no perfil 40 com seus respectivos desvios-padrão.

**Tabela 18** – Teores de metais, carbonatos, matéria orgânica para poço 40, na Região de Barroquinha.

<b>Profundidades</b>	<b>Cu</b> µg/g	<b>Pb</b> µg/g	<b>Fe</b> mg/g	<b>Mn</b> µg/g	<b>Al</b> mg/g	<b>Carbonato</b> %	<b>Teor de Finos</b> %	<b>MO</b> %
<b>superfície</b>	Nd	2.22	0.70	2.25	0.81	2.48	0.23	1.53
<b>1 m</b>	Nd	5.96	4.13	3.54	8.47	3.05	0.26	4.93
<b>2 m</b>	Nd	3.54	4.33	0.38	3.92	3.14	0.00	3.82
<b>3 m</b>	Nd	3.55	4.26	0.03	2.57	2.52	0.75	3.65
<b>4 m</b>	Nd	3.37	3.81	0.28	2.74	1.86	2.42	3.39
<b>5 m</b>	Nd	6.52	10.60	0.82	5.03	3.05	1.58	3.26
<b>6 m</b>	Nd	4.03	3.60	0.01	2.48	3.11	0.00	1.53
<b>MÉDIA</b>	<b>Nd</b>	4.17	4.49	1.04	3.72	2.74	0.75	3.16
<b>MIN</b>	<b>Nd</b>	2.22	0.70	0.01	0.81	1.86	0.00	1.53
<b>MÁX</b>	<b>Nd</b>	6.52	10.60	3.54	8.47	3.14	2.42	4.93
<b>DVP</b>	<b>Nd</b>	1.53	2.98	1.34	2.47	0.48	0.92	1.24

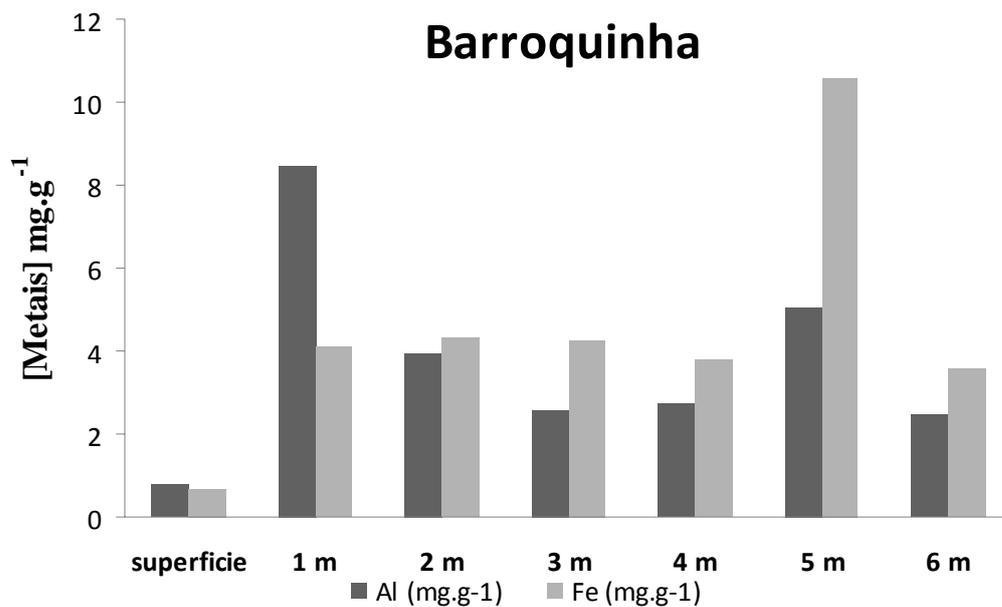


Figura 76 – Distribuição de Al e Fe no poço 40, região de Barroquinha.

