

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco
**SISTEMAS DEPOSICIONAIS DA REGIÃO COSTEIRA
DO ESTADO DO CEARÁ
(FOLHAS PARA JURU E ARACATI)**
Dissertação de Mestrado
1996

MÔNICA PIMENTA DE NOVAES CASTELO BRANCO

Geólogo, Universidade Federal do Ceará, 1984

SISTEMAS DEPOSICIONAIS DA REGIÃO COSTEIRA DO ESTADO DO CEARÁ
(FOLHAS PARAJURU E ARACATI)

Dissertação que apresenta à Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Jannes Markus Mabesoone, em preenchimento parcial para obter do grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar, defendida e plenamente aprovada em 07 de março de 1996.

RECIFE, PE

1996

SISTEMAS DEPOSICIONAIS DA REGIÃO COSTEIRA DO ESTADO DO CEARÁ
(FOLHAS PARAJURU E ARACATI)
MÔNICA PIMENTA DE NOVAES CASTELO BRANCO

Aprovado:

Prof. Jannes M. Mabesoone

Prof. George Satander Sá Freire

Prof. Paulo da Nóbrega Coutinho

A DEUS pela minha existência

**A René, Renata e Gabriel pela força
e estímulo de vida**

A meus pais pelas oportunidades
oferecidas

E aos meus irmãos pelo apoio e
harmonia na família

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 01- Mapa de localização da área | 20 |
| 02- Pluviometria da região de Aracati (CE) | 24 |
| 03 -Evolução tectono-sedimentar e estratigráfica da Bacia Potiguar .. | 29 |
| 04- Aspecto geral da Formação Tibau (Praia de Tibau/RN) | 33 |
| 05- Detalhamento da Formação Tibau | 34 |
| 06- Equipamento de perfuração | 39 |
| 07- Arapucas para coleta de sedimentos transportados pelo vento (Sarre, 1988) | 41 |
| 08- Fluxograma de análise granulométrica | 44 |
| 09- Histograma causas/efeitos dos sistemas deposicionais | 48 |
| 10- Localização das seções colunares | 54 |
| 11- Seção colunar SCN 01 | 56 |
| 12- Detalhe das estruturas circulares da camada A ₁ (SCN 01) | 57 |
| 13- Detalhe da estrutura diferencial da camada A ₄ (SCN 01) | 59 |
| 14- Visão geral da seção colunar SCN 02 | 60 |
| 15- Seção colunar SCN 02 | 61 |
| 16- Visão geral da seção colunar SCN 03 | 63 |
| 17- Seção colunar SCN 03 | 64 |
| 18- Seção colunar SCN 04 | 68 |
| 19- Seção colunar SCN 05 | 71 |
| 20- Seção colunar SCN 06 | 74 |
| 21- Detalhe da camada F ₁ (SCN 06) | 75 |
| 22- Seção colunar SCN 07 | 79 |

| | |
|---|-----|
| 23- Visão geral da seção colunar SCN 08 | 82 |
| 24- Seção colunar SCN 08 | 84 |
| 25- Seção colunar SCN 09 | 86 |
| 26- Visão geral da seção colunar SCN 10 | 88 |
| 27- Seção colunar SCN 10 | 89 |
| 28- Detalhe da camada J ₂ (SCN 10) | 90 |
| 29- Localização dos perfis esquemáticos traçados na área | 95 |
| 30- Localização das dunas de primeira, segunda e terceira gerações | 96 |
| 31- Gráfico de valores de sedimentos transportados na base e topo das dunas de terceira geração | 101 |
| 32- Fotografias aéreas datadas em 1988 e 1992 | 104 |
| 33- Testemunho de sondagem do sistema lagunar | 105 |
| 34- Classificação de costas (Ottmann, 1964) | 107 |
| 35- Plataforma de abrasão formada na faixa costeira próxima ao Pontal de Maceió | 111 |
| 36- Controle tectônico do Rio Jaguaribe (Maia, 1993, modificado) | 113 |
| 37- Fotografia aérea datada de 1988, realçando os <i>trends</i> de onda, laguna e cordões litorâneos | 115 |
| 38- Mapa de fácies sedimentares da plataforma continental | 116 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| 01- Ficha de campo para registros de dados | 36 |
| 02- Classificação das litofácies segundo Miall (1985) | 50 |
| 03- Elementos contexturais em depósitos fluviais (MIALL, 1985) | 51 |
| 04- Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 03 | 65 |
| 05- Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 06 | 77 |
| 06- Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 07 | 81 |
| 07- Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 08 | 85 |
| 08- Parâmetros estatísticos dos sedimentos das dunas de segunda geração | 98 |
| 09- Quantificação do transporte eólico das dunas de terceira geração | 100 |

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jannes Markus Mabesoone pela orientação deste trabalho, junto a Universidade Federal de Pernambuco.

Ao Prof. George Satander Sá Freire, do Departamento de Geologia / Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, pela orientação e atenção aos trabalhos de campo e laboratoriais.

A Prof^ª. Loreci Gislaine de Oliveira Lehugeur, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, pela constante colaboração científica nas diversas etapas da pesquisa.

Ao geólogo René Lima de Castelo Branco pelo incentivo, carinho e companheirismo nas longas horas de trabalho desenvolvidas no nosso lar.

A Lucineide Maria Jorge dos Santos pela amizade e apoio durante a elaboração da presente pesquisa.

A geóloga Viviane Araújo Nóbrega pela dedicação e amizade nas etapas de análise petrográfica.

Ao amigo Alberto Bezerra de Medeiros pelo companheirismo ao longo do curso de mestrado.

Aos amigos Pedro Saraiva de Moraes, Sávio Freire Lima, Reynaldo Amorim Marinho, Miguel Sávio de Carvalho Braga e Paulo Roberto Silva Pessoa pelo apoio na confecção de ilustrações e nas atividades de campo relacionadas as coletas no sistema fluvial.

Ao geólogo José Gonzaga da Silva e geógrafo Paulo Roberto Ferreira Gomes da Silva pela participação em uma etapa de campo para coleta de amostras sedimentológicas.

A laboratorista Maria Cidrônea da Conceição Silva pelo apoio nas atividades de laboratório realizadas na Divisão de Oceanografia Abiótica do Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará.

A Cacilda Lourenço de Cruz, da Biblioteca do Centro de Tecnologia da UFPE, pela colaboração na elaboração das referências bibliográficas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e Universidade Federal do Ceará pela bolsa e liberação para cursar o mestrado.

Ao Laboratório de Ciências de Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC) pela ajuda na realização dos trabalhos de campo e análises de laboratório indispensáveis ao desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

A região costeira do Estado do Ceará, através da realização de inúmeras pesquisas de natureza geológica/sedimentológica, tem sido caracterizada, principalmente, em relação aos agentes dinâmicos atuantes nos ecossistemas. O reconhecimento dos diversos sistemas deposicionais presentes na zona costeira carece de informações. Desta maneira, a presente pesquisa foi realizada na região costeira do baixo curso do Rio Jaguaribe, com a intenção de acrescentar informações relacionadas aos sistemas deposicionais e realizar, quando possível, correlações estratigráficas.

Na área foram identificados oito sistemas deposicionais: fluvial entrelaçado, fluvial anastomosado, leque aluvial, eólico, lagunar, praiial, deltaico e plataforma continental.

O sistema deposicional definido como fluvial entrelaçado corresponde a parte basal das seções colunares pesquisadas na margem do Rio Jaguaribe, onde as estruturas de granodecrescência ascendente, cruzadas acanaladas, bolas de argila e bioturbações permitiram reconhecer depósitos residual de canal (Gm) e depósitos de barra de canais (Sp). O pacote foi correlacionado aos sedimentos terciários da Formação Tibau (Bacia Potiguar).

Os depósitos de leque aluviais recobrem os sedimentos do sistema fluvial entrelaçado, formando um pacote arenoso, avermelhado, friável, correlacionáveis aos sedimentos da Formação Barreiras.

O sistema eólico na área foi reconhecido três tipos de dunas. As mais antigas apresentam superfície arrasada cobertas por solos espessos e vegetação arbustiva. O segundo tipo de dunas encontra-se fixada por vegetação rasteira, onde as formas

de barcana e longitudinal predominam. As dunas móveis, localizadas na região da berma, caracterizaram as dunas do terceiro tipo.

O sistema lagunar foi reconhecido na área por um corpo semi-fechado, originado através da progradação da linha de costa durante eventos regressivos da evolução costeira.

A faixa de praia é caracterizada por trecho de costa baixa, caracterizado por perfis formado por estirâncio, berma e dunas e trecho de costa alta, formado por estirâncio e falésia.

O atual curso do Rio Jaguaribe marca o domínio do sistema fluvial anastomosado, onde a região do baixo curso caracteriza-se pela formação de planícies fluvio-marinhas.

O sistema deltaico retrata a evolução da linha de costa, com a formação de cordões litorâneos que caracteriza a planície deltaica subaérea.

A sedimentação da plataforma continental é representada pelas fácies sedimentares terrígenas e organógena. Os sedimentos terrígenos são oriundos dos processos erosivos atuantes em linha de costas pretéritas, enquanto a fácies organógena representa o desenvolvimento de algas calcárias e fragmentos de carapaças orgânicas.

PALAVRAS - CHAVE: sistemas deposicionais, fácies sedimentares, baixo curso do Rio Jaguaribe, Bacia Potiguar, geologia costeira, evolução dos sistemas deposicionais.

RESUMÉ

La région côtière de l'État du Ceará, selon plusieurs recherches géologiques/sédimentologique qui y ont été réalisées, a été décrite, principalement, par rapport aux agents dynamiques agissant sur les écosystèmes. La reconnaissance des divers systèmes de dépôt présents dans la zone côtière nécessite de plus d'informations. De cette façon, cette recherche a été effectuée sur la région côtière du bas cours du fleuve Jaguaribe, dans le but d'apporter des données sur les systèmes de dépôt et se possible, réaliser des corrélations stratigraphiques.

Dans la région ont été identifiés huit systèmes de dépôt: fluvial entrelacé, fluvial anastomosé, d'éventail alluvial, éolien, lagunaire, plage, deltaïque et plateau continental.

Le système de dépôt appelé fluvial entrelacé correspond à la partie basale des sections en colonnes recherchées sur les berges du fleuve Jaguaribe, où les structures de gradation ascendante, croisée concave, boules d'argile et bioturbations, ont permis de reconnaître des dépôts résiduels de chenal (Gm) et des dépôts de barre de chenal (Sp). L'ensemble a été comparé par rapport aux sédiments tertiaire de la Formation Tibau (Bassin Potiguar).

Les dépôts des éventails alluviaux recouvrent les sédiments du système fluvial entrelacé, en formant un paquet sableux, rougeâtre, friable, aux en corrélation avec les sédiments de la Formation Barreiras.

Le système éolien dans la région a été identifié par trois types de dunes. Les plus anciennes présentaient la surface rasée recouverte par des sols épais et par une végétation arbustive. Le second type de dunes se trouve fixé par une végétation

rampante, où les formes de barcanes et longitudinaux sont prédominantes. Les dunes mobiles, localisées dans la région de la berme, ont caractérisé celles du troisième type.

Le système lagunaire a été identifié dans la région par un corps semi-fermé, originaire d'après la progradation de la ligne de la côte pendant les événements régressifs de l'évolution côtière.

La plage est caractérisée par des zones de côte basse, identifiées par des profils formés par estran, berme et dunes, et une zone de côte haute, forme par et falaise.

Le cours actuel du fleuve Jaguaribe marque le domaine du système fluvial anastomosé, où la région du bas cours se caractérise par la formation de plaines fluvio-marines.

Le système deltaïque montre l'évolution de la ligne de côte, avec la formation des cordons littoraux lesquels caractérisent la plaine deltaïque sousaérienne.

La sédimentation du plateau continental est représentée par des faciès sédimentaires terrigène et organogène. Les sédiments sont originaires du processus d'érosion agissant sur la côte ancienne, tandis que les faciès organogènes représentent le développement des algues calcaires et fragments de carapaces organiques.

PAROLES - CLÉS: Système de dépôts, Faciès sédimentaires, Bas cours du fleuve Jaguaribe, Bacia Potiguar, Géologie côtière, Évolution des systèmes de dépôts.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

AGRADECIMENTOS

RESUMO

RESUMÉ

| | |
|---|----|
| 1 - INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 - ÁREA DE ESTUDO | 19 |
| 1.2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA | 21 |
| 1.2.1- Aspectos Fisiográficos | 21 |
| 1.2.1.1 - Relevo | 21 |
| 1.2.1.2 - Clima | 23 |
| 1.2.1.3 - Hidrografia | 23 |
| 1.2.1.4 - Vegetação | 25 |
| 1.2.1.5 - Solos | 26 |
| 1.2.2 - Aspectos Geológicos | 27 |
| 2 - MATERIAL E MÉTODOS | 31 |
| 2.1 - LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO | 31 |
| 2.2 - LEVANTAMENTO DE CAMPO | 31 |
| 2.2.1 - Reconhecimento Regional | 32 |
| 2.2.2 - Reconhecimento Local | 32 |
| 2.2.3 - Amostragem e Medidas <i>in situ</i> | 35 |
| 2.2.3.1 - Posicionamento dos Pontos Amostrados | 37 |

| | |
|---|-----|
| 2.2.3.2 - Coleta de Amostras Superficiais | 37 |
| 2.2.3.3 - Coleta de Testemunhos de Sondagem | 38 |
| 2.2.3.4 - Registros de Estruturas Sedimentares | 38 |
| 2.2.3.5 - Levantamento das Cores dos Sedimentos | 40 |
| 2.2.3.6 - Estudo dos Ventos | 40 |
| 2.3 - ANÁLISES E CÁLCULOS EM LABORATÓRIO | 42 |
| 2.3.1 - Caracterização Textural dos Sedimentos | 42 |
| 2.3.1.1 - Análise Granulométrica | 43 |
| 2.3.1.2 - Parâmetros Estatísticos das Distribuições | 43 |
| 2.3.1.3 - Características Morfoscópicas dos Grãos | 43 |
| 2.3.1.4 - Estudo Mineralógico | 45 |
| 3 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS | 46 |
| 3.1 - CONCEITO DE SISTEMA DEPOSICIONAL | 46 |
| 3.1.1- Fácies Sedimentares | 46 |
| 3.1.2- Ambiente de Sedimentação | 47 |
| 3.1.3 - Processos Sedimentares | 47 |
| 3.2 - SISTEMÁTICA DE INTERPRETAÇÃO..... | 47 |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES | 53 |
| 4.1 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS ANTIGOS | 53 |
| 4.1.1 - Seção Colunar SCN 01 | 55 |
| 4.1.2 - Seção Colunar SCN 02 | 58 |
| 4.1.3 - Seção Colunar SCN 03 | 62 |
| 4.1.4 - Seção Colunar SCN 04 | 67 |
| 4.1.5 - Seção Colunar SCN 05 | 70 |
| 4.1.6 - Seção Colunar SCN 06 | 72 |
| 4.1.7 - Seção Colunar SCN 07 | 78 |
| 4.1.8 - Seção Colunar SCN 08 | 80 |
| 4.1.9 - Seção Colunar SCN 09 | 83 |
| 4.1.10 - Seção Colunar SCN 10 | 87 |
| 4.1.11 - Interpretação dos Sistemas Depositionais | 91 |
| 4.2 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS RECENTES | 94 |
| 4.2.1 - Sistema eólico | 94 |
| 4.2.2 - Sistema lagunar | 102 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.3 - Sistema de Praia | 103 |
| 4.2.4 - Sistema Fluvial | 110 |
| 4.2.5 - Sistema Deltaico | 112 |
| 4.2.6 - Sistema de Plataforma Continental | 114 |
| 5 - CONCLUSÕES | 119 |
| 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 123 |

1 - INTRODUÇÃO

A região costeira do Estado do Ceará é constituída principalmente por sedimentos de natureza areno-argilosa e arenosa, datados do terciário-quadernário e quadernário, que formam 573 quilômetros de linha de costa, onde pode ser observado o desenvolvimento de diversas feições geomorfológicas.

Ao longo dos anos, inúmeras pesquisas de natureza multidisciplinares vêm sendo realizadas neste ecossistema, com o objetivo de levantar conhecimentos e desenvolver modelos aplicativos para solucionar os problemas ambientais da região.

O presente estudo destina-se a reconhecer os sistemas deposicionais do pacote sedimentar compreendido na região do Baixo Jaguaribe, com o objetivo de esclarecer as diversas etapas evolutivas da região, assim como estabelecer correlações estratigráficas.

1.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para a realização da presente pesquisa encontra-se inserida no trecho leste do litoral cearense, compreendida na região do Baixo Jaguaribe, tendo como extremos as cidades de Pontal de Maceió, a norte; Itaiçaba, a sul; Aracati, a leste; e Fortim a oeste (Fig. 01).

Geologicamente, a área encontra-se incluída na borda oeste da Bacia Potiguar, formada por sedimentos terciário-quadernário, cuja caracterização dos sistemas deposicionais do pacote sedimentar é o alvo principal da presente pesquisa.

O acesso é realizado partindo-se de Fortaleza pela CE 004, que corta pequeno trecho da área, ou através da Br 116 até a localidade de Boqueirão de

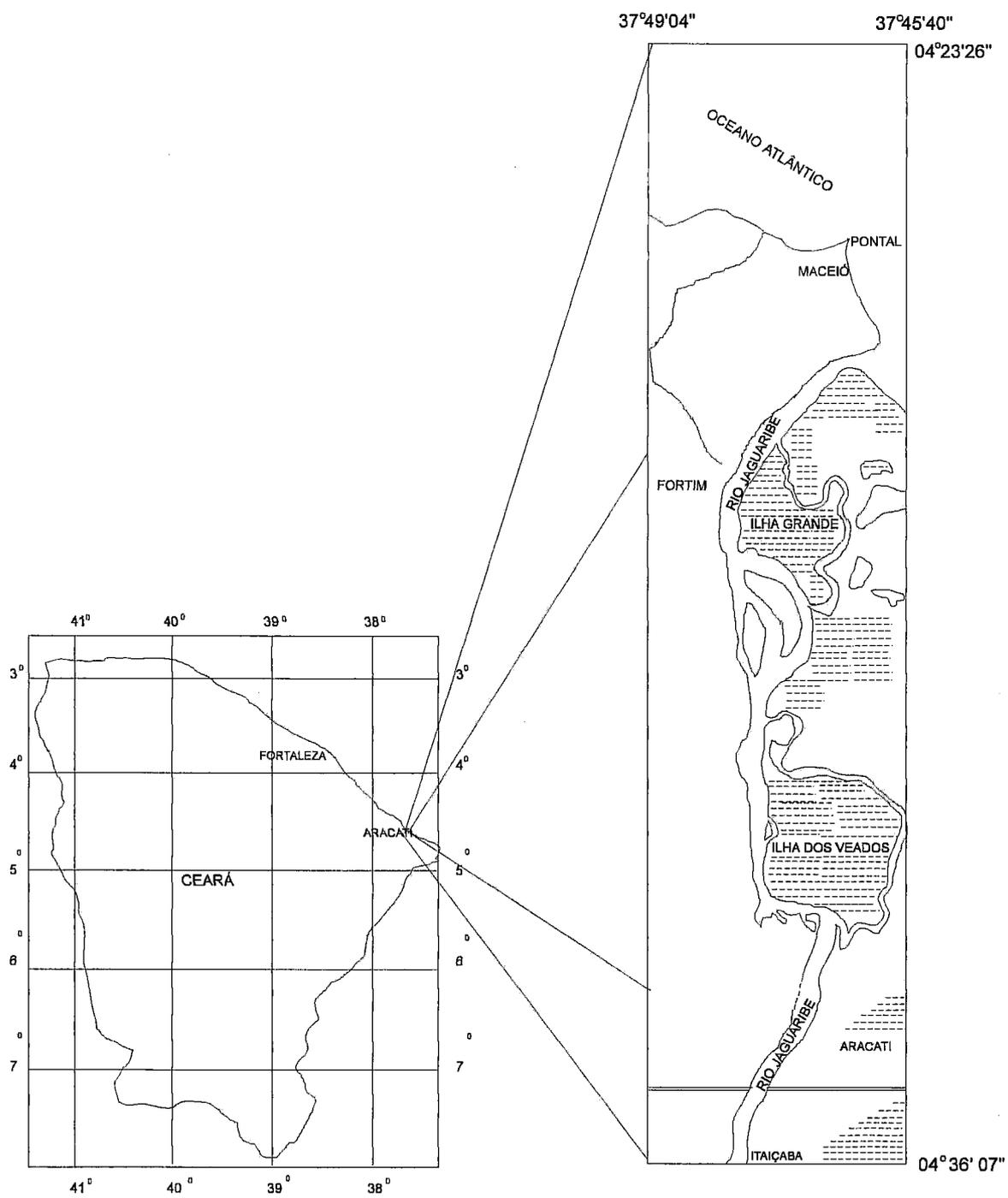


Figura 01 - Mapa de localização da área

Cesário, prosseguindo pela BR 304 até o encontro desta com a CE 004, que ocorre nas proximidades da cidade de Aracati.

1.2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

Neste item será colocado em relevância todos os pontos relacionados as condições fisiográficas, geológicas e estruturais da área em estudo, com o objetivo de levantar conhecimentos ambientais que ajudem na compreensão dos processos atuantes na região.

1.2.1 - Aspectos Fisiográficos

1.2.1.1 - Relevo

O relevo do litoral cearense comporta características que dependem das influências locais de natureza geológica, climática e vegetacional.

A compartimentação regional do relevo litorâneo envolve as unidades morfológicas conhecidas como:

- Planície Litorânea
- Glacis Pré-Litorâneos

As Planícies Litorâneas estão representadas por praias, campos de dunas, planícies fluviais e flúvio-marinhas. As praias assumem uma morfologia constituída por estirâncio e berma, que formam extensos depósitos arenosos constantemente moldados pela ação marinha e eólica.

Os campos dunares mapeados na área assumem formas de cordões alongados, normalmente com direção paralela a atual linha de costa, onde os mais interioranos capeam os sedimentos plio-plestocênicos da Formação Barreiras, formando corpos antigos de dunas, que se caracterizam, principalmente, por uma superfície pouco arrasada com formação de solo e presença de uma vegetação de porte arbustivo e arbóreo.

As dunas localizadas nas regiões mais próximas a linha de costa, diferenciam-se entre si, pela presença ou não de uma cobertura vegetal representativa capaz de fixa-las.

As dunas consideradas fixas caracterizam-se por uma coloração creme, com formas transversais e parabólicas, parcialmente fixadas por uma vegetação arbustiva e arbórea. São portadoras de uma superfície ondulada, onde pode ser observado intercalações de camadas de minerais escuros (pesados) e claros (leves), assim como a preservação de estruturas ondulares que retratam a direção preferencial da corrente eólica na região - leste/oeste.

O outro grupo de dunas mapeado na área corresponde as dunas que migram ao longo da planície litorâneas, posicionadas mais próxima ao mar, que desenvolvem papel importante na dinâmica litorâneo. Este fato pode ser notado nas proximidades da Ponta de Maceió, onde o aporte sedimentar envolvido no equilíbrio litorâneo provêm das dunas que repassam a formação rochosa e mantém o equilíbrio natural da praia.

A planície fluvial formada pelo Rio Jaguaribe assume forma bastante expressiva na cidade de Itaiçaba. Nesta região a deposição de extensos depósitos arenosos dão subsídio ao desenvolvimento do plantio de feijão e mandioca, utilizados no consumo local.

As planícies flúvio-marinhas estão presentes na área nos depósitos areno-argilosos localizados na margem direita do Rio Jaguaribe, onde se faz sentir a influência da água salgada, através do desenvolvimento de uma vegetação do tipo floresta perenifolia paludosa marítima. A margem esquerda do canal principal do Rio Jaguaribe é formada por uma linha de falésias, de altura variando entre 2 a 12 metros, esculpidas em sedimentos arenosos de classificação estratigráfica bastante discutida.

Os Glacis Pré-Litorâneos, segundo Souza (1989), representam a mais típica superfície de agradação do território cearense. Compreende um glacis de deposição que se inicia de modo gradativo do interior para o litoral, quase sempre com altitudes inferiores a 100 metros. É constituído por sedimentos plio-pleistocênicos pertencentes a Formação Barreiras. O glacis é sulcado de maneira pouco incisiva pela drenagem, o que dá ensejo ao surgimento das feições tabuliformes que marcam as paisagens pré-litorâneas, onde as áreas interfluviais têm, quase sempre, os topos horizontais e raramente convexizados.

1.2. 1. 2 - Clima

O clima atuante na microrregião do Baixo Jaguaribe caracteriza-se pelo predomínio de um clima tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas no verão e precipitações máximas no outono, segundo a classificação de Köppen (Aw').(Projeto RADAMBRASIL, 1981).

A região apresenta um regime pluviométrico com chuvas no período de janeiro a junho e máximas em março e abril, registrando-se em outubro a menor precipitação (Fig. 02). As precipitações médias anuais são bastantes irregulares, variando entre as isoietas de 950 a 1.250 mm, destacando-se a cidade de Aracati com 1.022mm.

A temperatura anual média é considerada elevada, com valores em torno de 26° C e 27° C, raramente atingindo uma temperatura inferior a 20° C, sendo registrado uma fraca oscilação térmica (inferior a 5° C).

1. 2. 1. 3 - Hidrografia

O principal recurso hídrico localizado na região em destaque está representado pela Bacia Hidrográfica do Jaguaribe.

O Rio Jaguaribe, com uma extensão de aproximadamente 860 quilômetros, origina-se o centro-sul do Estado, na Serra das Pipocas, em altitudes superiores a 600 metros. O seu traçado é inicialmente bastante irregular, dirigindo-se a partir de sua nascente para o sudoeste, passando a tomar o sentido sudeste até interceptar o Riacho Conceição. A partir daí segue para leste em direção à bacia sedimentar de Iguatu, é barrado na cidade de Orós, originando o açude do mesmo nome, e logo após, rumo direto à costa, no sentido norte-nordeste. Os seus tributários principais da margem esquerda, são os Rios Truçu, Banabuiú e Palhano, enquanto da margem direita são os Rios dos Bastiões e Salgado (Leite e Francelino, 1989).

A bacia apresenta um padrão de drenagem, predominantemente dentrítico, mostrando ainda, na foz, o padrão anastomótico.

No baixo curso do Rio Jaguaribe o potencial hidrológico é concentrado nos aluviões e dunas. Nesta região a espessura do aluvião é maior, oscilando em torno dos 25 metros, o que favorece a exploração de água subterrânea através de poços.

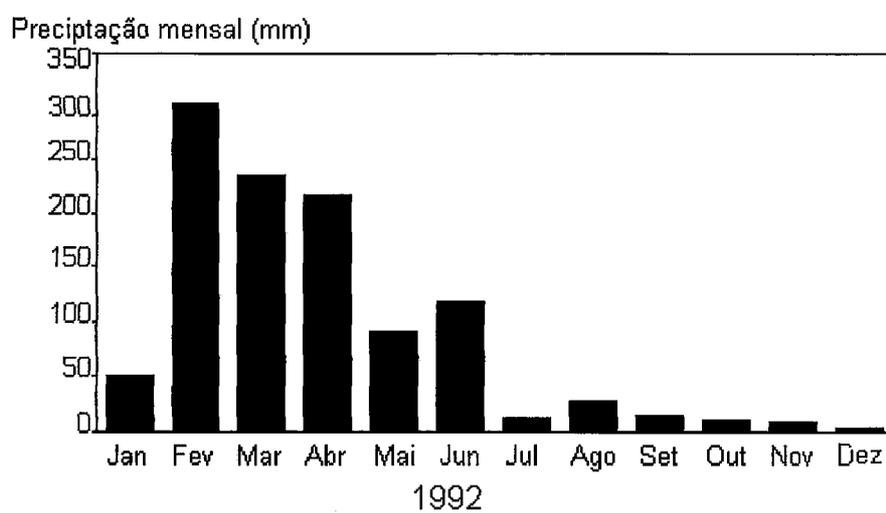


Figura 02 - Pluviometria da região de Aracati (CE)

Fonte: FUNCEME

As dunas apresentam um potencial hídrico segundo a matriz de determinação numérica, de médio a bom .

