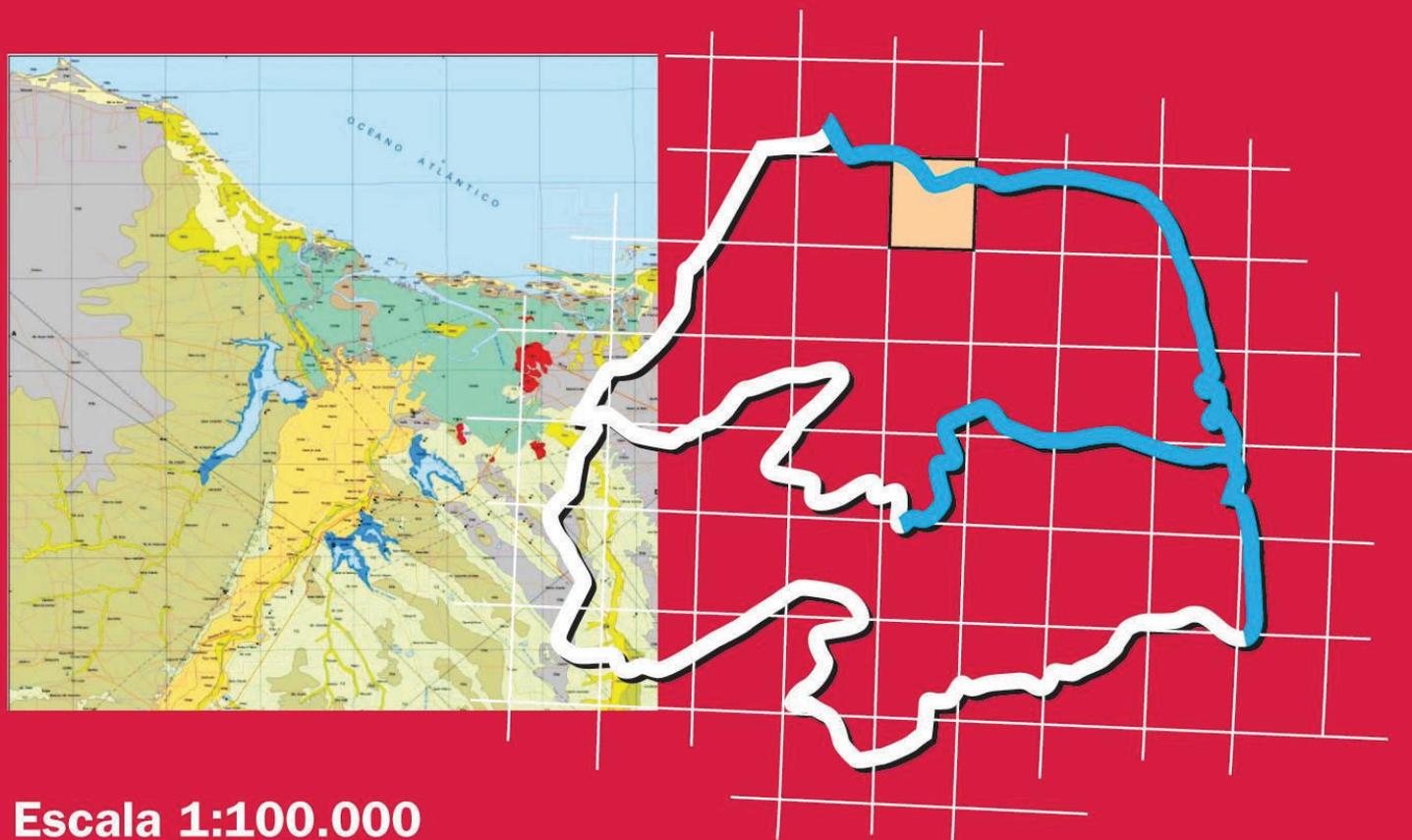


**Programa Geologia do Brasil  
Levantamentos Geológicos Básicos**

# **GEOLOGIA DA FOLHA MACAU\* SB.24-X-D-II**

Sistema de Informações Geográficas – SIG



**Escala 1:100.000  
2009**

\* PARCERIA COM A UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO NORTE – UFRN

 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

EDSON LOBÃO  
*Ministro*

**Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

CLÁUDIO SCLIAR  
*Secretário*

**CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

AGAMENON SÉRGIO LUCAS DANTAS  
*Diretor-Presidente*

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO  
*Diretor de Geologia e Recursos Minerais*

JOSÉ RIBEIRO MENDES  
*Diretor de Hidrogeologia e Gestão Territorial*

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO  
*Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

EDUARDO SANTA HELENA  
*Diretor de Administração e Finanças*

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN**

JOSÉ IVONILDO DO RÊGO  
*Reitor*

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
FRANCISCO OLIVEIRA DA SILVA  
*Chefe*

***PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL***  
***Contrato CPRM- UFRN N.º. 069/PR/05***

*Brasília, 2009*



Secretaria de Geologia,  
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de  
Minas e Energia



## APRESENTAÇÃO

O Programa Geologia do Brasil (PGB), desenvolvido pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, é responsável pela retomada em larga escala dos levantamentos geológicos básicos do país. Este programa tem por objetivo a ampliação acelerada do conhecimento geológico do território brasileiro, fornecendo subsídios para novos investimentos em pesquisa mineral e para a criação de novos empreendimentos mineiros, com a conseqüente geração de novas oportunidades de emprego e renda. Além disso, os dados obtidos no âmbito desse programa podem ser utilizados em programas de gestão territorial e de recursos hídricos, dentre inúmeras outras aplicações de interesse social.

Destaca-se, entre as ações mais importantes e inovadoras desse programa, a estratégia de implementação de parcerias com grupos de pesquisa de universidades públicas brasileiras, em trabalhos de cartografia geológica básica na escala 1:100.000. Trata-se de uma experiência que, embora de rotina em outros países, foi de caráter pioneiro no Brasil, representando uma importante quebra de paradigmas para as instituições envolvidas. Essa parceria representa assim, uma nova modalidade de interação com outros setores de geração de conhecimento geológico, à medida que abre espaço para a atuação de professores, em geral líderes de grupos de pesquisa, os quais respondem diretamente pela qualidade do trabalho e possibilitam a inserção de outros membros do universo acadêmico. Esses grupos incluem também diversos pesquisadores associados, bolsistas de doutorado e mestrado, recém-doutores, bolsistas de graduação, estudantes em programas de iniciação científica, dentre outros. A sinergia resultante da interação entre essa considerável parcela do conhecimento acadêmico nacional com a excelência em cartografia geológica praticada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) resulta em um enriquecedor processo de produção de conhecimento geológico que beneficia não apenas a academia e o SGB, mas à toda a comunidade geocientífica e à indústria mineral.

Os resultados obtidos mostram um importante avanço, tanto na cartografia geológica quanto no estudo da potencialidade mineral e do conhecimento territorial em amplas áreas do território nacional. O refinamento da cartografia, na escala adotada, fornece aos potenciais usuários, uma ferramenta básica, indispensável aos futuros trabalhos de exploração mineral ou aqueles relacionados à gestão ambiental e à avaliação de potencialidades hídricas, dentre outros.

Além disso, o projeto foi totalmente desenvolvido em ambiente SIG e vinculado ao Banco de Dados Geológicos do SGB (GEOBANK), incorporando o que existe de atualizado em técnicas de geoprocessamento aplicado à cartografia geológica e encontra-se também disponível no Portal do SGB [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

As metas físicas da primeira etapa dessa parceria e que corresponde ao biênio 2005-2006, foram plenamente atingidas e contabilizam 41 folhas, na escala 1:100.000, ou seja aproximadamente 1,5% do território brasileiro. As equipes executoras correspondem a grupos de pesquisa das seguintes universidades: UFRGS, USP, UNESP, UnB, UERJ, UFRJ, UFMG, UFOP, UFBA, UFRN, UFPE e UFC.

Este CD contém a *Nota Explicativa da Folha Macau*, juntamente com o *Mapa Geológico na escala 1:100.000 (SB.24-X-D-II)*, em ambiente SIG, executado pela UFRN, através do Contrato CPRM-UFRN N°069/PR/05.

Brasília, abril de 2009

AGAMENON DANTAS  
Diretor Presidente

MANOEL BARRETTO  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

**PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL**  
Contrato CPRM-UFRN N°. 069/PR/05

**NOTA EXPLICATIVA DA FOLHA**

**MACAU**  
(SB.24-X-D-II)  
1:100.000

**AUTORES**

Francisco Hilário Rego Bezerra, Ricardo Farias do Amaral,  
Francisco Oliveira da Silva, Maria Osvalneide Lucena Sousa,  
Vanildo Pereira da Fonseca, Marcela Marques Vieira

COORDENAÇÃO GERAL  
Francisco Hilário Rego Bezerra

**APOIO INSTITUCIONAL DA CPRM**

*Departamento de Geologia-DEGEO*  
Inácio Medeiros Delgado

*Divisão de Geologia Básica-DIGEOP*  
Reginaldo Alves dos Santos

*Divisão de Geoprocessamento-DIGEOP*  
João Henrique Gonçalves

*Edição do Produto*  
*Divisão de Marketing-DIMARK*  
Ernesto von Sperling

*Gerência de Relações Institucionais e*  
*Desenvolvimento - GERIDE/ SUREG-BH*  
Marcelo de Araújo Vieira

Brysa de Oliveira  
Elizabeth de Almeida Cadête Costa  
M. Madalena Costa Ferreira  
Rosângela Gonçalves Bastos de Souza  
Silvana Aparecida Soares

*Representante da CPRM no Contrato*  
Adeilson Alves Wanderley

**APOIO TÉCNICO DA CPRM**

*Supervisor Técnico do Contrato*  
Luiz Carlos da Silva

*Apoio de Campo*  
Vladimir Cruz de Medeiros

*Revisão do Texto*  
Vladimir Cruz de Medeiros  
Luiz Carlos da Silva

*Organização e Editoração*  
Luiz Carlos da Silva  
Carlos Augusto da Silva Leite

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM/Serviço Geológico do Brasil.

Macau- SB.24-X-D-II, escala 1:100.000: nota explicativa./ Francisco Hilário Rego Bezerra, Ricardo Farias do Amaral, Francisco Oliveira da Silva, Maria Osvalneide Lucena Sousa, Vanildo Pereira da Fonseca, Marcela Marques Vieira.- Rio Grande do Norte: UFRN /CPRM, 2007.

63p; 01 mapa geológico (Série Programa de Geologia do Brasil – PGB) versão em CD-Rom.

Conteúdo: Projeto desenvolvido em SIG – Sistema de Informações Geográficas utilizando o GEOBANK – Banco de dados.

1- Geologia do Brasil- I- Título II- Bezerra, F.H.R., Coord. III- Amaral, R.F. IV- Silva, F.O.  
V- Sousa, M.O.L. VI- Fonseca, V.P. VII- Vieira, M.M.

CDU 551(815)  
ISBN 978-85-7499-035-4

## RESUMO

---

O presente relatório é parte do Programa Geologia do Brasil, realizado através de um convênio celebrado entre o Ministério das Minas e Energia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, representada pela Fundação de Pesquisa do Rio Grande do Norte (FUNPEC). A área de estudo corresponde às Folhas Macau (SB.24-X-D-II e SB.24-X-V), doravante designadas apenas de **Folha Macau**.

Este relatório corresponde ao: (a) levantamento e compilação de dados da bibliografia; (b) descrição de dados de campo, de recursos minerais e geoquímicos; (c) apresentação do mapa geológico na escala 1:100.000.

Na compilação preliminar, foram utilizados 17 mapas geológicos derivados de relatórios de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado feitos na área da Folha Macau. Além destes, inúmeros artigos completos, resumos expandidos apresentados em congressos e relatórios inéditos foram usados para subsidiar as informações preliminares aqui apresentadas.

No mapeamento geológico, dezesseis unidades litoestratigráficas formais e informais foram identificadas, a saber: Suíte Magmática Poço da Cruz, Formação Açu, Formação Jandaíra, Grupo Barreiras, Formação Tibau, Magmatismo Macau, Depósitos aluvionares antigos, Depósitos flúvio-marinhos, Depósitos flúvio-lacustrinos, Depósitos aluvionares de canal, Depósitos aluvionares de planície de inundação, Depósitos eólicos litorâneos não vegetados, Depósitos eólicos litorâneos vegetados, Depósitos litorâneos praias e Depósitos de mangue.

As unidades descritas acima, sobretudo aquelas de idade pré-quadernária, são afetadas por sistemas de falhas de direção NE e NW.

Os recursos minerais identificados incluem areia, cascalho, "pedras britadas", argila, calcário, gipsita, petróleo e gás natural.

## **ABSTRACT**

---

This report is part of the Brazilian Program of Basic Geology, which is part of a link among the Brazilian Ministry of Mines and Energy, Company of Research and Mineral Resources of the Brazilian Government, and the Federal University of the state of Rio Grande do Norte. The study area corresponds to the Macau sheet (SB24-X-D-II e SB24-X-V).

This report describes the compilation of bibliographic and fieldwork data, as well as the description of the Geological map (scale 1:100,000), mineral resources and geochemistry of the Macau area.

Seventeen geological maps were used in the initial phase that corresponded to the compilation of previous data. These maps included graduate reports and Msc and PhD theses. Several papers presented in conferences and published in scientific journal were used in order to subsidize the information presented in this report.

Sixteen informal and formal lithostratigraphic units were identified: Poço da Cruz suite, Açu Formation, Jandaíra Formation, Barreiras Group, Tibau Formation, Macau Magmatism, Old alluvial deposits, Channel Alluvial deposits, Flood plain alluvial deposits, Fluvio-lacustrine deposits, Mangrove deposits, Fluvio-marine deposits, Deflation-alluvial deposits, Non vegetated aeolian-coastal deposits, Vegetated aeolian-coastal deposits, Coastal-beach deposits.

The units described above, mainly the pré-Quaternary ones, were affected by NE- and NW-trending faults.

The mineral resources of the study area include sands, gravels, clays, limestones, gipsites, oil and natural gas.

## SUMÁRIO

---

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Clima .....	1
1.2 Geomorfologia .....	2
1.3 Parâmetros Oceanográficos.....	4
1.4 Hidrogeologia .....	5
1.5 Vegetação .....	5
1.6 Aspectos Sócio Econômicos.....	6
2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	7
2.1 Introdução .....	7
2.2 Embasamento Cristalino.....	7
2.3 Litoestratigrafia da Bacia Potiguar.....	8
2.4 Coberturas Recentes.....	11
2.5 Arcabouço Estrutural da Bacia Potiguar.....	12
2.6 Evolução Tectono - Sedimentar da Bacia Potiguar .....	13
3. ESTRATIGRAFIA.....	16
3.1 Embasamento Cristalino.....	17
3.1.1 Suíte Magmática Poço da Cruz .....	17
3.2 A Bacia Potiguar.....	17
3.2.1 Unidades Litoestratigráficas .....	18
4. PETROLOGIA .....	32
4.1 Aspectos Diagenéticos Relacionados à Formação Açú.....	32
4.2 Aspectos Diagenéticos Relativos à Formação Jandaíra.....	32
4.3 Formação Tibau .....	33
4.4 Magmatismo Macau .....	33
4.5 Grupo Barreiras .....	34
4.6 Depósitos Aluvionares Antigos.....	34
4.6.1 Conglomerados.....	34
4.6.2 Arenitos.....	34
4.7 Depósitos Aluvionares de Canal .....	35
5. GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÔNICA .....	36
5.1 Introdução .....	36
5.2 Caracterização estrutural.....	37
5.3 Aspectos Morfoestruturais .....	42
6. RECURSOS MINERAIS E CONTROLES DAS MINERALIZAÇÕES .....	44
7. CONSIDERAÇÕES SOBRE O POTENCIAL ECONÔMICO .....	51
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	53
9. SÚMULA DE DADOS FÍSICOS .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## **1. INTRODUÇÃO**

---

O presente relatório é parte do projeto PROGRAMA DE LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL, executado a partir de um convênio entre o Ministério das Minas e Energia, através da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), representada pela Fundação de Pesquisa e Cultura do Rio Grande do Norte (FUNPEC).