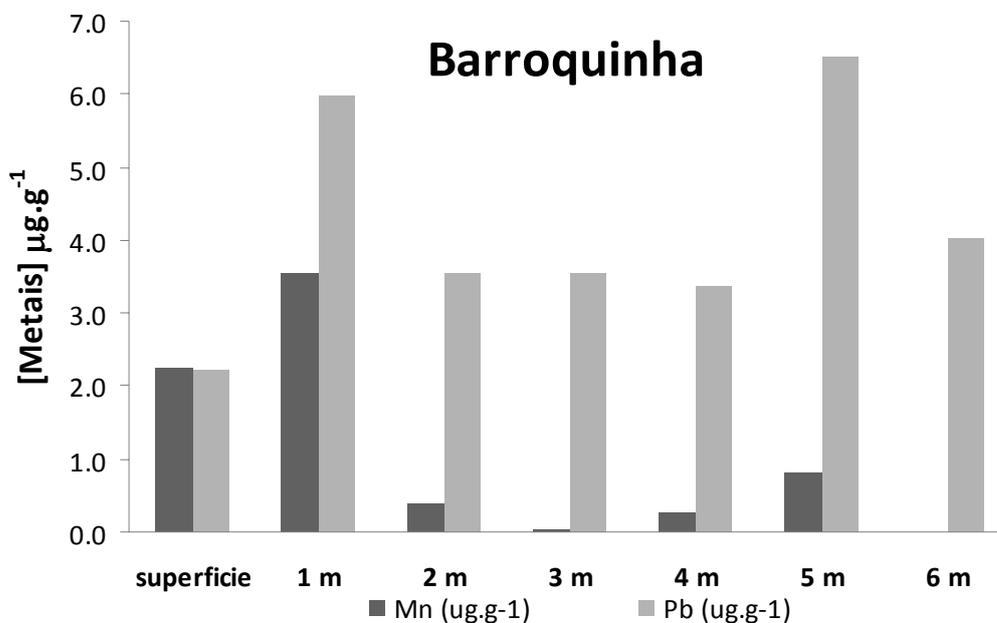
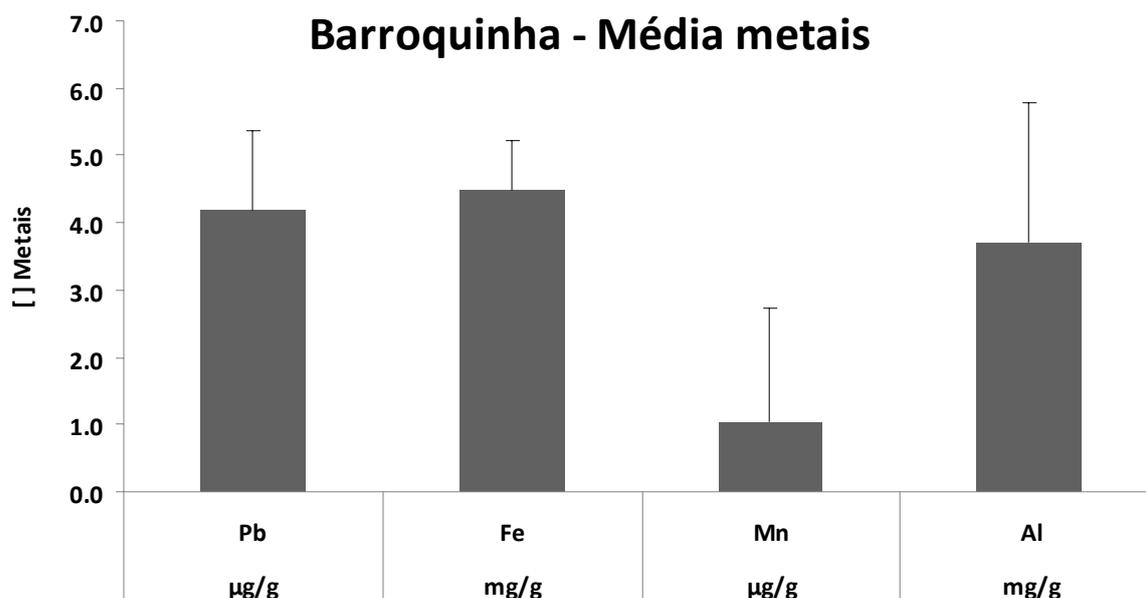


Figura 77 – Distribuição de Mn e Pb no poço 40, região de Barroquinha.



**Figura 78** – Concentração média dos metais com seus respectivos desvios padrões.

Agrupando todos os resultados dos metais, retirou-se uma tabela de correlação entre os metais, teores de carbonatos, finos e matéria orgânica. Na matriz de correlações (Tabela 20), qualquer valor maior ou igual a 0,3 tem significância para um n de 46 amostras. Retirando um valor médio das médias de todas as amostras, obteve-se a seguinte ordem crescente:  $Al > Fe > Pb > Mn > Cu$ , o alumínio é mais abundante com teor médio de  $5,476 \text{ mg.g}^{-1}$ , seguido do ferro, com  $1.93 \text{ mg.g}^{-1}$ , chumbo com  $4.58 \text{ ug.g}^{-1}$ , manganês com  $4.14 \text{ ug.g}^{-1}$  e o cobre, com  $0.11 \text{ ug.g}^{-1}$ .