1.2. 1. 4 - Vegetação

A cobertura vegetal presente na área de estudo, segundo informações contidas na bibliografia pesquisada, pode ser enquadrada dentro dos seguintes domínios:

- Complexo Vegetacional da Zona Litorânea
- Floresta Mista Dicótilo-Palmacea
- Floresta Perenifólia Paludosa Marítima

O Complexo Vegetacional da Zona Litorânea cobre toda a área compreendida desde a linha de costa até o contato das rochas sedimentares com as rochas cristalina. Neste domínio geológico são comuns as feições conhecidas geomorfologicamente como planícies litorâneas, dunas e tabuleiros litorâneos.

Dentro deste complexo vegetacional podem ser encontradas as vegetações denominadas de pioneiras, florestas localizadas à retaguarda das dunas e vegetação dos tabuleiros litorâneos.

A vegetação pioneira encontra-se localizada na planície litorânea e muitas vezes nas dunas servindo como fixadora, tais como: salsa (*Ipomoea pes-caprae*), oró (*Phaseolus ponduratus*), bredinho-da-praia (*Iresine portulacoides*), capim-barba-de-bode (*Sporobolus virginicus*), cipó-da-praia (*Remirea marítima*), beldroega-da-praia (*Sesuvium portulacastrum*), dentre outras.

As acumulações de areia localizadas no litoral são morfologicamente denominadas de dunas. Este ecossistema forma um ambiente bem particular e de equilíbrio extremamente frágil, onde é comum o desenvolvimento de um tipo de vegetação florestal localizado à sua retaguarda, que assume um posicionamento paralelo a linha de costa e apresenta forma descontínua. O conteúdo florístico é representado por espécies vegetais que ocorrem nas serras úmidas, serras secas e na caatinga arbórea, tais como: João-mole (*Pisonia tomentosa*), jucá (*Caesalpinia ferrea*), juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), pau d'arco-roxo (*Tabebuia avellanede*), quinaquina (*Couertia hexandra*) e tatajuba (*Chloroflora tinctoria*).

Nos tabuleiros litorâneos a diversificação vegetacional e florística é bastante acentuada, podendo-se encontrar a mata de tabuleiro, o cerrado e a caatinga. A mata de tabuleiro encerra espécies como a imbaúba (*Cecropia sp*), timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), jucá (*Caesalpinia ferrea*), pau-sangue (*Pterocarpus violaceus*) e amargoso (*Vatairea macrocarpa*).

O cerrado ocorre em forma de manchas isoladas nos tabuleiros litorâneos, sendo representado por espécies vegetais do tipo: lixiera ou sambaíba (*Curatella americana*), pau-terra (*Quaeparviflora*), carrapicho-de-cavalo (*Krameria tomentosa*), craibeira (*Tabebuia caraíba*) e barbatimão (*Stryphnodendron coriaceum*).

A caatinga é encontrada sobre os tabuleiros em substituição às áreas de matas depois de sucessivos desmatamentos, sendo comum as espécies conhecidas por: jurema (*Mimosa*), catingueira (*Caesalpinia*), camará (*Lantana camara*) e imburana-vermelha (*Bursera lappaceos*).

O segundo domínio de cobertura vegetal encontrado na área mapeada é a Floresta Mista Dicótilo-Palmacea, que está localizada nas planícies aluviais do baixo curso do Rio Jaguaribe, mais precisamente na região de Itaiçaba. Caracterizada pela presença das carnaúbas (*Copernicia prunifera*) associada com o mulungu (*Erithrinia velutina*), juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), oiticica (*Licania rigida*) e inga-bravo (*Lonchocarpus sericeus*) além de outras espécies arbustivas e trepadeiras.

A Floresta Perenifólia Paludosa Marítima é mapeada na desembocadura do Rio Jaguaribe, onde o substrato assume uma textura areno-siltico-argiloso, em um ambiente de constantes misturas de águas fluviais e marinhas, que favorece a proliferação de uma vegetação adaptável as condições locais, conhecida popularmente como mangue. As espécies arbóreas encontradas são o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), siriuba (*Avacennia nitida* e *A. tomentosa*) e mangue branco (*Laguncularia racemosa*).

1.2. 1. 5 - Solos

Os solos mapeados na área em questão estão compreendidos em três classes:

- Areias Quartzosas Distróficas e Marinhas
- Solonchak
- Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos

O grupo das Areias Quartzosas Distróficas e Marinhas engloba os solos profundos ou muito profundos, com cores variando entre o vermelho, laranja e branco, excessivamente drenados, com baixos teores de argila (menos que 15%), sem reservas de minerais primários, onde são cultivados o cajueiro e o coqueiro.

Os Solonchak são encontrados na desembocadura do Rio Jaguaribe, associados aos solos indiscriminados de mangues ou a solos aluviais. O grupo é originado de deposição fluviais recentes, caracterizado pela alta concentração de sais solúveis.

Na região de Itaiçaba é comum a presença de um solo raso, pouco desenvolvido, normalmente pedregoso e rochoso, possuindo apenas um horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre um horizonte C, de pequena espessura e geralmente com muitos minerais primários. Este solo é classificado como Litólico, e pode ser eutrófico ou distrófico, com características físicas, químicas e morfológicas variáveis em função do material originário.

O uso deste solo é fortemente limitado pela deficiência de água, pedregosidade, rochosidade, concreções, pouca profundidade e grande susceptibilidade à erosão.

1.2.2 - Aspectos Geológicos

A geologia da área é constituída por rochas pré-cambrianas do Grupo Ceará; sedimentos cretáceos, da Formação Tibau; plio-plestocênicos da Formação Barreiras e sedimentos quaternários das coberturas litorâneas.

O embasamento cristalino da região é composto por rochas proterozoicas (Grupo Ceará) e arqueanas. O Grupo Ceará é formado essencialmente por xistos e gnaisses pelíticos a semi-pelíticos a fácies anfibolito de alto grau, afetado em vários graus por migmatização. Os estudos tectônicos realizados no embasamento revelaram deformações polifásicas (supracrustais policíclicas), importante plutonismo de composição granítica e generalizada tectônica recumbente.

Na área, o embasamento cristalino aflora na cidade de Itaiçaba, em faixas pequenas e escarpas localizadas nas proximidades do atual curso do Rio Jaguaribe, e em forma de serras nas proximidades do Rio Palhano.

A sequência sedimentar cretácea que compõe a coluna estratigráfica da Bacia Potiguar encontra-se registrada na área em apreço pela deposição de arenitos clásticos da Formação Tibau, que corresponde a sedimentação do estágio drifte transgressivo e regressivo do entulhamento final da bacia (Fig. 03).

A Formação Tibau compreende arenitos médios a conglomeráticos, verde-amarelado e amarelo claro, mal selecionados, duros a friáveis, contendo quartzo e feldspato, arredondados a subarredondados, que repousam discordantemente sobre a Formação Jandaíra.

A Formação Tibau aflora, como seção tipo, na praia de Tibau, divisa dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, em falésias vivas de aproximadamente 8 metros de altura. Na área em apreço, a Formação Tibau registra os eventos transgressivos e regressivos com a deposição de pacote espessos de arenitos e conglomerados em escarpas vivas nas margens do atual baixo do Rio Jaguaribe, caracterizando o sistema deposicional fluvial entrelaçado. Em alguns trechos pesquisados fica a caracterização da associação do sistema fluvial entrelaçado ao sistema deltaico, onde a deposição de camadas de clásticos evidenciam depósitos de fácies do topo da planície deltaica.

A Formação Barreiras cobre cerca de 70% da área mapeada, caracterizada por areias vermelhas, afossilíferas, mal selecionadas, inconsolidadas, e conglomerados vermelhos, mal selecionados, com grãos e seixos de quartzo semi-arredondados a arredondados emersos em uma matriz areno-argilosa pouco consolidada.

Os depósitos cenozóicos litorâneos são constituídos essencialmente por formações de dunas, antigas e atuais, e depósitos de praia, condicionados ao desenvolvimento morfológico do litoral.

As dunas apresentam-se constituídas por sedimentos quartzosos de granulação fina, bem classificados, mostrando delgados leitos de minerais pesados. As dunas encontram-se fixadas nas regiões onde a cobertura vegetal está presente.

A faixa praial encontra-se representada por depósitos planares de areias de textura variando de fina a média, de coloração clara, entretanto, em certos locais a

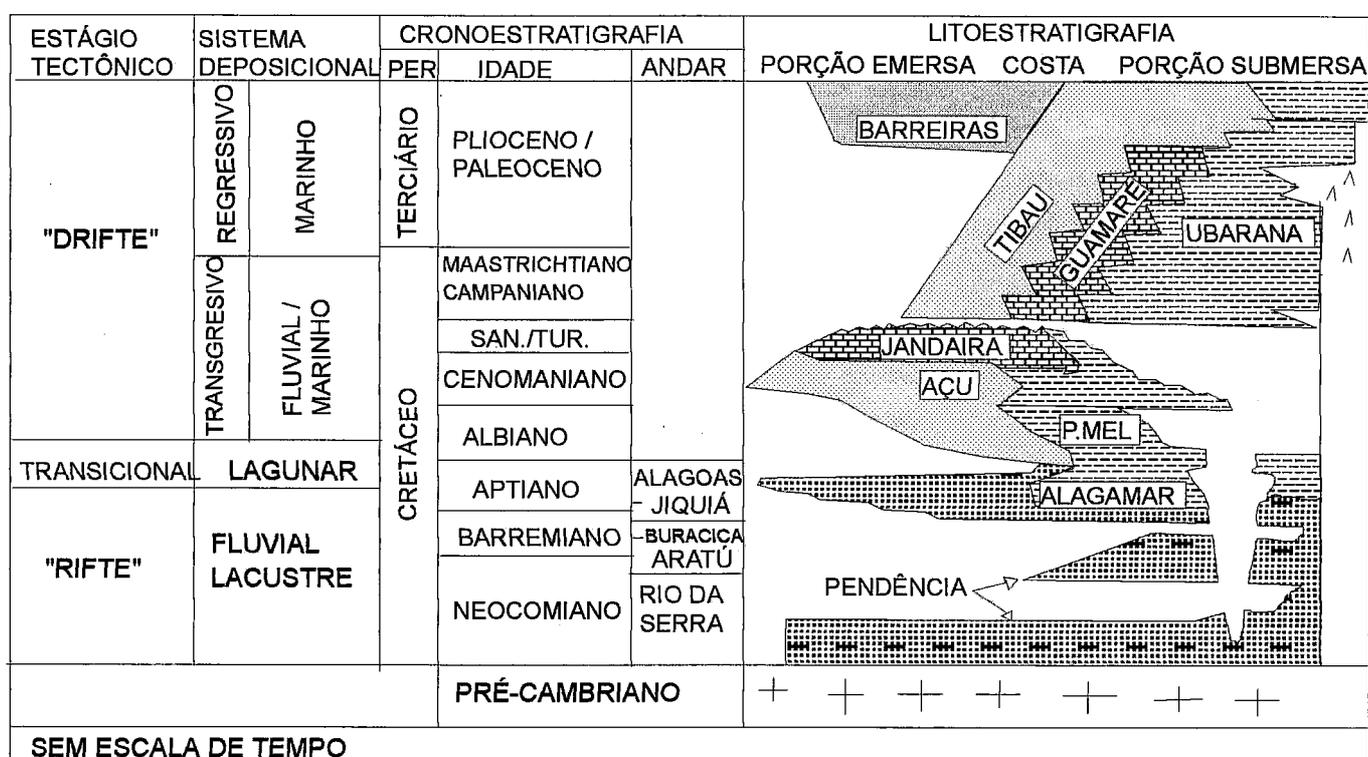


Figura 03 - Evolução tectono-sedimentar e estratigráfica da Bacia Potiguar

Fonte: Bertani et al., 1990

presença de minerais pesados e micas tornam a coloração destas areias escurecida.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa baseou-se em três etapas de desenvolvimento, iniciada por um levantamento bibliográfico e cartográfico da área, seguida por etapas de campo e laboratoriais, nas quais foram utilizadas metodologias específicas com a finalidade de atingir os objetivos propostos.

2.1 - LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO

A etapa inicial da pesquisa contou com a realização de um levantamento bibliográfico de trabalhos desenvolvidos na área em questão, assim como de publicações relacionadas a temática “Sistemas Depositionais”.

O resultado do levantamento bibliográfico fomentou um vasto conhecimento da região do Baixo Jaguaribe, que favoreceu a programação das etapas subsequentes.

A base cartográfica seguiu as diretrizes das Folhas da SUDENE codificadas por SB.24-X-A-III (Folha Parajuru) e SB.24-X-A-VI (Folha Aracati), e dos dados obtidos na fotointerpretação de fotografias aéreas da área datadas de 1988 e 1992.

2.2 - LEVANTAMENTO DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em duas fases: uma fase inicial de visão regional e outra de caráter local, cujos detalhes de execução serão relatados a seguir.

2.2.1 - Reconhecimento Regional

As etapas de campo referentes ao levantamento geológico de visão regional da área costeira dos Municípios de Aracati, Fortim e Itaiçaba foram planejadas de acordo com a coluna estratigráfica da Bacia Potiguar.

Os sedimentos cenomanianos da Formação Açú e os santoniano/turonianos da Formação Jandaíra, aflorantes nas proximidades da cidade de Açú, no Estado do Rio Grande do Norte, foram estudados através de perfis localizados nos cortes da BR 304, no trecho que liga a cidade de Mossoró a Açú.

A sedimentação depositada na Bacia Potiguar durante a fase final do estágio drifte, caracterizada por sedimentos arenosos de textura média a conglomerática da Formação Tibau, foi reconhecida nas falésias vivas da Praia de Tibau, na divisa dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte (Figs 04 e 05).

Os depósitos aluviais antigos denominados por Formação Faceira foram pesquisados nos arredores da cidade de Jaguaruana, que se situa na margem esquerda do Rio Jaguaribe, Estado do Ceará.

Os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, que moldam na área os tabuleiros pré-litorâneos, foram reconhecidos em afloramentos ao longo da CE 004. Nestes locais é comum a exploração de areias para utilização na construção civil.

A sedimentação holocênica da Bacia Potiguar foi caracterizada na faixa costeira de Tibau e Aracati, compondo os campos de dunas, a berma e o estirâncio, formada essencialmente por areias quartzosas retrabalhadas pela ação eólica e marinha.

2.2.2 - Reconhecimento Local

O mapeamento geológico da área em estudo obedeceu as normas tradicionais dos estudos geológicos litorâneos, sendo realizado através de caminhamentos pela região, com a finalidade de se obter dados referentes as litologias presentes.



Figura 04 - Aspecto geral da Formação Tibau (Praia de Tibau/RN)



Figura 05 - Detalhamento da Formação Tibau

Informações complementares foram coletadas com a intenção de ampliar os conhecimentos regionais. Dentre estas podem ser destacadas as características geomorfológicas, sedimentológicas, estruturais, pedológicas, altimétricas, assim como as condições da cobertura vegetal.

As informações de campo foram registradas em fichas de dados para melhor visualização das condições dos afloramentos (Tab. 01).

Ao longo do Rio Jaguaribe os pontos pesquisados foram alcançados por intermédio de um meio flutuante do tipo Lancha Marajó com capacidade para cinco pessoas, pertencente a Divisão de Oceanografia Abiótica do Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará - LABOMAR/U.F.C.

Os dados referentes a plataforma continental da área de pesquisa foram obtidas através de operações oceanográficas realizadas pelo LABOMAR/U.F.C.. Dentre elas podem ser citadas as Operações GEOMAR XVIII e XXI, realizadas pelo Navio Oceanográfico Almirante Câmara da Marinha do Brasil, Operação GEOCOSTA, realizada pelo Barco de Pesquisa Prof. Martins Filho do Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará e Operação JOB' S, realizada pela Navio Alemão Victor Henser.

2.2.3 - Amostragem e Medidas *in situ*

As amostras coletadas nos diversos perfis e seções colunares estudados assumiram a natureza de amostras superficiais dos tipos seriada e pontual. Entretanto, em algumas situações, que serão explicadas nos próximos itens da presente pesquisa, foram realizadas amostras verticais através de testemunhos de sondagem.

Paralelamente a realização das amostragens, medidas de elementos ambientais foram efetuadas *in situ*, por intermédio de equipamentos especiais, tais como anemômetros pontuais e totalizadores, que registram a velocidade e direção dos ventos.

2.2.3.1 - Posicionamento dos Pontos Amostrados

Os pontos amostrados e descritos durante o desenvolvimento do presente trabalho foram devidamente posicionados por intermédio das fotografias aéreas e por meio de equipamento de alta precisão conhecido por *Global Positioning System Nav 5000* -GPS.

A utilização do GPS favoreceu o posicionamento dos pontos analisados no mapa base, devido o equipamento fornecer as coordenadas em termos de latitude e longitude.

2.2.3.2 - Coleta de Amostras Superficiais

Segundo Suguio (1973), “uma amostra é parte de um conjunto que apresenta as propriedades do conjunto”. Levando-se em consideração esta definição, a presente pesquisa teve como preocupação primordial, em campo, a coleta de amostras superficiais que melhor retratassem as condições dos afloramentos.

Os perfis geológicos traçados na área em questão foram realizados perpendicularmente à linha de costa, com coletas de amostras seriadas que destacaram as feições geomorfológicas compreendidas nas zonas de ante-praia “*foreshore*”, praia, pós-praia “*backshore*” e dunas.

Nas escarpas abruptas localizadas principalmente na margem esquerda do Rio Jaguaribe optou-se pelo tratamento utilizado nas seções colunares. Nestas situações foram realizadas medições verticais das escarpas através de trena métrica, anotações quanto às variações de litologia, granulometria, cores e estruturas sedimentares, assim como coleta de amostras, que obedeceram as variações litológicas registradas no pacote sedimentar.

Os sedimentos que compõem a atual calha do Rio Jaguaribe foram amostrados por intermédio da draga tipo Gibb's.

No promontório rochoso localizado na cidade conhecida como Pontal de Maceió, margem esquerda do Rio Jaguaribe, a amostragem aconteceu por retirada de pequenos blocos de rochas, dos diversos níveis litológicos observados, cuja finalidade residiu na confecção de lâminas delgadas para análise granulométrica e mineralógica do litossoma.

Os sedimentos da plataforma continental foram obtidos durante as expedições oceanográficas citadas anteriormente, utilizando-se amostradores oceanográficos do tipo Van-Veen e dragas tipo Gibb's e retangulares, que coletam a camada superficial do substrato marinho.

2.2.3.3 - Coleta de Testemunhos de Sondagem

Nas margens do Rio Jaguaribe, onde as escarpas vivas revelam acentuado processo erosivo, decidiu-se efetuar sondagens verticais com a finalidade de avaliar a evolução geológica da região.

As sondagens verticais foram realizadas por intermédio do *vibra corer* pertencente ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal de Pernambuco. O equipamento consiste em uma sonda perfuradora que através de canos de alumínio acoplados na haste de perfuração coleta testemunhos de sondagem (Fig. 06).

2.2.3.4 - Registros de Estruturas Sedimentares

As estruturas sedimentares preservadas nos pacotes sedimentares presentes na área em estudo passaram por um processo de detalhamento das suas características, para posterior interpretação dos agentes atuantes na sedimentação.

As observações colhidas nos afloramentos, inicialmente, tiveram uma visão geral do comportamento das diversas estruturas sedimentares contidas no pacote sedimentar. Esta etapa aconteceu através da análise da seqüência vertical das estruturas, assim como suas respectivas texturas.

A etapa subsequente foi marcada por um estudo mais minucioso das estruturas sedimentares; sendo, portanto, realizado as medições das dimensões e ângulos das diversas estruturas preservadas.



Figura 06 - Equipamento de perfuração

2.2.3.5 - Levantamento das Cores dos Sedimentos

Levando-se em consideração a importância que a coloração dos sedimentos tem na interpretação ambiental de um depósito sedimentar, as tonalidades dos sedimentos que compõem os diversos pacotes sedimentares estudados foram observadas, em campo, através de comparações visuais com as cores contidas na tabela de cores das rochas. (Geological Society of America, 1963).

Os testemunhos de sondagem obtiveram uma classificação para as cores dos seus sedimentos em laboratório, logo após serem abertos.

2.2.3.6 - Estudo dos Ventos

Os ventos receberam uma atenção especial por se tratarem, na região, de um forte componente transportador dos sedimentos.

Os principais estudos efetuados levantaram as condições referentes as velocidades e direções das correntes eólicas atuantes principalmente na zona litorânea.

Para a realização destes estudos foram traçados perfis perpendiculares à linha de costa, e em pontos preestabelecidos, afixados anemômetros totalizadores e pontuais, com o intuito de se obter as velocidades e direções das massas de ar que circulam na região.

Simultaneamente a esta atividade foram posicionados, também nos pontos de estudo dos ventos, armadilhas apropriadas para armazenamento dos sedimentos transportados, permitindo desta maneira, o conhecimento do aporte sedimentar transportado pela ação contínua dos ventos.

As armadilhas utilizadas na execução desta etapa de campo seguiram as normas estabelecidas nas pesquisas desenvolvidas por Sarre (1988) e foram confeccionadas na Divisão de Oceanografia Abiótica do LABOMAR/U.F.C. (Fig. 07).

Segundo as fórmulas teóricas desenvolvidas por Bagnold, apud Sarre, (1988), a quantificação do transporte eólico pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Q = K.C.L.T (d/D)^{0.5} (\gamma/g).U.^3, \text{ onde:}$$

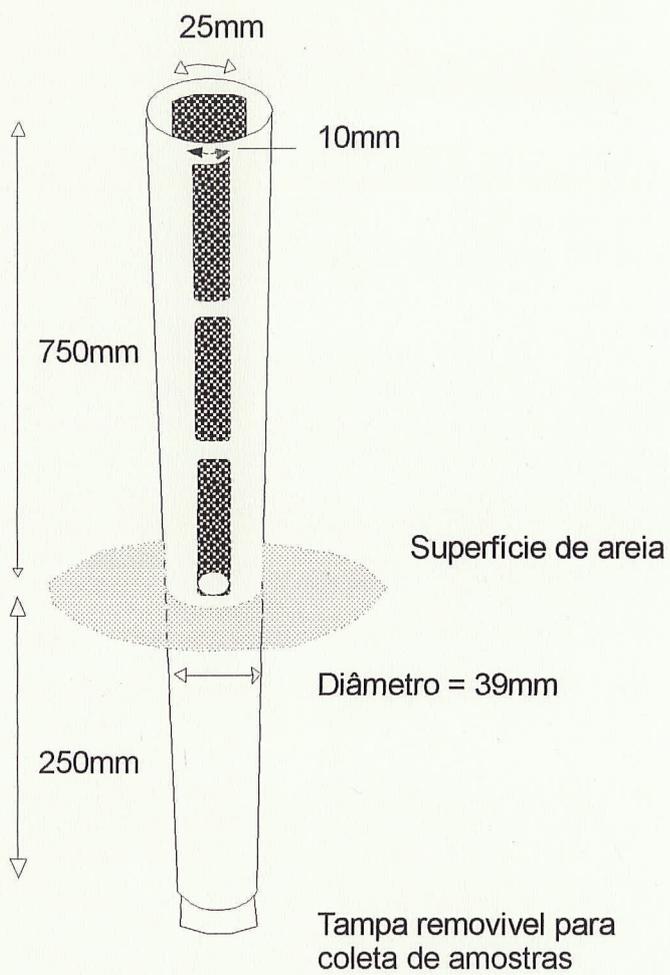


Figura 07 - Arapuca para coleta de sedimentos transportados pelo vento
(Sarre, 1988)

Q = transporte total em m³/ano

K = constante de calibração (sem calibrar K = 1)

C = constante com valores de: 1.5 para areia bem selecionada

1.8 para areia moderadamente selecionada

2.8 para areia pobremente selecionada

L = comprimento da praia

T = duração do vento em segundos por ano

d = diâmetro do grão d₅₀ (mm)

D = diâmetro padrão (0.25 mm)

γ = densidade do ar (1.217×10^{-3} gr cm⁻³)

g = gravidade (9.81 m/seg²)

U* = velocidade de corte = $U - U_0 / 6.13 \log (Z/Z_0)$, onde:

U = velocidade do vento medida a uma altura Z (em metros)

U₀ = 32.18 d (Km/hora)

Z₀ = 10 d (mm) = altura dos *ripples* formados

2.3 - ANÁLISES E CÁLCULOS EM LABORATÓRIO

As amostras e informações obtidas durante as etapas de campo seguiram para o Laboratório de Sedimentologia da Divisão de Oceanografia Abiótica do LABOMAR/U.F.C., visando a realização de análises específicas capazes de conduzir a interpretação dos dados.

2.3.1 - Caracterização Textural dos Sedimentos

As propriedades texturais das rochas sedimentares foram analisadas em termos granulométrico, morfoscópico e mineralógico, objetivando o levantamento de dados referentes aos diversos processos sedimentares atuantes durante a deposição do pacote sedimentar.

2.3.1.1 - Análise Granulométrica

As amostras destinadas à realização de análises laboratoriais foram coletadas em afloramentos caracterizados por sedimentos inconsolidados e consolidados.

Os sedimentos inconsolidados passaram por um tratamento prévio de secagem, utilizando-se estufa com temperatura em torno de 60° C, quarteamento, para tornar a amostra homogênea e o peneiramento úmido para separar as frações fina e grossa (Fig. 08).

A fração grossa foi analisada granulometricamente através do método conhecido por peneiramento mecânico, a fração fina, inferior a 0,062 mm, foi classificada por intermédio do método da pipetagem, obedecendo a Lei de Stokes, utilizando-se para isso a escala granulométrica de Wentworth citado por Suguio (1973).

Os sedimentos consolidados foram preparados em lâminas delgadas no Laboratório de laminação da Universidade Federal de Pernambuco -UFPe, com a finalidade de serem realizadas as análises granulométrica, mineralógica e identificar o estágio da diagênese, através do microscópio.

2.3.1.2. Parâmetros Estatísticos das Distribuições

Os parâmetros estatísticos foram calculados em \bar{x} , utilizando-se as fórmulas propostas por Folk e Ward (1957). Os cálculos foram efetuados no computador pelo Programa de Análise Completa (PANCOM) elaborado por Toldo e Dorneles (1991).

2.3.1.3. Características Morfoscópias dos Grãos

O estudo morfoscópico dos grãos define as formas e o grau de arredondamento das partículas, com o objetivo de tentar decifrar os ambientes de sedimentação das litofácies.

Para a classificação dos 300 grãos da fração mais representativa de cada amostra, usou-se a Tabela de Comparação Visual de Arredondamento e Esfericidade de Krumbein e Sloss, citado por Suguio (1973).