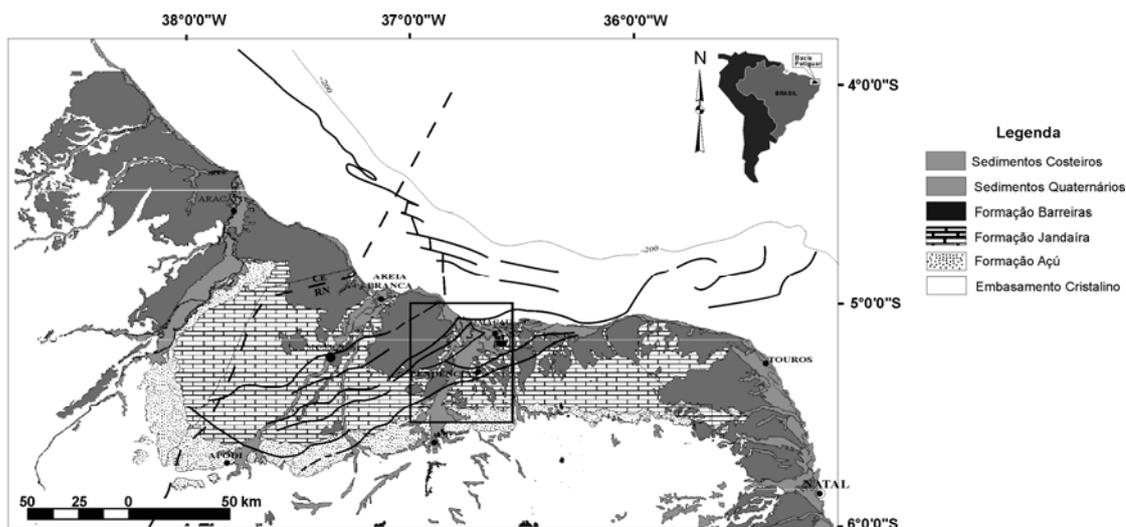
O relatório aqui apresentado refere-se aos trabalhos de compilação de dados e mapeamento geológico e de recursos minerais das Folhas Macau (SB.24-X-D-II e SB.24-X-V), a partir de agora integradas em um único mapa referido como Folha Macau, tendo em vista a pequena área representada na segunda folha. A área cartografada localiza-se no Estado do Rio Grande do Norte entre os paralelos 04° 55' - 05° 30' de latitude sul e os meridianos 36° 30' - 37° 00' de longitude oeste.

Do Ponto de vista geológico, a Folha Macau engloba rochas precambrianas (Suíte Magmática Poço da Cruz), seqüências vulcanossedimentares meso-cenozóicas, relacionadas à Bacia Potiguar, e registros sedimentares fluviais e costeiros quaternários (Figura 1). Serão descritos, a seguir, aspectos geográficos da Folha Macau.

### **1.1 Clima**

A área objeto deste trabalho está localizada numa região de clima semi-árido quente, correspondendo a um clima tropical equatorial. Os municípios de Assu e Macau caracterizam-se por apresentar temperaturas mensais elevadas durante todo o ano (média anual de 29° C). Os meses mais frios, com temperatura média de cerca de 24°C, ocorrem entre junho e julho; novembro é o mês que melhor caracteriza a estação quente, com temperatura máxima freqüentemente ultrapassando 40°C (registros do Instituto de Meteorologia). A seca perdura por cerca de 7 a 8 meses (junho a janeiro) e a estação chuvosa vai de janeiro/fevereiro a maio (período úmido), com um período superúmido (precipitação superior a 100mm) de março a meados de maio.

As precipitações médias anuais são inferiores a 900mm, com máximos associados a Serra de Santana e mínimos na região de Macau (600mm anuais). O recorte litorâneo orientado praticamente na direção leste - oeste não é favorável a umidificação, isto é, maior freqüência de chuvas, tendo em vista que a circulação dos ventos alíseos também ocorre preferencialmente segundo essa direção.



**Figura 1:** Arcabouço litoestrutural da Bacia Potiguar (Bertani *et al.*, 1990), com destaque para a localização da Folha Macau (retângulo). As falhas da fase rifte estão marcadas como linhas sobre as unidades litoestratigráficas.

Os ventos sopram de leste (E) e de nordeste (NE), como pode ser deduzido pela direção de deslocamento das areias eólicas (paleodunas e dunas modernas); as direções dos ventos obtidas instrumentalmente, nas cidades de Guamaré e Macau corroboram tal interpretação. A distribuição sazonal das direções dos ventos não apresenta grandes variações, ocorrendo apenas mudanças na frequência, sendo que os ventos NE ocorrem mais durante o inverno. A velocidade dos ventos é maior durante a estação seca (máxima de 30km/h em outubro, com rajadas que podem superar 50km/h) e menor durante o inverno (mínima de 2km/h, em abril, a calmaria efêmera).

## 1.2 Geomorfologia

A região em tela compreende representantes das seguintes Unidades de Relevo: *Planaltos Residuais*, *Depressão Sertaneja*, *Tabuleiros Costeiros* e a *Planície Litorânea*. Os elementos do relevo associados são: *Serra de Santana* e *Inselbergs* (Planaltos Residuais), *Chapada Carbonática* e *Serra do Mel* (Tabuleiros Costeiros), *Planície do Rio Piranhas – Açú* (a qual modela a Depressão Sertaneja e os Tabuleiros Costeiros), *Planície de Maré* e *Praias e Paleopraias* (Planície Litorânea).

O relevo da região apresenta máximas altitudes associado a Serra de Santana (com cotas superiores a 700 metros), sendo que esta serra é tomada como divisor de águas das sub-bacias do médio- para o baixo- Piranhas-Açú.

A Serra de Santana configura-se como uma feição tabular de vertentes íngremes (*mesa*), suportada pelos sedimentos terciários da Formação Serra dos Martins. O capeamento sedimentar alcança em média 60m, repousando, em discordância erosiva, sobre as rochas precambrianas. Os *Inselbergs* correspondem a morros isolados (Serra Branca, Serra da Pindoba, etc.) de vertentes íngremes e cotas de até 600 metros, que se destacam na topografia arrasada. Relacionam-se, em geral, a corpos graníticos que resistiram aos processos de erosão diferencial associados às variações climáticas quaternárias.

Os terrenos sedimentares ocorrem a partir do paralelo de Assu (aproximadamente 5°35' S). A morfologia da unidade arenítica (Formação Açú) marca a transição entre a área do embasamento e a Bacia Potiguar; o relevo é plano-ondulado sem expressivos ressaltos, exceto na região da Serra do Cuó, onde a sua associação à soleira de rochas vulcânicas basálticas (Formação Serra do Cuó) define um importante ressalto topográfico modelado pelo rio Pataxós. A transição arenito – calcário é caracteristicamente marcada por um ressalto topográfico (*cuesta*), sendo que o contato entre essas duas unidades possui um traçado bastante irregular. A rede de drenagem instalada sobre a chapada carbonática é esparsa e possui padrão caracteristicamente paralelo (com orientação preferencial NW-SE) a angular (NW-SE x NE-SW).

As unidades vulcânicas são de expressão areal mais restrita e seguem a tendência geral da topografia das unidades sedimentares, com exceção da ocorrência na região de Pedrinhas (nas proximidades da Serra do Cuó, a sul de Ipanguaçu), onde estas constituem um ressalto topográfico (cota de 62m) tabular destacado na paisagem (*meseta*).

Os sedimentos relacionados ao Grupo Barreiras são encontrados na porção norte da área estudada. A Serra do Mel constitui uma elevação alongada na direção NE-SW e marca o interflúvio Açú – Mossoró. Suportada por sedimentos pouco coesos (Grupo Barreiras), os sedimentos definem uma rede de drenagem dendrítica grosseira e bordas suavizadas (na transição com a chapada carbonática) a íngremes (na transição para a Planície Costeira). Uma outra expressão topográfica ocorre na região de Mangue Seco (a leste de Macau), onde esses arenitos suportam uma elevação de caráter dômico atestado pelo padrão anelar da drenagem naquele domínio.

A Planície do Rio Piranhas – Açú representa a maior expressão morfológica da área estudada. Em seu baixo curso (Rio Açú) mostra uma nítida assimetria na bacia de drenagem, predominando os afluentes de sua margem direita (rios Santana, Pataxós e Amargoso são os principais) sobre os da margem esquerda (somente o rio Paraú se destaca). A rede de drenagem mostra padrões variáveis, desde dendrítico (na área de exposição do embasamento cristalino) a angular (domínio sedimentar relacionado à Bacia Potiguar). Anomalias de drenagem são bastante comuns, sendo que o paralelismo denso de tributários é a principal feição observada, notadamente na confluência dos rios Pataxós e Açú (região de Ipanguaçu) e na calha do rio Açú (margem esquerda do rio Açú, entre Assu e o norte Carnaubais).

A bacia de drenagem é alimentada pelas chuvas e por águas subterrâneas. O regime climático de semi-aridez impõe o regime de intermitência aos cursos principais e de efemeridade às drenagens das cabeceiras. A perenidade observada nos rios Açú e Pataxós é derivada da construção da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (regionalmente conhecida como “Barragem de Açú”), através do controle do sangradouro, bem como a construção de um canal concretado para a transposição das águas da barragem para o baixo curso do rio Pataxós.

A Planície do Rio Açú modela a paisagem geral da área. No domínio do embasamento (segmento a sul de Assu), a dissecação produz uma superfície arrasada (com cotas predominantemente no intervalo 70 - 120 metros) e morros testemunhos (*inselbergs*). Nas áreas sedimentares, os gradientes do talvegue e das encostas são mais suaves e a superfície dos terrenos, nas áreas interfluviais, é mais aplainado, com gradientes suaves e cota máxima associada a Serra do Mel (222 metros).

A transição da *Planície Aluvionar* para a *Planície Costeira* ocorre a partir de Pendências. A topografia rebaixada, o baixo gradiente e o aprofundamento do talvegue, associados à espessura da cobertura colúvio-aluvionar permitem que a influência da água do mar atinja regiões tão longínquas, quanto o Alto dos Rodrigues a cerca de 30km do litoral atual.

A Planície Costeira está representada por uma ampla Planície de Maré, pelas Praias e Paleopraias, pelo estuário moderno e paleo-delta do rio Açu; a atual planície costeira foi moldada sobre linhas de praia e plataforma continental pretéritas.

A *Planície de Maré* constitui uma área plana, de baixas altitudes. As áreas "altas" apresentam cotas de 5 metros, em média, e máximas de 16 metros, em morros isolados, normalmente dunas e/ou paleodunas. Esta superfície é recortada e alimentada pelos *canais de maré*; sendo que o fluxo subterrâneo é dificultado pela natureza argilosa de parte do perfil sedimentar.

As praias são constituídas por areias médias e finas principalmente derivadas do aporte de sedimentos relacionado à deriva litorânea, constituindo também esporões arenosos, como é o caso da Ponta de Tubarão. As praias são dissipativas, associadas a uma plataforma interna de baixo gradiente. A região do pós-praia pode estar representada por dunas e campos de dunas (onde se destaca o campo de dunas de Rosado) ou por canais de maré desenvolvidos imediatamente atrás dessas praias em formação (em associação às barras arenosas). Uma paleopraia aflorante está caracterizada a sudeste de Porto do Mangue, caracterizada pela associação entre arenitos de praia (*beachrocks*, na localidade de Logradouro) e montes de areias avermelhadas (paleodunas, como as de Barreira Vermelha).

A foz do rio Açu configura um canal principal alargado e sinuoso, dominado pelo regime de meso-maré. A ligação deste canal ao Riacho dos Cavalos (margem esquerda, nas proximidades da localidade Carão) faz com que alguns autores interpretem essa associação a um delta moderno. Entretanto, parece não existir atualmente uma ligação hidrodinâmica entre a água doce do rio Açu e as águas drenadas pelo canal do rio dos Cavalos, sugerindo-se que este represente um canal de maré instalado sobre um possível canal distributário do rio Açu, na época em que o nível do mar era mais baixo (anterior a 7.000 anos).

### **1.3 Parâmetros Oceanográficos**

A contribuição marinha na modelagem do meio físico continental se faz notar pela influência exercida pelo Oceano Atlântico sobre as terras baixas litorâneas. As variáveis dinâmicas são normalmente descritas como parâmetros oceanográficos (ondas – marés – correntes) e a estas são associadas um importante papel na modelagem do meio continental.

Observações de direção de ondas no litoral de Macau indicam predominância de cristas orientadas NW-SE e N-S, em consonância com as direções dos ventos que chegam à costa (NE e E). Devido à baixa declividade da plataforma interna, as ondas que chegam ao litoral possuem alturas médias geralmente inferiores a 1,0 metro, período de 8 a 18 segundos, sendo que ondas de infragravidade (períodos superiores a 30 segundos) também podem ocorrer. As tempestades que provocam as ondulações (*swells*) são geradas em centros distantes (Atlântico Central) e são empurradas pelo regime atmosférico relacionado à Zona de Convergência Intertropical (ITCZ), responsável pelos

ventos alísios. Tempestades “locais” são pouco frequentes, gerando vagas que são dissipadas em períodos mais curtos (6 a 10 segundos), às quais podem estar associadas ondas de amplitudes maiores, ocasionalmente chegando a 2 metros.

O regime de máres equatoriais a sub-equatoriais é caracteristicamente classificado como de meso (2 a 4 metros) a macro-marés (Silva, 1991). As predições das tabelas de marés e as medições de marés na estação de Pontal do Alagamar, localizada na cidade de Macau (DHN - Marinha do Brasil), mostram que se tratam de uma maré semidiurna, cujo nível médio é 2,30 metros, com o nível máximo da maré de sigízia de 3,85 metros.

Uma forte corrente de deriva litorânea é reconhecível nesta região, sendo esta uma resposta à relação angular entre a linha de costa (E-W) e os ‘trens’ de ondas que chegam ao litoral (WNW-ESE e NW-SE). A velocidade e a capacidade de transporte desta corrente de deriva litorânea está materializada pelo trânsito de sedimentos, segundo cordões litorâneos que coalescem ao longo do tempo geológico e que foram os principais responsáveis pelo assoreamento do grande embaçamento pré-holocênico existente entre os municípios de Caiçara e Areia Branca, “continentalizando” uma área de cerca de 4.000 km<sup>2</sup> desde a última transgressão marinha (ca. 17.000 anos antes do presente). Estima-se que a velocidade de migração dos cordões litorâneos seja da ordem de uma a duas centenas de metros por ano.

#### **1.4 Hidrogeologia**

A área abrangida pelo Projeto corresponde ao baixo curso da Bacia Hidrográfica Piranhas – Açú, com suas cabeceiras no Planalto da Borborema (divisor de águas das bacias do Nordeste Oriental e do São Francisco). Esta bacia é responsável por um importante papel da paisagem no decorrer do Quaternário, constituindo a quarta maior bacia hidrográfica nordestina.

O trecho denominado de rio Açú corresponde ao baixo curso da drenagem principal, configurando um canal meandrante; a sua foz corresponde a um estuário dominado por marés, que sucedeu, no tempo geológico, a um delta dominado por marés abandonado após a última regressão marinha.

A bacia hidrográfica comporta um canal de baixo gradiente (o rio Açú) e tributários intermitentes a efêmeros que drenam uma área relativamente extensa de notável aridez. Embora existam algumas lagoas (Piató e Ponta Grande, por exemplo), estas são alimentadas pelo lençol subterrâneo (aquífero fluvial).

#### **1.5 Vegetação**

A cobertura vegetal nativa compreende normemente os elementos representativos da caatinga e de vegetação litorânea.

A área continental caracteriza-se por apresentar espécies adaptadas ao clima semi-árido desta região (a caatinga), caracterizando uma vegetação esparsa e predominante arbórea a arbustiva (caducifólia) e cactáceas, cujos principais representantes são o juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), umbuzeiro (*Spondias sp.*), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), jurema (*mimosa sp.*), xique-xique (*Pilocereus gounellei*), mandacaru (*Cereus jamacuru*), facheiro (*Pilocereus hapalacanthus*) e macambira (*Bromélia laciniosa*), dentre as espécies principais. O crescimento da malha urbana e

da população tem exercido grande pressão sobre a caatinga, ocorrendo grandes desmatamentos, assim como o aproveitamento da lenha para produção de carvão e de estacas.