Pela ordem de concentração a tabela de correlação mostrou para o alumínio positivo com o teor de finos ressaltando que o teor médio de finos foi de 5%. O ferro teve correlação com a matéria orgânica. O chumbo teve correlação com alumínio, ferro, teor de finos e matéria orgânica. o chumbo não se encontra de modo algum na fórmula dos minerais e rochas que aparecem na zona de Tabuleiros. A provável fonte deste metal é antrópica, pois os locais onde houve aumento dos valores na direção oposta há grandes centros urbanos e, nos vapores deflagrados pelos veículos provenientes da queima de combustível, o chumbo está presente. O cobre teve correlação com manganês, ferro, chumbo e matéria orgânica.

**Tabela 19** - Matriz de correlações dos elementos analisados para os sedimentos dos Tabuleiros (N=46; p<0,05).

n=46	Cu µg/g	Pb µg/g	Fe mg/g	Mn µg/g	Al mg/g	Carbonato %	Teor de Finos %	MO %
Cu	1							
Pb	0.41	1						
Fe	0.45	0.50	1					
Mn	0.53	0.14	0.08	1				
Al	0.23	0.62	0.12	0.13	1			
Carbonato	-0.01	-0.30	0.01	-0.08	-0.08	1		
Teor de Finos	0.17	0.48	0.02	0.04	0.38	-0.25	1	
MO	0.32	0.38	0.61	0.10	0.18	-0.17	0.14	1

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO

Neste experimento de Caracterização dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará, baseado nos dados apresentados no capítulo imediatamente anterior, foi possível concluir o que está na sequência.

- Os estudos realizados na zona de tabuleiro revelaram que essa região possui uma estratigrafia muito mais complexa, discordando dos dados apresentados pelos estudos anteriores. Em determinados locais, onde visualmente não podem ser observados, verificou-se a existência de depósitos residuais típicos das feições dunares, que testemunham, nos dias atuais, a sedimentação litorânea em domínios mais interioranos.
- Os depósitos caracterizados como da Formação Barreiras apresentam variações nas suas espessuras, sendo evidenciada uma redução de espessura em direção ao continente, onde esses repousam sobre o embasamento cristalino. Os sedimentos apresentam, na maioria das vezes, granulometria de areia média a fina, com grãos subarredondados, coloração avermelhada, apresentando tons mais claros próximos ao nível estático e teor de carbonato de cálcio em 2%, podendo-se observar em alguns locais valores de  $\text{CaCO}_3$  em torno de 5%.
- Os metais analisados apresentaram valores bem abaixo dos médios da composição da crosta terrestre. Contudo suas concentrações estão vinculados aos aluminosilicatos ferro-magnesianos e os excessos de Mn na superfície em alguns dos perfis sugerem contaminação por agro-insumos. A partir deste estudo, valores de referência aos sedimentos constituintes dos Tabuleiros Pré-Litorâneos poderão auxiliar em futuros estudos nesse ambiente.

Apesar de todos os trabalhos realizados na zona de tabuleiros, recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados, que envolvam datações e um mapeamento mais detalhado para melhor delimitação real no Estado do Ceará.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS M. M.; LIMA FILHO M. F.; MONTEIRO F. A. J. e OLIVEIRA e FILHO J.S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém. **Anais ... Belém.** SBG. v.2. p. 753-760, 1988.
- ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. **Chemical Principles of Environmental Pollution**, New York: Chapman & Hall, 382p, 1997.
- ALMEIDA, F.F.M. de.. **Fundamentos geológicos do relevo paulista.** São Paulo. Bol.Inst.Geogr.e Geol.,São Paulo, (41):169-263, 1964.
- ANDRADE GO.. Itamaracá. **Contribuição para o estudo geomorfológico da costa pernambucana.** Rec Pernambuco, Imprensa Oficial. 87 p, 1955.
- ARAI, M.; UESUGUI, N. ; ROSSETI, D.F. e GOES, A.M. **Considerações sobre uma idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará.** In: XXXV Congresso Brasileiro De Geologia, 35. Belém. Anais. Belém. SBG. 1 v.2. p. 738-750, 1988.
- ARAI, M. **A grande elevação eustática do Mioceno: a verdadeira origem do Grupo Barreiras.** X Congresso da Abequa, Guarapari/ES, Simpósio Barreiras, 2005.
- Araújo, V. D. ; REYES-PEREZ, Y. A. ; LIMA, R. O. ; SANTOS, D. A. S. ; PELOSI, A. P. M. R. ; LIMA FILHO, F. P. ; CÓRDOBA, V. C. **Análise Faciológica e Interpretação Paleoambiental de rochas da Formação Barreiras, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte.** In: X Congresso da ABEQUA, 2005, Guarapari-ES. Anais do X Congresso da ABEQUA, 2005.
- BARRETO, A. M. F. **Estudo morfológico e sedimentológica da porção norte do mar de areia fóssil do médio Rio São Francisco,** Bahia. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 98p, 1993.
- BARRETO, A. M. F.; BEZERRA, F.H.R.; SUGUIO, K.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; PAIVA, R. P. e MUNITA, C. S. , Las Pleistocene marine terrace deposits in notheastern Brazil: sea-level change and tectonic implications. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology**, 179: 57-69, 2002.
- BARRETO, A. M. F.; BEZERRA, F.H.R.; SUGUIO, K.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; GIANINI, P. C. P. , **Geologia e Geomorfologia do Quaternário costeiro do Estado do Rio Grande do Norte.** Revista do Instituto de Geociências – USP. Vol. 4, n. 2, p 1-12, 2004
- BARRETO, S. B. **A Farinha de Rochas MB-4 e o Solo.** 1998, p. 4. Disponível em: <[http://www.mibasa.com.br/livro\\_farinha.htm](http://www.mibasa.com.br/livro_farinha.htm)> Acesso em: 15/09/2008.
- Barrow, N.J. The reaction of plant nutrients and pollutants with soil. **Aust. J. Soil Res.** 27:475–492, 1989.
- BEURLLEN, Karl. ;MABESSONE, J. M. . **Bacias Cretáceas Intracontinentais do Nordeste do Brasil.** Campinas, SP; Notícia Geomorfológica, v.9, nº 18, p.1-91, 1969.