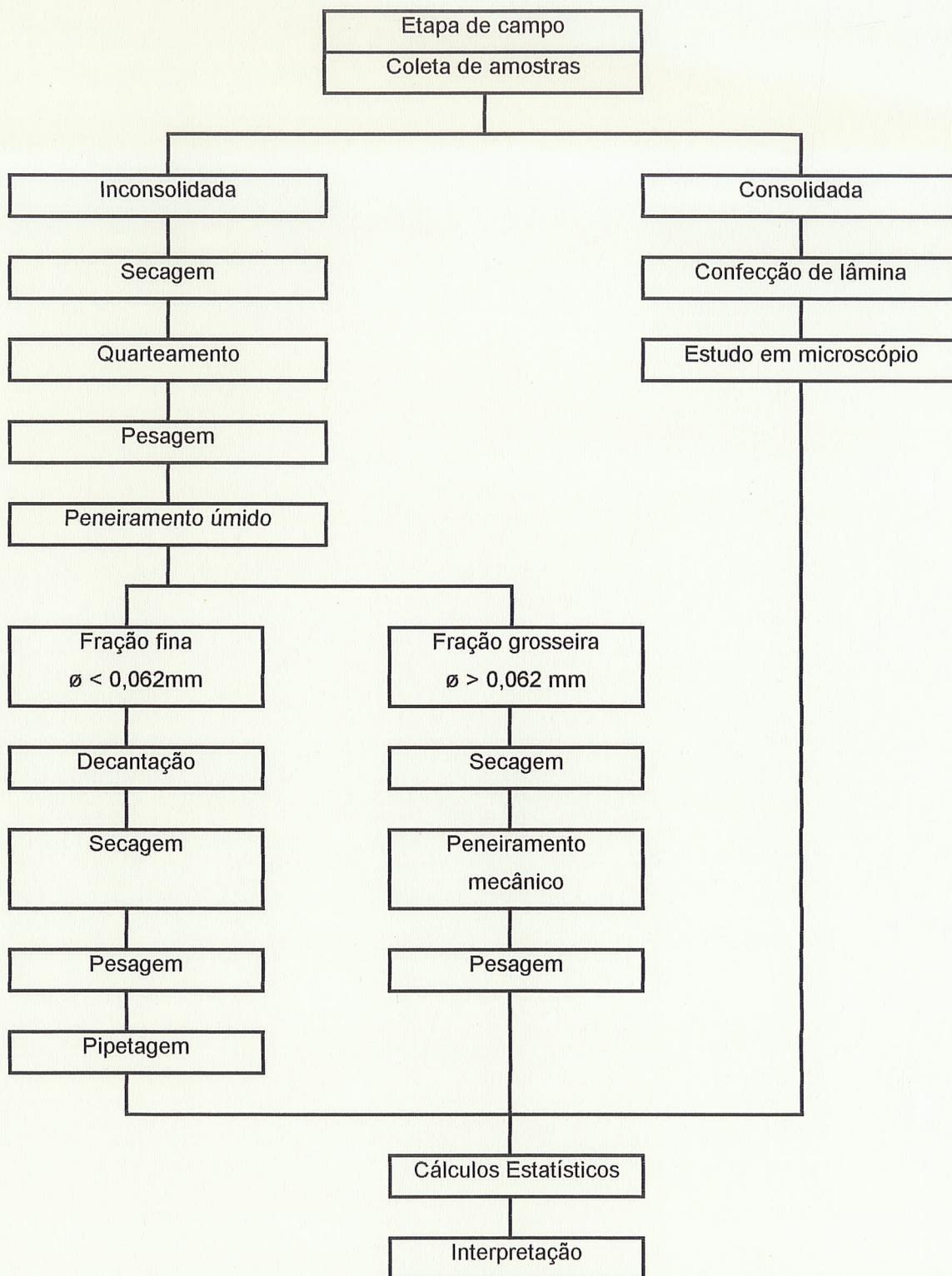


Figura 08 - Fluxograma de análise granulométrica

1.3.1.4. Estudo Mineralógico

A composição mineralógica das amostras inconsolidadas foi determinada microscopicamente através de lupa binocular; enquanto o estudo da mineralogia das amostras consolidadas foi realizado através de análises em lâminas delgadas, por microscópio.

A determinação dos minerais pesados nas amostras inconsolidadas seguiu duas etapas: a separação e a identificação.

Das 20 gramas de sedimento, previamente atacado por ácido clorídrico (HCl - 10%), a quente, somente 10 gramas foram atacadas por ácido nítrico (H_2NO_3 - 10%), também a quente, para realizar a eliminação das incrustações encontradas sobre a superfície dos grãos. Deste material, foram separados os minerais pesados, utilizando-se o bromofórmio.

O princípio de separação baseia-se na precipitação dos minerais de densidade superior a 2,8, densidade do bromofórmio, denominados de minerais pesados.

A identificação dos grãos de minerais pesados realizou-se com o auxílio de lupa binocular e de estudos de caráter comparativo.

3 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS

3.1 - CONCEITO DE SISTEMA DEPOSICIONAL

O conceito de sistema deposicional foi inicialmente aplicado nos estudos de depósitos do Recente e Terciário da Costa do Golfo, E.U.A., por diversos autores, incluindo Hayes e Scott em 1964, Boyd e Dyer em 1964 e Fisher e McGowen em 1967. (Medeiros, 1980).

A definição foi criada na intenção de ordenar as informações colhidas nos ambientes de sedimentação e suas associações faciológicas, facilitando, portanto, a sua interpretação.

Atualmente o conceito de sistemas deposicionais é aplicado quando as rochas sedimentares passam a ser consideradas como um corpo tridimensional, descritas sob o ponto de vista de suas fácies, características ambientais, processos deposicionais e são designadas por um termo genético.

A aplicação do conceito de sistemas deposicionais em análises regionais de depósitos sedimentares modernos, implica em se dar maior ênfase às dimensões, geometria, composição litológica, fossilíferas, estruturas sedimentares, distribuição e inter-relações das fácies componentes, do que à correlação e persistência de unidades estratigráficas localmente estabelecidas (Suguio e Bigarella, 1990)

3.1.1 - Fácies Sedimentares

A literatura clássica define fácies como a soma das características litológicas e paleontológicas de um depósito sedimentar, descritas através da geometria, estruturas sedimentares e do padrão das paleocorrentes preservadas nas rochas.

A fácies é considerada como um produto do ambiente sedimentar deposicional, que por sua vez sofre efeitos diretos dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ecossistema (Fig. 09).

3.1.2 - Ambiente de Sedimentação

O ambiente sedimentar corresponde a uma porção da superfície terrestre com características próprias, que favorece o fenômeno da deposição ou erosão das rochas sedimentares.

Os diversos ambientes individualizados na superfície terrestre são agrupados de acordo com a associação de processos sedimentares em: deposicional, não deposicional e erosional.

3.1.3 - Processos Sedimentares

Os processos sedimentares são os fenômenos físicos, químicos e biológicos atuantes durante a sedimentação, sendo responsáveis pelo aspecto (fácies) encontrado no depósito resultante.

3.2 - SISTEMÁTICA DE INTERPRETAÇÃO

A identificação dos sistemas deposicionais presentes na área em estudo seguiu uma sistemática de interpretação que se baseia inicialmente na análise das variações faciológicas das seções colunares e perfis esquemáticos e a classificação de Fisher e Brown (1972).

Em campo, as seções colunares e os perfis esquemáticos foram descritos em relação a litologia, natureza dos contatos, geometria e dimensão do pacote, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero. Como medida complementar foram coletadas amostras superficiais das diversas camadas individualizadas.

As análises laboratoriais realizadas nas amostras coletadas em campo, permitiram o conhecimento dos mecanismos de transporte atuantes na deposição dos sedimentos, assim como a identificação dos processos sedimentares responsáveis pelo desenvolvimento das diferentes camadas.

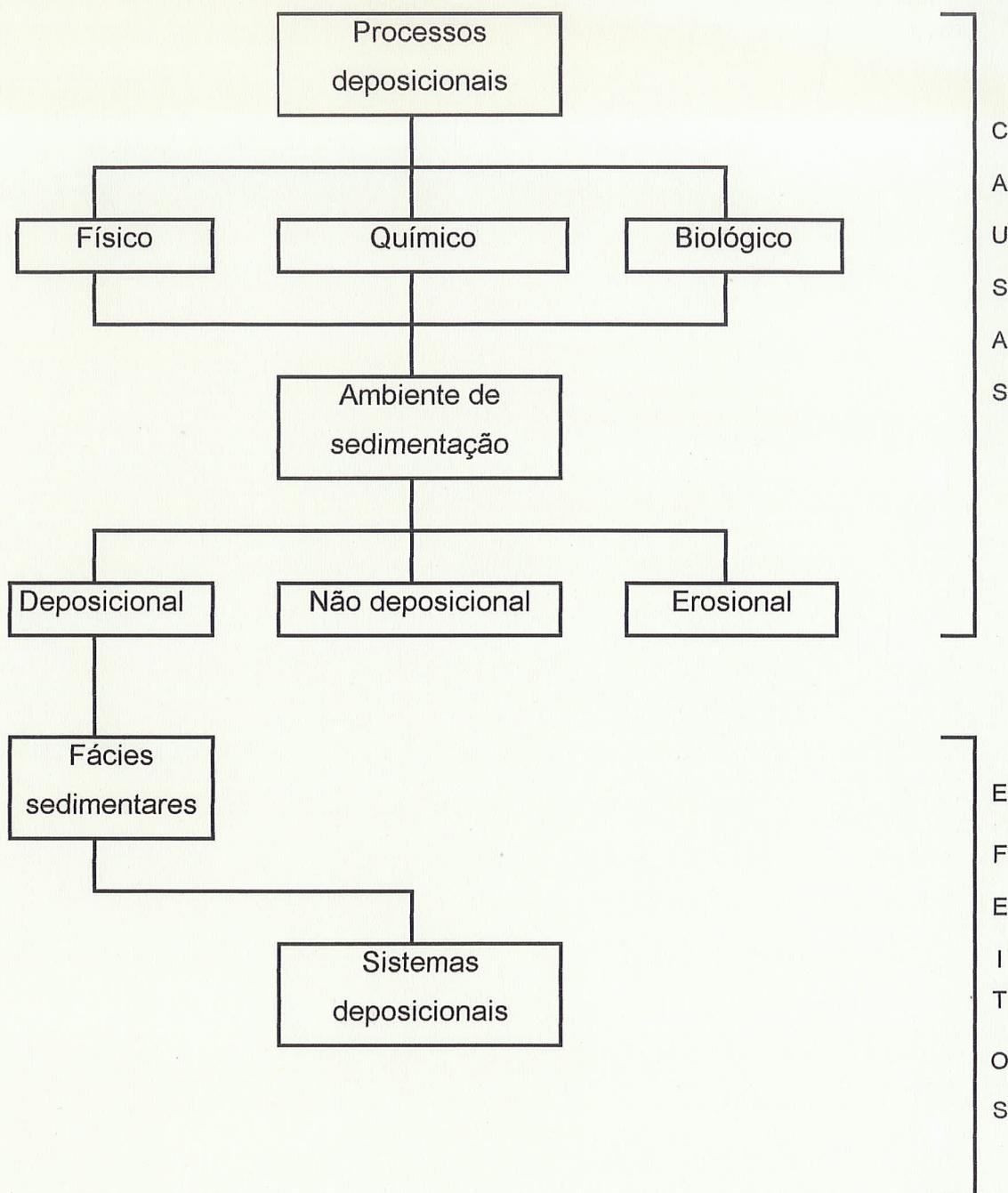


Figura 09 - Histograma causas/efeitos dos sistemas deposicionais

A etapa final da pesquisa contou com a avaliação dos dados obtidos, visando a identificação dos sistemas deposicionais responsáveis pela deposição dos pacotes sedimentares localizados na área em questão.

O sistema deposicional fluvial, devido sua grande representatividade na área, foi detalhado levando-se em conta a metodologia desenvolvida por Miall (1985).

A tabela 02 mostra a classificação das diversas litofácies reconhecidas no sistema fluvial por Miall (op. cit.). As litofácies presentes variam desde as frações mais grossas (cascalhos) até a sedimentação dos finos por decantação na bacia sedimentar (silte e carbonatos).

A metodologia de campo desenvolvida pelo referido autor preocupa-se em caracterizar o pacote sedimentar em termos da granulometria, constituição da forma do leito, seqüência interna e, principalmente a geometria externa, englobando, desta maneira, oito elementos contexturais conhecidos por:

- 1) canal - CH
- 2) acréscimo lateral - LA
- 3) fluxo sedimentar de gravidade - SG
- 4) barra de cascalho e forma do leito - GB
- 5) forma de leito arenoso - SB
- 6) macroforma de camadas inclinadas (*foresets*) - FM
- 7) areia laminada - LS
- 8) material fino da planície de inundação - OF

A tabela 03 (Miall, op. cit.) apresenta, com detalhes, as principais características destes elementos contexturais, revelando os principais tipos de litofácies presentes nos depósitos fluviais, assim como a geometria e inter-relação dos pacotes sedimentares.

O sistema deposicional de leque aluvial engloba os depósitos que assumem a forma de leques ou cones, compostos por sedimentos pobremente selecionados, localizados no sopé das montanhas, base de escarpas de falha em crescimento e desembocadura de vales.

Tabela 02 - Classificação das litofácies segundo Miall (1985)

| Símbolo | Litofácies | Estruturas Sedimentares | Interpretação |
|---------|--|---|---|
| Gms | - cascalho maciço, sustentado pela matriz | - gradação | - depósito de fluxo de detrito |
| Gm | - cascalho maciço ou com estratificação indistinta | - acamamento horizontal, imbricação | - barras longitudinais, depósitos de fundo |
| Gt | - cascalho estratificado | - estratificação cruzada acanalada | - preenchimento de pequenos canais |
| Gp | - cascalho estratificado | - estratificação cruzada planar | - barras linguóides ou crescimentos deltaicos de restos de barras antigas |
| St | - areia, média a grossa, com pouco cascalho | - estratos cruzados solitários ou agrupados | - dunas (regime de fluxo inferior) |
| Sp | - areia, média a grosseira, às vezes com pouco cascalho | - estratos cruzados solitários ou agrupados | - barras transversais linguóides, ondas de areia |
| Sr | - areia, muito fina a grosseira | - marcas onduladas de todos os tipos | - marcas onduladas (regime de fluxo inferior) |
| Sh | - areia, muito fina a muito grosseira, às vezes com pouco cascalho | - laminação horizontal, lineação de partição ou corrida | - fluxo de leito planar (regime de fluxo inferior e superior) |
| Sl | - areia fina | - estratos cruzados de baixo ângulo ($< 10^\circ$) | - preenchimento de sulco, <i>crevasse splays</i> |
| Se | - sulcos erosionais com intraclásticos | - estratos cruzados indistintos | - preenchimento de sulco |
| Ss | - areia, fina a grosseira, às vezes com cascalho | - sulcos largos e rasos, estratificação cruzada | - preenchimento de sulco |
| Fl | - areia, silte, lama | - laminação fina, marcas onduladas pequenas | - dep. de planície de inundação ou enchente |
| Fsc | - silte, lama | - laminado a maciço | - depósito de pântano |
| Fcf | - lama | - maciço, com molusco de água doce | - depósito de pântano e poços d'água |
| Fm | - lama, silte | - maciço, gretas de dessecação | - depósito de planície de inundação ou cobertura |
| r | - silte, lama | - pequenas raízes | - terra assentada |
| C | - carvão, lama carbonosa | - plantas, filmes de lama | - depósitos de pântano |
| P | - carbonato | - fenômeno pedogenético | - solo |

Tabela 03 - Elementos contexturais em depósitos fluviais (Miall, 1985)

| Elemento | Símbolo | Litofácies Principais | Geometria e Interpretação |
|--|---------|---|--|
| - canais | CH | - qualquer combinação | - digitações, lentes ou mantas; base erosional côncava para cima; escala e forma muito variáveis; superfícies de erosão secundárias internas côncavas para cima são comuns |
| - barras e formas de leito de cascalho | GB | - Gm,Gp,Gt | - lentes, mantas; comumente corpos tabulares; geralmente interestratificado com SB |
| - formas de leito arenoso | SB | - St,Sp,Sh,Sl,Sr,Se, Ss | - lentes, mantas,cunhas; ocorrendo como preenchimento de canais, <i>crevasse splays</i> , barras menores |
| - macroformas de camadas inclinadas (<i>foreset</i>) | FM | - St,Sp,Sh,Sl,Sr,Se,Ss | - lentes acima de base plana ou acanalada, com superfícies de erosão secundárias internas, convexas para cima e superfícies limitantes em cima |
| - depósitos de acréscimo lateral | LA | - St,Sp,Sh,Sl,Se,Ss, menos comumente Gm,Gt,Gp | - cunhas, mantas, línguas; caracterizados por superfícies de acréscimo lateral interno |
| - fluxos sedimentares de gravidade | SG | - Gm,Gms | - línguas, mantas; tipicamente interestratificados com GB |
| - mantas de areia laminada | LS | - Sh,Sl; menos St,Sp,Sr | - mantas |
| - depósitos finos de planície de inundação | OF | - Fm,Fl | - mantas finas a espessas; comumente interestratificados com SB; pode preencher canais abandonados |

Os sedimentos caracterizam-se pela cor avermelhada, podendo ocorrer, dependendo das condições climáticas, as cores cinza a avermelhada e cinza escuro a negro. A granulometria varia de areia fina a cascalho grosseiro, normalmente angulares a ligeiramente arredondados.

Os principais tipos litológicos encontrados nos leques aluviais são os conglomerados, grauvacas e arcóseos e subordinadamente aparecem os arenitos, siltitos e folhelhos.

A parte proximal dos leques aluviais é caracterizada pela presença de cascalho maciço (conglomerado); a parte mediana por arenitos com estratificação cruzada planar e a parte distal por arenitos com estratificação cruzada acanalada e planar.

Os leques aluviais são formados pelos fluxos aquosos ou pelos fluxos viscosos.

As formas lobadas são típicas do fluxo aquoso, enquanto o fluxo viscoso apresenta a forma de língua.

Os depósitos formados pelo fluxo aquoso ocorrem desde o leque superior até a porção inferior.

O fluxo aquoso do tipo fluxo de canal gera camadas de forma lenticular, com presença de uma base erosiva. Enquanto, no fluxo em lençol, grande quantidade de água carregada com detritos espalha-se sob a forma de lençóis, formando camadas tabulares na parte média e laminação plano-paralela. Neste sistema a velocidade do fluxo não permite a deposição da lama; e grande parte do cascalho contém lascas e/ou bolas de argila. Nos leques médios formam-se barras conglomeráticas, gretas de contração e níveis erosivos.

Na parte distal, os leques têm a tendência de ser arenosos com estratificação cruzada, acanalada, *ripples* e dunas.

Os depósitos de fluxo de detritos ocorrem na porção superior do leque (proximal), com presença de acamamento lenticular e devido a alta viscosidade do fluxo o depósito resultante é caracterizado por fragmentos de todos os tamanhos, flutuando em uma matriz fina (diamictito).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

O levantamento dos sistemas deposicionais presentes na região costeira em estudo foi efetuado por descrições sedimentológicas das amostras coletadas nas seções colunares e perfis esquemáticos, e por intermédio de observações geológicas das unidades litológicas, onde se procurou dar ênfase a tectônica, fácies sedimentares e suas inter-relações, ambientes e processos deposicionais. O estudo teve como resultado principal o levantamento dos diversos sistemas deposicionais pesquisados.

4.1 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS ANTIGOS

A figura 10 mostra o posicionamento das dez seções colunares realizadas nas escarpas aflorantes na margem esquerda do Rio Jaguaribe, onde os sistemas deposicionais antigos de leque aluvial e fluvial entrelaçado foram pesquisados.

O estudo das seções colunares procurou caracterizar as variações litológicas e paleontológicas dos depósitos, as relações de contato entre as unidades, a geometria e as estruturas sedimentares preservadas, com o objetivo de reconhecer os diversos sistemas deposicionais presentes na área.

As descrições das seções colunares serão apresentadas no presente trabalho através de ilustrações que retratam a sequência vertical das litofácies. Informações complementares obtidas por intermédio de testemunhos de sondagem subsidiarão a interpretação dos sistemas deposicionais.

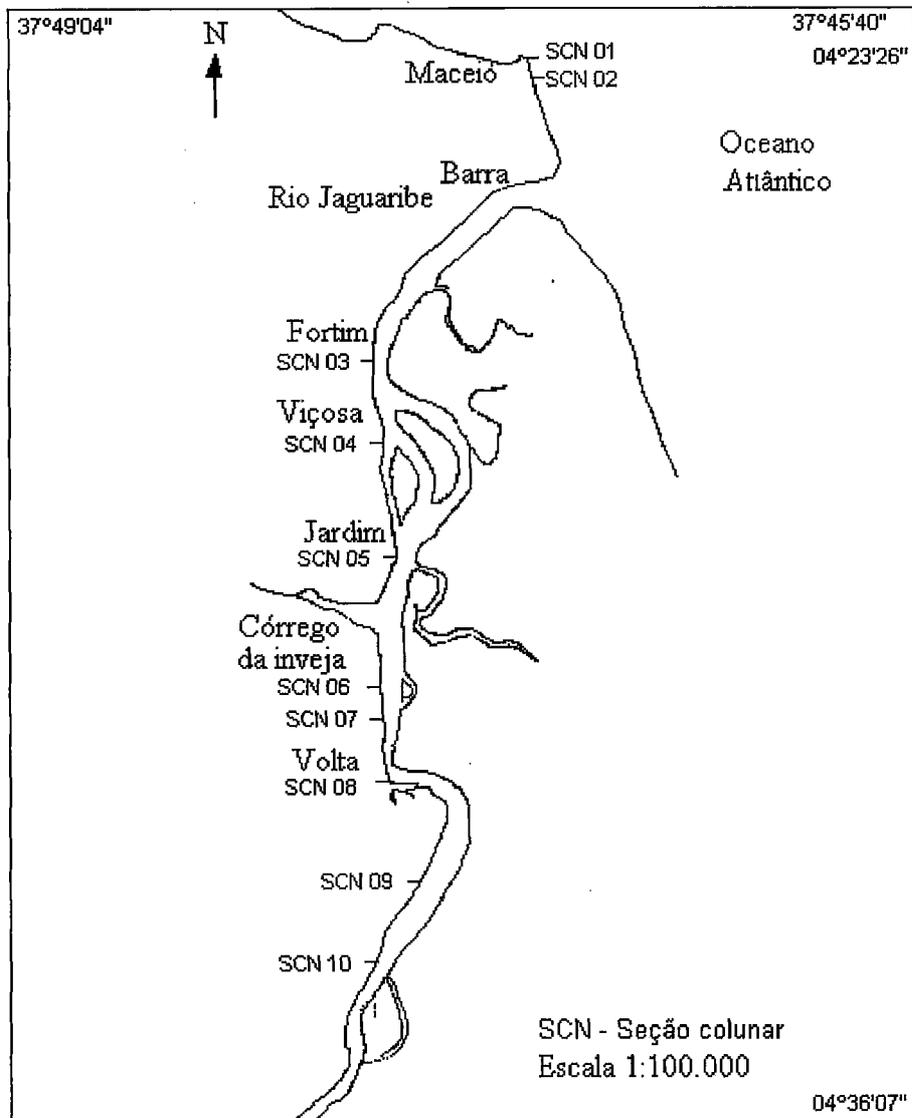


Figura 10 - Localização das seções colunares

4.1.1 - Seção Colunar SCN 01

Localização: 037°46'21" oeste e 04°24'16" sul
(Localidade Pontal de Maceió)

A seção colunar caracteriza-se por um pacote sedimentar consolidado que forma a ponta rochosa localizada no lugarejo conhecido por Maceió. A natureza consolidada das rochas sedimentares induziram a confecção de lâminas delgadas, visando a identificação das características peculiares na descrição do perfil.

A seção constitui-se por dois metros de rocha sedimentar, sendo diferenciada quatro camadas: camada A_1 que representa o primeiro metro da seção, camada A_2 que corresponde a deposição de crostas silicificadas, camada A_3 representada por arenito maciço e a camada A_4 encerra a coluna sedimentar como arenitos com estruturas de erosão diferencial (Fig. 11).

A **camada A_1** que corresponde o primeiro metro da seção, é constituída por sedimentos areno quartzosos de textura mediana, bem selecionados. Os grãos de quartzo subarredondados e subangulosos aparecem tanto na forma monocristalina, predominante, como na policristalina. Aparece na lâmina 5% de feldspato representado por microclina e turmalina. Segundo a classificação textural de Folk (1961) a rocha foi classificada como sub-arcósio. Foi observado uma película de argila e de óxido de ferro envolvendo os grãos. O cimento da amostra foi reconhecido como de natureza silicosa representada por *overgrowths* de quartzo anteriores as cutículas (*coatings*) de argila..

Macroscopicamente a camada mostra-se com abundantes estruturas circulares preenchidas por sílica, cuja identificação será descrita posteriormente (Fig 12).

A **camada A_2** caracteriza-se por um nível composto por crostas silicificadas, de espessura de poucos centímetros, recoberta por arenito mediano da camada A_3 que atinge os 1,8 metros da seção colunar.