Nos vales dos rios da região também está caracterizada a ocorrência da carnaúba (*Copernicia cerifera*), uma espécie endêmica cuja extração (cera, palha e tronco) já teve imensa importância econômica, sendo um dos responsáveis pelo povoamento desta região. Nas últimas décadas, em função da mudança do foco econômico, vem ocorrendo a derrubada indiscriminada desses carnaubais, reduzindo sensivelmente a sua área de ocorrência.

Na área litorânea, a vegetação se caracteriza pela ocorrência de espécies essencialmente rasteiras e arbustivas, bem como as áreas de exuberantes manguezais.

A vegetação que ocorre nos substratos arenosos corresponde a espécies arbóreas e arbustivas [cajuieiro (*Anacardium occidentale*), murici (*Byrsonima sp.*) pau-ferro (*Cassia aponcodrita*) e araçá (*Pisidium sp.*), principalmente] e rasteiras [pirixiu (*Philoxerus protulacoides*), salsa de praia (*Ipomoea sp.*)], principalmente. A vegetação dos mangues se instala nas áreas sob influência das marés, cujas principais espécies são o mangue branco (*Langucuria racenosa*), mangue vermelho ou sapateiro (*Rhizophora mangle*) e mangue canoe (*Avicennia germinous*).

A ocupação não planejada do espaço costeiro está afetando diretamente a substância desses ecossistemas, notadamente os manguezais, através de desmatamentos para habitações, instalação de tanques (salinas e carcinicultura) e também estão sendo afetados pela contaminação e poluição de águas e solos.

## **1.6 Aspectos Sócio Econômicos**

As características geológicas da área propiciaram a ocorrência de uma expressiva diversidade de recursos minerais em exploração: petróleo e gás natural, granitos, calcários, argilas, areias e cascalhos. Aproveitando as condições de clima predominantemente seco e a disponibilização de água doce (perenização do rio Açu – a partir da construção da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves –, e poços), a região converteu-se numa importante área para a agricultura irrigada, especialmente no que se refere à produção de frutas para exportação. Mais recentemente aconteceu um *boom* na produção de camarão em cativeiro (carcinicultura), além da secular atividade salineira (NaCl).

A infraestrutura relacionada à ocupação humana também é fator marcante na paisagem. Abrangendo 24 (vinte e quatro) municípios, a área também se torna cenário de grandes problemas derivados dessa ocupação, particularmente nos aspectos de planejamento urbano e destinação de resíduos.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

### 2.1 Introdução

A Folha Macau está inserida na porção central da Bacia Potiguar emersa, com grande parte de sua área recoberta por depósitos sedimentares mais recentes e com o substrato cristalino aflorando muito restritamente no extremo sudeste (Figura 1).

A Bacia Potiguar localiza-se no extremo nordeste brasileiro, quase totalmente no Estado do Rio Grande do Norte, com uma pequena porção mais ocidental no Estado do Ceará. A bacia está limitada a norte e a leste pelo Oceano Atlântico, até a cota batimétrica de -200 metros, a sul e a oeste pelo embasamento cristalino e a noroeste, através do Alto de Fortaleza, pela Bacia do Ceará. Araripe e Feijó (1994) inferem uma área de aproximadamente 60 000km<sup>2</sup> para a bacia, sendo 40% emersos.

A seguir, tem-se uma sucinta revisão bibliográfica de elementos da Bacia Potiguar, incluindo seu embasamento, litoestratigrafia, coberturas mais recentes, arcabouço estrutural e evolução tectono-sedimentar.

### 2.2 Embasamento Cristalino

A Faixa Seridó, embasamento cristalino da Bacia Potiguar, é um dos diversos cinturões orogênicos que compõem a Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977). Os limites da faixa são a Bacia Potiguar, a norte; a Bacia Pernambuco-Paraíba, a leste; a Zona de Cisalhamento Patos, a sul, e a Zona de Cisalhamento Portalegre, a oeste.

A Faixa Seridó é composta por duas unidades litoestratigráficas: o Complexo Caicó e o Grupo Seridó, além de granitóides intrusivos.

O Complexo Caicó é formado por rochas gnáissicas-migmatíticas paleoproterozóicas, com porções arqueanas [Hackspacher *et al.* (1990) e Jardim de Sá (1994)].

Superpondo o Complexo Caicó estão às rochas supracrustais do Grupo Seridó, o qual é subdividido em três unidades, da base para o topo: Formação Jucurutu - composta predominantemente por paragneisses e mármore, Formação Equador - formada principalmente por quartzitos e metaconglomerados e Formação Seridó composta essencialmente por micaxistos diversos (Jardim de Sá, 1994). Van Schumus *et al.* (2003) indicaram que este conjunto de rochas foi depositado no neoproterozóico.

As unidades precambrianas também são representadas por corpos graníticos essencialmente de duas gerações, sendo afetadas por deformação do tipo dúctil e dúctil-frágil a frágil (Jardim de Sá,

1994). A geração mais nova corta o Grupo Seridó, representando uma expressão de um intenso retrabalhamento e acresção crustal ocorridos durante a orogênese brasileira (ediacariana).

### 2.3 Litoestratigrafia da Bacia Potiguar

Araripe e Feijó (1994) dividiram as rochas sedimentares da Bacia Potiguar em três unidades litoestratigráficas: grupos Areia Branca, Apodi e Agulha. Associados a esta seção litológica ocorreram eventos magmáticos distintos ao longo do Meso-Cenozóico (Figura 2).

**Grupo Areia Branca** - Este grupo possui conteúdo predominantemente clástico, sobreposto ao embasamento cristalino de forma discordante, reunindo as seguintes formações:

Formação Pendência: caracteriza-se por arenito médio a grosso, cinza-esbranquiçado, com intercalações de folhelho e siltito cinzento. Esta unidade ocorre preferencialmente preenchendo os baixos estruturais de grande porte, sincrônicos a sua deposição. Os sistemas deposicionais interpretados para esta formação apontam para leques aluviais associados a falhamentos e sistemas flúvio-deltáicos progradando sobre pelitos lacustres, entremeados por freqüentes turbiditos (Della Fávera, 1992).

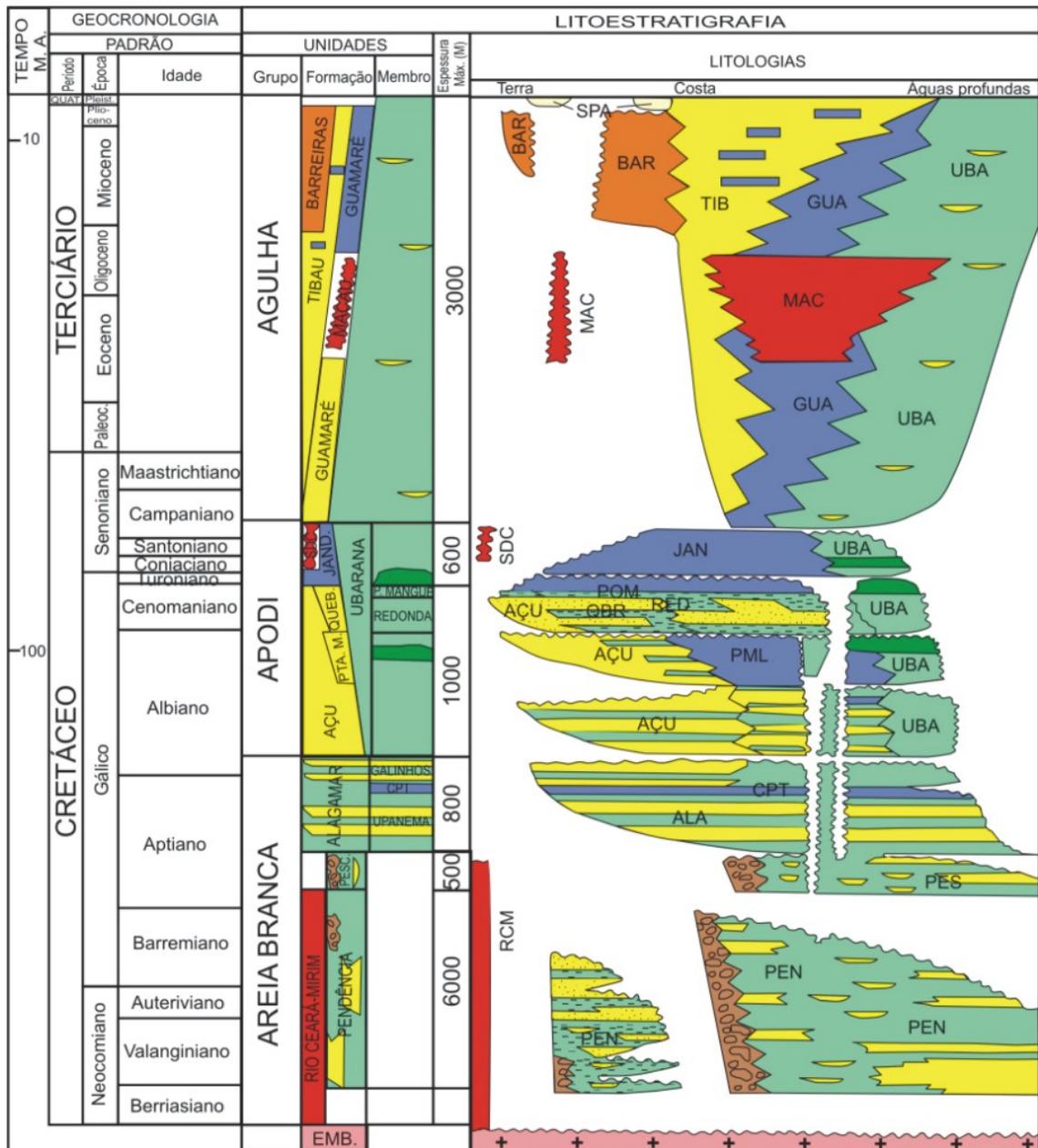
Formação Pescada: é constituída por arenito branco médio e arenito cinzento fino, com intercalações de folhelho e siltito cinzento. O principal sistema deposicional associado a estes sedimentos é o de leques aluviais coalescentes, todavia, há sistemas flúvio-deltáicos com pelitos lacustres entremeados por turbiditos (Araripe & Feijó, 1994).

Formação Alagamar: representa uma seção areno-carbonática sotoposta em discordância à Formação Açú. Esta unidade é constituída por dois membros separados por uma seção pelítica informalmente denominada de Camadas Ponta do Tubarão. O Membro Upanema, basal, caracteriza-se por arenito fino e grosso e folhelho, enquanto que o Membro Galinhos é predominantemente pelítico, com folhelhos e calcilitos. As camadas Ponta do Tubarão são formadas por calcarenito e calcilito ostracoidais e folhelhos. Os sistemas deposicionais interpretados são flúvio-deltáico (Membro Upanema), lagunar (Ponta do Tubarão) e nerítico (Membro Galinhos) (Souza, 1982).

**Grupo Apodi** - Grupo formado por sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, constituído das seguintes formações:

Formação Açú: é dividida em quatro unidades litológicas informais, havendo exposição apenas da terceira e quarta unidades. O sistema deposicional da Unidade Açú-1 representa depósitos de leques. As Unidades Açú-2 e Açú-3 apresentam sistemas fluviais entrelaçado e meandrante, correspondendo aos grandes ciclos fluviais da Formação Açú. A Unidade Açú-4 é caracterizada por sistema tipicamente estuarino, constituído pelos depósitos de planície marginal e de barras estuarinas, apresentando também influência das marés (Vasconcelos *et al.*, 1990).

Formação Ponta do Mel: introduzida na coluna estratigráfica da Bacia Potiguar por Tibana & Terra (1981), contém calcarenito oolítico, doloesparito e calcilito, com camadas de folhelho verde claro. A Formação Ponta do Mel interdigita-se lateralmente e recobre concordantemente a Formação Açú e está recoberta em discordância pela Formação Quebradas. Estas rochas foram depositadas predominantemente em plataforma rasa, associada à planície de maré e mar aberto.



**Figura 2:** Carta estratigráfica e evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar (Modificada de Araripe & Feijó, 1994).

**Formação Quebradas:** contém arenito fino, folhelho e siltito. O ambiente deposicional interpretado inclui plataforma e talude com importante presença de turbiditos (Araripe & Feijó, 1994).

**Formação Jandaíra:** teve seus sedimentos depositados desde o Turoniano até o Eocampaniano, já no final da seqüência transgressiva, em condições de deriva continental e mar aberto. Esta Formação é caracterizada por rochas calcárias de alta e baixa energia, possuindo estruturas sedimentares como estratificações cruzadas, gretas de dissecação, septárias, *bird eyes* (Sampaio & Schaller, 1968). Os sistemas deposicionais correspondentes à Formação Jandaíra são sistema de barras, sistema de planície de maré e sistema de bancos (Apoluceno *et al.*, 1995).

**Grupo Agulha** - Esta unidade abrange os sistemas de leques costeiros, plataforma e talude, depositados entre o Neocampaniano e o Recente e representados por:

Formação Ubarana: representa a seção pelítica de talude perfurada em quase todos os poços da plataforma continental das bacias Potiguar e do Ceará. Esta unidade caracteriza-se por espessa seção de folhelho e argilito cinzento, entremeada por camadas relativamente delgadas de arenito grosso a muito fino, siltito e calcarenito (Mayer, 1974).

Formação Guamaré: formalizada por Souza (1982), caracteriza-se por apresentar calcarenito bioclástico creme e calcilito, depositados em plataforma e taludes carbonáticos.

Formação Tibau: proposta por Silva (1966) para designar os clásticos grossos sobrepostos aos carbonatos Guamaré, caracteriza-se por arenito grosso hialino. O ambiente deposicional dominante é o de leques costeiros.

Grupo Barreiras: representa a chave da última fase de evolução fisiográfica da bacia (Fortes, 1986). Regionalmente, os sedimentos do Grupo Barreiras ocorrem recobrimo indistintamente rochas ígneo-metamórficas do Pré-Cambriano e rochas sedimentares do Grupo Agulha (Amaral, 1990). Alheiros e Lima Filho (1991), consideram o Grupo Barreiras como uma unidade litoestratigráfica única, possuindo algumas diferenças faciológicas devido a diferentes sistemas deposicionais. Esta formação é constituída por areias quartzosas a subarcoseanas, siltes, argilas maciças e diamictitos de matriz argilo-arenosa avermelhada com raros seixos (Alheiros & Lima Filho 1991).

**Magmatismo** - Os três eventos magmáticos mapeados na Bacia Potiguar foram individualizados segundo a sua relação temporal/espacial com o preenchimento da bacia, a sua natureza físico-química e vinculação geodinâmica (Oliveira, 1998). São eles:

Magmatismo Rio Ceará-Mirim: caracterizado por um enxame de diques máficos diabásicos de natureza toleítica. Durante o Mesozóico, o Nordeste do Brasil foi afetado por extensa atividade magmática básica. Esta atividade ocorreu do Jurássico Inferior ao Cretáceo Inferior, precedendo os eventos de rifteamento relacionados à abertura do Atlântico Central e Sub-Equatorial, cujos efeitos termomecânicos nuclearam e governaram o início do rifteamento da Bacia Potiguar e adjacências. Os diques constituem uma extensa atividade magmática (> 500 km de extensão) representada por cinco sub-enxames subparalelos, com mergulhos fortes, posicionados com direção E-W na borda da Bacia Potiguar e com direção NE-SW na porção centro-oriental do Estado do Ceará. Caracterizam-se por rochas ricas em elementos incompatíveis e geralmente não denotam mistura de magma e/ou contaminação crustal. A petroquímica indica que o enxame formou-se na base da litosfera, por descompressão adiabática em um regime de extensão diferenciado, cuja extensão crustal foi menor do que a mantélica. O evento teve duração contínua entre 150 e 120 Ma, com dois picos de atividade: 145 e 130 Ma, enquanto a implantação dos processos de rifteamento regional se deu entre 138/118 Ma.