BEURLIN, Karl. **A Estrutura Geológica do Nordeste do Brasil**. Curitiba, PR; Anais do XXI Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia, p.151-158, 1967.

BEZERRA, L. J. C. V **Caracterização Sedimentológica dos Tabuleiros Pré- Litorâneos do Estado do Ceará**. Monografia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2006

BIGARELLA J.J. e ANDRADE G.O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Recife: Universidade de Recife, **Arq. Inst. Ciênc. Terra** 2: 2-14, 1964.

BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.D. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos Cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras) **Arq. Inst. Cien. da Terra** 2: 2-14. Recife, 1964.

BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.47, p.365-393, 1975. Suplemento.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; VILAS BOAS, G.S. E FLEXOR, J.M. **Quaternary marine formation of the coast of the state of Bahia (Brazil)**. Atas do Simp. Inter. Evol. Cot. Quaternário, 232-253, São Paulo, 1979.

BORGES, V.P. e MORAES FILHO, J.C. **Grupo Barreiras e Estruturas Neotectônicas na região de Teixeira de Freitas ,Bahia**. XLI Congresso brasileiro de Geologia. João Pessoa, PB, 2002.

BRAGA, A. de P. G.; PASSOS, C. A. B.; SOUZA, E. M. de **Projeto Fortaleza**. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM. v.1. 339p., 1977.

BRAGA, A. de P. G.; PASSOS, C. A. B.; SOUZA, E. M. de; FRANÇA, J. B.; MEDEIROS, M.de F. e ANDRADE, V.A **Geologia da Região Nordeste do Estado do Ceará**, MME-DNPM-CPRM Série Geologia Básica nº 9, Brasília, 123 p, 1981.

BRANCO, M. P. de N. C. **Sistemas Depositionais da Região Costeira do Estado do Ceará**, Dissertação de Mestrado, UFPE. Recife, 1996.

BRANDÃO, R. L. **Mapa geológico da região metropolitana de Fortaleza**. Escala: **1:150.000**. Texto explicativo. Programa de Gestão e Administração Territorial - GATE/Projeto Sistema de Informações para gestão e Administração Territorial da R.M.F. - SINFOR. CAR. 32p. FORTALEZA-CE, 1994.

BRANDÃO, R.L. **Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza, CPRM, REFO. 105 p, 1995.

BRITO NEVES, B. B., 1981. **O Ciclo Brasileiro no Nordeste**. In: **Simpósio de Geologia do Nordeste**. Recife. Atas do Recife: SBG, 10. Recife-PE, 1981.

CABY, R.; ARTHUD, M. H. Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, Northeast. **Geology** v. 14: 871-874p, 1986.

CAMPOS E SILVA, A.; MABESSONE, J. M.; BEURLIN, K. **Estratigrafia do Grupo Barreiras nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco**. Rev. Ass. Geol. Pern. 2: 1-13p, 1971.

CAMPOS, M. de; BRAGA, A. P. G.; SOUZA, E. M. de; SILVA, F. A. F. da; FRANÇA, J. B. de **Projeto Rio Jaguaribe**. Recife, CPRM/DNPM, V. 1, 1976.

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 (UFBA). Instituto de Geociências. 166p, 2003.

CARVALHO, A. M.; DOMINGUES J. M. L. e MAIA, L. P. **A influência da estruturação do Embasamento Pré-Cambriano na elaboração de Morfologia Costeira**, Revista de Geologia de UFC, volume 18 – Número 1, Fortaleza, p 83-94, 2005.