O estudo microscópico da **camada A_3** revela um arenito quartzoso, constituído exclusivamente por grãos quartzosos de tamanho areia média, com cimento argiloso representado por cutículas de argila e óxido de ferro. Localmente, estas cutículas formam pontes entre os grãos. Mineralogicamente a rocha constitui-se

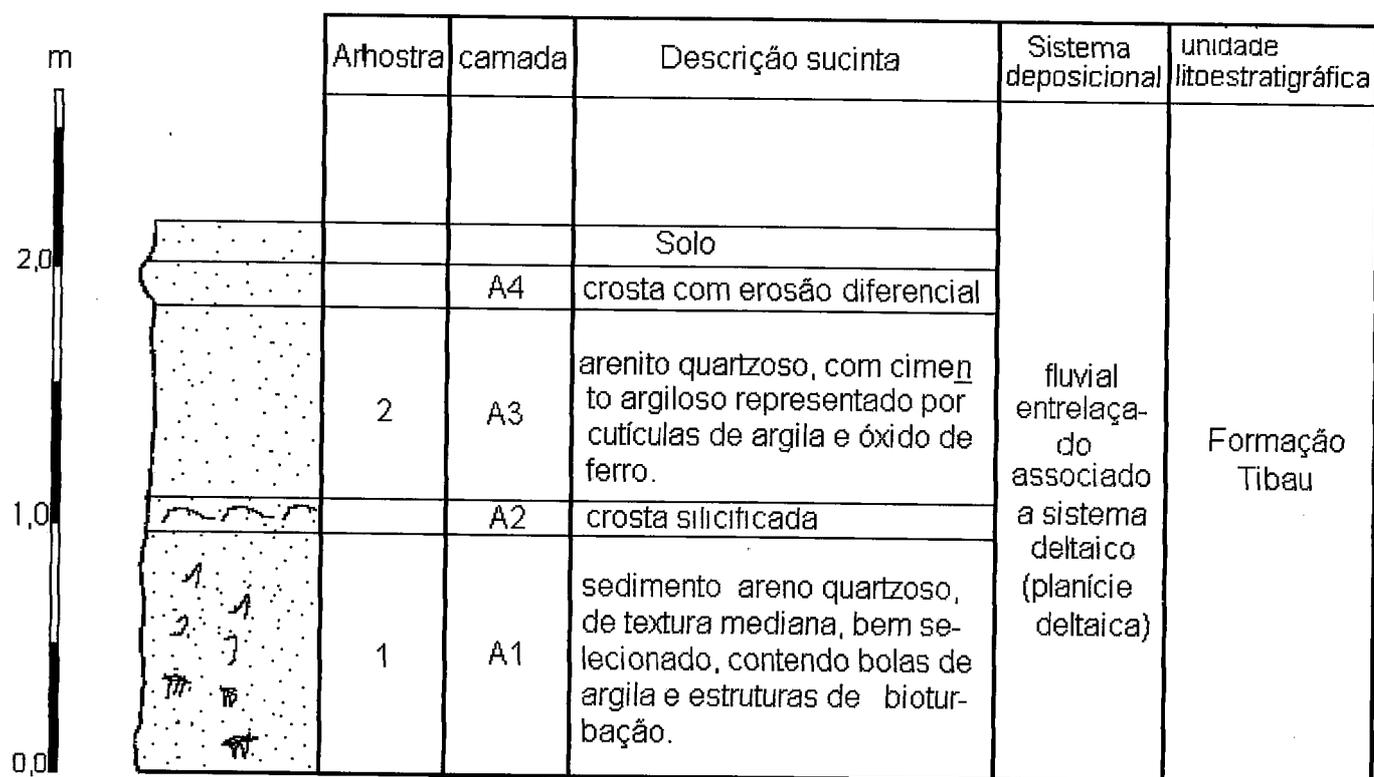


Figura 11 - Seção colunar SCN 01

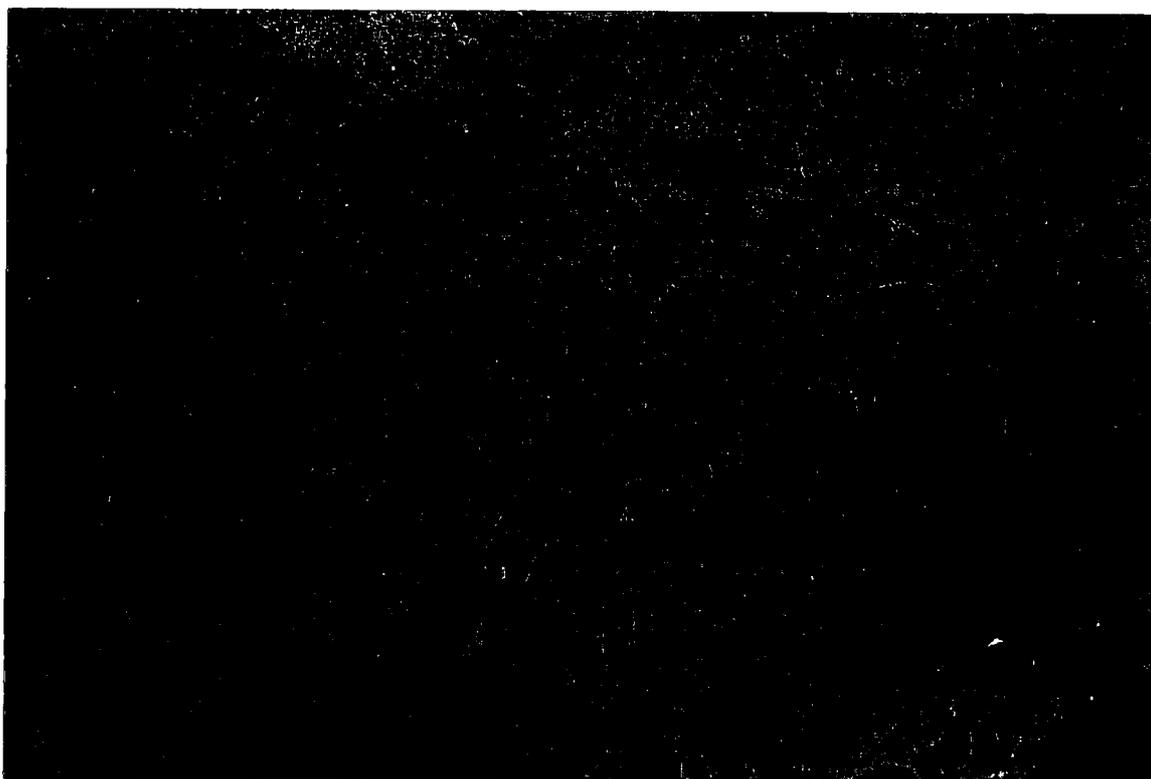


Figura 12 - Detalhe das estruturas circulares da camada A₁ (SCN 01)

por grãos de feldspato (microclínio), turmalina, apatita e fragmentos de rochas sedimentares (sub-arcósio), que classifica a rocha como arcósio.

Macroscopicamente a unidade sedimentar assume uma estrutura maciça, com ausência de bioturbação.

A **camada A₄** foi individualizada por conter estruturas resultantes da erosão diferencial na superfície dos arenitos silicificados, formando uma crosta superficial com feições circulares de poucos centímetros de espessura (Fig 13).

4.1.2 - Seção Colunar SCN 02

Localização: 037°46'10" oeste e 04°24'32" sul
(Localidade Pontal de Maceió)

Realizada nas rochas sedimentares que compõem a Ponta de Maceió, a seção colunar SCN 02 corresponde a 4,5 metros de espessura, onde foi possível diferenciar dez camadas sedimentares (Figs. 14 e 15).

A **camada B₁** representa um pacote constituído por arenito maciço, consolidado, de textura mediana, bem selecionado, onde os grãos de quartzo assumem a forma subarredondada a subangulosa. O quartzo aparece tanto na forma monocristalina como na forma policristalina. O arcabouço da rocha constitui-se, principalmente por quartzo (50-60%), feldspato (5%) representado por microclina, turmalina e fragmento de rochas sedimentares, definindo a rocha como sub-arcósio. O cimento é principalmente silicoso, representado por *overgrowths* e cutículas de argila. A camada possui coloração *yellowish gray 5Y 8/1*.

No intervalo de 1,4 a 1,6 metros da seção surge uma concentração de estruturas circulares, individualizando a **camada B₂**. As estruturas circulares estão inseridas em uma matriz arenosa de textura mediana, preenchidas por sílica.

A camada subsequente, **camada B₃**, caracteriza-se por arenito consolidado, quartzoso, onde os grãos apresentam cutículas de argila e óxido de ferro, com cimento silicoso e argiloso. A camada contém bolas de argilas dispersas na matriz.

A camada B₃ encontra-se recoberta por uma delgada deposição de crostas silicificadas que define a **camada B₄**.



Figura 13 - Detalhe da estrutura diferencial da camada A₄ (SCN 01)



Figura 14 - Visão geral da seção colunar SCN 02

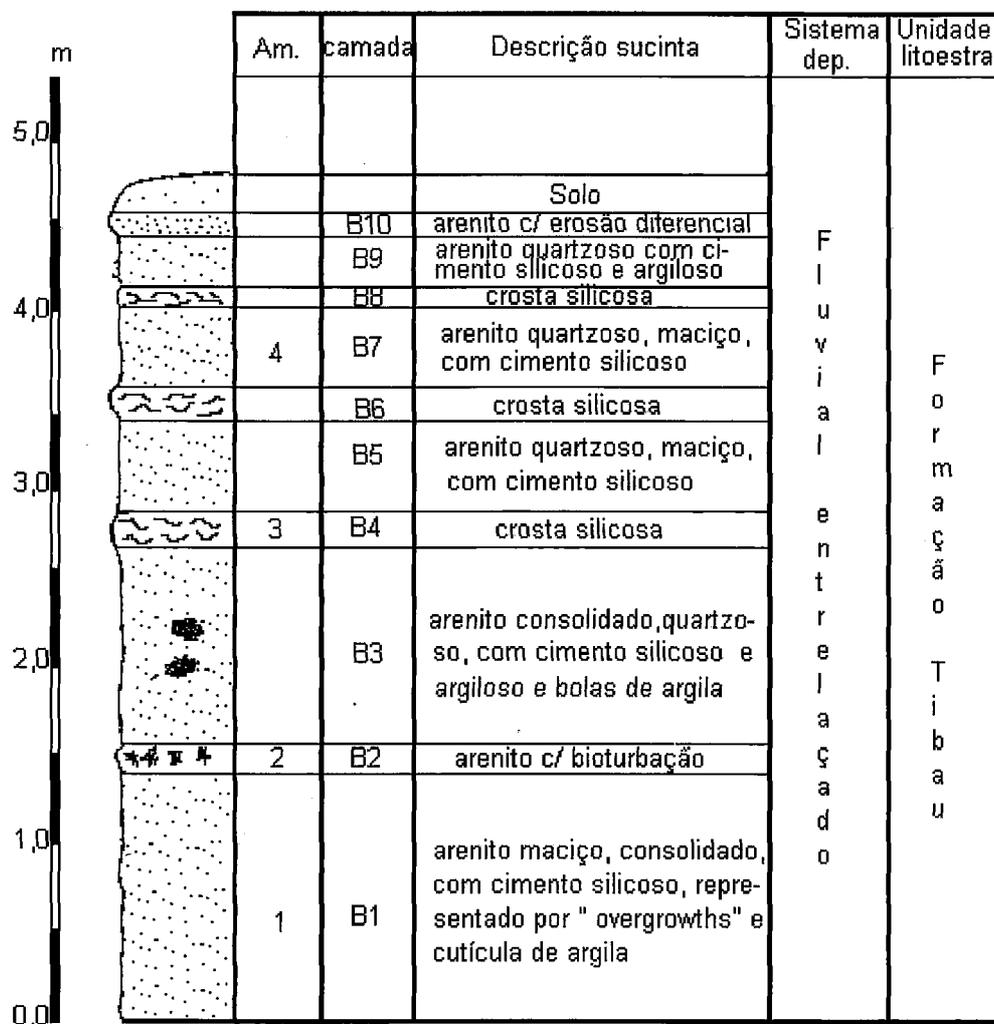


Figura 15 - Seção colunar SCN 02

No intervalo de 2,8 a 3,6 metros a seção caracteriza-se por arenito quartzoso, de textura mediana, com cimento silicoso, onde pode-se observar a presença de cutículas de argila e óxido de ferro contactando os grãos, que identifica a **camada B₅**.

A camada B₅ é interrompida pela aparecimento de crostas silificadas da **camada B₆**.

A **camada B₇** assemelha-se a camada B₅, estando sequenciada pela **camada B₈**, que representa o último nível de crosta silificada na seção colunar.

Os arenitos quartzosos, maciço, consolidado, de cimento silicosos e argiloso marca a penúltima camada (**camada B₉**) da seção colunar.

A **camada B₁₀** encerra a seção com arenito semelhante aos da camada B₉, entretanto, com estruturas resultantes de erosão diferencial.

4.1.3 - Seção Colunar SCN 03

Localização: 037°47'31" oeste e 04°30'41" sul

(Localidade de Capim Açú)

A seção colunar SCN 03 está representada por um pacote sedimentar de 10,0 metros de espessura (Fig 16), formado por uma camada basal (camada C₁) consolidada, seguida por intercalações de cinco camadas inconsolidadas e semi-consolidadas (camadas C₂, C₃, C₄, C₅ e C₆) (Fig.17).

A escarpa sedimentar apresenta uma certa uniformidade nas cores dos sedimentos, com as cinco primeiras camadas, que corresponde à aproximadamente 8,0 metros da seção, de coloração *yellowish gray* 5Y 8/1, e a camada do topo (C₆) com tonalidade *pale reddish brown* 10R 5/4.

Os primeiros 1,5 metros da seção colunar foram designados por **camada C₁**, caracterizada visualmente por um arenito semi-consolidado, cujos valores dos parâmetros estatísticos encontram-se inseridos na tabela 04. A análise dos parâmetros estatísticos permitiu classificar a amostra como areia grossa, muito pobremente selecionada, mesocúrtica e de assimetria positiva.

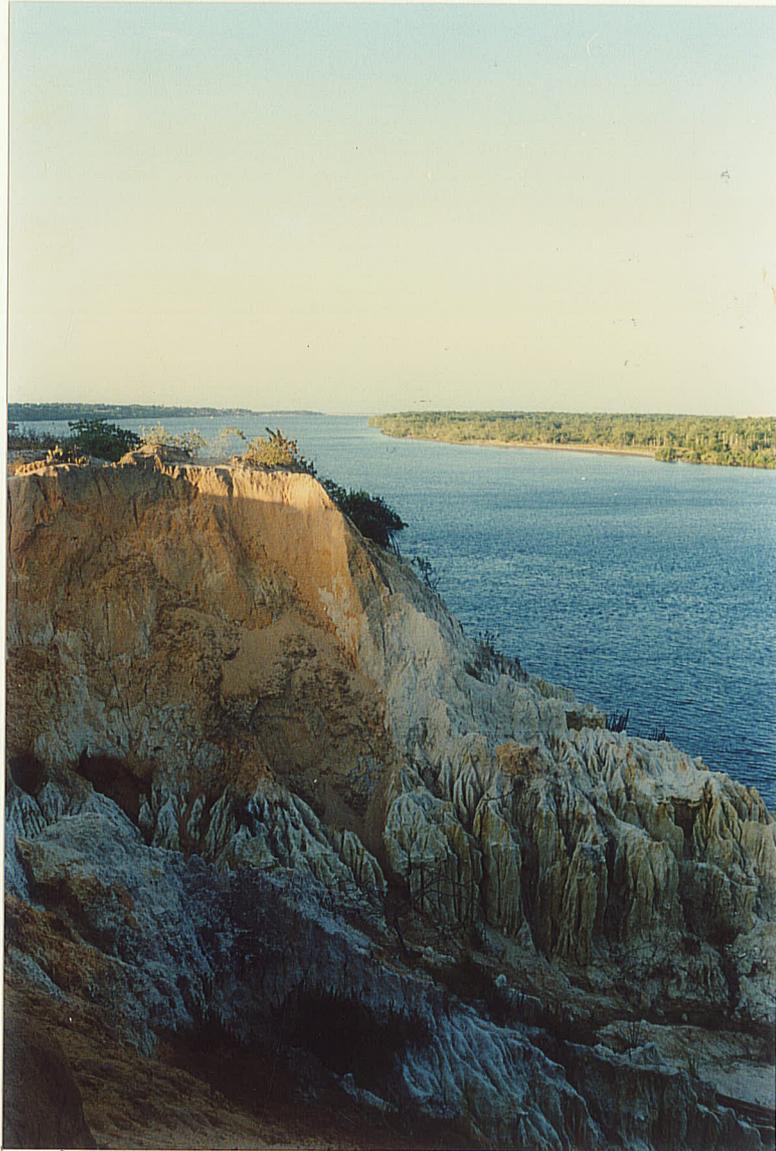


Figura 16 - Visão geral da seção colunar SCN 03

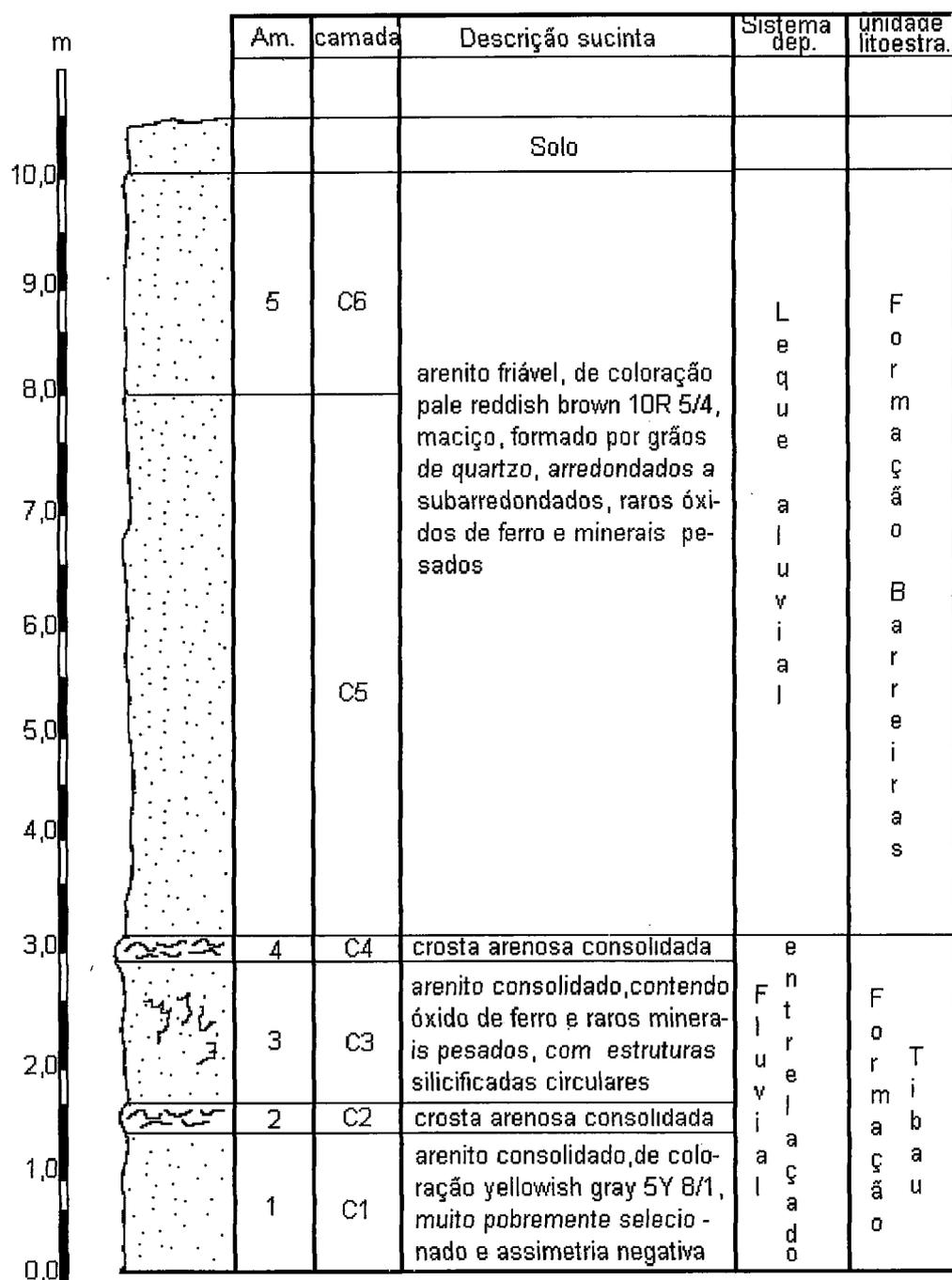


Figura 17 - Seção colunar SCN 03

Tabela 04 - Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 03

| Número da amostra | Mediana (Md) | Tamanho médio (Mz) | Desvio padrão (σ_1) | Assimetria (SK_1) | Curtose (Kg) |
|-------------------|--------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|--------------|
| 01 | 1,28 | 0,87 | 2,03 | - 0,15 | 1,03 |
| 02 | 1,72 | 2,03 | 1,62 | 0,28 | 1,47 |
| 03 | 1,83 | 2,07 | 1,80 | 0,27 | 1,83 |
| 04 | 1,97 | 2,70 | 1,93 | 0,55 | 1,08 |
| 05 | 1,85 | 1,84 | 0,69 | 0,04 | 1,03 |

* valores dados em \varnothing

A camada subsequente (**camada C₂**), composta por um delgado nível arenoso semi-consolidado, sobressai pela presença de crostas silicificadas consolidadas dispersas.

A porção arenosa da camada C₂ é composta por areia média, pobremente selecionada, de natureza leptocurtica e aproximadamente simétrica, cujos grãos analisados microscopicamente, revelaram ser constituídos por quartzo (50-60%), tanto na forma monocristalina como policristalina, com extinção variando de reta a fortemente ondulante, raros feldspatos (5% de microclina) e fragmento de rocha sedimentar, o que caracteriza a rocha como sub-arcósio. O cimento é silicoso, representado por crescimento autigênico de quartzo sobre os grãos detríticos de quartzo. Os grãos de quartzo apresentam-se capeados por uma cutícula de argila e óxido de ferro. Na fração granulométrica de areia fina (0,125 mm) a presença de minerais pesados do tipo ilmenita, hornblenda e estauroлита, tornam-se mais representativos.

O estudo microscópico das lâminas delgadas das crostas mostrou uma natureza essencialmente quartzosa, onde os grãos encontram-se cimentados por sílica amorfa.

No intervalo de 1,5 a 2,8 metros da seção colunar SCN 3 foi registrado a presença de arenito mediano composto por fragmentos de rocha com óxido de ferro e subordinadamente, grãos de quartzo e raros minerais pesados, como turmalina, hornblenda e ilmenita, denominados por **camada C₃**. Observações de campo permitiram visualizar bioturbações, preenchidas por sílica amorfa.

Acima da camada C₃ foi mapeado um nível de crostas silicificadas inserido numa matriz arenosa, classificada como moderadamente selecionada, mesocúrtica e aproximadamente simétrica, que constitui a **camada C₄**.

As observações obtidas por intermédio das lâminas delgadas das crostas da camada C₄ mostraram uma semelhança mineralógica e textural destas com as crostas da camada C₂.

O espesso pacote sedimentar depositado sobre as camadas já descritas, caracteriza-se por areia média, moderadamente selecionada, de carácter mesocúrtico e aproximadamente simétrica, individualizando a **camada C₅**.

A **camada C₆** está representada por depósito arenoso, friável, de coloração avermelhada, formada por grãos quartzosos medianos com fragmentos de óxido de ferro e raros minerais pesados na fração mais fina (0,125 mm).

A seção colunar encerra-se pela formação de um solo pouco espesso que abriga uma vegetação arbustiva nativa.

4.1.4 - Seção Colunar SCN 04

Localização: 037°47'56" oeste e 04°28'32" sul
(Localidade Viçosa)

A seção colunar tem aproximadamente 05 (cinco) metros de espessura com sedimentos arenosos e níveis conglomeráticos (Fig. 18).

No pacote sedimentar foi possível identificar 06 (seis) camadas distintas. A camada basal (**camada D₁**) que corresponde o primeiro metro e cinquenta centímetros de espessura da seção colunar, que segundo a classificação textural de Shepard (1954), citado por Suguio, (1973), corresponde a areia com lama, enquanto na classificação obtida pela média corresponde a areia média. Mineralogicamente a camada é composta, no intervalo de 4,00 a 0,71 mm (seixo a areia grossa), por grãos de quartzo e raros fragmentos de rochas sedimentares. Os grãos de quartzo apresentam a superfície brilhante, enquanto os fragmentos de rocha apresentam uma textura fosca formada pela aglutinação de grãos menores de areia quartzosa em uma matriz/cimento argilosa. No intervalo correspondente a 0,50 a 0,062 mm (areia grossa a areia muito fina) os grãos quartzosos misturam-se aos grãos de minerais pesados, sendo comum a presença de hornblenda, turmalina, ilmenita, epidoto, granada. Observando-se um incremento dos minerais pesados a partir do intervalo 0,125 mm (areia fina a areia muito fina). Em termos gerais, os grãos assumem forma subarredondada a arredondada, com esfericidade variando de 07 a 09, correspondendo aos índices boa e muito boa.

A camada D₁ apresenta um nível inferior conglomerático com gradação ascendente para areia média/grossa, com presença de estratificações cruzadas festonadas, com sets marcados pelo alinhamento de grânulos e seixos na parte

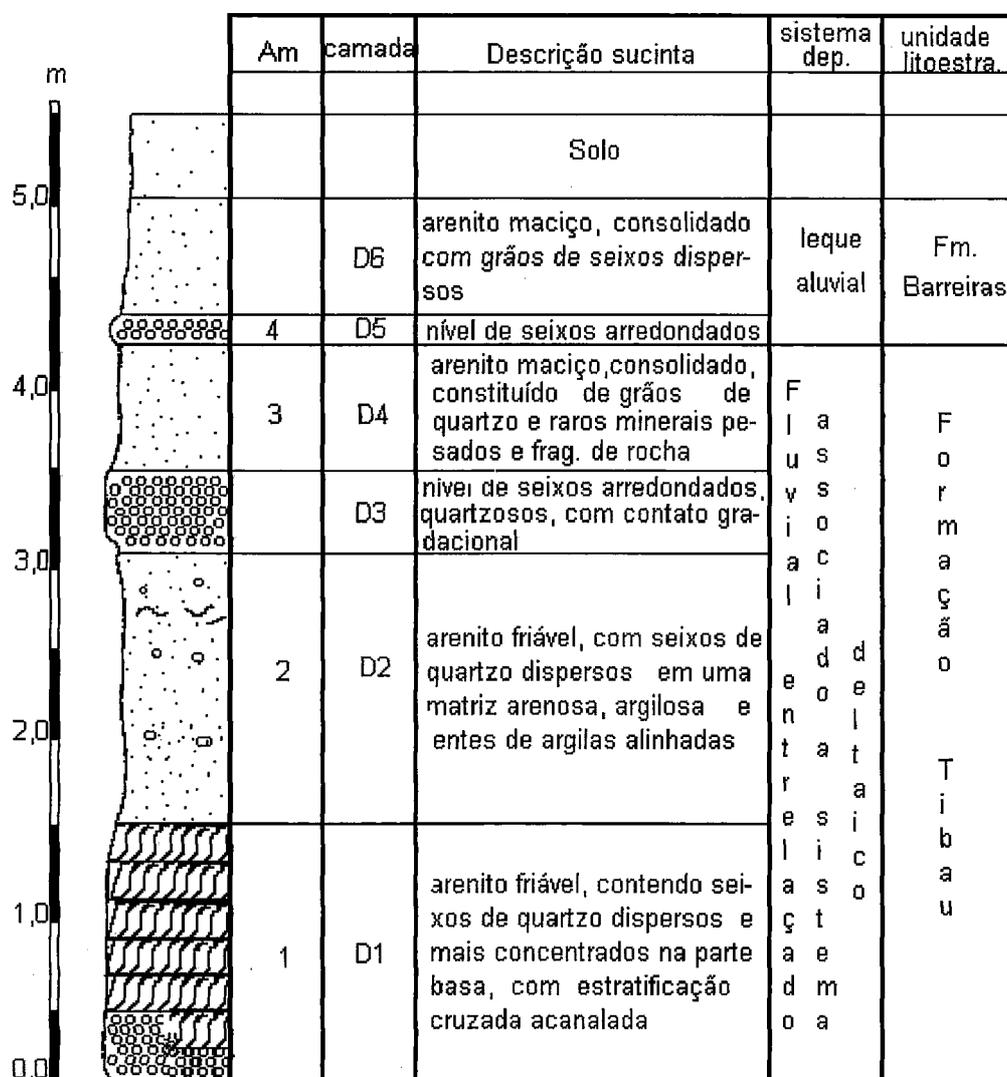


Figura 18 - Seção colunar SCN 04

inferior, sendo comum a presença de bolas de argila de diâmetros variados (4 cm em média).

A camada subsequente (**camada D₂**), representada no intervalo de 1,5 a 3,0 metros da seção colunar SCN 04, é constituída por arenito com seixos quartzosos angulares a subangulares dispersos e lentes de argilas que assumem um certo alinhamento. Segundo a classificação de Shepard (1954), citado por Suguio, (1973) é enquadrada como areia com cascalho e pelo valor da média com areia grossa.

Mineralogicamente a camada é caracterizada, no intervalo de 4,00 a 1,00 mm (seixo a areia muito grossa) por grãos de quartzo e raros fragmentos de rocha sedimentares. Os grãos de quartzo possuem aspecto brilhoso. Na fração de 0,71 a 0,062 mm as amostras apresentaram minerais pesados (granada, ilmenita, turmalina), cujo percentual torna-se mais representativo a partir da fração 0,17 (areia fina). Os grãos, na maioria das vezes, mostram uma tendência a subarredondados a arredondados com valores de esfericidade em torno de 07 a 09 (boa a muito boa).

Em termos de estruturas sedimentares a camada D₂ possui aspecto homogêneo, contando com alguns níveis conglomeráticos.

A **camada D₃**, localizado entre 3,0 e 3,5 m da seção colunar, caracteriza-se por um nível essencialmente conglomerático, formado por seixos quartzosos de forma alongada, com eixo maior na média de 2,0 a 7,5 cm e eixo menor entre 1,0 a 2,5 cm. Segundo a tabela de comparação visual de Krumbein e Sloss (1963), citado por Suguio,(1973), os seixos possuem forma arredondadas a bem arredondadas, com esfericidade entre 07 e 09 (índice de boa a muito boa).