Magmatismo Serra do Cuó: é um magmatismo de caráter intraplaca e sua afinidade temporal com outras feições tectono-estratigráficas da Bacia Potiguar não se relaciona com o forte tectonismo do Oeste da África, nessa época. Durante o Campaniano/Santoniano, concomitantemente à deposição da plataforma carbonática da Formação Jandaíra, instalou-se um pulso ígneo de afinidade alcalina (Magmatismo Serra do Cuó) que "cozinhou" e soergueu os arenitos da Formação Açú. A assinatura geoquímica indica uma fonte mais profunda do que a do Magmatismo Rio Ceará-Mirim (Oliveira, 1993).

Magmatismo Macau: é o mais importante da Bacia Potiguar, tendo se desenvolvido entre 45 e 25 Ma. Configura uma faixa de largura em torno de 40 km e direção N-S, sugerindo um campo de stress extensional E-W durante a sua intrusão. Ocorre desde a Bacia Potiguar *offshore* até o centro de Pernambuco, sob a forma de *plugs*, diques, derrames e soleiras de olivina basalto, localmente vesicular, afanítico, algumas vezes com textura botrioidal (Mayer, 1974). Sua intrusão provocou um ajuste espacial, o qual se manifesta através da grande quantidade de falhas transcorrentes rasas na Bacia Potiguar (Dantas *et al.*, 1999). A assinatura bastante alcalina juntamente com a abundância dos xenólitos peridotíticos sugere fonte mantélica profunda (Mayer, 1974).

## 2.4 Coberturas Recentes

Recobrando a Bacia Potiguar, têm-se rochas sedimentares e sedimentos com idade pleistocênica à holocênica.

Os Colúvios e Alúvios Sub-Recentes, os quais capeiam indistintamente outras unidades litológicas, são constituídos por areias castanho-escuras a amareladas, finas até muito grossas, quartzosas, localmente com seixos de quartzo, silixito, cataclasito, fragmentos de rochas e concreções ferruginosas, pobremente selecionadas e subarredondadas (Alves, 2001).

A Formação Potengi é constituída por sedimentos areno-quartzosos com pouca argila e grânulos de limonita, de coloração avermelhada, tornando-se mais escuros em direção ao litoral (Vilaça *et al.*, 1985). No contato com os depósitos dunares atuais, apresentam laminações paralelas. Estes sedimentos estariam estratigraficamente acima dos sedimentos do Grupo Barreiras e abaixo dos sedimentos dunares.

Os *beachrocks* ou arenitos de praia são rochas sedimentares usualmente formadas na zona intermarés, embora possam desenvolver-se também em zona sublitorânea. A mineralogia dos *beachrocks* pode variar de areias quartzosas puras a areias com contribuição carbonática biogênica significativa, enquanto o cimento pode variar de aragonita a calcita magnesiana. Bezerra *et al.* (1998), em estudo sobre variações do nível do mar em registros sedimentares holocênicos do nordeste brasileiro, concluíram que os *beachrocks* são ótimos indicadores do nível do mar em regime de mesomarés.

As Dunas Fixas referem-se àquelas que se formam atualmente e estão associadas ao desenvolvimento do litoral atual, formando extensos cordões paralelos à praia. Recobrem o Grupo Barreiras e os depósitos fluviais recentes. São caracterizadas predominantemente por uma granulometria de areia fina quartzosa e fragmentos de conchas de organismos marinhos, e apresentam estruturas do tipo barcana (Alves, 2001).

Os Sedimentos de Praia Recentes estão sendo depositados nas atuais zonas de praia, como uma estreita faixa, paralela à linha de costa, interrompida apenas na foz do rio Açú/Piranhas e na dos rios da Casqueira e Conceição. São depósitos sedimentares que estão submetidos a retrabalhamento constante, por processos fluviais e, principalmente, marinho e eólico, com aporte contínuo de sedimentos. São constituídos por areia quartzosas com presença de bioclastos e minerais pesados (Alves, 2001).

Os Aluviões estão distribuídos nas margens e nos canais das drenagens e são constituídos por sedimentos areno-argilosos, de coloração variada, de granulometria grossa e seleção variando de moderada a pobre, podendo conter alguma matéria orgânica. Estes sedimentos são depositados durante a estação chuvosa, uma vez que os rios da região são intermitentes e só recebem água durante esta estação (Souto, 2002).

Os Sedimentos de Mangue ocorrem ao longo de toda faixa litorânea, nas regiões protegidas da ação direta das ondas, estando diretamente relacionados à influência das marés, correntes e aporte flúvio-marinho de sedimentos finos. Estes sedimentos são predominantemente lamosos, ricos em matéria orgânica e apresentam acréscimo de sedimentos de granulometria areia, à medida que se aproxima da zona de praia (Alves, 2001).

## **2.5 Arcabouço Estrutural da Bacia Potiguar**

Bertani *et al.* (1990) subdividiram o arcabouço estrutural da Bacia Potiguar em três feições morfo-estruturais: grábens, altos internos e plataformas rasas.

Na porção terrestre da bacia, encontram-se os Grábens de Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista, os quais exibem feições lineares de direção NE-SW e forma assimétrica, sendo limitados, a sudeste e sudoeste, por falhas que ultrapassam 5000 m de rejeito. Os grábens da parte submersa também são assimétricos e com orientação aproximadamente paralela à atual linha de costa. Os grábens estão preenchidos por seqüências sedimentares do Cretáceo Inferior.

Os altos internos correspondem às cristas alongadas do embasamento, as quais separam os principais grábens. São compostos por blocos de gnaisses, migmatitos ou xistos soerguidos por falhas normais. Os principais altos internos são os Altos de Quixaba, Serra do Carmo e Macau, subparalelas aos eixos dos grábens adjacentes. As seqüências do Cretáceo Inferior estão ausentes sobre os altos internos devido à erosão ou não-deposição.

As plataformas rasas do embasamento de Touros e Aracati flanqueiam os grábens centrais a este e oeste. Essas plataformas são normalmente recobertas por sedimentos do Aptiano e Cretáceo Superior na parte terrestre e também por seqüências terciárias na parte marítima.

Segundo Matos (1992a, b), o Rifte Potiguar foi implantado sobre as rochas do embasamento cristalino, aproveitando seu *trend* predominante de direção NE-SW, durante o Cretáceo Inferior, sendo o Sistema de Falhas de Carnaubais o principal sistema do Rifte Potiguar. Hackspacher & Oliveira (1984) associaram o Sistema de Falhas de Carnaubais a uma possível reativação da Zona de Cisalhamento de Portalegre de idade brasileira.

Hackspacher *et al.* (1985) interpretam as estruturas de direção NW-SE, também presentes na bacia, como produto de reativações pós-campanianas. Matos (1992a, b) define estas estruturas como sendo falhas de transferência durante a fase rifte inicial. Cremonini *et al.* (1996) caracterizam este padrão de falhamento NW-SE e NE-SW, na porção submersa da bacia, como sendo o produto de superposição de fases de rifteamento.

## 2.6 Evolução Tectono - Sedimentar da Bacia Potiguar

Segundo Neves (1987), a Bacia Potiguar representa um rifte intracontinental, em sua porção emersa, e uma bacia do tipo “*pull-apart*”, em sua porção submersa. Há vários modelos para explicar a origem do rifte da bacia, com controvérsia entre autores sobre a orientação dos esforços e os mecanismos que atuaram na época de sua geração.

Bertani *et al.* (1985) propuseram um modelo de origem e evolução da bacia, segundo o qual a fase rifte seria originada durante o Neocomiano, através de um estiramento e afinamento crustal causado por esforços distensivos de direção E-W. Esta direção, também sugerida por Melo (1987) para a formação do Rifte Potiguar, é associada aos esforços atuantes durante a abertura da margem leste brasileira.

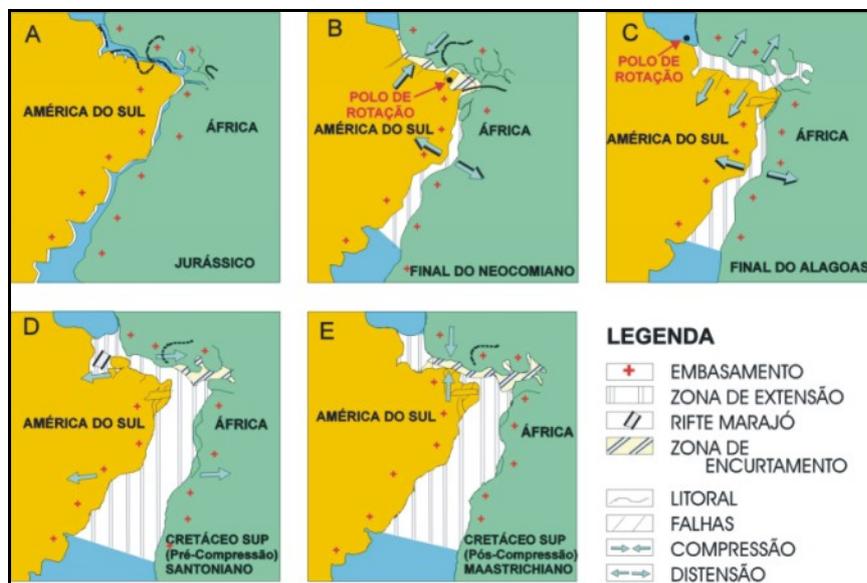
Uma evolução transtensional é proposta pelo modelo de Françolim & Szatmari (1987), segundo o qual a separação entre os continentes Sul-Americano e Africano teve início no Jurássico Superior, através de um fraturamento de milhares de quilômetros de extensão, iniciado ao sul do antigo bloco continental e progressivamente alastrado em sentido norte no Cretáceo Inferior, através de um movimento predominantemente divergente E-W (Figura 3). Segundo Oliveira (1993) o magmatismo do Rio Ceará-Mirim preencheu juntas extensionais nesta direção. A idade do magmatismo (média de 145 a 130 Ma) permite correlacionar o referido evento com o tectonismo gerador da abertura do Atlântico Sul e com a formação da fase rifte das bacias costeiras, em especial o Rifte Potiguar.

Uma rotação de sentido horário na Placa Sul-Americana em relação à África ocorreu no início da separação, devido ao movimento divergente a sul ser maior do que a norte, causando compressão a oeste do pólo e distensão a leste, ambas de direção N-S. Esse regime de esforços ocasionou a formação e reativação de numerosas falhas normais de direção aproximadamente E-W na Província Borborema, originando os grábens da atual porção submersa da bacia. As numerosas falhas de direção NE-SW preexistentes foram reativadas por movimentos transcorrentes dextrais, com movimentação transtensional, em seu extremo NE, e transpressional, em seu extremo SW. Dessas falhas, a de maior importância é a de Carnaubais-Portalegre, que propiciou a formação do Gráben Pendência, preenchido pela formação homônima.

No Aptiano, a Província Borborema foi submetida apenas a uma distensão de direção N-S, interrompendo a movimentação transcorrente dextral e a sedimentação da Bacia Potiguar emersa. O rifteamento, no entanto, continuou através de falhas de direção E-W, com deposição de sedimentos na parte submersa da bacia.

O movimento divergente E-W entre os continentes sul-americano e africano teve início no Albiano. Essa movimentação causou cisalhamento lateral dextral na atual margem equatorial brasileira e permitiu a entrada do mar albiano que causou a grande transgressão marinha da Bacia Potiguar, gerando os sedimentos marinhos transgressivos das formações Açu, Ponta do Mel, Membro Quebradas e a Formação Jandaíra, entre o Albiano e o Campaniano. No Santoniano, movimentos transcorrentes/transformantes ocorreram ao longo da margem equatorial brasileira, associados a movimentos divergentes E-W entre as placas. No Maastrichtiano, um evento compressivo de

direção N-S, atuante na porção ocidental da bacia, soergueu a plataforma carbonática da Formação Jandaíra e possivelmente reativou numerosas falhas. A seqüência marinha regressiva (formações Tibau, Guamaré e Ubarana) foi depositada nessa fase.



**Figura 3:** Mecanismos e processos de evolução da margem continental brasileira (modificado de Françolin & Szatmari, 1987).

Matos (1992a, b) e Teixeira (1991) propuseram pelo menos três importantes estágios tectônicos, em resposta à dinâmica das placas tectônicas durante o início da fragmentação do Gondwana, denominados Sin-Rifte I, Sin-Rifte II e Sin-Rifte III, sendo que a evolução do Rifte Potiguar teria se dado através de duas das principais fases de rifteamento. Durante a fase Sin-Rifte II, entre o Neocomiano e o Eobarremiano, teria ocorrido a formação da bacia e seu preenchimento mais expressivo. Esta fase seria originada através de esforços distensivos máximos de direção WNW-ESE. Durante o Neobarremiano e o Eoaptiano ocorreu uma nova fase de rifteamento denominada de Sin-Rifte III. Esta fase foi originada por esforços distensivos máximos que passaram a atuar segundo a direção aproximadamente E-W, causando ruptura principalmente na porção submersa da bacia. Magmatismo Macau, sendo localmente intrudida e/ou intercalada por estas rochas vulcânicas.

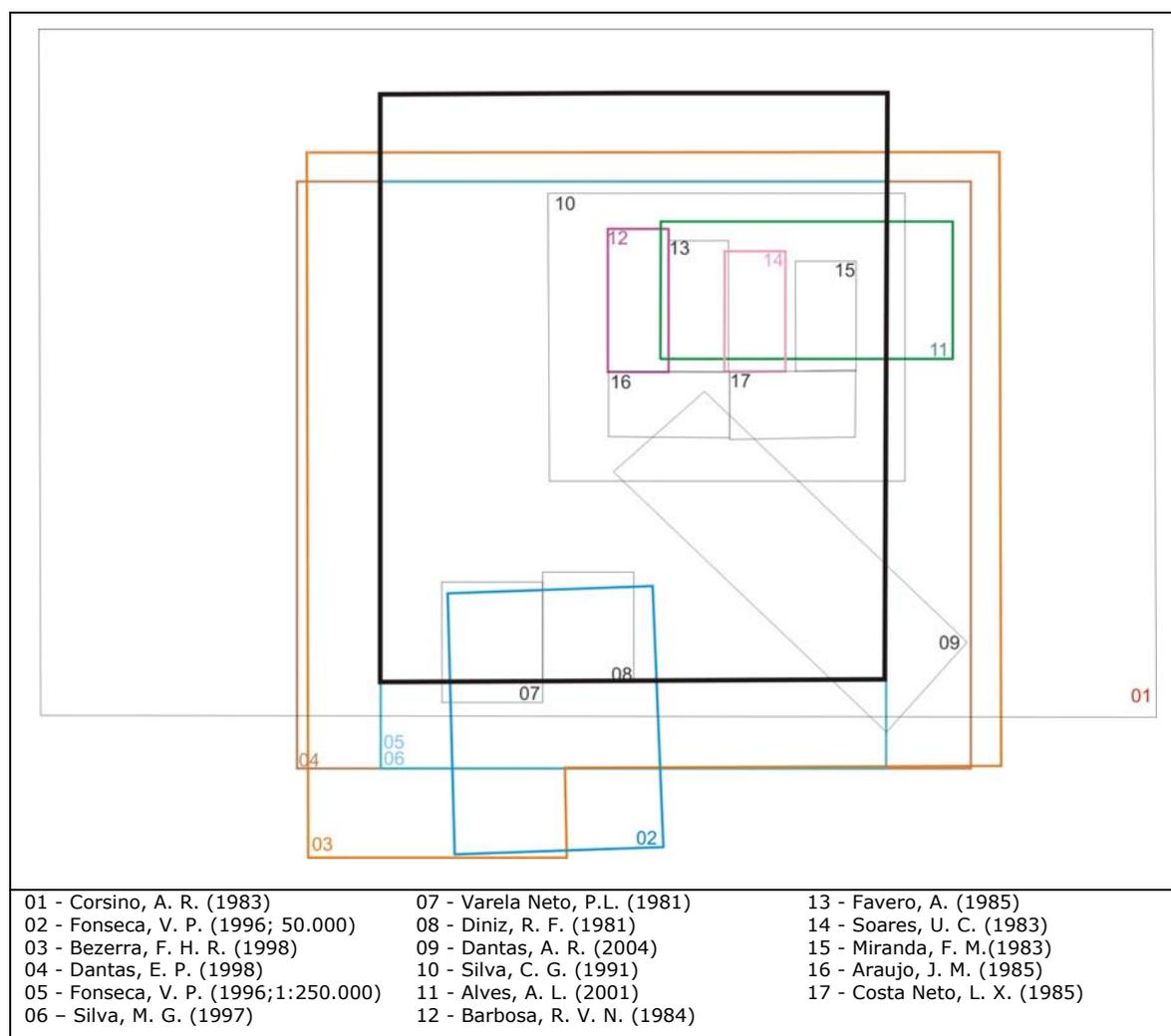
A transição do Mesozóico para o Cenozóico é marcada por dois eventos representativos para a evolução tectono-sedimentar da Era Cenozóica: o Magmatismo Serra do Cuó e o soergimento da Bacia Potiguar no Mesocampaniano. O Magmatismo Serra do Cuó gerou uma discordância (subaérea e submarina) de caráter erosivo (Pereira, 1992), posicionada no Neoturoniano/ Eoconiano. As feições geradas em decorrência deste evento foram o soergimento da Formação Jandaíra, provocando uma discordância regional entre as formações Jandaíra e Ubarana, denominada de Discordância Pré-Ubarana e divergência na direção das drenagens para NW, com dissecação e erosão do relevo. A passagem de um centro de espalhamento oceânico ao longo da margem equatorial brasileira, durante o Mesocampaniano, teria provocado soergimento na Bacia Potiguar (Cremonini & Karner, 1995), que reativou falhas pré-existentes e causou intenso processo erosivo de alcance regional.