CASTELO BRANCO, R. M. G.; MAIA, L. P.; CUNHA, L. S. **Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos da Zona Costeira do Estado do Ceará**. Projeto ZEE Zoneamento Ecológico da Região Costeira do Estado do Ceará. Convênio com SEMACE Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará e a FCPC Fundação Cearense de Pesquisa, LABOMAR-UFC Instituto de Ciências do Mar e Cultura e a UFC Universidade Federal do Ceará. 2005

CASTRO, C. **Morfogênese e sedimentação: Evolução do relevo do Nordeste e seus depósitos correlativos**, Campinas, SP; *Notícia Geomorfológica*, v.19, nº37-38, p.3-27, Dez, 1979.

CASTRO, J. W. A. **Unidades Geológicas do Estado do Ceará**. In: Atlas do Ceará. Fortaleza: Fundação Inplance, Governo do Estado do Ceará, 1989.

CLAUDINO SALES, V. C. **Lagoa do Papicu – Natureza e Ambiente na cidade de Fortaleza**. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia da USP, 344p, 1993.

CLAUDINO-SALES, V. **Lagoas Costeiras na cultura urbana de Fortaleza**. Revista da ANPEGE- Associação Nacional de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, v. 2, p. 89-96, 2005.

CLIVAR/BRASIL. **Um programa nacional do clima**. Versão preliminar. 78p, 1998.

COSTA, M.J. *et al.* **Geologia da Bacia de Jaibaras. Ceará, Piauí e Maranhão**. Brasília-DF: MME/DNPM. 106 p. (Série Geológica Básica, 11) , 1979.

COVELLI, S.; FONTOLAN, G. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines in Gulf of Trieste, Italy. **Environmental Geology** v. 30, n. 1-2, p. 34-45, 1997.

DAVIS, R. A.. Beach and nearshore zone. In Davis, R.A(Editor). **Coastal sedimentary environments**. New York. Springer-Verlag. 420p, 1978.

DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. **Sea-level history and quaternary evolution of rivers mouth-associated beach-ridge plains along the east-southwest brazilian coast: A Summary. Based on a Symposium in Honor of William Armstrong Price sponsored by Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**, Tulsa, Oklahoma 115-126, 1987.

DUFFUS, J. H. **“Heavy Metals” - A Meaningless Term**. Chemistry International, Research Triangle Park 23(6):163–167, 2001.

FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP – FISRWG - Stream Corridor Restoration , part 653 do National Engineering Handbook, do USDA – Natural Resources Conservation Service, Estados Unidos, 2000.

FERREIRA, R. J. S. Determinação de metais traços em sedimentos de rios: caso da Bacia do baixo Itajaí-Açú. Florianópolis. Dissertação- UFSC/FURB, 2001.

FINKL, C. W. Coastal Classification: Systematic Approaches to considerer in the development of a Comprehensive Scheme. **Journal or Coastal Research**, 20(1), 166-213. West. Palm Beach (Flórida), ISSN 0749-0208, 2004.

FÖRSTNER U.; SALOMONS, W. **Metals in the Hidrocycle**. New York: Springer-Verlag 312p, 1984.

FORSTNER, U.; WITTMAN, G. T. W. Grain-size effects. **In: METAL pollution in the aquatic environment**. Berlin: Springer Verlag p. 121-130, 1981.

FÖRSTNER, U.; W. SALOMONS, Trace metal analysis on polluted sediments part I. Assessment of sources and intensities. **Envir. Technol. Lett.** v. 1, p. 494–504, 1980.

FRIEDMAN, G.M. Rapidity of marine carbonate cementation – implications for carbonate diagenesis and sequence stratigraphy: perspective. **Sedimentary Geology**, 119: 1-4, – 1998 –

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA - FUNCEME. 2004.

GAU – Guimarães Arquitetura e Urbanismo **Diagnóstico Sócio-Ambiental da APA de Canoa Quebrada**. Fortaleza, 2002.

GIANNINI P. C. BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; TATUMI, S. H. Idade TL e propriedades sedimentológicas na planície costeira do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 7., 2001. Imbé. **Anais...Imbé: ABEQUA**. p. 135 – 136, 2001.

GIBBS, R.J. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon Rivers. **Bull. Geol. Soc. Amer.** v. 88, p. 829-843, 1977.

GOLDSMITH, V. **COASTAL DUNES**. In: Davis, R. A. (Editor). In: Coastal sedimentary environments. New York: Springer -Verlag, 420p. p171-235, 1978.

GUERRA, A. T. e GUERRA, A .J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HAYES, K. F. ; TRAINA, S. J. Metal speciation and its significance in ecosystem health. In: Huang, P.M. (ed.). **Soil chemistry and ecosystem health**. Soil Science Society of America. Madison. 45–84. (SSSA Special Publication No 52), 1998.