O contado da camada D₃ com as camadas superiores e inferiores acontece de forma gradacional.

A **camada D₄** corresponde ao pacote sedimentar depositado no intervalo de 3,5 a 4,2 metros da seção estudada, sendo constituída essencialmente por areia média. As frações compreendidas entre os intervalos granulométricos de 2,83 e 0,71 mm (grânulos a areia muito grossa) são formadas principalmente por grãos quartzosos e raros fragmentos de rochas sedimentares. Na fração areia média à areia muito fina (0,25 a 0,062 mm) pode-se observar a presença de alguns exemplares de minerais pesados do tipo turmalina, hornblenda, epidoto e granada.

Os grãos são enquadrados com o arredondados, com esfericidade com índice entre boa a muito boa.

A camada apresenta grânulos quartzosos e bolas de argila dispersos no arenito maciço.

A **camada D₅** recobre a camada D₄ com depósitos de seixos quartzosos semelhante aos da camada D₃, sendo entretanto de menor espessura (alguns centímetros) no pacote sedimentar.

A **camada D₆** representa a porção superior da coluna sedimentar (4,3 a 5,0 metros), sendo constituída por arenito mediano, com a predominância de grãos de quartzo, embora seja comum a presença de pequenos grânulos dispersos. A análise dos grãos revelou o domínio das formas arredondadas com esfericidade em torno de 07 a 09 (boa a muito boa).

O conjunto de camadas descritas acima é totalmente afossilífero e possui coloração correspondente na tabela internacional de cores de *yellowish gray* HUE 5 Y 7/2.

O pacote é recoberto por solos que fixam a vegetação nativa da região.

4.1.5 - Seção Colunar SCN 05

Localização: 037°47'19" oeste e 04°29'52" sul
(Localidade de Jardim)

A seção colunar mede em torno de 02 (dois) metros de espessura, formada por sedimentos friáveis, afossilíferos, de coloração uniforme (*yellowish gray* 5 Y 8/1).

As observações de campo permitiram identificar 02 (duas) camadas sedimentares (Fig 19). Os primeiros 45 centímetros da seção colunar caracterizam-se por arenito de textura grossa (**camada E₁**), cuja composição mineralógica é marcada pelo predomínio de seixos e grãos de quartzo. O detalhamento da amostra revelou que no intervalo compreendido entre as faixas granulométricas de 4,00 a 0,71 mm (seixos a areia grossa) fica registrado a presença de grãos quartzosos, raros fragmentos de rochas sedimentares e feldspatos. O estudo morfooscópico dos grãos indica a tendência de formas oscilando entre arredondadas

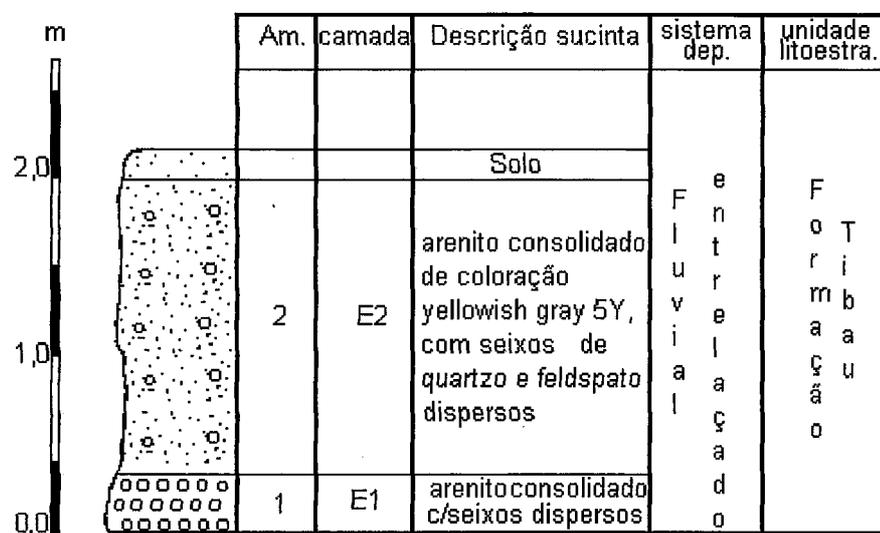


Figura 19 - Seção colunar SCN 05

a subarredondadas, de esfericidade preferencialmente de valor 09 (muito boa). Os seixos medem em média 1,0 a 2,0 centímetros no eixo maior, e 0,8 a 2,0 centímetros no eixo menor.

O aparecimento de raros minerais pesados (turmalina e hornblenda) marcam a mineralogia da faixa entre 0,50 a 0,17 mm (areia grossa a areia fina). Neste intervalo os grãos continuam assumindo a forma arredondada e esfericidade 09.

O aumento na concentração de minerais pesados, inclusive com o surgimento de epidoto, ilmenita e estauroлита, é sentida a partir do diâmetro 0,125 mm (areia fina), onde os grãos têm a forma subarredondada e arredondada, com esfericidade de 09 (muito boa).

A representação maior da seção colunar (SCN 5) está na **camada E₂** com 1,55 metros de espessura, formada por arenito de textura mediana com seixos quartzosos dispersos. O conteúdo mineralógico do intervalo 2,83 a 1,41 mm é caracterizado pela abundância de fragmentos de rocha, formados por grãos de quartzo cimentado por material argiloso. Os grãos de quartzo tornam-se representativos no intervalo de 1,00 a 0,50 (areia muito grossa a areia grossa), sendo raros a presença de fragmentos de rocha. Os grãos quartzosos moldam-se em formas subarredondadas arredondadas e esfericidade 09 (muito boa). As frações areia média e areia fina (0,35 a 0,17 mm) são marcadas pelo aparecimento escasso de minerais pesados (ilmenita e turmalina). Estes tornam-se abundantes nas frações mais finas (0,12 a 0,062 mm).

A análise geral da seção colunar indica a preservação de estrutura gradacional ascendente, cuja textura grossa da camada E₁ grada suavemente para a mediana com seixos dispersos da camada E₂.

A seção colunar encerra-se aos 02 (dois) metros de espessura com o aparecimento de solo pouco espesso, que fixa uma vegetação nativa, no caso, do tipo rasteira.

4.1.6 - Seção Colunar SCN 06

Localização: 037°47'31" oeste e 04°30'41" sul
(Localidade Córrego da Inveja)

O afloramento descrito na seção colunar SCN 06 corresponde a 10 (dez) metros de espessura, caracterizado por intercalações constantes de arenitos de textura variada (Fig. 20).

O pacote sedimentar comporta 07 (sete) camadas preservadas. A concentração de areia com cascalho, segundo a classificação de Shepard, (1954), citado por Suguio (1973), nos primeiros 0,50 centímetros do perfil destaca a **camada F₁**, como basal, formada por seixos quartzosos de dimensões variadas (eixo maior entre 1,0 e 2,5 cm e eixo menor entre 0,8 e 2,0 cm) (Fig 21). A porção mediana da amostra encontra-se representada por grãos subarredondados a arredondados de quartzo, com esfericidade de 07 a 09 (boa a muito boa), sendo raros a existência de feldspatos e minerais pesados. Na fração fina (0,08 e 0,062 mm) os minerais pesados tornam-se abundantes, e assumem as mesmas condições morfooscópicas dos outros grãos (subarredondados a arredondados e esfericidade muito boa).

Esta camada (F₁) prolonga-se em sub-superfície por mais 40 centímetros, onde os sedimentos arenosos caracterizam-se pela presença de seixos quartzosos, cujos parâmetros estatísticos definem a amostra como pobremente selecionada, mesocúrtica e assimetria negativa.

Os dados obtidos no testemunho de sondagem realizado neste ponto, mostra na profundidade de -40 a -190 centímetros, uma intercalação contínua de sedimentos arenosos de textura mediana e fina, com deposição de sedimentos arenosos grossos, com presença de seixos, no intervalo de -70 a -80 centímetros da coluna amostrada.

A granulometria do arenito da camada F₁ decresce na camada superior (**camada F₂**), que se caracteriza por arenito friável de textura mediana com grânulos de quartzo dispersos na matriz. O conteúdo mineralógico da camada indica que a maior porção (frações compreendidas entre 2,83 e 0,17 mm) da amostra é formada por grãos subarredondados a arredondados de quartzo, com esfericidade igual a 09 (muito boa).

O pico mais elevado de minerais pesados, turmalina, hornblenda e ilmenita, encontra-se na fração 0,125 mm (areia fina), diminuindo na fração 0,08 mm e tornando-se ausente novamente na fração 0,062 mm.

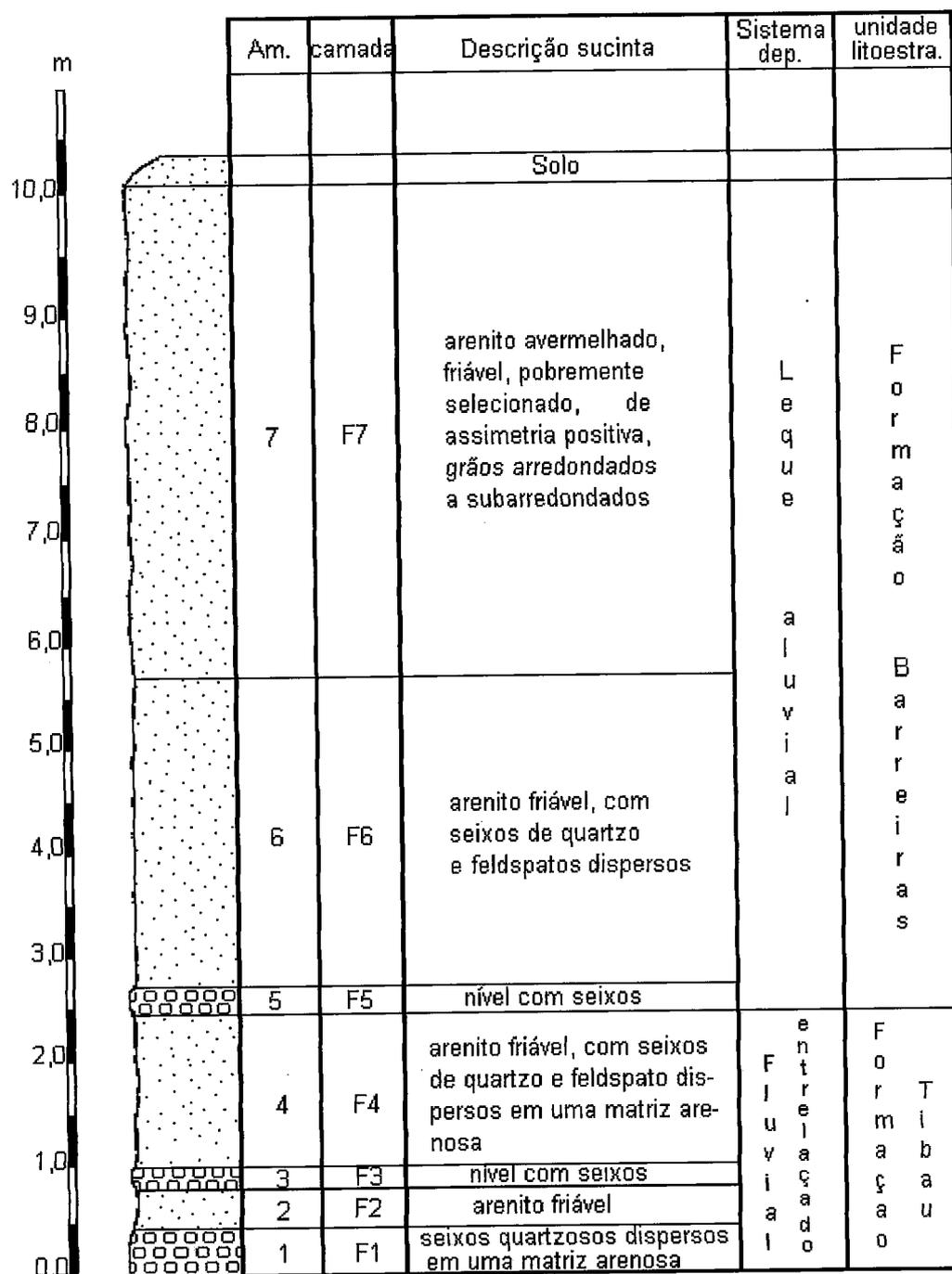


Figura 20 - Seção colunar SCN 06



Figura 21 - Detalhe da camada F_1 (SCN 06)

A análise dos parâmetros estatísticos permitiu caracterizar a amostra da camada F₂ como arenito muito pobremente selecionado, com curva mesocúrtica e assimetria positiva (Tab. 05).

A **camada F₃** corresponde uma faixa de poucos centímetros de espessura que atinge o primeiro metro da seção colunar, sendo caracterizada por areia com cascalho, segundo Shepard (1954), citado por Suguio (1973). As frações cascalho (4,00 mm), areia muito grossa (1,00 mm) e areia grossa (0,50 mm) são constituídas essencialmente de grãos quartzosos, arredondados e com valor de esfericidade correspondente a muito boa (09). Os seixos possuem três tamanhos: os maiores com eixos de 3,0 a 5,6 cm, os medianos com medidas aproximadas de 1,5 a 2,5 cm e os menores e mais abundantes com 0,5 a 2,0 cm de valores dos eixos. As frações areia média e areia fina apresentam quantidade representativa de fragmentos de óxido de ferro e raros minerais pesados. Neste intervalo os grãos assumem a forma subarredondada. A presença de óxido de ferro e minerais pesados é observada até nas frações mais finas da amostra (areia muito fina), entretanto, em menor quantidade.

A **camada F₄** caracteriza-se por um pacote de aproximadamente 1.5 metros de espessura constituído de areia grossa, cujas frações mais grossas, correspondente ao intervalo de 2,83 a 0,71 mm, são formadas por grãos arredondados de quartzo. A presença pouco significativa de feldspatos é sentida no intervalo de areia grossa a areia média, enquanto os minerais pesados somente aparecem nas frações mais finas (areia fina).

O pacote sedimentar da camada F₄ assume uma natureza friável, de coloração *yellowish gray* 5Y 7/2, que grada para um nível conglomerático de areia muito grossa (segundo a classificação textural de Shepard) da **camada F₅**.

A **camada F₅** representa um nível bastante semi-consolidado, oxidado de cor *pale red* 5R 6/2, cujas características sedimentológicas permitiu considerá-la semelhante a camada F₃ da seção colunar, onde a granulometria predominante atinge a classe de areia com cascalho.

Uma gradação na granulometria dos sedimentos é sentida a partir da camada F₅, onde os grãos cascalhosos gradam para grãos de diâmetro areia média na **camada F₆** e areia fina na **camada F₇**.

Tabela 05 - Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 06

Md=mediana, Mz=tamanho médio, σ_1 =desvio padrão,Sk_i=assimetria e Kg=curtose

| Número da amostra | (Md) | (Mz) | (σ_1) | (SK _i) | (Kg) |
|-------------------|-------|-------|----------------|--------------------|------|
| 01 | -0,51 | -0,01 | 2,07 | 0,43 | 0,80 |
| 02 | 1,84 | 2,25 | 2,16 | 0,27 | 0,90 |
| 03 | -0,59 | 0,14 | 2,24 | 0,34 | 1,43 |
| 04 | 0,34 | 1,15 | 2,20 | 0,43 | 1,49 |
| 05 | 1,90 | 2,60 | 2,19 | 0,38 | 0,90 |
| 06 | 2,39 | 2,76 | 1,45 | 0,21 | 0,86 |

* valores dados em \emptyset

Na **camada F₆** continua a presença da coloração *pale red 5R 6/2*, com grãos impregnados por uma película de óxido de ferro, constituídos por sedimentos areno-quartzosos, raros fragmentos de rocha, feldspatos e minerais pesados, todos com aspecto subarredondados e esfericidade em torno de 0,9. Foi notado que a percentagem de fragmentos de óxido de ferro aumentou consideravelmente na fração mais fina, de diâmetro 0,125 mm.

A areia média da camada F₆ passa gradualmente para areia fina na **camada F₇**, onde os sedimentos quartzosos se misturam com alguns grãos de óxido de ferro, que os torna moderadamente avermelhados (*moderate red 5R 5/4*), sem estruturas sedimentares preservadas, ocupando os 4,0 metros do topo da seção colunar.

4.1.7 - Seção Colunar SCN 07

Localização: 037°47'24" oeste e 04°31'30" sul

A seção colunar tem cerca de 07 (sete) metros de sedimentos inconsolidados a semi-consolidados, aflorando em escarpa de relevo runiforme, onde foi possível individualizar quatro camadas distintas (Fig. 22).

A **camada G₁** corresponde os primeiros 0,75 centímetros da seção, caracterizada por arenito friável de granulometria mediana com níveis de seixos dispersos. Os estudos sedimentológicos realizados na amostra coletada nesta camada permitiu classificar os sedimentos como muito pobremente selecionados, leptocúrticos e aproximadamente simétricos. Mineralogicamente a amostra pode ser subdividida em duas faixas de domínio: a primeira compreende o intervalo de 4,00 a 0,17 mm, onde os grãos subarredondados de quartzo misturam-se aos seixos quartzosos, e na segunda a presença de minerais pesados, principalmente da turmalina e ilmenita, contribui para a diversificação mineralógica da amostra.

O aspecto geral da camada G₁ reflete através da existência dos níveis de seixos intercalados a arenitos médios, estruturas sedimentares de granodecrescência, geradas por intermédio de pulsações na energia deposicional do pacote. A camada grada verticalmente para arenitos medianos que compõem a **camada G₂**.

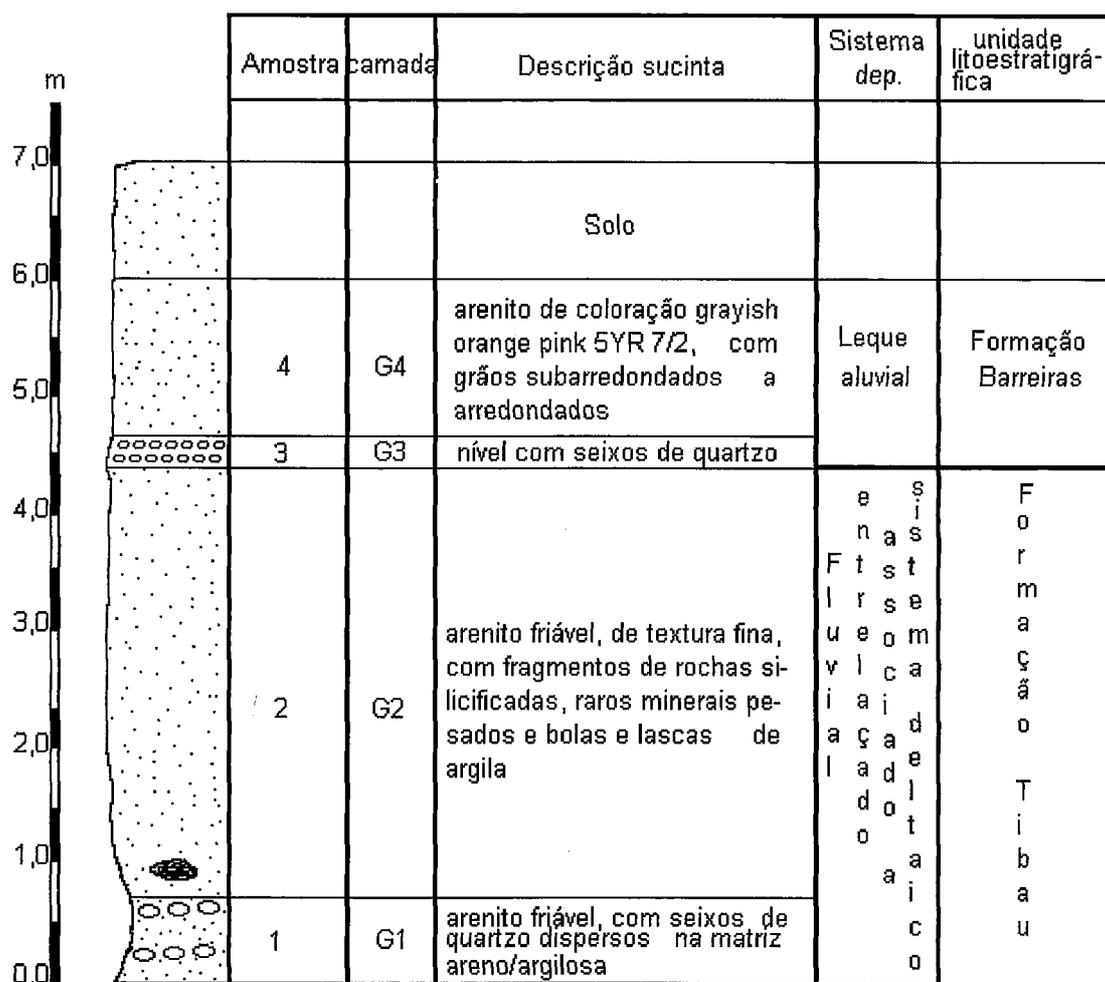


Figura 22 - Seção colunar SCN 07

A camada G₂ atinge os 4,2 metros da seção, caracterizada por arenito de textura mediana de coloração uniforme de *yellowish gray 5y 7/2*, com estruturas de bolas de argila e crostas silicificadas.

Os parâmetros estatísticos classificam a amostra como muito pobremente selecionada, muito leptocúrtica de assimetria positiva (Tab. 06). Em termos mineralógico a camada se comporta de maneira semelhante a camada G₁, diferenciando apenas na presença de argilo minerais nos intervalos granulométricos de 0,17 a 0,062 mm (areia fina a areia muito fina).

Os grãos quartzosos podem ser agrupados na classificação de grãos subarredondados de esfericidade compreendida nos intervalos máximos de 07 e 09 (boa a muito boa).

A camada é interrompida pela presença de um nível pouco espesso de seixos quartzosos definidos como a **camada G₃**.

A **camada G₄** inicia-se aos 4,5 metros da seção estendendo-se até a cota de 6,0 metros, sendo recoberta por um metro de solo com vegetação nativa.

A camada G₄ é formada por arenito de textura fina, cuja coloração quebra a monotonia do pacote sedimentar pela coloração avermelhada (*grayih orange pink 5YR 7/2*). A classificação textural de Shepard (1954), citado por Suguio (1973), enquadra a amostra como areia com lama, onde os parâmetros estatísticos definem os sedimentos como muito pobremente selecionado, mesocúrtico e de assimetria muito positiva (Tab 06).

O pacote não preserva nenhuma estrutura sedimentar, apresentando um aspecto maciço. O estudo microscópico da amostra revela o predomínio de grãos subarredondados de quartzo com raros minerais pesados a partir da classe granulométrica de areia fina a muito fina (0,12 a 0,062 mm).

4.1.8 - Seção Colunar SCN 08

Localização: 037°47'24" oeste e 04°32'12" sul
(Localidade Volta)

Os seis metros de sedimentos que compõem a SCN 08 encontram-se caracterizados por cinco camadas sedimentares (Fig. 23). A **camada H₁**

Tabela 06 - Parâmetros estatísticos da seção colunar SCN 07

Md=mediana, Mz=tamanho médio, σ_1 =desvio padrão,

Sk_i=assimetria e Kg=curtose

| Número da amostra | (Md) | (Mz) | (σ_1) | (SK _i) | (Kg) |
|-------------------|------|------|----------------|--------------------|------|
| 01 | 0,81 | 1,11 | 2,45 | 0,27 | 1,24 |
| 02 | 1,78 | 2,54 | 2,47 | 0,50 | 1,64 |
| 03 | 1,28 | 1,27 | 2,77 | 0,11 | 1,05 |
| 04 | 2,48 | 3,31 | 2,29 | 0,54 | 0,95 |

* valores dados em \emptyset



Figura 23 - Visão geral da seção colunar SCN 08

corresponde os primeiros 0,50 centímetros da seção formados por arenitos grossos com cascalho, semi-consolidados, de coloração *very pale orange* 10YR 8/2, onde os seixos quartzosos encontram-se dispersos na matriz arenosa (Fig. 24)

A camada grada para arenito mediano da **camada H₂**. Esta camada estende-se até 1,25 metros da coluna, diferenciada da inferior pela presença de bolas de argila e coloração *yellowsh gray* 5Y 7/2. Os seixos quartzosos têm eixos na ordem de 3,8 a 1,8 centímetros.

As interpretações dos dados estatísticos revelaram que os sedimentos da camada H₂ possuem assimetria positiva, com curvas platicúrticas e muito pobremente selecionados (Tab. 07).

O nível de crostas silicificadas localizada nos 0,25 centímetros superiores da camada H₂, individualiza a **camada H₃**, onde os sedimentos são pobremente selecionados, platicúrticos e com assimetria muito positiva. As crostas estão inseridas numa matriz arenosa, formada por grãos subangulares de quartzo com ocorrência de fragmentos de rochas sedimentares e lascas de argila.

No intervalo de 1,75 a 3,25 metros da seção colunar SCN 08 foi identificado um arenito friável de coloração *ligth browns* 5 YR 6/4, caracterizado por bolas de argila e tubos de animais preenchidos por sílica, que foi denominado de **camada H₄**.

A **camada H₅** encontra-se recoberta por um solo arenoso que permite o desenvolvimento de uma vegetação arbustiva nativa.

As principais características da camada H₅ podem ser descritas pela cor avermelhada (*graysih orange pink* 5 YR 7/2), affossilífero, aspecto maciço e arenito mediano com a fração silte/argila representada.

4.1.9 - Seção Colunar SCN 09

Localização: 037°47'14" oeste e 04°34'09" sul

(Localidade Fazenda Mãe Branca)

A seção é marcada por 3,0 metros de sedimentos de coloração uniforme (*grayish orange pink* 5 YR 7/2), maciço, onde de acordo com a variação litológica pode ser reconhecida duas camadas: I₁ e I₂ (Fig. 25).