Durante o Cenozóico na Bacia Potiguar, o principal evento tectônico foi à reativação dos Sistemas de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra, além de dobramentos com grande comprimento de onda e eixos orientados na direção N-S, resultantes de esforços compressivos E-W que afetaram a bacia no Terciário (Cremonini, 1993), e reativações tectônicas associadas a intrusões básicas relacionadas aos litotipos da Formação Macau (Costa Neto, 1985), os quais ascenderam nas regiões arqueadas durante o Mesozóico, por alívio de pressão no Terciário, devido aos ajustes internos da placa Sul-Americana (Sial, 1975).

Os estudos desenvolvidos por Silva (1991), Caldas *et al.* (1997a,b) e Bezerra & Vita-Finzi (2000), caracterizaram a evolução dos eventos neotectônicos no litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte, principalmente na área limitada entre o Sistema de Falhas de Carnaubais e o Sistema de Falhas de Afonso Bezerra, durante o Quaternário. Essa tectônica estaria reativando parte da estruturação pré-existente e teria modelado a superfície regional, além de influir na evolução e processos de sedimentação costeira.

### 3. ESTRATIGRAFIA

Nesta seção apresenta-se o conteúdo do mapa geológico da Folha Macau, com ênfase nas unidades litoestratigráficas. Dezesete mapas geológicos prévios foram compilados e reunidos em um mapa geológico preliminar, que serviu como ponto de partida para o presente trabalho. A localização e autoria dos mesmos são apresentadas na Figura 4. A partir do mapeamento geológico, definiram-se várias unidades litoestratigráficas, além de aspectos estruturais e recursos minerais da referida Folha. Um resumo do quadro litoestratigráfico proposto para a Folha Macau é apresentado na Tabela 1.



**Figura 4:** Esboço da cobertura das bases cartográficas compiladas (diferentes escalas e ênfases) para a elaboração do mapa preliminar relativo à Folha Macau (em preto).

### 3.1 Embasamento Cristalino

#### 3.1.1 Suíte Magmática Poço da Cruz

Trata-se de um pequeno corpo de rocha ígnea que aflora na porção extremo SE da Folha Macau. Este corpo é intrusivo em rochas Paleoproterozoicas do Complexo Gnáissico-Migmatítico e corresponde ao augen gnaiss de composição granítica a granodiorítica, denominado de G2 por Jardim de Sá *et al.* (1981).

**Tabela 1:** Unidades litoestratigráficas propostas para a Folha Macau.

Unidades	Sigla/hierarquia (de acordo com o GEOBANK)
Depósitos de Mangue	N4m/(nd)
Depósitos Litorâneos Praiais	N4elp/(nd)
Depósitos Eólicos Litorâneos não Vegetados	N4eln/(nd)
Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados	N4elv/nd
Dep. Aluvionares de Planície de Inundação	N4ap/(unidade)
Dep. Aluvionares de Canal	N4ac/(unidade)
Dep. Flúvio-Lacustrinos	N34fpl/(unidade)
Dep. Flúvio-Marinhas	N34fm/(nd)
Dep. Aluvionares Antigos	N3a/(nd)
Magmatismo Macau	E3βm/(nd)
Formação Tibau	E3N1t/(Formação)
Grupo Barreiras	ENb/(Grupo)
Formação Jandaira	K2j/(Formação)
Formação Açu	K12a/(Formação)
Suíte Magmática Poço da Cruz	PP3ypc/(Suíte)

nd= não determinado.

### 3.2 A Bacia Potiguar

A maior parte da área de trabalho está inserida na Bacia Potiguar. As unidades estratigráficas aqui descritas representam a porção superficial desta bacia. A Bacia Potiguar está localizada no Estado do Rio Grande do Norte e em uma pequena parte no Estado do Ceará. Ela possui uma área de 48.000 km<sup>2</sup>, sendo cerca de 21.000 km<sup>2</sup>, na área emersa, e a parte restante, na plataforma e talude continentais até a isóbata de 200 m (Bertani *et al.*, 1990) (Figura 1). A Bacia Potiguar encontra-se limitada, a noroeste, com a Bacia do Ceará, pelo Alto de Fortaleza; a sul, através de uma discordância, com o embasamento cristalino; a leste, com a Bacia de Pernambuco-Paraíba, pelo Alto de Touros; a norte, convencionou-se a cota batimétrica de 200 metros como seu limite setentrional.

A Bacia Potiguar é a mais oriental das Bacias da margem equatorial, estando, no entanto, geneticamente relacionada a uma série de bacias neocomianas intracontinentais que compõem o Sistema de Riftes do Nordeste Brasileiro (Matos, 1987). Este sistema, análogo ao atual *Rift-Valley* Leste Africano compreende as Bacias do Recôncavo, Tucano, Jatobá, Araripe, Rio do Peixe, Potiguar e Sergipe-Alagoas, além de uma série de pequenos grabens preenchidos por rochas sedimentares da mesma idade.

### 3.2.1 Unidades Litoestratigráficas

As rochas da Bacia Potiguar estão divididas em três grupos: Areia Branca, Apodi e Agulha, como proposto por Souza (1982) e Araripe e Feijó (1994). A carta estratigráfica mais recente da Bacia Potiguar foi proposta por Araripe e Feijó (1994) (Figura 2). A formulação desta carta deu-se a partir da coleta de dados de diversos autores durante décadas e acompanhou o avanço da exploração petrolífera naquela região.

O Grupo Areia Branca é constituído predominantemente por rochas sedimentares clásticas e reúne as formações Pendências, Pescada e Alagamar, de conteúdo predominantemente clástico. O Grupo Apodi, definido inicialmente por Oliveira & Leonardos (1943), engloba as formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra (Araripe & Feijó, 1994). Neste Grupo há um aumento considerável de rochas carbonáticas com relação ao anterior. O Grupo Agulha é constituído pelas Formações Ubarana, Guamaré, Tibau e Macau, formadas por rochas carbonáticas. O Grupo Barreiras é o equivalente continental do Grupo Agulha e também constitui parte da Folha Macau.

Os registros do Neógeno estão representados pelos sedimentos e rochas sedimentares compreendidos pelos sistemas *fluvial* e *litorâneo*. São constituídos por depósitos aluvionares antigos do Pleistoceno e por depósitos holocênicos diversos (Tabela 1). Sedimentos quaternários agrupados em unidades informais recobrem todo o conjunto.

A seguir, descrevem-se as unidades litoestratigráficas aflorantes na Folha Macau, que pertencem aos grupos Apodi e Agulha, além do Grupo Barreiras e dos registros sedimentares neógenos.

#### 3.2.1.1 Formação Açú (K12a)

Kreidler & Andery (1949) definiram a Formação Açú como camadas espessas de arenitos grossos e finos que recobrem o embasamento cristalino numa faixa aflorante de 15 km de largura ao longo da borda da Bacia Potiguar, com espessura de até 200 m. A Formação Açú é identificada pela presença de pacotes de arenito esbranquiçado médio a muito grosso com intercalações de folhelho e argilito verde claro e siltito castanho avermelhado. A partir de dados de análises de perfis elétricos, identificaram-se quatro unidades informalmente denominadas por Vasconcelos *et al.* (1990), da base para o topo, de Açú 1, Açú 2, Açú 3 e Açú 4. Apenas a terceira e quarta unidades informais afloram. O sistema deposicional da Unidade 1 corresponde aos sistemas de leque aluvial e fluvial entrelaçado; a Unidade 2 corresponde aos sistemas fluvial entrelaçado e fluvial meandrante; a Unidade 3 representa o mesmo sistema da unidade 2; a Unidade 4 representa o sistema estuarino. As rochas da Formação Açú interdigitam-se lateralmente com os litotipos das formações Ponta do Mel e Quebradas e estão sotopostas concordantemente às rochas carbonáticas da Formação Jandaíra, podendo alcançar até 1.000 m de espessura na parte submersa da bacia. Datações de palinomorfos apontam para uma idade albiana-cenomoniana para esta unidade (Araripe & Feijó, 1994).

Kreidler & Andery (1949) haviam adotado a seção tipo como sendo aquela dos arenitos aflorantes nas cercanias da cidade de Assu, porém, Araripe & Feijó (1994) adotaram como perfil de referência para esta unidade o intervalo entre 500 m e 1.141 m do poço 3-FCN-4-RN, perfurado em 1992, no município de Mossoró.

No que diz respeito à diagênese, Menezes (1996) identificou os seguintes eventos, nas rochas das subunidades Açú-3 e Açú-4: infiltração mecânica de argilas, compactação mecânica, formação de minerais autigênicos, crescimentos secundários de quartzo e feldspato, precipitação de calcita, dolomitização, dissolução do cimento e grãos do arcabouço, cimentação por caulinita e precipitação tardia de opacos.

Na Folha Macau, a Formação Açú compreende rochas pséfiticas [conglomerados matriz (arenosa a argilosa) - e clasto-suportados], psamíticas [arcóseos/subarcóseos finos a muito grossos, com níveis conglomeráticos (seixos arredondados a angulosos) e matriz argilo-siltosa] e pelíticas (siltitos, folhelhos e argilitos).

Nos arenitos, os grãos são predominantemente subangulosos a subarredondados, pobremente selecionados e com empacotamento normal (contatos, sobretudo, pontuais e retos). O arcabouço é constituído de quartzo, K-feldspato, plagioclásio, minerais opacos, turmalina, zircão, rutilo, titanita e muscovita. Verifica-se, frequentemente, a presença de clastos de argila, atribuídos ao retrabalhamento da planície de inundação adjacente. A presença de calcedônia é comum, indicando possíveis falhamentos.

A coloração das rochas que compõem esta unidade é variada, principalmente tons de vermelho, devido à cimentação ferruginosa, e branco, devido à presença de matriz caulínica e/ou cimento silicoso. Os conglomerados são predominantemente maciços. Subordinadamente ocorre imbricação de seixos, os quais encontram-se orientados segundo a direção do fluxo. No caso dos arenitos, a estrutura predominante é cruzada-acanalada, evidenciada pela presença de seixos de quartzo, a qual indica paleocorrente para N-NE. Subordinadamente ocorrem fraturas, estratificação plano-paralela, estratificação cruzada tabular planar/tangencial e bioturbações. No que diz respeito aos pelitos, as estruturas predominantes são gretas de contração, marcas de raízes e laminações plano-paralelas. A geometria dos depósitos pode ser tabular, sigmoidal ou barra longitudinal.

Esta unidade aflora no extremo sudeste da área, em uma estreita faixa de direção aproximadamente W-E, cuja extremidade oriental estende-se para norte, acompanhando as margens da porção meridional do rio Mulungu. Aflora, igualmente, em uma pequena porção no extremo sudoeste da Folha.

### *3.2.1.2 Formação Jandaíra (K2j)*

A Formação Jandaíra corresponde à seção carbonática de alta energia sobreposta à Formação Açú (Sampaio & Schaller, 1968). O contato inferior desta Formação é concordante com a Formação Açú e com a Formação Quebradas. A Formação Jandaíra interdigita-se lateralmente com a parte inferior da Formação Ubarana. O contato superior se apresenta discordante com o Grupo Agulha. Segundo Tibana & Terra (1981), os sistemas deposicionais da Formação Jandaíra foram planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto em uma bacia faminta. A Formação Jandaíra teve seus sedimentos depositados desde o Turoniano até o Eocampaniano, já no final da seqüência transgressiva, em condições de deriva continental e mar aberto (Araripe & Feijó, 1994). Desta forma, os depósitos relacionados compreendem associações de fácies siliciclásticas, carbonáticas e mistas, sendo que as fácies carbonáticas foram subdivididas em três associações: águas rasas a semi-rasas, intermediárias e profundas (Córdoba, 2001).

Córdoba (2001) agrupou as fácies carbonáticas da Formação Jandaíra em três associações: (a) Associação de fácies de águas rasas e semi-restritas, composta por *mudstones* com *birdseyes*, *mudstones* com laminações algáceas, *wackestones* a *packstones* oncolíticos, *mudstones* a *wackestones* a biota restrita, *boundstones* de corais e algas vermelhas, *packstones* a *wackestones* bioclásticos, *grainstones* oolíticos, *grainstones* a *packstones* bioclásticos, *grainstones* a *packstones* peloidais e *grainstones* a *packstones* intraclásticos; (b) Associação de fácies de águas intermediárias, composta por *packstones* a *wackestones* a biota variada e *wackestones* a *mudstones* a biota variada; (c) Associação de fácies de águas profundas, composta por *wackestones* a *packstones* peloidais com planctônicos e *mudstones* com planctônicos.

No que diz respeito à diagênese, Menezes (1996) identificou os seguintes eventos, nas rochas carbonáticas da Formação Jandaíra: micritização e oxidação de grãos, compactação mecânica e química, cimentação, dolomitização, dissolução e cimentação tardia.

Sampaio & Schaller (1968) originalmente propuseram como seção tipo às rochas aflorantes nas proximidades da cidade de Jandaíra. Araripe e Feijó (1994) adotaram como perfil de referência para esta unidade o intervalo entre 478 m e 1.033 m do poço 1-RNS-32, perfurado em 1981 no Município de Mossoró.

Na Folha Macau, a Formação Jandaíra ocorre sob a forma de lajedos, nos quais podem ser observadas estruturas geradas por dissolução (superfície cárstica). Esta unidade compreende *grainstones* a *mudstones*ossilíferos (gastrópodes, bivalves, ostracodes, miliólídeos, algas verdes, equinodermas etc) e peloidais, segundo a classificação de Dunham (1962), cimentados ou com matriz micrítica ou silte peloidal. A coloração é variada, apresentando tons de creme e cinza. As estruturas sedimentares presentes incluem estratificações cruzadas acanaladas, laminações plano-paralelas, gretas de contração, marcas de raízes *birds' eyes*, geodos de calcita e estilólitos paralelos e em ângulo ao acamamento.

Esta unidade aflora juntamente com depósitos aluvionares antigos e o Grupo Barreiras, na porção sudeste da área, ocupando uma ampla área entre os rios Açu e Mulungu, além de ambas as margens ao longo deste último.

**O Grupo Agulha** engloba as formações Ubarana, Guimarães, Tibau, as quais são formadas por rochas clásticas e carbonáticas de alta e baixa energia. Descreve-se a seguir a Formação Tibau, única que aflora na Folha Macau.