HESP, P.A. & THOM, B.G. **Geomorphology and evolution of an ative transgressive dunefield**, in NORDSTROM, K.; PSUTY, N. e CARTER, B., Costal Dunes – Forms and Process, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England,1990.

HESP, P.A. **Coastal Sand Dunes** – Form and Function, 28 pp., Massey University, Nova Zelândia. 2000.

**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2008.**

IPLANCE. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará.. **Atlas do Ceará**. Fortaleza. 65p,1997.

KABATA-PENDIAS, A. ; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd. Boca Raton, CRC Press 413p, 2001.

KEGEL, W. **Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte**. Bol. DNPM/DGM. Rio de Janeiro. 170-322p, 1957..

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Rev Bras Geografia** 2: 37-72, 1956.

KRAUSKOPF, K. B.; BIRD, D. 1995. **Introduction to geochemistry**. 3a edição. Nova York. 647 p.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V. Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na plataforma continental nordeste oriental do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 123-135. 2006.

LACERDA, L. D.; SANTOS, J. A.; MARINS, R. V. & MAIA, S. R. R. M. Impacto potencial da emissão antrópica de Cu e Zn sobre a carcinicultura na bacia inferior do rio Jaguaribe, Ce. **Revista da Associação Brasileira dos criadores de Camarão – ABCC**. p 83-86, 2004.

LEAL, J. R. L. V. & MAIA, L. P. Zoneamento Geoambiental da Canoa Quebrada –CE, **Anais do XLI Cong. Bras. Geol.** João Pessoa, 2002.

LEAL, J. R. L. V. **Zoneamento Geoambiental da Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada – Aracati-Ceará**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da UFC, 178 p, Fortaleza, 2003.

LEMES, M.J. L.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; PIRES, M. A. F. Influência da Mineralogia dos Sedimentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogiguaçu e Pardo na Composição Química das Águas de Abastecimento Público. **Quim. Nova**, vol. 26,

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O. de; SOUZA, M. J. N. de **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará – Fortaleza: FUNECE**, 268p – 2000 -.

LORING, D.H.; RANTALA, R.T.T., **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter**. Earth-Science Reviews, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam: 32, p. 235-283, 1992.

MABESOONE J. M. Relevo do nordeste do Brasil e sua correlação sedimentos. **Zietchr Geomorph** 10: 453, 1966.

MABESOONE J. M.; CAMPOS E.; SILVA A. e BEURLIN K. Estratigrafia e origem do grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Rev Bras Geoc.** 2: 173-190, 1972.

MABESOONE, J. M.; CASTRO, C. de. Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Recife, PE; Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia, nº3, p.5-37, 1975.

MAGALHÃES, S. H. O. **Estudos morfodinâmicos e impactos ambientais na linha de praia dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante – Ce.** Relatório de Bolsa de Aperfeiçoamento(APB). CNPq. 89p, 1997.

MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral.** Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona. 256p, 1998.

MAIA, L. P. **Controle tectônico e evolução geológica/sedimentar da região da desembocadura do Rio Jaguaribe.** 144p. Dissertação Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1993.

MAIA, L. P.; LEAL, J. R. L. V.; CASTRO, G. L.; FREIRE, G. S. S.; SALLES, R. de; e FERREIRA, A. G. **Relatório do Diagnóstico Socioambiental e Proposta de Zoneamento da Faixa Marinha do Setor Leste da Zona Costeira do Estado do Ceará,** Convênio MMA/SEMACE – PNMA II Fortaleza, 2004.

MAIA, L. P.; SABADIA, J. A. B.; FREIRE, G. S. S.; SERRA, J. Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos beach rocks e eolianitos da região costeira do Ceará. **In: Boletim XVII Simpósio de Geologia do Nordeste,** Fortaleza-CE. 177-181p, 1997.

MAIA, L.P.; SABADIA, J.A.B.; FREIRE, G.S.S.; E RAVENTOS, J.S. Caracterização Geoquímica e Diagenética da Cimentação Carbonática dos Beachrocks e Eolianitos da Região Costeira do Ceará. **XVII Simpósio de Geologia do Nordeste,** SBG-Núcleo Nordeste, Fortaleza, p 177-187,1997.

Maia, S.R.R. **Distribuição e partição geoquímica de metais traço na costa norte de Fortaleza,** CE. Tese de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2004.

MAIA. L. P. **Controle tectônico e evolução geológica/sedimentológica da região da desembocadura do Rio Jaguaribe.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 144p, 1993.

MARTIN, L. Mapeamento Geológico ao longo da Costa Brasileira, **Anais do Simpósio dos Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileira: Origem, Características Geotécnicas e Experiência de Obras.** Rio de Janeiro, 1988.