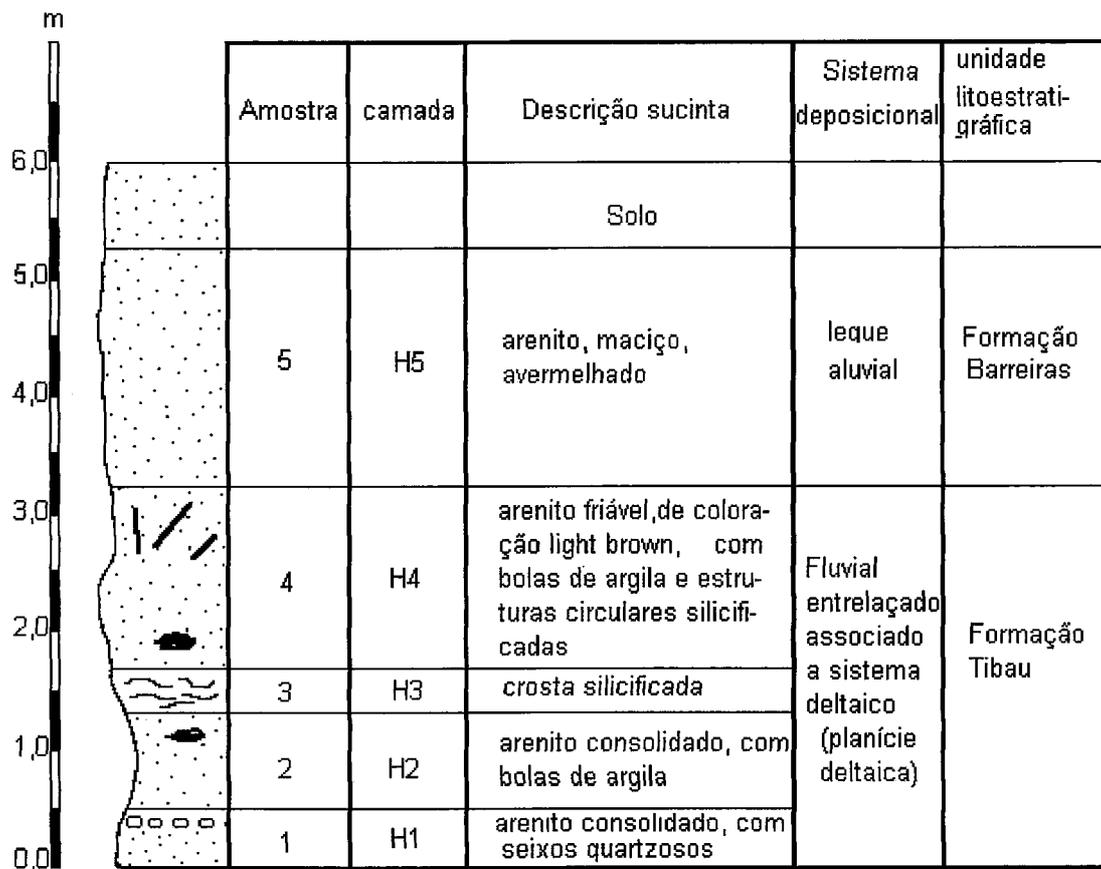


Figura 24 - Seção colunar SCN 08

Tabela 07 - Parâmetros Estatísticos da seção colunar SCN 08

Md=mediana, Mz=tamanho médio, σ_1 =desvio padrão,Sk_i=assimetria e Kg=curtose

| Número da amostra | (Md) | (Mz) | (σ_1) | (SK _i) | (Kg) |
|-------------------|------|------|----------------|--------------------|------|
| 01 | 0,93 | 0,85 | 2,34 | 0,06 | 1,06 |
| 02 | 0,43 | 0,51 | 3,17 | 0,12 | 0,83 |
| 03 | 1,27 | 0,70 | 1,46 | 0,58 | 0,81 |
| 04 | 1,95 | 2,46 | 2,26 | 0,27 | 1,09 |
| 05 | 2,48 | 3,31 | 2,29 | 0,54 | 0,95 |

* valores dados em \varnothing

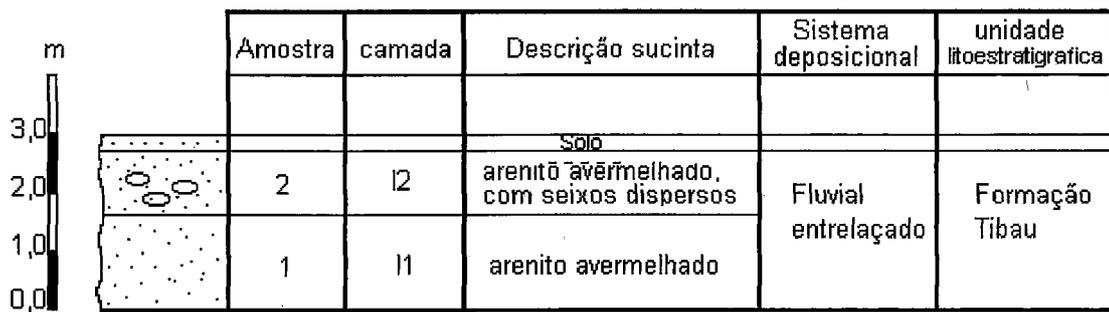


Figura 25 - Seção colunar SCN 09

A camada basal (**camada I₁**) é marcada por arenito com predomínio da fração fina (diâmetro inferior a 0,062 mm). A presença de seixos quartzosos é esporadicamente visualizada, onde os seixos encontram-se dispersos na matriz arenosa, sem obedecer nenhum tipo de alinhamento.

A **camada I₂** difere da inferior pela maior abundância de seixos quartzosos caracterizando uma elevação na energia deposicional.

4.1.10 - Seção Colunar SCN 10

Localização: 037°47'25" oeste e 04°35'00" sul

A seção colunar SCN 10 está representada por uma escarpa sedimentar de 12 (doze) metros (Fig. 26), onde foi possível reconhecer sete camadas sedimentares (Fig 27).

Os dois primeiros metros da seção caracterizam-se por intercalações de arenitos de textura mediana com níveis deposicionais de seixos quartzosos, que foram mapeadas como as camadas denominadas de J₁, J₂, J₃ e J₄.

A **camada J₁** dá início a seção colunar SCN 10 com a deposição de arenito inconsolidado, de textura mediana, com seixos quartzosos dispersos. A composição mineralógica da amostra coletada revela a predominância de grãos subarredondados a subangulosos de quartzo, com a presença da associação mineralógica de hornblenda, ilmenita e turmalina, a partir da fração areia fina.

Aos 0,75 centímetros da coluna a presença de seixos quartzosos em abundância marca a **camada J₂**, onde os grãos ocupam a faixa granulométrica de 4,00 e 2,83 mm (seixos e grânulos), colocando na classificação textural cascalho (Fig.28).

A deposição da coluna sedimentar segue com 0,75 centímetros de arenito inconsolidado com aspectos sedimentológicos e mineralógicos semelhante aos da camada basal. Esta deposição caracteriza a camada sedimentar definida como **camada J₃**, que encontra-se recoberta por nível conglomerático (**camada J₄**) semelhante ao da camada J₂.



Figura 26 - Visão geral da seção colunar SCN, 10'

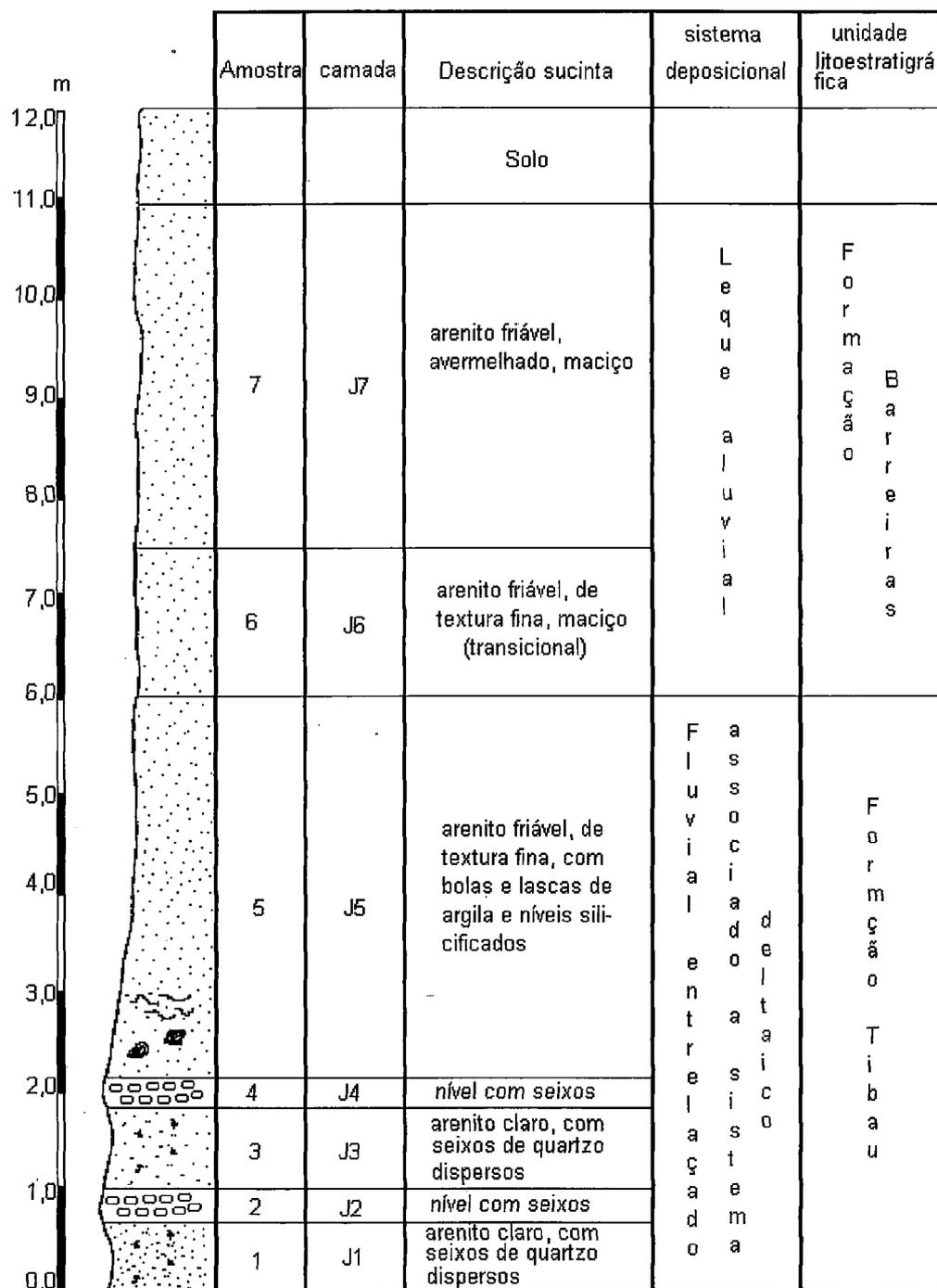


Figura 27 - Seção colunar SCN 10



Figura 28 - Detalhe da camada J_2 (SCN 10)

A partir do segundo metro da seção colunar ocorre o aparecimento de bolas de argila e crostas silicificadas dispersas na matriz arenosa. Este conjunto sedimentar caracteriza a **camada J₅**, que se estende até os 6,0 metros da escarpa.

A **camada J₇** encerra a variação litológica da coluna sedimentar, estando sobreposta a camada areno-argilosa transicional **J₆** e recoberta por um metro de solo.

O pacote de aproximadamente cinco metros de arenitos inconsolidados pertencente as camadas **J₆** e **J₇**, quebra toda a monotonia de cores passando de *yellowish gray 5Y 8/1* para *grayish orange 10Y 7/4*.

Mineralogicamente a camada (**J₇**) está representada essencialmente por grãos quartzosos, com presença de minerais pesados (ilmenita, turmalina e epidoto) a partir da fração de 0,25 mm (areia média). Os grãos se apresentam de forma subarredondados, com esporádico recobrimento por película de óxido de ferro.

4.1.11 - Interpretação dos Sistemas Depositionais

A inter-relação das camadas e geometria dos depósitos sedimentares descritos anteriormente permitiu reconhecer na área mapeada os sistemas deposicionais fluvial entrelaçado (*braided*), associados a subsistema deltaico, e de leques aluviais.

O sistema deposicional fluvial entrelaçado encontra-se representado nas seções colunares: SCN 01 (camadas **A₁** a **A₄**)

SCN 02 (camada **B₁** a **B₁₀**)

SCN 03 (camada **C₁** a **C₄**)

SCN 04 (camada **D₁** a **D₄**)

SCN 05 (camada **E₁** e **E₂**)

SCN 06 (camada **F₁** a **F₄**)

SCN 07 (camada **G₁** a **G₂**)

SCN 08 (camada **H₁** a **H₄**)

SCN 09 (camada **I₁** e **I₂**)

SCN 10 (camada **J₁** a **J₅**)

As principais características que levaram à identificação do sistema deposicional fluvial entrelaçado foram as estruturas de granodecrescência

ascendente (*fining upward*) predominante ao longo de todas as sequências sedimentares pesquisadas, com a deposição de cascalho e areia grossa na base (fácies de depósito de canal - Gm), seguido por arenitos de textura média, com estruturas acanaladas (fácies de barras - Sp) e arenitos medianos contendo seixos quartzosos dispersos, bolas de argilas e bioturbações.

Os depósitos residuais de canal (*channel lag deposits*) estão bem representados na SCN 04, base das camadas D₁, D₃ e D₅, e na SCN 05, camada E₁, compostos de sedimentos grossos, conglomeráticos, formando os conglomerados basais das seção colunares.

Os depósitos de barras arenosas perfazem cerca de 75% das camadas pertencentes ao sistema fluvial. Encontram-se bem caracterizadas na SCN 04, camada D₁, onde as areias médias a grossas, contendo grânulos e pequenos seixos dispersos, mostram estratificações cruzadas acanaladas que refletem as constantes migrações das barras, sob regime de fluxo inferior.

As estruturas de bolas de argila (*clay glass*) são resultantes do processo de desprendimento dos fragmentos siltico-argilosos ou argilosos dos bancos e barras fluviais, que são transportados e reduzidos de tamanho pela ação das águas.

Maia (1993) identificou através da análise de raio X, nos sedimentos da área em estudo, os seguintes minerais de argila: caolinita, esmectita e illita. Siever (1962) mostra que a transformação da montmorilonita em caolinita, muscovita e illita, resulta na liberação de sílica, que por sua vez, dissolvida em uma solução aquosa ascende capilarmente por entre os grãos do arca-bouço da rocha reservatório até encontrar níveis impermeáveis, precipitando-se em forma de crostas.

Este processo poderá ter sido o responsável pela formação das crostas silicificadas das seções colunares SCN 01 (camadas A₂ e A₄), SCN 02 (camadas B₄, B₆ e B₈), SCN 03 (camadas C₂ e C₄) e SCN 08 (camada H₃).

As estruturas circulares preenchidas por sílica presentes em diversas camadas areno-argilosas das seções colunares, segundo informações verbais do Prof. Geraldo Muniz, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, correspondem a perfurações de invertebrados, posteriormente preenchidos por sílica.

As observações de campo permitiram efetuar uma possível associação de perfurações de invertebrados e eventuais estruturas semelhantes a raízes

silicificadas. Segundo Freire (1995), a identificação dessas estruturas mostra-se bastante difícil, em função da similaridade entre tubos formados por animais e raízes. Tubos com estas características são denominados de OPHIOMORFHAS, quando formados por galerias de *Callianassa*, segundo Hertweck, Howard e Suguio, citado por Freire (1995), e ROOTS ou RIZOLITHS quando formados por estruturas vegetais. (Whybrow, apud Freire, 1995)

A análise dos ambientes favoráveis a presença de perfuração de invertebrados e raízes levou a supor uma associação do sistema fluvial entrelaçado a planície deltaica (fácies do topo). Caracterizada por uma vasta planície de inundação, cortada por inúmeros canais distributários, onde é comum a ocorrência de baías interdistributárias, várzeas (*backswamp*) e pântanos (*marshes*), cujos sedimentos de textura fina (areno-argiloso) são intensamente bioturbados por animais e plantas.

A interpretação estratigráfica do pacote sedimentar correlaciona os depósitos fluviais entrelaçados como a descrição dos sedimentos arenosos da Formação Tibau descrito inicialmente por Campos e Silva em 1966. (Baptista et al, 1984).

O sistema de leque aluvial foi reconhecido nas SCN 03 (camadas C₅ e C₆), SCN 04 (camadas D₅ e D₆), SCN 06 (camadas F₅, F₆ e F₇), SCN 07 (camadas G₃ e G₄), SCN 08 (camada H₅) e SCN 10 (camadas J₆ e J₇).

O sistema caracteriza-se por arenito argiloso, inconsolidado, maciço, de coloração avermelhada, variando entre *pale reddish brown* 10R 5/4 e *grayish orange pink* 5YR 7/2, devido a presença de óxido e hidróxido de ferro. Mineralogicamente são formado por grãos de quartzo, arredondados a subarredondados, com raros minerais pesados.

Segundo o modelo deposicional de leques aluviais apresentado por Collinson em 1981, citado por Lehugeur (1992), o pacote sedimentar pesquisado enquadra-se na fácies distal, constituído por fluxos aquoso, no caso, fluxo de corrente, cuja granulometria dos sedimentos encontra-se no intervalo de areia média a fina.

Os estudos comparativos deste sistema deposicional permitiu correlaciona-lo aos depósitos areno-argilosos, maciços, afossilíferos, de coloração avermelhada depositados no sistema deposicional de leque aluvial distal da Formação Barreiras.

4.2 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS RECENTES

Os doze perfis de estudo realizados na área em apreço foram traçados perpendicularmente à linha de costa, compreendendo os sistemas deposicionais recentes: eólico, lagunar, praiial, fluvial, deltaico e plataforma continental (Fig 29).

Os trabalhos desenvolvidos nos perfis constaram de amostragem superficial de sedimentos e coleta de dados referentes as estruturas sedimentares, litologia, conteúdo fossilífero e geometria dos pacotes sedimentares.

4.2.1 - Sistema Eólico

O sistema eólico encontra-se representado na área em estudo pela formação de extensos campos dunares, sobrepostos aos sedimentos terciários estendendo-se até o limite da berma (Fig 30).

As dunas foram mapeadas e classificadas em três gerações:

- Dunas de primeira geração
- Dunas de segunda geração
- Dunas de terceira geração

Os corpos dunares englobados na classificação de primeira geração compreendem os depósitos eólicos localizados na porção mais interna da faixa costeira, capeando a superfície aplainada dos tabuleiros pré-litorâneos.

Nas proximidades do lugarejo conhecido por Canto, margem esquerda do Rio Jaguaribe, as dunas de primeira geração foram mapeadas em cordões com direção SE/NW, paralelo a atual linha de costa, estando representados morfologicamente por superfícies arrasadas, em cotas altimétricas de 28 metros, portadoras de horizontes característicos de solos capazes de desenvolver uma espessa vegetação do tipo arbórea.

Litologicamente são formadas por areias médias, pobremente a moderadamente selecionadas, com cores típicas variando de avermelhado a amarelado. O percentual de sedimentos finos, com diâmetro menor que 0,062 mm, varia de 1.5 a 3.8%.

As de segunda geração intercalam-se, em alguns pontos, com as de terceira geração, sendo caracterizadas por corpos alongados direcionados paralelamente à

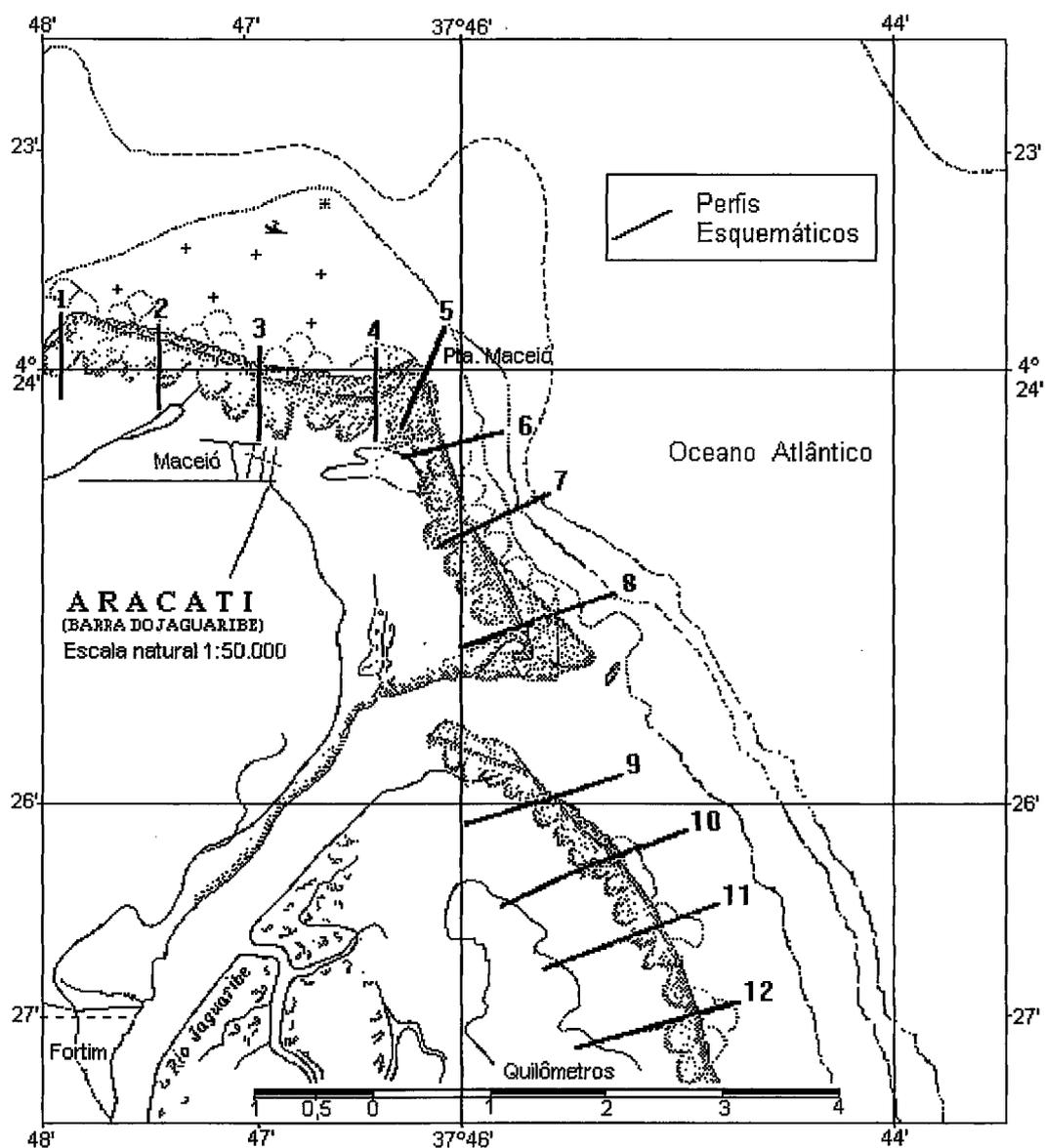


Figura 29 - Localização dos perfis esquemáticos traçados na área

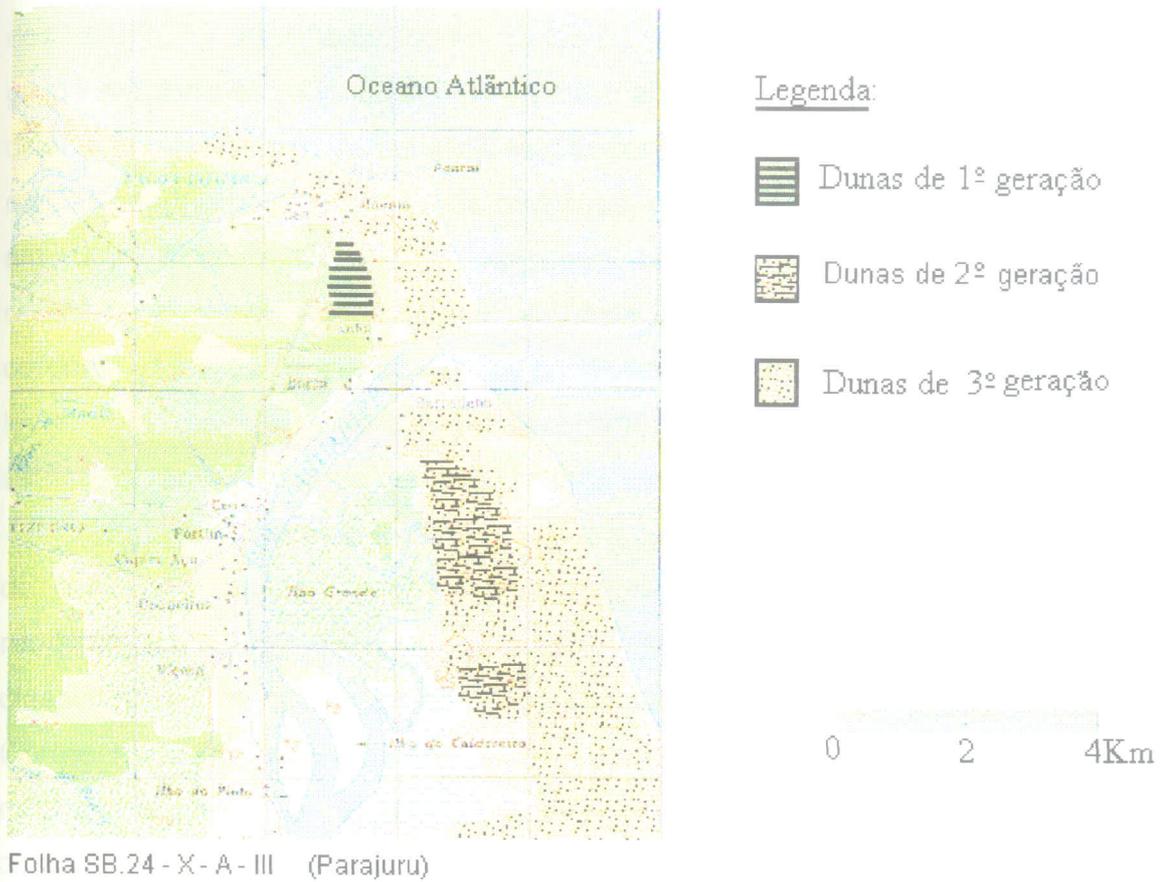


Figura 30 - Localização das dunas de primeira, segunda e terceira gerações

linha de costa, com a presença de uma cobertura vegetal pouco espessa, representada por vegetação arbustiva de pequeno porte e rasteira.

Os sedimentos das amostras coletadas a sotavento, topo e barlavento das dunas fixas, de segunda geração, foram caracterizados por areias medianas, moderadamente selecionadas e assimetria positiva (Tab. 08).

O grupo de dunas que migram ao longo da região costeira, por ação contínua dos ventos, foi classificado como dunas de terceira geração, ou dunas atuais. Este grupo encontra-se distribuído na área mapeada em duas formas morfológicas distintas, a primeira caracteriza-se por corpos arenosos, com altura máxima de 3 metros, modeladas em formas de barcanas, que avançam em direção ao continente em uma direção NE/SW. A segunda correspondendo a corpos alongados constituindo dunas longitudinais. A fonte sedimentar para a formação destes cordões dunares encontra-se nas zonas de estirâncio das praias posicionadas a leste, como as Praias de Canoa Quebrada e Majorlandia, onde a velocidade dos ventos, durante o período de verão, atinge valores de 7,8 m/s.

Litologicamente as dunas de terceira geração estão formadas por areias finas de coloração branca, constituídas principalmente por quartzo, com percentuais representativos de minerais pesados. Os sedimentos apresentam-se bem classificados, com assimetria positiva e predomínio de grãos arredondados. Cortes realizados nas superfícies de sotavento, topo e barlavento das dunas mostram a presença de estratificações cruzadas planares e marcas onduladas assimétricas na face de barlavento.

Na margem esquerda do Rio Jaguaribe, nas proximidades do lugarejo Maceió, as dunas móveis assumem o comportamento de corpos alongados que migram em direção SE/NW, repassando a Ponta de Maceió e atuando como fonte supridora de sedimentos para o litoral posicionada a oeste. Este processo sedimentar representa para a região um importante equilíbrio natural para a linha de costa que sofre constantes processos de erosão marinha, sendo abastecida deste modo, por uma carga sedimentar equivalente a erodida.

As dunas móveis em decorrência do processo descrito foram consideradas como feições importantes para a dinâmica costeira. Desta maneira, trabalhos específicos foram desenvolvidos na tentativa de caracterizar os fenômenos envolvidos no transporte sedimentar.