### 3.2.1.3 Formação Tibau (E3N1t)

A Formação Tibau corresponde as fácies proximais de um sistema de leques costeiros miocênicos do Grupo Agulha, Bacia Potiguar. Ela interdígita-se lateralmente com o Grupo Barreiras (área continental) e a Formação Guimarães (*offshore*), apresentando contato inferior discordante com a Formação Jandaíra (Araripe & Feijó 1994).

Na região mapeada, as poucas exposições da Formação Tibau se concentram na porção nordeste continental da folha, onde afloram arenitos finos conglomeráticos, escuros, com aspecto vitrificado (Foto 1).

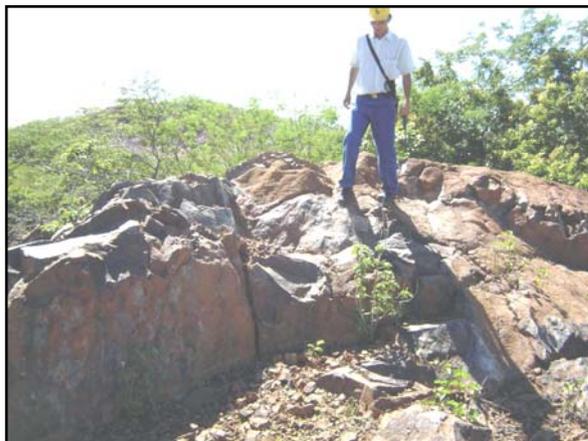
### 3.2.1.4 Magmatismo Macau

O Magmatismo Macau corresponde a um registro de intensa atividade magmática máfica ocorrida no Cenozóico da Bacia Potiguar, cujos produtos afloram principalmente na região próxima ao Município de Macau (RN).

Este conjunto de rochas máficas foi inicialmente denominado de *Associação Basáltica do Rio Grande do Norte* (Santos, 1964), recebendo, posteriormente, a denominação de Formação Macau (Mayer, 1974).

De um modo geral, os afloramentos do Magmatismo Macau estão geograficamente

distribuídos dentro de uma faixa de 350 km por 60 km de largura (Sial, 1976a; Almeida, 1986) orientada na direção NNW-SSE. Esta tendência é confirmada regionalmente pelas exposições de rochas máficas nos domínios dos municípios de Macau, Pedro Avelino, Lajes e São Tomé (RN). As relações de contato desta unidade só podem ser observadas em alguns afloramentos, pois na maioria dos casos estão cobertas por solo. Na região de Macau as rochas vulcânicas estão sobrepostas aos arenitos da Formação Tibau e produzem uma relação de metamorfismo de contato, resultando no “cozimento” do arenito (Foto 1).



**Foto 1:** Arenitos “cozidos” da Formação Tibau: à esquerda, com granulometria areia média e à direita, conglomerática.

As rochas do Magmatismo Macau são caracterizadas por diabásios e basaltos, com textura fina a afanítica e, com forma de necks, plugs e derrames magmáticos. Em uma caixa de empréstimo, é possível verificar a relação do derrame de rochas máficas sobre o arenito da Formação Tibau e subjacente a uma camada de até um metro de lateritos horizontalizados. Na localidade de Porto do Carão, é freqüente a presença de fragmentos de rocha com textura vesicular, sob a forma de bastões arredondados, distribuídos em basalto maciço. Esta feição é aqui interpretada como fragmentos vulcânicos (bombas) atirados durante o derrame basáltico.

O basalto é constituído principalmente por olivina, clinopiroxênio (augita), plagioclásio, óxido de ferro e minerais secundários de alteração. Os grãos de plagioclásio, euédricos, variam entre 0,3 e 1,1mm e os de clinopiroxênio, subédricos, alcançam 2,5 mm. Ambos imprimem na rocha uma textura ofítica.

Estudos litogeoquímicos e petrológicos efetuados em algumas dessas ocorrências (Sial, 1976b; Sial *et al.*, 1981, 1991) demonstraram que o referido magmatismo tem afinidade toleítica, com as seguintes seqüências de cristalização: olivina, piroxênio, óxido de ferro, apatita e nefelina, nos tipos alcalinos; e olivina, plagioclásio, augita e óxido de ferro, nos olivina-basaltos. Estudos geoquímicos e petrogenéticos desta formação foram realizados por diversos autores, e de um modo geral estas rochas são classificadas como olivina basaltos, basanitos ou ankaratritos, sendo moderadas a fortemente subsaturadas em sílica e enriquecida em elementos incompatíveis, como Ti, K, Sr, Ba (Sial, 1974; Sial *et al.*, 1981; Almeida, 1986, Almeida *et al.*, 1988; Chomin-Chiaramonti *et al.*, 1986; Princivalle *et al.*, 1989; Fodor *et al.*, 1998; Rivalenti *et al.*, 2000).

Pulsos vulcânicos datados em 17 Ma foram encontrados em poços (1RNS12 e 1RNS31) realizados na porção submersa da Bacia Potiguar. A espessura total deste fluxo de olivina-basaltos atingiu 1.500 metros, na região dos *Canyons* de Agulha e Ubarana, evidenciando a grande magnitude deste evento (Asmus, 1981, 1984).

Araripe & Feijó (1994) reconheceram, na Província Borborema, três pulsos de magma máfico: Rio Ceará Mirim (140 e 120 Ma; Oliveira, 1998; Mizusaki, 1989; Mizusaki *et al.*, 2002); Serro do Cuó (93 Ma; Souza *et al.*, 2003) e Formação Macau (24 Ma; Araujo *et al.*, 2001, Moraes Neto *et al.*, 2002 e Souza *et al.* 2003).

A idade da Formação Macau foi estimada tanto de modo indireto como através de datações radiométricas. Estudos de microfósseis encontrados em unidades sedimentares intercaladas ao pacote vulcânico no topo da Bacia Potiguar (Souza, 1982) posicionaram este magmatismo entre o Oligoceno (35-22,5 Ma) e Mioceno (22,3-5 Ma). Por outro lado, idades obtidas pelo método K-Ar em basaltos do Rio Grande do Norte e Paraíba forneceram um intervalo entre 80 Ma e 13 Ma para aquele evento (Sial *et al.*, 1981). Datações recentes, através do método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , forneceram idades de  $24,6 \pm 0,8$  Ma (Souza *et al.*, 2003) para as rochas do *neck* vulcânico do Cabugi (Lages, RN).

Segundo Sial (1976b) e Rivalenti *et al.* (2000), em vários corpos vulcânicos da Província Borborema, são comuns xenocristais de olivina e piroxênio, bem como xenólitos de peridotitos, com texturas granulares porfiroclásticas. Estes são principalmente espinélio- lherzolitos, com grande variação modal, sugerindo ser a fonte dos magmas basálticos (Sial, 1977; Sial *et al.*, 1991). A química de minerais das inclusões peridotíticas é compatível com câmara magmática situada a 64 km. Análises isotópicas (Sr, Nd) de basaltos e nódulos de peridotitos feitas por diversos autores (Sial, 1974; Fodor *et al.*, 1998; Chomin-Chiaramonti *et al.*, 1986; Rivalenti *et al.*, 2000) sugerem fontes mantélicas heterogêneas metossamatisadas.

Para muitos pesquisadores (Barbosa 1984; Hackspacher *et al.*, 1985; Oliveira *et al.*, 1993 e Dantas, 1998), o Magmatismo Macau seria gerado pela reativação de falhas tectônicas recentes e importantes, como as falha de Afonso Bezerra e a de Carnaubais. Por outro lado, o modelo genético proposto por Cordani (1970), Almeida *et al.* (1988) e Chang *et al.* (1992) para o magmatismo Meso-Cenozóico da região NE do Brasil afirma que estas rochas refletem uma anomalia termal mantélica relacionada com a quebra da placa tectônica Gondwanaland e pode representar uma migração para oeste da Placa da América do Sul sobre uma pluma do manto, denominada de Pluma de Santa Helena.

### 3.2.1.5 Grupo Barreiras (Enb)

O Grupo Barreiras ocorre recobrimdo indistintamente rochas ígneas e metamórficas do Pré-Cambriano e rochas sedimentares do Grupo Apodi, constituindo depósitos siliciclásticos diversos (conglomerados, arenitos e pelitos subordinados) de sistemas fluviais (predominantes) e transicionais (estuários e leques costeiros). A idade do Grupo Barreiras ainda é motivo de debate, embora sua correlação aos sedimentos do Grupo Agulha seja a mais aceita (Araripe & Feijó, 1994; Souza, 1982).

Sua distribuição se dá ao longo de toda folha. Na porção oriental do rio Açu, os depósitos encontram-se normalmente alinhados na direção NW-SE, segundo orientação das falhas regionais.



**Foto 2:** Falésias expõem sedimentos do Grupo Barreiras na localidade de Ponta do Mel, no extremo NW da Folha Macau.

Na porção ocidental, a formação aflora no topo da Serra do Mel, denunciando um possível soerguimento da região; as cotas mais baixas estão recobertas por depósitos aluvionares antigos. Na porção oriental da folha, em torno do rio Açu, os depósitos encontram-se normalmente alinhados na direção NW-SE, compartimentados pelas falhas regionais; no entanto, sua melhor exposição encontra-se nas falésias no litoral do extremo NW da área (Foto 2).

É composta por conglomerados e arenitos ferruginosos, de coloração muito variada, friáveis ou silicificados. Apresenta, igualmente, níveis ou camadas de siltitos e argilitos, intercalados a níveis mais grossos. Essas diferenças faciológicas seriam devidas a diferentes sistemas deposicionais: aluviais, fluviais e costeiros (Alheiros & Lima Filho, 1991).

#### 3.2.1.6 Depósitos Aluvionares Antigos (N3a)

Esta unidade corresponde àquelas denominadas em trabalhos anteriores como terraços aluvionares (Fonseca, 1996), Paleocascalheiras (DNPM, 1998), Sedimentos Aluvionares Abandonados (Ferreira *et al.*, 2001), dentre outras nomenclaturas. Regionalmente, estes depósitos também são conhecidos como fácies ou Formação Faceira (Maia, 2005).

Trata-se de depósitos de antigos canais fluviais que, à medida que migram no sentido da variação decrescente das cotas topográficas, possivelmente devido a basculamentos, deixam seus registros na forma de terraços aluvionares. Os antigos canais foram abandonados e, como canais atuais, reposicionaram-se em cotas que não permitem mais que os mesmos inundem os antigos depósitos em períodos de cheias. Estes depósitos representam fácies fluviais meandranes proximais a distais associadas à fácies de transbordamento.

Destes canais que vêm migrando ao longo do período Neógeno, o mais importante é o do rio Açu, com direção, em geral, NNE. A distribuição espacial de seus terraços abandonados, incontestavelmente mais expressivos a oeste do rio, confere o predomínio de aluvião antigo nesta porção, o que evidencia a migração do canal no sentido leste.

Os depósitos correspondem a conglomerados e arenitos, na forma de camadas com espessura decimétrica a métrica, que se intercalam numa relação granodecrescente. Conglomerados e arenitos podem aparecer intercalados, com contatos marcados por superfícies erosionais (hiatos). Em alguns afloramentos, pode estar presente apenas uma dessas fácies.

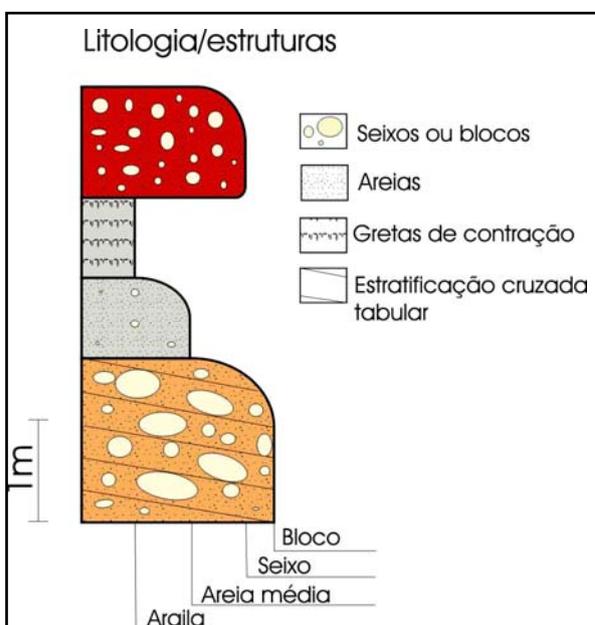
Estes sedimentos foram depositados indistintamente sobre as formações Açu e Jandaíra e o Grupo Barreiras. Conforme esperado, os antigos aluviões estão localizados lateralmente à planície de inundação atual.

A região é bem favorecida, quanto à ocorrência de afloramentos, cujas dimensões chegam a atingir até alguns milhares de metros quadrados, em especial nas pedreiras (Foto 3) ou morros ainda não explorados. Em menor dimensão observam-se afloramentos em barrancos de rio, cortes e leitos de estrada e ainda como materiais dispersos na superfície.

As litofácies que representam esta unidade são constituídas principalmente por conglomerados e arenitos, na forma de camadas com espessura de poucos decímetros a muitos metros, que se



**Foto 3:** Pedreira exploradora de cascalho dos depósitos aluvionares antigos (Comunidade Mutamba da Caeira).



**Figura 5:** Seção colunar representativa da variação granulométrica das fácies, com afinamento para o topo, denunciando a diminuição da energia de fluxo. A camada de argila encerra um ciclo e um outro recomeça com o conglomerado no topo (Comunidade Mutambinha).

aparecem intercaladas, numa relação de descontinuidade temporal, com contatos marcados por superfícies erosionais (Foto 4).



**Foto 4:** Intercalação entre níveis conglomeráticos e níveis arenosos, com contatos marcados por superfícies erosionais (Comunidade Canto Grande).

intercalam numa relação de *fining upward*, denunciando a variação de energia dos fluxos transportadores dos sedimentos (Figura 5). Nem sempre a seqüência completa de conglomerado na base com afinamento até as frações areno-argilosas no topo é observada. As fácies conglomeráticas e arenosas ainda

dependendo do afloramento, apenas uma destas litofácies está presente. Ocorrem ainda espessos pacotes de arenito com cimentação insipiente de até 5 m de espessura (Foto 5).

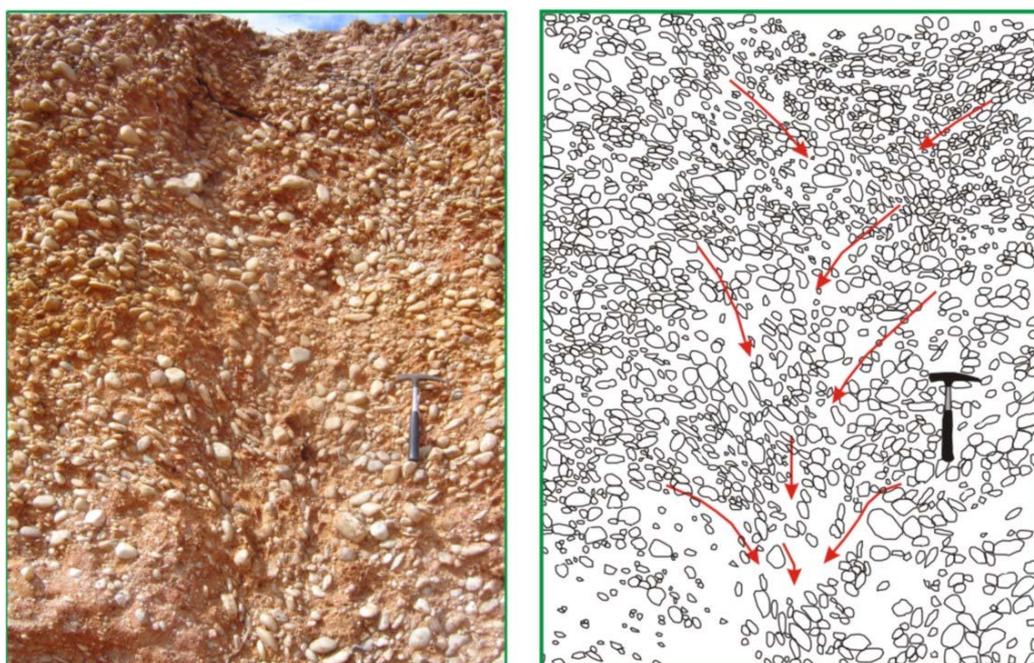
O embricamento dos seixos nas camadas conglomeráticas ou as estratificações cruzadas nos níveis menos grossos indicam que o sentido da paleocorrente varia entre NNW e NNE, com algumas variações.