MATOSO, S. Q.; ROBERTSON, F. S. As rochas Cenozóicas na área de Itabaiana-Aracajú em Sergipe. **Bol. Tec. da Petrobrás.** II, 3, p.12-16, 1959.

McBride, M.B. **Environmental chemistry of soils.** New York, Oxford University Press, Inc.. 406p, 1994.

MCFARLANE; M. J. Laterite and Landscape. London; Academic Press. 125 p, 1976.

MEIRELES, A. J. A. & MAIA, L. P. **Indicadores morfológicos de los cambios del nivel del mar em llanura costeira Ceará – Nordeste de Brasil.** **In: V Reunião Nacional de Geomorfologia.** Granada – ES, 1998.

MEIRELES, A.J.A. & MAIA, L.M. **Indicadores Morfológicos de los Cambios de Nivel del Mar em la Llanura Costera de Ceará – Nordeste de Brasil,** Investigaciones recientes de

**la Geomorfologia española**, A. GOMEZ ORTIZ Y F. SALVADOR FRANCH (editores), pp. 325-332, Barcelona, 1998.

MEIRELES, A.J.A. **Mapeamento Geológico-geomorfológico do Quaternário Costeiro de Icapuí** – Extremo leste do estado do Ceará. Dissertação de Mestrado UFPE, 133 p. Recife, 1991.

MONTEIRO, L. H. U. **Diagnóstico e caracterização geoambiental do estuário do rio Potengi** – Natal – Rio Grande do Norte.. 51 p. Relatório de Graduação (Monografia). Universidade Federal do Ceará, 2003.

MONTEIRO, L.H.U. **Estudo das áreas de mangues entre os estados Piauí e Pernambuco com um enfoque para o estado do Ceará nos anos de 1978 e 1999/2004 utilizando sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, 98 p.2005.

MOREIRA, M.M.A. M: GATTO, L.C. S Geomorfologia in: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha AS 24 Fortaleza.RJ: Levantamento dos Recursos Naturais, 21, 1981.

NASCIMENTO, D.A. do; GAVA, A.; PIRES, J. de L. e TEIXEIRA, W. – Geologia. Mapeamento Regional. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha S.A.24 – Fortaleza. Rio de Janeiro.v 21. p.23-133, 1981.

NETO, J.A.B.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. **Introdução à Geologia Marinha**, Editora Interciência Ltda, 279 pp. Rio de Janeiro, 2004.

NIST – National Institute of Standards & Technology. **Certificate of Analysis: Standard reference material 2709 San Joaquim Soils**. Gaithersburg, MD. (<http://www.nist.gov/srm>), 2004.

Nriagu, J.O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. **Nature**, 279: 409–411, 1979.

NRIAGU, J. O; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**. 333:134–139. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/>>. Acesso em: 22/10/2007, 1988.

NRIAGU, J.O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. **Nature**, 338:47–49 Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/>>. Acesso em: 22/10/2008, 1989.

OLIVEIRA, A. I e LEONARDOS, O.H. **Geologia do Brasil**. 3 ed. Mossoró: SUDENE, 1978.

OLIVEIRA, P.E. e RAMOS, J. R. A. Geologia das quadriculas de Recife e Pontas de Pedra. **DNPM. Div. Geol. Min. Boletim**, 151, 1956.

PELLEGATI, F. **Determinação de metais pesados e outros elementos em sedimentos da Baía de Sepetiba (RJ), por ativação neutrônica**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2000.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Dispositivos morfo-estruturais e evolução morfotectônica da margem passiva transformante do Nordeste brasileiro. Campinas. **III Simp. Nacional de Geomorfologia** 3 p, 2000.

PEULVAST, J-P.; SALES, V.C. Mapa Morfoestrutural do Estado do Ceará e regiões adjacentes do Rio Grande do Norte e Paraíba: nota explicativa. In: **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. 1 CD-ROM.

PEULVAST, J-P.; SALES, V.C. Aplainamento e geodinâmica: revisitando um problema clássico em geomorfologia. **Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, n.1, p. 113-150, 2002.

PEULVAST, J-P.; SALES, V.C. Stepped surfaces and paleolandforms in the northern Brazilian “Nordeste”: constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**, Amsterdam, 2004.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J.T. ; VANCE, G. F. **Soils and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers. 313p, 1994.

PRATES, M; GATTO, L.C. S; COSTA, M. I. P Geomorfologia. IN: Brasil. DNPM-Projeto Radam- brasil. Folha SB 24-25 Jaguaribe-Natal, RJ: RADAMBRASIL, 1981.

PYE, K, & TSOAR, H. **Aeolian Sand and Sand Dunes**, UNWIN HYMAN, London, 396 p,1990.