Tabela 08- Parâmetros estatísticos dos sedimentos das dunas de segunda geração

| Amostra | Mediana | Tamanho Médio | Desvio Padrão | Assimetria | Curtose |
|---------|---------|------------------|------------------|------------|---------|
| 01 | 2,34 | 2,41 | 0,42 | 0,20 | 1,19 |
| 02 | 1,99 | 2,00 | 0,59 | 0,09 | 1,03 |
| 03 | -0,42 | -0,48 | -0,73 | -0,04 | 0,82 |
| 04 | 1,70 | 1,96 | 1,09 | 0,30 | 0,64 |
| 05 | 1,27 | 1,42 | 0,71 | 0,30 | 0,73 |
| 06 | 1,62 | 1,68 | 0,54 | 0,18 | 0,83 |
| 07 | 2,41 | 2,33 | 0,79 | -0,19 | 1,27 |
| 08 | 1,90 | 1,90 | 0,61 | 0,11 | 1,09 |
| 09 | 1,91 | 1,99 | 0,70 | 0,21 | 1,07 |
| 10 | 2,14 | 2,18 | 0,65 | 0,122 | 1,16 |
| 11 | 2,10 | 2,11 | 0,62 | 0,04 | 1,09 |
| 12 | 2,25 | 2,26 | 0,58 | 0,03 | 1,18 |
| 13 | 2,20 | 2,22 | 0,54 | 0,10 | 1,19 |
| 14 | 2,25 | 2,27 | 0,61 | 0,04 | 1,00 |
| 15 | 2,32 | 2,33 | 0,60 | 0,03 | 0,99 |
| 16 | 2,08 | 2,03 | 0,49 | -0,14 | 1,03 |
| 17 | 2,17 | 2,13 | 0,50 | -0,12 | 1,14 |
| 18 | 2,36 | 2,40 | 0,56 | 0,07 | 1,09 |
| 19 | 2,32 | 2,31 | 0,60 | -0,05 | 1,09 |
| 20 | 1,73 | 1,73 | 0,46 | 0,01 | 0,89 |

* valores dados em σ

A quantificação do aporte sedimentar transportado no sistema eólico envolveu dentro da sua metodologia, sub-item 2.2.3.6, a caracterização dos ventos, em relação a direção e velocidade. Os anemômetros locados na área em estudo registraram correntes eólicas de direção preferencial de leste, com variações para nordeste. As velocidades medidas ocupam o intervalo de 4 a 7 m/h, classificando os ventos da região de moderados a forte.

As armadilhas de armazenamento de sedimentos transportados foram posicionadas nas zonas de barlavento, sotavento e topo de doze corpos dunares cujos principais resultados estão contidos na tabela 09.

A interpretação dos resultados levantados pela utilização da metodologia desenvolvida por Sarre (1988), juntamente com observações colhidas em campo, relacionadas as condições essenciais para que haja transporte sedimentar, tais como: topografia do terreno, teor de umidade e presença de correntes eólicas, revelam um transporte sedimentar real mediano na ordem de 0,49 Kg/m/h para as bases das dunas e 1,26 Kg/m/h para o transporte gerado no topo dos corpos arenosos pesquisados (Tab 09).

A média obtida pelos dados das equações que simulam o transporte sedimentar teórico no sistema eólico mostram valores elevados, 37,99 Kg/m/h, quando comparados com a média do transporte eólico real das dunas da região, 0,877 Kg/m/h (Tab. 09). Este fato pode ser explicado levando-se em conta a desconsideração que as equações matemáticas utilizadas na quantificação teórica do transporte eólico têm em relação as condições essenciais envolvidas na dinâmica eólica.

A figura 31 mostra o gráfico que contém os dados do transporte sedimentar real obtidos na base e topo dos doze corpos dunares pesquisados. Com a finalidade de obter-se uma melhor interpretação do referido gráfico, as curvas foram seccionadas em trechos caracterizados por decréscimo ou acréscimo dos valores.

A curva do topo foi subdividida em cinco segmentos, dentre os quais três (segmentos 1, 3, 5) caracterizam-se por queda de valores e dois (segmentos 2, 4) por elevação contínua nos valores de sedimentos transportados. O primeiro segmento envolve os perfis 12, 11, e 10, onde a diminuição do transporte eólico acontece em virtude da substituição do estrêncio, essencialmente arenoso por linhas rochosas, tornando, desta maneira a zona de estrêncio reduzida.

Tabela 09 - Quantificação do transporte eólico das dunas de terceira geração

| Número da amostra | Peso da amostra retido nas arapucas sedimentares (gramas) | Quantificação real do transporte eólico (Kg/m/h) | Quantificação teórica do transporte eólico (Kg/m/h) |
|--------------------------|---|--|---|
| Perfil 12 - AM 01 (base) | 36,60 | 0,152 | 44,60 |
| AM 02 (topo) | 800,00 | 3,333 | 47,14 |
| Perfil 11 - AM 03 (base) | 52,93 | 0,220 | 26,97 |
| AM 04 (topo) | 221,00 | 0,920 | 94,40 |
| Perfil 10 - AM 05 (base) | 42,80 | 0,178 | 22,42 |
| AM 06 (topo) | 205,00 | 0,854 | 105,89 |
| Perfil 09 - AM 07 (base) | 30,18 | 0,125 | 50,40 |
| AM 08 (topo) | 402,00 | 1,675 | 93,24 |
| Perfil 08 - AM 09 (base) | 104,34 | 0,434 | 75,00 |
| AM 10 (topo) | 437,00 | 1,820 | 78,84 |
| Perfil 07 - AM 11 (base) | 124,76 | 0,519 | 24,64 |
| AM 12 (topo) | 132,20 | 0,550 | 25,80 |
| Perfil 06 - AM 13 (base) | 156,34 | 0,651 | 13,18 |
| AM 14 (topo) | 206,53 | 0,860 | 22,88 |
| Perfil 05 - AM 15 (base) | 218,00 | 0,908 | 16,01 |
| AM 16 (topo) | 319,27 | 1,330 | 19,91 |
| Perfil 04 - AM 17 (base) | 107,98 | 0,449 | 18,12 |
| AM 18 (topo) | 485,23 | 2,021 | 24,64 |
| Perfil 03 - AM 19 (base) | 196,64 | 0,819 | 15,99 |
| AM 20 (topo) | 207,67 | 0,865 | 17,70 |
| Perfil 02 - AM 21 (base) | 100,56 | 0,419 | 13,28 |
| AM 22 (topo) | 290,66 | 1,211 | 22,87 |
| Perfil 01 - AM 23 (base) | 78,95 | 0,328 | 15,58 |
| AM 24 (topo) | 98,32 | 0,409 | 22,45 |
| Valor médio | | 0,877 | 37,99 |

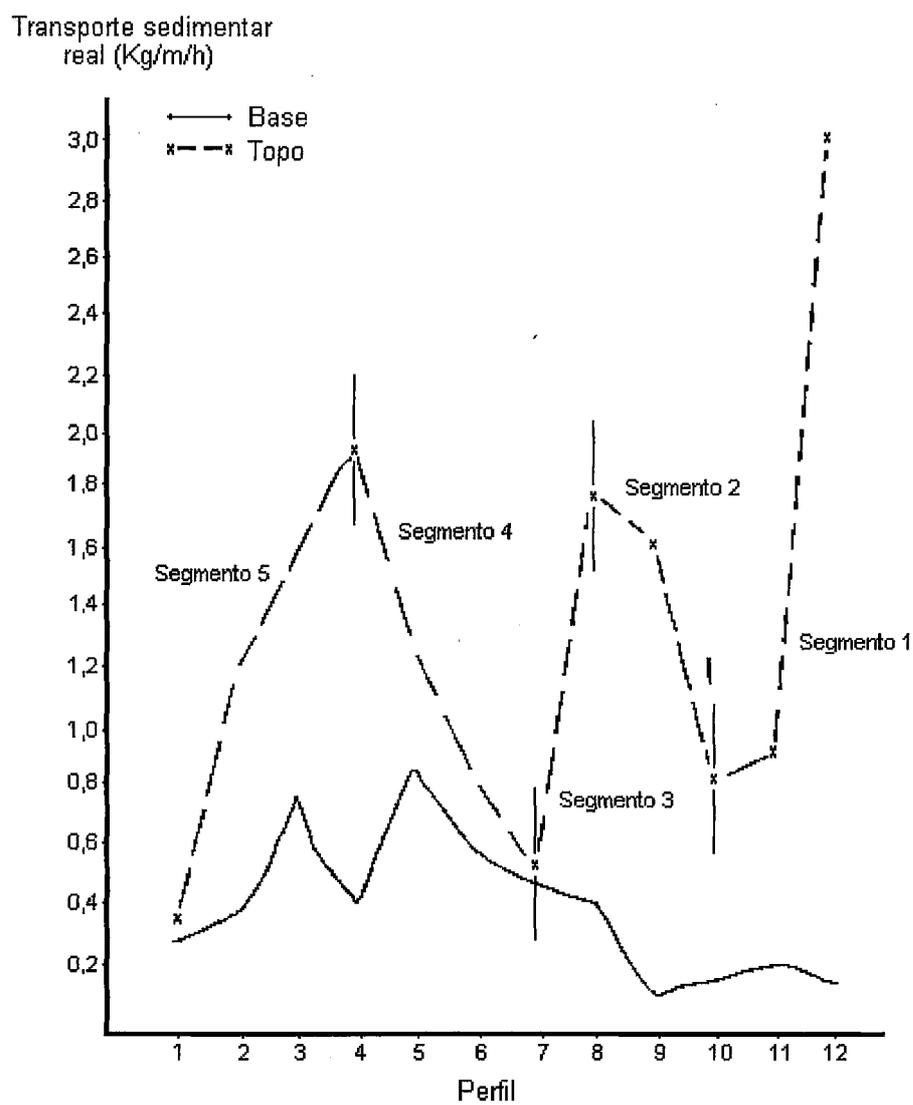


Figura 31 - Gráfico de valores de sedimentos transportados na base e topo das dunas de terceira geração

Os perfis de número 09 e 08, segmento 2, traçados na desembocadura do Rio Jaguaribe, assumem transporte sedimentar elevado por estarem localizados em zona de progradação da linha de costa, que se caracteriza como área de intenso fornecimento de sedimentos para a zona costeira.

O segmento 03 compreende as amostras coletadas no perfil 07, localizado na retaguarda do sistema lagunar, onde o elevado teor de umidade fixa os sedimentos e reduz a ação dos ventos.

O segmento 04, perfis 06, 05 e 04, caracteriza-se por um segmento ascendente de valores do transporte sedimentar no topo das dunas, gerado pela inflexão da linha de costa para aproximadamente E/W e presença de promontório, Pontal de Maceió, que juntos alteram as correntes longitudinais e as correntes eólicas, desta maneira, o transporte sedimentar ocorre por livre acesso, cruzando a ponta rochosa e abastecendo litoral adjacente.

O litoral localizado defronte e a oeste do lugarejo de Maceió abrange os perfis de número 03, 02 e 01, segmento 05, cuja existência de edificações torna o substrato arenoso fixo e amortece a ação dos ventos sobre os sedimentos, caracterizando, portanto, o trecho da curva como decrescente.

A interpretação da curva de sedimentos transportados na base das dunas segue o mesmo raciocínio da interpretação da curva do topo. Os dois pontos mínimos de transporte eólico verificados nos perfis de número 09 e 04, estão associados aos posicionamento dos estirâncios em regiões protegidas pelos cordões rochosos mapeados no litoral localizado a leste dos mesmos, o que reduz a fonte sedimentar e as correntes longitudinais responsáveis pelo transporte litorâneo.

A análise geral do gráfico (Fig. 31) permitiu caracterizar o topo das dunas como a área de maior transporte sedimentar.

4.2.2 - Sistema Lagunar

As lagunas correspondem a corpos de água situados na região costeira, mantendo conexão mais ou menos restrita com o mar aberto por canais conhecidos por *inlets*.

O sistema lagunar mapeado no litoral situado nas margens da atual desembocadura do Rio Jaguaribe, onde a linha de costa encontra-se direcionada

em SE/NW, teve sua origem ligada a progradação da linha de costa pela deposição de cordões litorâneos.

As fotografias aéreas contidas na figura 32, revelam a evolução do sistema lagunar. Em 1988, a área representava a formação de cordões litorâneos, provavelmente originadas pela deposição do aporte sedimentar proveniente do sistema fluvial pela ação das correntes longitudinais (*longshore current*). Ao longo dos anos esse processo deposicional foi evoluindo, gerando o assoreamento da área protegida pelos cordões litorâneos, e, conseqüentemente a formação de uma pequena laguna, como pode ser observado na fotografia aérea datada em 1992.

O corpo lagunar encontra-se atualmente ligado ao mar por um único canal, *inlet*, que migra constantemente de acordo com as marés e estações do ano. O sistema possui profundidade máxima em torno de dois metros, com substrato constituído por fácies essencialmente arenosa, de textura média a fina e fácies siltica/argilosa. A existência de formas vivas foi observada através da presença de conchas de moluscos e gastrópodes.

O testemunho de sondagem coletado nas margens do corpo lagunar permitiu levantar algumas características sedimentológicas dos primeiros dois metros da coluna sedimentar do sistema. A fácies essencialmente arenosa, com diâmetro de 2ϕ , marca o início e o fim da sedimentação do testemunho. Na profundidade das cotas de -60 e -100 centímetros pode-se observar uma elevação na energia deposicional do sistema, onde os sedimentos amostrados foram classificados granulometricamente como areia muito grossa (Fig. 33).

A curva do percentual de carbonato de cálcio traçada do topo para a base do testemunho mostra valores crescentes entre as cotas de -80 e -120 centímetros, justificado pela presença de fragmentos de carapaças animais na composição dos sedimentos.

4.2.3 - Sistema de Praia

Os primeiros trabalhos realizados na região costeira com o objetivo de elaborar uma classificação dos diversos tipos de costa foram desenvolvidos por Gulliver em 1899, Johnson em 1919 e Shepard em 1937/1938. (Ottmann, 1964).

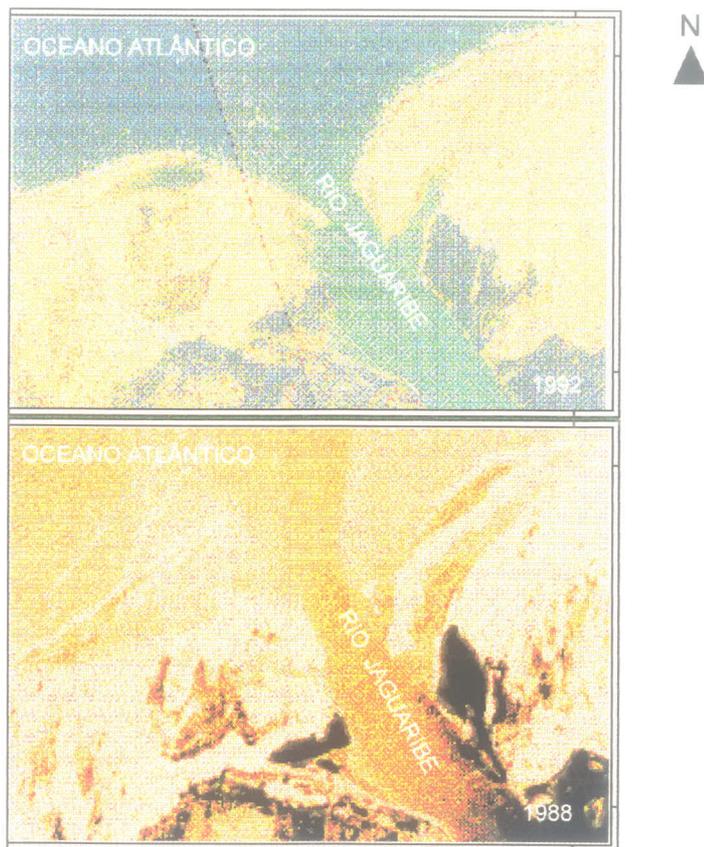


Figura 32 - Fotografias aéreas datadas de 1988 e 1992

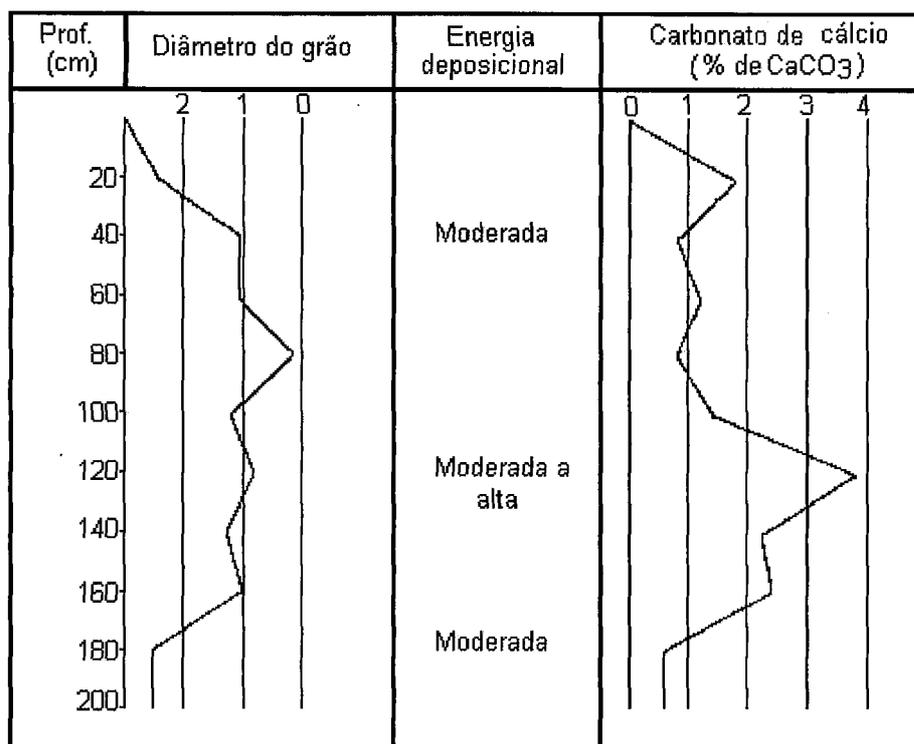


Figura 33 - Testemunho de sondagem do sistema lagunar

Gulliver (1899) estabeleceu a classificação de costas de formas iniciais e costas de formas secundárias. Para esta classificação o autor considerou, para as costas iniciais, os fenômenos estruturais, litológicos e climáticos; enquanto que as costas secundárias estavam representadas por formas derivadas das iniciais, geradas essencialmente por processos produzidos pela ação marinha.

Johnson (1919) distinguiu as costas de emersão e submersão. As costas em processos de emersão foram caracterizadas pela penetração do continente no mar. Por outro lado, nas costas do tipo de submersão o relevo continental apresentava locais com o mar avançando, sendo formado as rias e fiordes.

Shepard em 1937/1938, elaborou um sistema de classificação de costas levando em consideração principalmente os processos que deram origem ao modelado da costa, envolvendo, entretanto, os fenômenos de erosão, tectonismo, vulcanismo e litológico. A classificação reconheceu as costas primárias e as costas secundárias. (Ottmann, 1964).

As costas primárias englobam as originadas por:

- processos erosivos continentais, como ocorre nas costas de rias e de fiordes glaciais
- depósitos terrestres, como as planícies aluviais, estuários e deltas
- vulcanismo
- fenômenos diastróficos, como falhas.

As costas secundárias estão representadas por:

- costas resultantes da erosão marinha
- costas construídas por cordões litorâneos, como os tómbolos, flechas e lagunas.

Ottmann (1964) baseado nos trabalhos existentes e em observações consideradas essenciais para a divisão dos tipos de costas, tais como a morfologia submarina e os eventos transgressivos marinhos, elaborou uma nova classificação de costas reconhecidas como costas baixas e costas altas, subdivididas pelos tipos "A", "B", "C", "D" e "E" (Fig. 34).

O tipo "A" corresponde ao trecho de costa caracterizado pela ausência de uma plataforma submarina, onde o perfil morfológico terrestre se prolonga rapidamente até os fundos oceânicos. O subgrupo "A₁" envolve as costas com a morfologia submarina imposta por falhas.

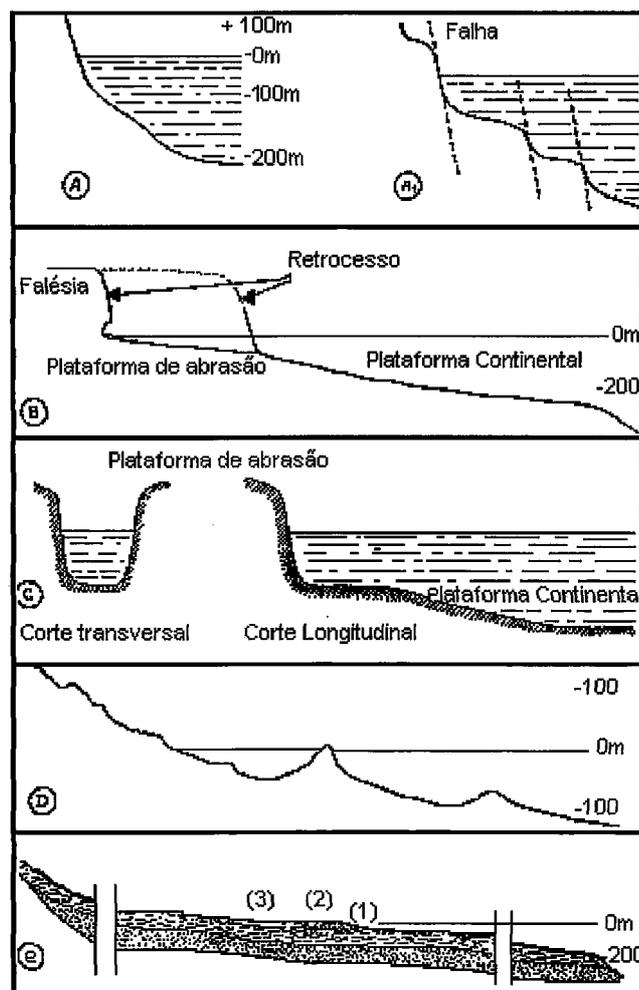


Figura 34 - Classificação de costas (Ottmann, 1964)

O tipo "B" engloba as costas com escarpas verticais, onde o processo erosivo molda uma plataforma de abrasão horizontal, seguida de uma plataforma submarina.

As costas classificadas como "C" caracterizam-se por uma morfologia terrestre escarpada que se prolonga na região submarina, até profundidades variáveis, seguida de uma plataforma continental.

O tipo "D" envolve as costas com formação de lagunas, ilhas barreiras e uma plataforma continental acidentada.

As costas do tipo "E" estão constituídas por um relevo baixo, geralmente com presença de planícies aluviais, onde a área submersa registra os efeitos erosivos e deposicionais dos sistemas fluviais.

Levando-se em consideração a classificação de costas descritas anteriormente, utiliza-se para a área de estudo a classificação proposta por Ottmann (1964), que permite dividir a costa em dois trechos:

- 1) trecho localizado no litoral SE/NW - costa baixa
- 2) Trecho localizado no litoral E/W - costa alta

O trecho denominado de costa baixa na referida pesquisa ocupa o litoral situado nas margens da atual desembocadura do Rio Jaguaribe, onde a linha de costa encontra-se direcionada em SE/NW, sendo esta representada por cordões litorâneos responsáveis pela progradação da costa.

As seções transversais realizadas nesta faixa praiar acusam a existência das feições geomorfológicas, segundo a terminologia de Emery de 1960, citado por Suguio, (1980), conhecidas por pós-praia e estirâncio, subdividido em zona de intramaré e zona de *surf*.

O contato superior da pós-praia (*backshore*) acontece com o início das dunas pertencentes ao sistema eólico, enquanto o inferior encontra-se marcado por microfalésias vivas, com laminações plano paralelas. A superfície da berma molda pequenas ondulações em substrato inconsolidado fixado por gramíneas.

A análise sedimentológica das amostras coletadas nesta feição geomorfológica identifica fácies essencialmente arenosa, com grãos moderadamente selecionados, cujo grau de arredondamento encontra-se no limite de subarredondado a arredondado. Os minerais acessórios estão englobados no

contexto dos minerais pesados, marcados pela associação mineralógica de ilmenita, turmalina, hornblenda e estauroлита.

O estirâncio, zona de intramaré (*foreshore*), compreende a faixa de praia coberta por água salgada durante a maré alta e exposta aos efeitos eólicos durante a maré baixa. A inclinação da superfície desta feição foi medida em campo na ordem de 5° rumo ao mar, estando representada por fácies arenosa, cuja classe modal dominante situa-se no intervalo de areia média. Os grãos são predominantemente de quartzo, sendo encontrados minerais pesados, com associação mineralógica semelhante a da berma.

Na zona de intramaré é comum a presença de marcas onduladas simétricas e assimétricas.

A zona de *surf* tem como limites o nível de maré baixa e a profundidade de arrebentação das ondas, que nesta área acontece em torno da profundidade de 3,0 metros. A deposição de fácies arenosa essencialmente cascalhosa ocorre devido o transporte das frações mais finas em suspensão pela constante movimentação das partículas gerado por intermédio das correntes longitudinais resultantes da arrebentação das ondas (*longshore current*).

A faixa costeira localizada no litoral com direção E-W, classificada como costa alta, está representada por pontas rochosas e falésias vivas, constituídas por sedimentos terciário-quadernário. A presença destas pontas rochosas favorece a formação de trechos abrigados da ação das ondas, caracterizados pela penetração de ondas de menor intensidade, que resulta na deposição de elevada taxa de sedimentação nestas regiões.

A sedimentação neste trecho do litoral ocorre por decantação de partículas finas (fácies areia fina a muito fina), com abundância de fragmentos de mica e minerais pesados. A zona de estirâncio, zona de intermaré, assume uma maior dimensão e menor inclinação em direção a plataforma interna, sendo comum a presença de blocos rochosos na profundidade de 05 a 10 metros, que formam verdadeiros terraços de abrasão.

A morfologia do perfil de praia no trecho considerado como do tipo alto, é semelhante ao tipo "B" da classificação de Ottmann, caracterizado pela presença de paredões verticais na zona de maré alta, em constantes processos erosivos, com

formação de plataformas de abrasão (Fig. 35) e plataforma continental de baixa inclinação.

As falésias que margeiam este trecho do litoral estão representadas por sedimentos areno argilosos, friáveis, de coloração avermelhada, afossilífero, sem estruturas sedimentares preservadas, correspondem aos depósitos terciário-quaternário dos tabuleiros pré-litorâneos da Formação Barreiras.

4.2.4 - Sistema Fluvial

A atual região do baixo curso do Rio Jaguaribe assume, segundo a classificação de Leopold e Wolman de 1964, citado por Suguio e Bigarella, (1990), a configuração de anastomosado (*anastomosing*), caracterizado pela presença de ilhas e áreas bem desenvolvidas de planícies de inundação.

As Ilhas do Pinto e Caldereiro ramificam o curso principal em canais menores, onde a profundidade decresce e o substrato torna-se mais lamoso.

As Ilhas Grande e dos Veados encontram-se inserida no domínio das planícies fluvio marinhas, com formação de extensos manguezais e canais de maré, barrados a leste pelos corpos arenosos do sistema eólico.

Ao longo de todo o curso fluvial pesquisado, a margem direita pode ser denominada como área baixa, onde a influência das águas salinas encontra-se comprovada pela presença marcante de vegetação classificada como floresta perenifólia paludosa marítima, sub-item 1.2.2.2, com espécies de mangue vermelho e mangue branco. Por outro lado, a margem esquerda caracteriza-se por escarpas elevadas formadas por sedimentos avermelhados, descritos no item de número 5.1, onde em certos locais observa-se o arrasamento do relevo elevado e a locação de baxios com presença da vegetação típica da margem direita.

O sistema fluvial mostra direção preferencial de escoamento de aproximadamente N/S, entretanto, nas imediações do lugarejo conhecido por Volta, o curso principal sofre um deslocamento representativo, assumindo a direção de E/W.