Como importantes estruturas secundárias encontradas em vários perfis, têm-se as estruturas geradas por liquefação, induzidas por eventos sísmicos e assim denominadas de "sismitos" (Figura 6). São caracterizadas pela aparente desorganização interna dos sedimentos, refletida pela

obliteração total ou parcial das estruturas sedimentares primárias. A passagem de ondas de choque, através de sedimentos saturados em água, pode provocar a expulsão ascendente da água, que leva consigo os sedimentos finos; o material mais grosso (neste caso, seixos e blocos) se desestabiliza e cai no espaço gerado pelo escape do fluido, formando diques, bolsões e pilares (Bezerra *et al.*, 2005).



**Foto 5:** Depósitos aluvionares antigos: fração areia fina a média com poucos grânulos (acima: Comunidade Serra do Mel; abaixo: Carnaubais).



**Figura 6:** Sismoite na forma de pilar (Comunidade Canto Grande).

### 3.2.1.7 Depósitos Aluvionares de Canal (N4ac)

Estes depósitos se encontram principalmente ao longo do atual canal do rio Açu e em seus afluentes intermitentes. Os sedimentos predominantes são areias quartzosas e subordinadamente areia fina a argila. As principais estruturas observadas são estratificações cruzadas tabulares e acanaladas e também marcas onduladas produzidas por retrabalhamento eólico (Foto 6). As melhores exposições destes sedimentos ocorrem relacionadas ao leito do rio Açu, desde o limite sul da Folha até o município de Pendências.



Localmente, também podem ser caracterizados pavimentos constituídos por areias resultantes da desagregação e transporte (por 'lavagem' de taludes) de rochas preexistentes decompostas e/ou sedimentos, capeando indistintamente as demais unidades mapeadas.

**Foto 6:** Estratificações cruzadas acanaladas em sedimentos da unidade Depósitos aluvionares de canal (Comunidade Estreito).

#### 3.2.1.8 Depósitos Aluvionares de Planície de Inundação (N4ap)

Estes depósitos estão mapeados na planície de inundação ao longo do rio Açu, principalmente, e em outras poucas drenagens (rios Pataxós, Cabugi, Amargoso, Queimadas), já que as demais não apresentam planície de inundação mapeável na escala deste trabalho. Capeiam as demais unidades de mapeamento da Folha Macau. Grande parte da área abrangida por estes depósitos é ocupada pela agricultura. Estes depósitos são, igualmente, explorados como matéria prima para a indústria cerâmica.

São compostos por areias finas e, principalmente, siltes e argilas que ocorrem sobre o leito maior das drenagens desta região, trazidos pelas drenagens das áreas à montante ou como produtos de retrabalhamento das formações Tibau, Macau e do Grupo Barreiras (Fonseca, 1996). A significativa presença de matéria orgânica confere a estes depósitos colorações cinza, marrom claro e esverdeada. Apresentam laminações plano-paralelas e raras cruzadas do tipo *climbing-ripple* representantes da interface tração-decantação. É comum a presença de gretas de contração (Fonseca, *op.cit.*).

#### 3.2.1.9 Depósitos Flúvio - Lacustrinos (N34fpl)

Os registros flúvio-lacustrinos referem-se aos depósitos siliciclásticos pelíticos (areias finas, silte e argilas) associados às lagoas da região (Lagamar, Queimado, etc.). Quando presentes, as frações mais grossas (areias e grânulos, ocasionalmente seixos) traduzem a proximidade de áreas fontes, como, por exemplo, na Lagoa do Piató, no extremo sudoeste da Folha.

Ocorrem como depósitos de fundo de lagoa (ricos em matéria vegetal e/ou bioclastos) e nas margens lacustres, constituindo terraços, pequenos bancos (barras) e dunas eólicas. A espessura aflorante máxima é de 2 m (Lagoa do Queimado), embora, espessuras maiores devam estar associadas a contribuições de antigos canais fluviais abandonados. Ocasionalmente também pode ocorrer uma película salina depositada no fundo dos lagos secos (especialmente em Lagamar).

#### 3.2.1.10 Depósitos Flúvio - Marinhos (N34fm)

Estes depósitos estão associados à planície de maré (Foto 7) e ocorrem nas áreas abrigadas da energia da costa por esporões arenosos (Barra do Corta Cachorro e Barra do Fernandes) e pela ilha barreira da Ponta do Tubarão; também se encontram concentrados na região estuarina do rio Açu, incluindo suas margens e canais secundários.

Os depósitos fluvio-marinhos correspondem a sedimentos constituídos basicamente por areia fina a silte, pobremente selecionados e com alto teor de carbonato de cálcio e matéria orgânica. As áreas que permanecem emersas durante longo tempo e que são cobertas pelas águas oceânicas apenas nas grandes marés de sizígia, estão recobertas por extensos tapetes de algas azuis-verdes (classe *Cyanophita*) (Silva, 1991).

Silva (*op.cit.*) cita como os principais mecanismos responsáveis pela deposição e distribuição de fácies/subfácies na planície de maré, a agradação e progradação, bem como, a acresção lateral em associação com barras em pontal (*point bars*) em canais de maré meandantes e seus tributários (*tidal creeks*).



**Foto 7:** Planície onde foram mapeados os depósitos flúvio-marinhos.

### 3.2.1.11 Depósitos de Mangue (N4m)

Estes depósitos ocorrem especialmente nas áreas abrigadas pelo crescimento dos cordões litorâneos, compreendendo ocorrências principalmente associadas ao litoral centro-leste, desde a



**Foto 8:** Depósitos de mangues típicos.

localidade de Barreiras até o município de Porto do Mangue, cujos limites com os depósitos flúvio-marinhos são variáveis, tanto espacial quanto temporalmente.

Os sedimentos associados aos manguezais são compostos por lamas orgânicas (silte, argila e, subordinadamente, areia fina), intensamente bioturbadas pela ação de crustáceos e moluscos, além de bivalvos sésseis (*Ostrea* e *Casostrea*)

que se prendem às raízes das plantas (Foto 8). De um modo geral, possuem maior proporção de matéria orgânica do que os depósitos fluvio-marinhos indiferenciados (anteriormente descritos), caracterizados pela ocorrência da biota típica (crustáceos, moluscos, vegetação mixohalina, etc.). Os estudos de difratometria de raios-X da fração argilosa mostraram a predominância de caolinita com presenças variáveis de ilita, esmectita, clorita e camadas mistas (Miranda, 1983).

No Estado do Rio Grande do Norte, as planícies de marés estão desenvolvidas mais conspicuamente na faixa costeira de orientação E-W (a oeste de Touros), e os exemplos mais representativos encontram-se nos estuários dos rios Açu e Mossoró. Na área da Folha Macau, duas amostras foram coletadas em planície de maré e datadas pelo Método do  $^{14}\text{C}$ , apresentando idades próximas a 5.500 e 1.500 anos (Bezerra *et al.*, 2003).

### 3.2.1.12 Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados (N4elv) e Não Vegetados (N4eln)

Estes depósitos estão localizados em toda a faixa litorânea, principalmente na porção oeste da área. São representados principalmente pelos campos de dunas (atuais e pretéritos) do Grupo Barreiras – Soledade/Porto do Mangue – Ponta do Mel.

Os depósitos eólicos litorâneos vegetados são sedimentos eólicos quaternários constituídos predominantemente por areias quartzosas, bem selecionadas e com grãos arredondados. Ocorrem na parte sul da planície estuarina da Ponta do Tubarão / Diogo Lopes / Barreiras, envolvidas por um cinturão de dunas não vegetadas. Na área, estão diferenciados dos demais depósitos eólicos, especialmente pela vegetação que os recobrem (Foto 9) e que favorecem a sua fixação (Souto, 2004). Correspondem às dunas ativas (Barreto *et al.*, 2004) ou móveis (*apud* Fonseca, 1996) já citadas na literatura, sendo que aqui foi adotado o critério “cobertura vegetal” na distinção desta unidade.



**Foto 9:** Depósitos litorâneos vegetados em primeiro plano. Ao fundo estão os corpos de dunas correspondentes aos depósitos litorâneos não vegetados.

Os depósitos eólicos litorâneos não vegetados

compreendem acumulações eólicas mais jovens, formando dunas de várias formas, porém, predominando os tipos barcanóides. Os sedimentos são constituídos por areia fina a média,



composta predominantemente por quartzo e, por vezes, fragmentos de conchas de organismos marinhos (Foto 10); os grãos são bem selecionados, arredondados a subarredondados e esféricos a subesféricos (Souto, 2004).

**Foto 10:** Exemplo de depósitos litorâneos não vegetados.

Estes depósitos estão localizados em toda a faixa litorânea, principalmente na região de Rosado, onde ‘cavalgam’ sobre a paleofalésia esculpida sobre o Grupo Barreiras (*Campo de Dunas de Rosado*). As formas individuais correspondem a dunas do tipo barcana, que se deslocam para SW com velocidade média estimada em 20 km / anuais (Miranda, 1983).

Os depósitos de superfície de deflação são formados durante a migração (para sudoeste) das dunas móveis, que deixam para trás sedimentos mais grossos, incapazes de migrar (Souto, 2004). Compreendem depósitos residuais de areias grossas (‘piso’ de dunas) e depósitos de areias grossas e grânulos nas regiões interdunares, associados tanto as paleodunas quanto às dunas mais jovens (Foto 11).

Barreto *et al.* (2004) apresenta a cronologia absoluta de depósitos costeiros para o Quaternário superior a partir da integração de idades previamente publicadas, e idades obtidas por TL e  $^{14}\text{C}$ , no litoral do Rio Grande do Norte. As idades encontradas nos domínios eólicos, obtidas por TL (Tabela 2 e Figura 7), representam os tempos decorridos após a última exposição das areias aos raios solares, seja durante sua deposição, seja em eventos posteriores de erosão e/ou retrabalhamento.



**Foto 11:** Em primeiro plano vê-se a superfície de deflação e, ao fundo, um campo de dunas.

As idades variam de 390.000 anos até o presente. Na área da Folha Macau foram amostrados as dunas vegetadas, correspondentes ao domínio de dunas inativas de Barreto *et al.* (2004). Foram obtidas idades muito variáveis, desde 24.700 anos até 2.500 anos (Holoceno). Duas amostras datadas coincidem com a passagem Pleistoceno-Holoceno (11.000 a 9.000 anos). A idade TL mais nova foi 2.500 anos e, segundo Barreto *et al.* (op.cit.), estas idades podem representar retrabalhamento dos depósitos eólicos, sugerindo a ocorrência de reativações eólicas.

Assim, com base na distribuição das idades ao longo do tempo, Barreto *et al.* (2004) identificaram, no Estado do Rio Grande do Norte, pelo menos seis fases mais importantes de atividade eólica seguidas de fixação. Destas, três fases estão presentes na área de Folha Macau: 63.000 a 24.000 anos, 11.000 a 9.000 anos e 6.500 anos até hoje.

**Tabela 2:** Localizações, cores, doses anuais de radiação local, paleodoses e idades obtidas por TL das amostras de dunas eólicas costeiras na área de Folha Macau. Todas foram obtidas no domínio das dunas inativas (Barreto *et al.*, 2004) correspondente à unidade dos Depósitos Litorâneos Vegetados.

Amostra	Localização (UTM)	Cor	Dose anual	Paleodose (Ga)	Idade (anos)
41.98	7405, 9434	Marrom avermelhado	1623 ± 17	40.1 ± 0.4	24700 ± 5000
42.98	7392, 9447	Marrom claro	596 ± 20	1.5 ± 0.1	2500 ± 200
43.98	7374, 9451	Marrom claro	678 ± 20	6.2 ± 0.2	9100 ± 600
44.98	7482, 9454	Marrom avermelhado	437 ± 17	4.1 ± 0.2	9400 ± 800

### 3.2.1.13 Depósitos Litorâneos Praiais (N4lp)

Os sedimentos destes depósitos são encontrados principalmente na zona de estirâncio, que é uma zona estreita e paralela à linha de costa, ocorrendo ao longo de quase toda faixa litorânea da área (Foto 12). São constituídos por areias inconsolidadas quartzosas com granulometria variando de fina até muito grossa, sendo rica (> 5%) em bioclastos e, algumas vezes, em minerais pesados. Todos estes sedimentos estão submetidos à ação da dinâmica costeira (atual e pretérita), o que produz muitas variações morfológicas na praia, como a geração de terraços marinhos, cúspides praias, bermas e dunas frontais (Souto, 2004).

Os arenitos praias (*beachrocks*) também ocorrem na área mapeada. Correspondem a areias médias a grossas, com grânulos e carapaças de moluscos e bivalves, e cimentadas por carbonato de cálcio. As ocorrências (não mapeáveis na escala de trabalho) situam-se nas regiões das pontas do Cristóvam, do Mel e da Pedra Grande, em parte ancorados nos arenitos do Grupo Barreiras, em parte constituindo um cordão de recifes emersos somente na maré baixa.

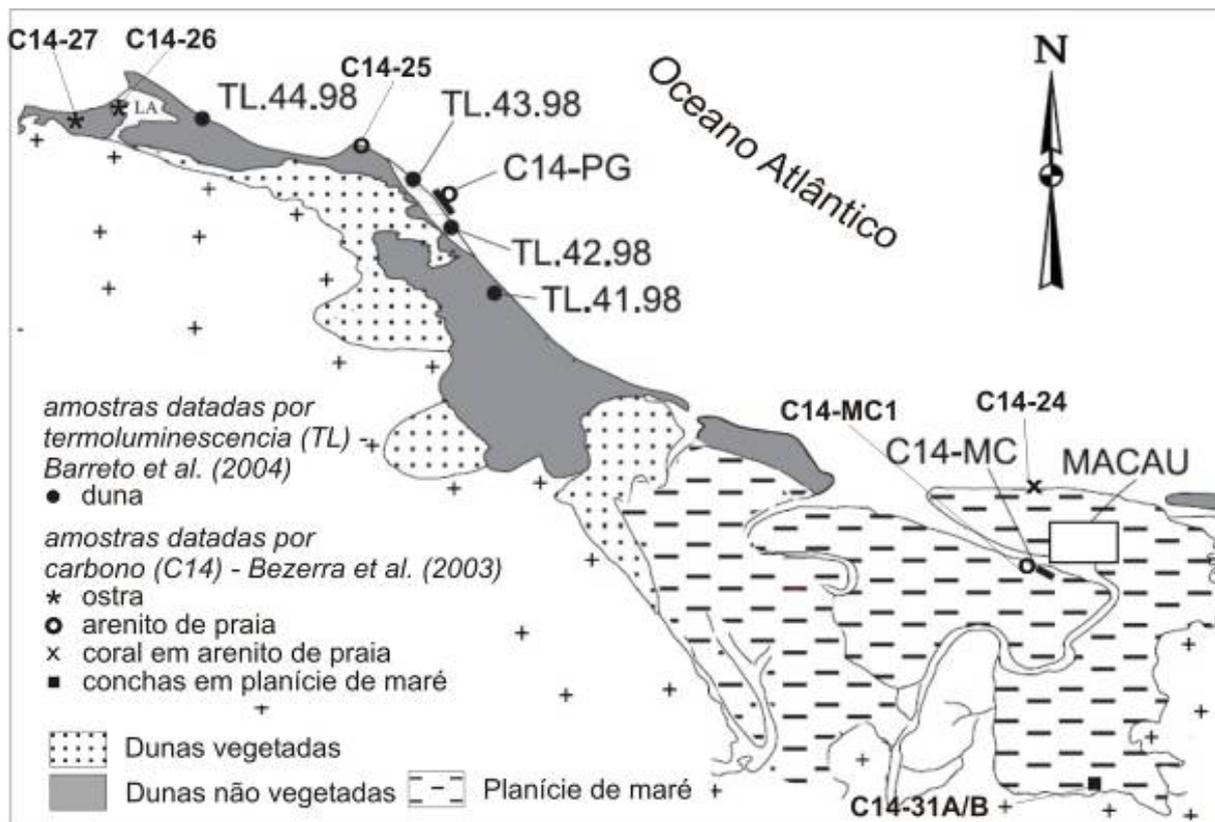


Foto 12: Depósitos litorâneos praias.