PYE, K. **Sediment transport and depositional processes**. Oxford: Blackweel Scientific Publications, 379p. p 293-346, 1994..

RESENDE, M. O. O.; GRANDE, M. D. ; SANCHES, S. M. **Qualidade das águas, São Paulo**: Universidade de São Paulo, 2002.

REZENDE, M. Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e da Região Norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola. UFV, Viçosa. 153p, 1984.

REZENDE, J.O.;MAGALHÃES, A.F.J.;SHIBATA, R.T.;ROCHA, E.S.; FERNANDES, J. C.; BRANDÃO, F. J. C.; REZENDE, V. J. R. P. **Citricultura nos solos coesos dos tabuleiros costeiros: análise e sugestões**. Salvador: SEAGRI, SPA, 2002. 94p. (Série Estudos Agrícolas, 3).

RIBEIRO, A. P. **Determinação de elementos-traço e outros elementos de interesse em sedimentos lacustres da estação de tratamento de esgoto de Barueri, São Paulo, por ativação neutrônica**. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2002.

RIBEIRO, L. P. Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia. **Universitas**, v.38, p.59-80, 1986.

SAADI, A. & TORQUATO, J. R. Contribuição à Neotectônica do Estado do Ceará. Fortaleza. **Revista de Geologia**, v.5, p. 5-38, 1992.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. Metals in the Hydrocycle. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1984. ISBN 3-540-12755-0

SAMANIDOU, V. FYTIANOS, K. Mobilisation of heavy metals from river sediments of Northern Greece by complexing agents. *Water, Air and Soil Pollution*. 52: 217-225, 1990.

SANTOS, E. J. et al Mapa geológico do Estado do Ceará. Recife. CPRM, Escala 1: 500.000, 1972.

SCHOBENHAUS, C. **Geologia do Brasil**. Brasília, DNPM, 501 p, 1984.

SEMACE/LABOMAR(a). **Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará. (Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral e Ecossistemas Associados do Estado do Ceará – ZEE, 2005)**. Coordenador Prof. Dr. Luís Parente Maia. Fortaleza – CE, 2005.

SHIMABUKURO, S.; ARAI, M. A Discordância Tortoniana e sua relação com o arcabouço estratigráfico do Grupo Barreiras e unidades correlatas (Neógeno do Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17., 2001, Rio Branco. Boletim de Resumos... Rio Branco: SBP, p. 54, 2001.

SHORT, A.D. & HESP, P.A. – 1982 – **Wave, beach, dune interations in S.E.** Australia. *Mar. Geol.*, 48, 259-284.

SILVA, F.B.R.; RICÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C.; BRITO, L.T.L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B.; SILVA, A.B.; ARAUJO FILHO, J.C. **Zoneamento agroecológico do nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Recife: EMBRAPA, CPATSA; EMBRAPA, CNPS 2v, 1993.

SILVEIRA, J. D. Morfologia do litoral. In: AZEVEDO, A. (ed.) *Brasil: a terra e o homem*. São Paulo, Cia. Editora Nacional, p. 253-305, 1964.

SOUZA, M.J.N. de **Geomorfologia do Vale do Choró**, Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo – USP, 1973.

SOUZA, M.J.N. de **Contribuição ao estudo das unidades-morfoestruturais do estado do Ceará**, *Revista de Geologia*, v 1, p 73-91, Edições Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1988.

SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. San Diego: Academic Press. 267 p, 1995.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. 3.ed. New York: John Wiley & Sons Inc. 1022p, 1996.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, **Ambientes Fluviais**, Editoras UFSC e UFPR, 2ª edição, 183p, 1979.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blüncher, Ed. Da Universidades de São Paulo, 317 p, 1973.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares**. Editora Edgard Blucher. 500 p. São Paulo, 1980.

TARDY, Y.; ROQUIN. *Derive des continents paléoclimats e alterations tropicales*. Orleans. Ed. BRGM, 473p, 1998.

VILAS BOAS, G.S. BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. **Paleogeographic and paleoclimatic evolution during the Quaternary in the norther half of the state of Bahia.** Proceedings Inter. Symp. on Costal Evolution in the Quaternary, 254-263, São Paulo, 1979.

VILAS BOAS, G.S.; SAMPAIO, F.J.; PEREIRA, A.M.S. O Grupo Barrerias na Região de Conde, Nordeste do Estado da Bahia. XLI Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa, PB, 2002.

WRIGHT L. D. THOM B. G., CHAPPELL J. **Morphodinamics of reflective and dissipative beach and inshore systems,** Southeastern Australia. Mar Geol. (32):105 – 140, 1979.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. **Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis.** Marine Geology, Amsterdam. V. 56, p93-118, 1984.