Maia (1993), nos estudos de controle tectônicos efetuados na região do baixo Jaguaribe, especificamente da região compreendida entre a cidade de Aracati e a desembocadura do rio, mapeou um sistema complexo de falhas, composto por



Figura 35 - Plataforma de abrasão formada na faixa costeira próxima ao Pontal de Maceió

falhas normais e transcorrentes. O mapa tectônico lançado pelo autor, correlaciona as direções de escoamento do sistema fluvial as feições estruturais mapeadas. Portanto, a causa geradora da inflexão de E/W detectada em Volta, encontra-se inserida no domínio tectônico, cuja falha normal mapeada no local justifica a mudança de direção do escoamento fluvial (Fig. 36).

As intercalações constantes de relevos abruptos com baxios, detectadas ao longo da margem esquerda do Rio Jaguaribe, foram associados a presença dos sucessivos eventos tectônicos, falhas normais e transcorrentes, posicionados transversalmente ao atual curso do rio.

As coletas de sedimentos superficiais realizadas em perfis transversais a calha no sistema fluvial, permitiram mapear as seguintes fácies:

Fácies A: Síltico-argilosa (Fm) localizada nas baixas profundidades das planícies flúvio-marinhas, constituídas por sedimentos imaturos, com presença de gretas de dessecação e estruturas de bioturbação.

Fácies B: Arenosa (Sr) encontrada no talvegue da calha do rio, constituída por areias de tamanho médio, quartzosas com esporádicos grãos de turmalina, hornblenda, fragmentos de mica, matéria orgânica representada por restos de plantas e carapaças de animais tanto de origem fluvial, quanto marinha. Nesses corpos arenosos é comum a presença de marcas ondulares.

Fácies C: Cascalho maciço (Gm) constitui os depósitos do fundo do canal, formados por seixos e areia muito grossa.

4.2.5 - Sistema Deltaico

Bacoccoli em 1971, ao realizar um levantamento das características das desembocaduras dos principais rios que deságuam no oceano Atlântico, mapeou inúmeros deltas holocênicos. Neste trabalho o autor define a desembocadura do Rio Jaguaribe como um delta marinho, em forma de cúspide, do tipo destrutivo dominado por ondas. (Suguio, 1980).

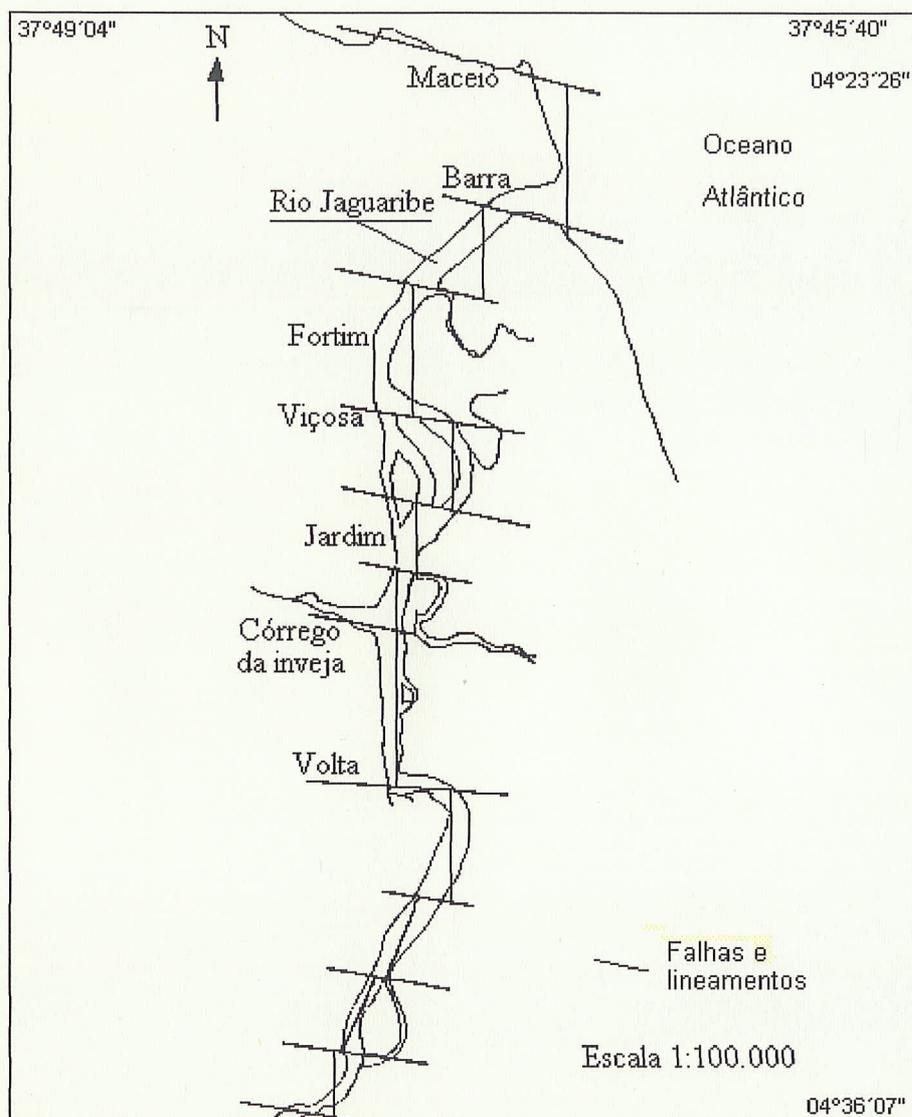


Figura 36 - Controle tectônico do Rio Jaguaribe (Maia, 1993, modificado)

Observações realizadas em fotografias aéreas da região do Baixo Jaguaribe permitiram enquadrar o canal principal do referido curso d'água como padrão anastomosado. Outro dado importante obtido na fotointerpretação foi a caracterização de um direcionamento convergente dos *trends* de arrebentação das ondas em direção a foz do rio, o que indica o prolongamento dos cordões litorâneos em zonas submersas (Fig. 37).

A evolução dos cordões litorâneos pode ser avaliado através da realização de estudos comparativos em fotografias aéreas datadas de 1988 e 1992. Os resultados desta pesquisa revelaram um aumento na deposição de areias nos cordões litorâneos, o que acarretou no acentuado processo de progradação da linha de costa ao longo dos anos (Fig. 32).

A interpretação final das análises realizadas no estudo das fotografias aéreas, juntamente com os dados contidos no mapa faciológico do sistema de plataforma continental, figura 38, induz mapear na área do baixo curso do Rio Jaguaribe um sistema deltaico, com formação de planícies deltaicas subaéreas desenvolvida pela progradação dos cordões litorâneos e planície deltaica submersa (fácies arenosa localizada entre as isóbatas de 05 e 25 metros).

4.2.6 - Sistema de Plataforma Continental

Coutinho (1976) realizou uma compartimentação da plataforma continental do Nordeste do Brasil, levando em consideração as características morfológicas do substrato, as litologias presentes, a relação entre profundidade e fácies sedimentares e as condições ambientais, dividindo o sistema em:

1) Plataforma interna - com profundidade de até 20 metros, onde o relevo apresenta-se pouco acentuado, tendendo à formação de extensas áreas planas com a presença pontuais de colônias de recifes. A fauna encontrada nesta profundidade caracteriza-se por pequenos foraminíferos bentônicos, algumas espécies de moluscos, na maioria das vezes, formando fragmentos biodetríticos na fácies arenosa.

2) Plataforma média - corresponde a faixa de profundidade compreendida entre as isóbatas de 20 a 40 metros, onde o substrato apresenta constantes



Figura 37 - Fotografia aérea datada de 1988, realçando os *trends* de onda, laguna e cordões litorâneos

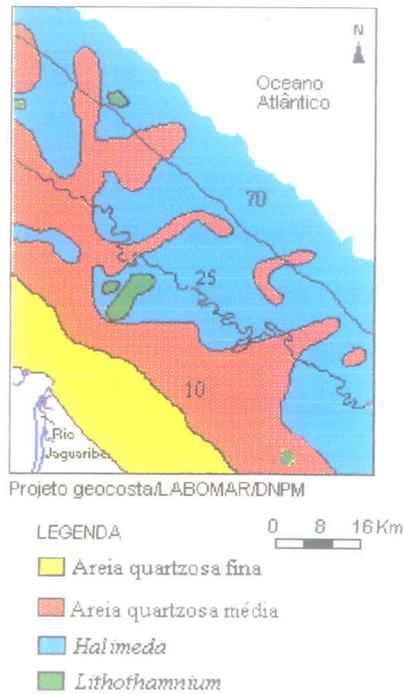


Figura 38 - Mapa de fácies sedimentares da plataforma continental

irregularidades, com a formação de ondulações de altura representativa, cuja sedimentação é caracterizada pela deposição de "maerl".

3) Plataforma externa - corresponde a porção do sistema de plataforma continental localizada após a isóbata de 40 metros até o início do talude continental.

Nesta zona a sedimentação está representada exclusivamente por sedimentos biodetríticos, formados por fragmentos de algas, principalmente as do tipo *Halimeda* e *Lithothamnium*.

Freire (1985), levando em consideração as características da plataforma continental nordestina descrita por Coutinho (1976), dividiu a plataforma do Estado do Ceará em plataforma interna, localizada entre as isóbatas de 0 a 25 metros, e plataforma externa, com profundidade compreendida entre as isóbatas de 25 a 70 metros.

A região da plataforma continental mapeada na presente pesquisa encontra-se localizada entre as isóbatas de 0 a 40 metros, cujos dados sedimentológicos foram levantados por intermédio de análises nas amostras coletadas pelas expedições oceanográficas citadas no capítulo 2, sub-item 2.2.3.2.

A sedimentação da plataforma continental, segundo Emery (1968), está diretamente associada a razão e tipo de suprimento dos sedimentos recebidos no sistema; aos tipos e intensidade do regime hidráulico atuante na região; as flutuações do nível do mar; as condições climáticas; a interação encontrada entre os componentes bióticos e abióticos e a fatores químicos das águas marinhas.

A interpretação da cobertura sedimentar que compõem a atual plataforma continental posicionada em frente da região do Baixo Jaguaribe, revela a existência das fácies sedimentares arenosa e organógena.

No mapa de fácies representado na figura 38, no limite de 0 a aproximadamente 10 metros de profundidade, pode ser observado o predomínio da fácies arenosa composta de sedimentos areno-quartzosos, de textura fina, com uma penetração de areia grossa de depósito de fundo de canal, mapeado por Maia (1993), como paleocanal do Rio Jaguaribe. Nesta profundidade é comum a presença de testemunhos de erosão, representados por blocos de rochas arenosas de mesma constituição das falésias do Pontal.

A fácies arenosa de textura mediana estende-se desde o limite interno com a fácies areia fina, em torno de 10 metros, até a isóbata de 25 metros, onde o relevo é

marcado por irregularidades topográficas, caracterizando o início da demarcação da plataforma externa.

As condições ambientais das águas marinhas favoráveis a proliferação de algas coralíneas começam a ser sentidas a partir da isóbata de 25 metros, onde as amostragens coletaram fragmentos de algas calcárias, principalmente do tipo *Halimeda*, sendo observados núcleos isolados de *Lithothamnium*, que em conjunto caracterizam a fácies organógena. Esta fácies molda uma morfologia de ondulações acentuadas através da formação de bancos calcários, que representa o *habitat* natural da lagosta, crustáceo de intensa representação econômica para a região.

Segundo Freire (1985), a evolução paleogeográfica atual da plataforma continental do Ceará está intimamente ligada com a variação do nível do mar durante o Quaternário, principalmente a transgressão Holocênica.

Os registros de perfis sísmicos e batimétricos, assim como os dados sedimentológicos da plataforma continental do Ceará revelam que a transgressão holocênica aconteceu na região em eventos lentos, descontínuos, interrompidos várias vezes por pequenas regressões, que implicaram na formação de uma superfície erosiva bastante ampla e relativamente rasa. A medida que a transgressão progredia areias transgressivas e/ou algas calcárias capeavam as superfícies erosivas formadas durante os eventos regressivos (Freire, 1985).

A sedimentação terrígena abundante mapeada na atual superfície da plataforma cearense está associada a processos erosivos ocorridos durante as variações do nível do mar, que erodiram as rochas do embasamento cristalino e os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras.

5 - CONCLUSÕES

Os estudos faciológicos realizados na área de atuação da pesquisa permitiram caracterizar, segundo a classificação de Fisher e Brown (1972), os seguintes sistemas deposicionais:

1) Sistema deposicional fluvial entrelaçado - constitui a parte basal das escarpas localizadas na margem esquerda do Rio Jaguaribe, representado pelas

seções colunares: SCN 01 (camada A₁ a A₄)

SCN 02 (camada B₁ a B₁₀)

SCN 03 (camada C₁ a C₄)

SCN 04 (camada D₁ a D₄)

SCN 05 (camada E₁ e E₂)

SCN 06 (camada F₁ a F₄)

SCN 07 (camada G₁ a G₂)

SCN 08 (camada H₁ a H₄)

SCN 09 (camada I₁ e I₂)

SCN 10 (camada J₁ a J₅)

O sistema caracteriza-se pela predominância da estrutura de granodecrescência ascendente, com a base da sequência formada por depósitos cascalhosos (fácies de depósito de canal - Gm) com gradação para arenitos superiores de textura média, com estruturas acanaladas (fácies de migração de barras - Sp). Nas fácies Sp pode-se observar a presença de estruturas de bioturbação e concentração de bolas de argilas dispersas na matriz arenosa. A interpretação ambiental sugeriu a associação do sistema deltaico (planície deltaica), onde as bioturbações estariam inter-relacionadas a perfuração de invertebrados e raízes comuns nos ambientes de planície de inundação do delta.

A interpretação estratigráfica do pacote sedimentar favoreceu a correlação aos sedimentos terciários (Plioceno/Paleoceno) da Formação Tibau, estágio drifte da evolução da Bacia Potiguar.

2) Sistema de leque aluvial - reconhecido nas seções colunares:

SCN 03 (camadas C₅ e C₆)

SCN 04 (camadas D₅ e D₆)

SCN 06 (camadas F₅, F₆ e F₇)

SCN 07 (camadas G₃ e G₄)

SCN 08 (camada H₅)

SCN 10 (camadas J₆ e J₇)

O depósito de leque aluvial caracteriza-se por um pacote sedimentar homogêneo, inconsolidado, de coloração avermelhado, areno-argiloso, que identifica a parte distal do leque.

O depósito foi correlacionado aos sedimentos terciários da Formação Barreiras, correspondente a cobertura sedimentar da fase final de entulhamento da Bacia Potiguar (estágio drifte).

3) Sistema eólico - encontra-se representado por campos dunares, classificados com de primeira, segunda e terceira gerações.

As dunas mais antigas, localizadas sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras, representam as dunas de primeira geração, caracterizadas por uma superfície arrasada, com a presença solos bem desenvolvidos e vegetação arbórea.

As de segunda geração estão associadas as de terceira geração, localizadas na planície costeira. Este grupo de dunas está representado por corpos alongados, direcionados paralelamente à linha de costa, fixadas por uma cobertura vegetal rasteira.

As dunas que migram ao longo da região costeira, por ação contínua dos ventos, representam as de primeira geração. Os estudos realizados nestes cordões dunares caracterizaram como corpos essencialmente arenosos, com altura máxima de 3 metros, modeladas em formas de barcanas, que avançam em direção ao continente em uma direção NE/SW, e em formas de corpos alongados.

O cálculo do transporte sedimentar real atuante nos corpos dunares de terceira geração revelou um valor médio de 0,49 Kg/m/h (base das dunas) e 1,26

Kg/m/h (topo das dunas), o que caracterizou o topo das dunas como área de maior transporte sedimentar.

4) Sistema lagunar - representado por um corpo semi-fechado, de águas salobras, ligado ao mar por um único canal, localizado na planície costeira, litoral de direção SE/NW, cuja origem está relacionada a progradação da linha de costa através da formação dos cordões litorâneos, em um período regressivo.

5) Sistema praial - segundo a classificação de Ottmann (1964) a faixa costeira da área pesquisada foi dividida em dois trechos:

- trecho localizado no litoral SE/SW - costa baixa
- trecho localizado no litoral E/W - costa alta

A costa baixa caracteriza-se pela presença dos cordões litorâneos, cujo perfil de praia encontra-se representado por estirâncio, de baixa declividade; berma, com formação de microfalésias e corpos dunares, de segunda e terceira gerações.

O trecho de praia denominado de costa alta encontra-se localizado no litoral de direção E/W, representado por falésias vivas, constituídas por sedimentos terciário-quadernário da Formação Barreiras. Neste trecho a zona de estirâncio é marcada por uma sedimentação fina, areno-siltosa, onde é comum a presença de plataforma de abrasão, que retratam o efeito erosivo das ondas e maré.

6) Sistema fluvial anastomosado - encontra-se representado pelos depósitos atuais do Rio Jaguaribe, cujas características morfológicas permitem individualizar os depósitos flúvio-marinhos na margem direita do baixo curso. Enquanto, a margem esquerda caracteriza-se pela presença de paredões escarpados em sedimentos da Formação Tibau e Barreiras.

As variações nas formas de relevo detectadas na margem esquerda do Rio Jaguaribe, marcada pela intercalação de paredões escarpados e baxios, segundo levantamento tectônico realizado por Maia (1993), está associado a reativação de falhas do embasamento e lineamentos.

Os estudos sedimentológicos realizados nas amostras coletadas em perfis transversais ao curso do rio, permitiram mapear as seguintes fácies sedimentares:

Fácies A: Siltico-argilosa (Fm) localizada nas baixas profundidades das planícies flúvio-marinhas, constituídas por sedimentos imaturos, com presença de gretas de dessecação e estruturas de bioturbação.

Fácies B: Arenosa (Sr) encontrada no talvegue da calha do rio, constituída por areias de tamanho médio, quartzosas com esporádicos grãos de turmalina, hornblenda, fragmentos de mica, matéria orgânica representada por restos de plantas e carapaças de animais tanto de origem fluvial, quanto marinha. Nesses corpos arenosos é comum a presença de marcas ondulares.

Fácies C: Cascalho maciço (Gm) constitui os depósitos do fundo do canal, formados por seixos e areia muito grossa.

7) Sistema deltaico - identificado através de estudos realizados em fotografias aéreas e análise na batimetria da plataforma interna, o sistema caracteriza-se por depósitos essencialmente arenosos, correspondentes a progradação da linha de costa, o que reflete os diversos eventos regressivos atuantes durante a evolução da morfologia costeira da área.

A morfologia deltaica mapeada no baixo curso do Rio Jaguaribe constitui a formação de planície deltaica subaérea (cordões litorâneos) e planície deltaica submersa (fácies arenosa localizada entre as isóbatas de 05 e 15 metros).

8) Sistema de plataforma continental - segundo classificação de Coutinho (1976) a plataforma continental do Estado do Ceará pode ser dividida em: plataforma interna e plataforma externa.

A plataforma interna localiza-se entre as isóbatas de 0 e 25 metros, enquanto a plataforma externa compreende as isóbatas de 25 a 70 metros de profundidade.

O mapa de fácies da plataforma continental revela as seguintes fácies sedimentares:

- Fácies areno-quartzosas, de textura fina, no intervalo de 0 a 10 metros.
- Fácies arenosa de textura mediana, que se estende desde o limite interno com a fácies areia fina, em torno de 10 metros, até a isóbata de 25 metros.
- Fácies organógena, com a presença de *Lithothamnium* e *Halimeda*, a partir da isóbata de 25 metros.

A evolução paleogeográfica da atual plataforma continental do Estado do Ceará, segundo Freire (1985), está intimamente ligada a variação do nível do mar durante o Quaternário, principalmente a transgressão Holocênica.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS, M.M. et al. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no nordeste oriental. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, 1988, Belém. Anais. Belém: SBG, 1988. v.2, p. 753 - 760.
- ANDRADE, E. Geologia sedimentar da costa de Aracati-Icapuí, no Estado do Ceará - Brasil. Recife, 1986. 127p. Dissertação (Mestrado) - UFPE. CT. Mestrado em Geociências, 1986.
- BAPTISTA, M.B.; BRAUN, O.P.G.; CAMPOS, D. de A. (coord.). Léxico estratigráfico do Brasil. Brasília: DNPM, 1984. 560p.
- BERTANI, R.T. ; COSTA, I.G. ; MATOS, R.M.D. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1990. 415p., p. 291 - 310.
- BITTENCOURT, A.C.S.P. et al. Quaternary marine formations of coast of the State of Bahia (Brasil). IN: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EVOLUÇÃO COSTEIRA DO QUATERNÁRIO, 1979, São Paulo. Atas. São Paulo: SBG, 1979, 380p, p. 232 - 253.
- CASTRO, J.W.A. et al. influência da geologia ambiental e oceânica sobre o processo erosivo da praia da Caponga, Ceará. IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15, 1993, Natal: SBG Núcleo do Nordeste, 1993. 382p., p. 64 - 65. (Boletim, 13).
- COUTINHO, P.N. Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe. Recife, 1976. 112p. Tese (Livre docente) - UFPE. CT. Geologia Marinha, 1976.
- EMERY, K.O. Relict sediments on continental shelves of world. Bulletim of the Americam Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, v. 52, n.3, p. 445 -464, mar. 1968.

- FEITOSA, M.C. ; NEUMANN, V.H. Petrografia e diagenese dos sedimentos arenosos da Formação Tibau (Tibau-RN). IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. Anais, São Paulo: SBG, 1992. v.2, p. 436 - 438.
- FIGUEIREDO, P. M. Turismo. IN: SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO (CE). Atlas do Ceará. Fortaleza: Secretaria de Planejamento e Coordenação/Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, 1989. 57 p., p. 42 - 43.
- FISHER, W.L. ; BROWN JR., L.F. Classic depositional systems: a genetic approach to facies analysis. Austin: Bureau of Economic Geology/ the University of Texas, 211p.
- FOLK, R.L. ; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, Urbana, Il, v. 27, n. 1, p. 3 - 27, mar, 1957.
- FREIRE, G.S.S. Geologia marinha da plataforma continental do Estado do Ceará. Recife, 1985. 135p. Tese (Mestrado) - UFPE.CT. Mestrado em Geociências, 1985.
- FREIRE, G.S.S. Estudo sedimentológico e geoquímico dos sedimentos de mangues do estuário do Rio Pirangi. Fortaleza/CE: Laboratório de Ciências do Mar/ UFC, Relatório enviado ao CNPq. 1995. 49p.
- KLEMME, H.D. The giants and the super-giants. Part 2: to find a giant, find the right basin. Oil Gas Journal, Tulsa, OK, v. 69, n. 10, p. 103 - 110. 1971.
- LEHUGEUR, L.G.O. Caracterização sedimentar de parte do sistema deposicional leques aluviais da Província Costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1992, 187p. Tese (Doutorado) - UFRGS. Curso de Pós-Graduação em Geociências, 1992.
- LEITE, C.E.S. ; FRANCELINO, F.C.P. Recursos Hídricos. IN: SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO (CE). Atlas do Ceará. Fortaleza: Secretaria de Planejamento e Coordenação/Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, 1989. 57p., p. 22 -23.
- MABESOONE, J.M. Microfácies de sedimentos clásticos. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v. 4, n.4, p. 207 -214, dez. 1974.

- MABESOONE, J.M. Uma nova aproximação na análise faciológica de depósitos fluviais. IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12, 1986, João Pessoa. Atas. João Pessoa: SBG, Núcleo do Nordeste, 1986. 383p., p. 15 - 19.
- MAIA, L.P. Controle tectônico e evolução geológica sedimentológica da região da desembocadura do Rio Jaguaribe - Ceará. Recife: 1993. 144p. Dissertação (Mestrado) - UFPE.CT. Mestrado em Geociências, 1993.
- MEDEIROS, R.A. Sistemas deposicionais. IN. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camburiú. SBG, 1980. 53 - 63p. (Boletim 5).
- MEIRELES, A.J.A. et al. Geologia ambiental da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Estado do Ceará: mapa de categorias e utilização. IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14, 1991, Natal. Atas. Natal: SBG, Núcleo do Nordeste, 1991. 556p., p. 100 - 104. (Boletim 12).
- MENEZES, M.P.N. Estudo geológico da região costeira de Parajuru - Maceió (Ceará). Fortaleza: UFCE/DEGEO. 1984. 60p. Relatório de Graduação.
- MIALL, A.D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth-Science Reviews, Amesterdan, v. 22, n.4, p. 261 - 308, Dec. 1985.
- MORAIS, J.O. Aspectos correlativos de geologia do litoral e zona submarina no Nordeste do Brasil. Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 9, n.2, p. 127 - 131, dez. 1969.
- MORAIS, J.O. ; SOUSA, M.J.N. ; COUTINHO, P.N. Contribuição ao estudo geomorfológico-sedimentológico do litoral de Beberibe (Ceará - Brasil). Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v.15, n.2, p. 71 - 78, dez, 1975.
- MORAIS, J.O. ; MEIRELES, A.J.A. Riscos geológicos associados a dinâmica costeira na praia da Caponga, município de Cascavel, Estado do Ceará. Revista de Geologia, Fortaleza, v. 5, p. 139 - 145. 1992.
- OJEDA, H. ; REBELO, E.S. Bacia Potiguar (parte emersa). Integração Geológica Regional de Dados Exploratório. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, DEBAR/DOTEC, 1982. 71p.
- OTTMANN, F.C. Introducción a la geología marina y litoral. Buenos Aires: EUDEBA, 1964. 287p.
- PROJETO RADAM/BRASIL. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: MME/Secretaria geral, 1981. v. 23, 740p.

- MABESOONE, J.M. Uma nova aproximação na análise faciológica de depósitos fluviais. IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12, 1986, João Pessoa. Atas. João Pessoa: SBG, Núcleo do Nordeste, 1986. 383p., p. 15 - 19.
- MAIA, L.P. Controle tectônico e evolução geológica sedimentológica da região da desembocadura do Rio Jaguaribe - Ceará. Recife: 1993. 144p. Dissertação (Mestrado) - UFPE.CT. Mestrado em Geociências, 1993.
- MEDEIROS, R.A. Sistemas deposicionais. IN. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camburiú. SBG, 1980. 53 - 63p. (Boletim 5).
- MEIRELES, A.J.A. et al. Geologia ambiental da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Estado do Ceará: mapa de categorias e utilização. IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14, 1991, Natal. Atas. Natal: SBG, Núcleo do Nordeste, 1991. 556p., p. 100 - 104. (Boletim 12).
- MENEZES, M.P.N. Estudo geológico da região costeira de Parajuru - Maceió (Ceará). Fortaleza: UFCE/DEGEO. 1984. 60p. Relatório de Graduação.
- MIALL, A.D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth-Science Reviews, Amesterdan, v. 22, n.4, p. 261 - 308, Dec. 1985.
- MORAIS, J.O. Aspectos correlativos de geologia do litoral e zona submarina no Nordeste do Brasil. Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 9, n.2, p. 127 - 131, dez. 1969.
- MORAIS, J.O. ; SOUSA, M.J.N. ; COUTINHO, P.N. Contribuição ao estudo geomorfológico-sedimentológico do litoral de Beberibe (Ceará - Brasil). Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v.15, n.2, p. 71 - 78, dez, 1975.
- MORAIS, J.O. ; MEIRELES, A.J.A. Riscos geológicos associados a dinâmica costeira na praia da Caponga, município de Cascavel, Estado do Ceará. Revista de Geologia, Fortaleza, v. 5, p. 139 - 145. 1992.
- OJEDA, H. ; REBELO, E.S. Bacia Potiguar (parte emersa). Integração Geológica Regional de Dados Exploratório. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, DEBAR/DOPEC, 1982. 71p.
- OTTMANN, F.C. Introducción a la geología marina y litoral. Buenos Aires: EUDEBA, 1964. 287p.
- PROJETO RADAM/BRASIL. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: MME/Secretaria geral, 1981. v. 23, 740p.