Bezerra *et al.* (2003) datou por  $^{14}\text{C}$  amostras de conchas em rochas praias, que são depósitos de intermarés a inframarés holocênicos; bivalves em depósito de turfas e arenito de praia, vermitídeos e ostras em arenito de praia e ostras e bivalves em planície de maré (Figura 7, Tabela 3). A grande variação das idades obtidas na área da Folha Macau (cerca de 5.500 anos AP a cerca de 300 anos AP) não permite análises conclusivas, mas quando analisados globalmente os resultados apresentados por Bezerra *et al.* (*op.cit*) apontam para a determinação de oscilações milenares no nível médio do mar.

**Tabela 3:** Idades  $^{14}\text{C}$  obtidas em conchas de arenitos praias e paleomangues na área de Folha Macau (modificado de Bezerra *et al.*, 2003)

Amostra	Altura do paleonível marinho (metro)	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ‰	Idade $^{14}\text{C}$ (anos AP)	Idade calibrada (AP a $2\sigma$ )	Natureza da amostra e local de coleta
PG	0.6 ± 1.0	0.54	2700 ± 80	2680-2190	Conchas em rochas praias
MC1	1.8 ± 1.0	0.48	1600 ± 40	1250-1060	Conchas em rochas praias
C14-24	0.0 + 1.0	-27.20	390 + 60	360 + 60	Conchas de bivalve em posição de vida/depósito de turfa
C14-25	1.0 ± 1.0	-0.70	1160 ± 70	870-610	Assembléia morta de conchas de bivalve em arenitos de praia.
C14-26	1.8 + 0.5	2.00	2720 ± 60	2670-2300	Vermítídeo em arenito de praia
C14-27	3.9 ± 1.0	0.50	4960 ± 60	5450-5130	Ostra em arenito de praia
C14-3IA	4.0 + 1.0	-1.10	5130 ± 70	5610-5310	Conchas de bivalve em assembléia morta em planície de maré
C14-3IB	4.0 ± 1.0	-7.30	1980 ± 60	1690-1390	Ostra em Planície de Maré



**Figura 7:** Posição das amostras datadas por carbono ( $^{14}C$ ) e por termoluminescência (TL) de depósitos litorâneos na área da Folha Macau, segundo Bezerra *et al.* (2003) e Barreto *et al.* (2004).

## 4. PETROLOGIA

---

A presente seção tem o objetivo de apresentar uma descrição detalhada das diferentes litologias presentes na Folha Macau, juntamente com a interpretação dos resultados litogeoquímicos.

### 4.1 Aspectos Diagenéticos Relacionados à Formação Açú

Para esta unidade, foram identificados em lâminas delgadas os seguintes eventos:

- a) Precipitação de cutículas de óxidos e hidróxidos de ferro sobre os grãos do arcabouço, as quais imprimem uma coloração avermelhada às rochas. O ferro advém, provavelmente, da alteração de minerais ferro-magnesianos instáveis presentes no arcabouço (biotita, piroxênios, anfibólios, etc);
- b) Precipitação de argilominerais, sobretudo *booklets* de caulinita, os quais preenchem parcialmente o espaço intergranular. A origem desta caulinita relaciona-se, possivelmente, à alteração de micas e feldspatos. É comum, inclusive a alteração parcial destes grãos para caulinita, com destaque para a caolinitização das extremidades das muscovitas, gerando feições semelhantes a “vassouras”;
- c) Precipitação de um cimento ferruginoso, opaco, o qual ocupa parcial a totalmente o espaço intergranular (“pore-filling”);
- d) Precipitação de cimento carbonático, mais especificamente calcita, sob a forma de um preenchimento de poros macrocristalino a poiquilotópico. Observa-se, igualmente, substituição parcial a total dos grãos do arcabouço por este cimento. No primeiro caso, geram-se grãos com bordas corroídas, enquanto, no segundo, restam fantasmas do contorno dos grãos;

### 4.2 Aspectos Diagenéticos Relativos à Formação Jandaíra

Foram identificados os seguintes eventos diagenéticos:

- a) Evento precoce de micritização dos grãos;
- b) Precipitação de cimento sintaxial (*overgrowth*) ao redor dos equinodermatas;
- c) Compactação mecânica;
- d) Preenchimento do espaço intergranular por um mosaico de cristais equantes de calcita meso a macrocristalinos, normalmente precedido de uma franja de cristais prismáticos mesocristalinos. Raramente, nota-se a presença de um cimento blocoso de origem tardia;
- e) Dissolução de grãos do arcabouço e do cimento calcítico, gerando porosidade dos tipos móldica, intragranular e de fratura (neste caso, por compactação tardia);
- f) Dolomitização localizada;
- g) Evento tardio de oxidação.

### 4.3 Formação Tibau

Na área mapeada, a Formação Tibau corresponde restritamente às rochas de aspecto vitrificado, em maior ou menor grau, devido à recristalização de sílica microcristalina ("cozimento") pela ação hidrotermal provocada pela colocação do Magmatismo Macau. Clastos quartzosos, subangulosos, na fração areia média a grânulos, estão imersos numa matriz maciça, cuja coloração varia entre amarelo escuro e marrom (Foto 13).



**Foto 13:** Arenitos "cozidos" da Formação Tibau: à esquerda, com granulometria areia média; à direita, conglomerático.

### 4.4 Magmatismo Macau

Foram confeccionadas cerca de 12 lâminas das rochas relacionadas ao magmatismo Macau. Estas rochas indicaram uma composição mineralógica constituída por clinopiroxênio (35%), plagioclásio (25%), ortopiroxênio (10%), além de carbonatos (<3%) e de opacos (<7%).

O clinopiroxênio se apresenta com forma euédrica a subédrica, por vezes tabulares e com tamanho inferior a 0,1mm, podendo, entretanto, formar fenocristais. O plagioclásio ocorre freqüentemente na forma de ripas aleatórias com até 1,2mm, com alguns cristais zonados. O ortopiroxênio ocorre freqüentemente alterado, com forma euédrica a subédrica e tamanho inferior a 1mm. O carbonato ocorre preenchendo cavidades com formas irregulares. Seu tamanho é inferior a 8mm.

As rochas mostram uma textura fina à média, onde o arranjo dos minerais de plagioclásio e piroxênio configura uma textura óptica. Pode apresentar vesículas/amídalas e, em algumas porções na lâmina, ocorrem agregados de plagioclásio e clinopiroxênio, interpretados como inclusões de diabásio.

A presença do carbonato provavelmente está relacionada a processos de intemperismo secundário.

Estas rochas são classificadas como basaltos ou diabásios, cujos protólitos devem ter sido uma vulcânica máfica e correspondem ao conjunto de rochas denominado de Formação Macau.

## 4.5 Grupo Barreiras

O Grupo Barreiras é composta por conglomerados e arenitos ferruginosos friáveis, de coloração muito variada: vermelho, laranja com porções roxa, creme, amarela e esbranquiçada, com matriz argilosa e abundantes concreções lateríticas. Comumente tem-se a presença de níveis ou camadas de siltitos e argilitos, intercalados a níveis mais grossos (Foto 14).

## 4.6 Depósitos Aluvionares Antigos

### 4.6.1 Conglomerados

O arcabouço dos conglomerados é constituído predominantemente por quartzo e ainda por sílex, feldspato, arenito, granito, gnaíse, pegmatito, quartzito e basalto. A seleção é pobre, com a presença de seixos muito pequenos (> 2mm) até blocos de 40cm. Os clastos são de modo geral arredondados, com média a baixa esfericidade. O contato entre eles é pontual (raramente, diferentes porções apresentam os extremos da classificação: ora contatos retos e ora flutuantes). Trata-se, portanto, de conglomerados polimíticos clasto-suportados (Foto 15).



**Foto 14:** Detalhe da falésia em Ponta do Mel, com variação de coloração e granulometria no Grupo Barreiras.



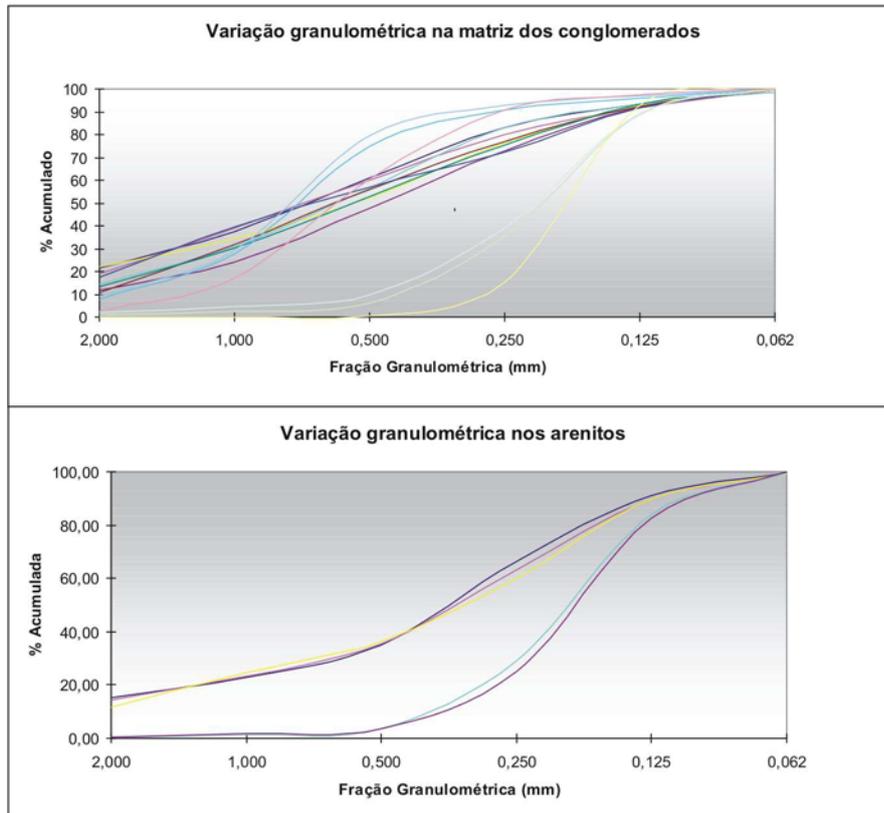
**Foto 15:** Conglomerado típico dos Depósitos aluvionares antigos. Comunidade Santo Antônio.

A matriz é areno-argilosa com predominância de quartzo na fração areia média a grossa. Devido a diferentes processos de alteração, inclusive intemperismo, a matriz pode apresentar variações de cores e tonalidades, assim sendo não é incomum encontrarem-se porções esbranquiçadas, laranja ou vermelhas; no entanto, o vermelho prevalece decorrente do cimento ferruginoso.

### 4.6.2 Arenitos

De um modo geral, são quartzosos e possuem seleção pobre, com granulometria que varia entre média e grossa, sendo muitas vezes conglomeráticos. A matriz é siltica-argilosa, com cimento de óxido de ferro, conferindo coloração avermelhada às rochas.

De acordo com as análises granulométricas realizadas, há uma correlação entre estes arenitos e a matriz dos conglomerados, já que estes possuem uma assinatura granulométrica parecida com curvas de percentagem acumulada próximas, com inflexões positivas acentuadas na fração areia média para os arenitos e areia grossa a muito grossa para a matriz dos conglomerados (Figura 8). A composição de ambos são semelhantes.



**Figura 8:** Gráficos de análises granulométricas realizadas em amostras da matriz de diversos conglomerados e arenitos da unidade Depósitos aluvionares antigos. As curvas apresentadas são de porcentagens cujas inflexões positivas acentuadas indicam a fração predominante.

Uma outra fácies do arenito corresponde a uma rocha muito mais friável, isto é, pouco consolidada. A seleção é pobre a moderada, com granulometria variando entre fina e média. Há pouca matriz síltica-argilosa e insipiente cimentação por óxido de ferro. A coloração varia entre o vermelho e o esbranquiçado.

#### 4.7 Depósitos Aluvionares de Canal

Os sedimentos são quartzosos de tamanho areia média a grossa, cuja presença de material mais fino (areia fina a argila) é variável, assim como podem ocorrer seixos e grânulos de quartzo, clastos de argila com até 2 cm, fragmentos de conchas e restos vegetais, misturados às areias. A seleção varia de moderada a pobre. A coloração oscila de creme a marrom escura, devido à presença de matéria orgânica decomposta.

Os sedimentos dos eventuais pavimentos citados anteriormente são constituídos por areias quartzosas de coloração castanho-escuro a amarelada e/ou seixos de quartzo, silixito, cataclasito, fragmentos de rocha e concreções ferruginosas pobremente selecionadas e subarredondadas.

## 5. GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÔNICA

---

### 5.1 Introdução

A deformação tectônica que atinge as rochas aflorantes na região de Macau (Folha Macau) foi caracterizada a partir do estudo de diferentes tipos de estruturas, enfocando desde a mega até a mesoescala. As feições estruturais presentes afetam pacotes sedimentares do Turoniano-Cenomaniano (Formação Açú), até os terraços aluvionares do Quaternário, incluindo o Grupo Barreiras (Plioceno).

Os grandes lineamentos são marcados em superfície por feixes de fraturas e/ou alinhamentos geomorfológicos bem delineados em imagens de satélite e fotografias aéreas. Essas zonas desenvolvem-se segundo NE-SW e NW-SE. Segundo Oliveira *et al.* (1993), estas estruturas refletem reativações ou a impressão de grandes estruturas em subsuperfície. Tais reativações são, em geral, de caráter recorrente, ao longo de todo o desenvolvimento da Bacia Potiguar, desde a estruturação do Rifte Potiguar (Borges, 1993) até a configuração atual das formações Açú e Jandaíra, além do Grupo Barreiras (Lima *et al.*, 1990; Oliveira *et al.*, 1993; Bezerra 2000; Bezerra e Vita-Finzi, 2000; Bezerra *et al.*, 2001).

Os padrões das mesoestruturas encontradas na área correlacionam-se diretamente aos Sistemas de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra de direções NE e NW, respectivamente.

#### Sistema de Falhas Carnaubais

Bezerra *et al.* (1997 e 1998), Caldas (1998) e Dantas *et al.* (1997) reconheceram uma reativação recente na Falha de Carnaubais. Datações por  $^{14}\text{C}$  indicam que o bloco SE da falha foi soerguido de 1 a 3 m em relação ao bloco NW, entre aproximadamente 4000-2800 anos atrás. Caldas *et al.* (1997) mostraram que esta falha afeta rochas de idade quaternária, e que ela apresenta movimentação dextral, com uma componente extensional. Bezerra (2000) confirmou através de análise do campo atual de tensões e da orientação do plano de falha, a movimentação dextral. Fonseca (1996) também apontou movimentação direcional dextrógira, com base em deflexões de cursos fluviais a oeste do rio Açú.

Caldas (1998) produziu um mapa de componente regional topográfica, que mostrou o controle das feições regionais topográficas pelo par conjugado formado pelas falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra. A componente residual da topografia evidenciou que os vales dos rios de direção NW são truncados exatamente na região onde a Falha de Carnaubais se projeta na superfície. Este fato foi interpretado como uma evidência de que os últimos movimentos de importância ocorreram na Falha de Carnaubais.

## **Sistema de Falhas Afonso Bezerra**

Fortes (1982) determinou que os grandes lineamentos (NE e NW) da Bacia Potiguar são reconhecidos por fraturamento intenso, silicificações e acentuadas variações de cor do solo. Ainda neste contexto, nas zonas de falhas, seria freqüente a lixiviação controlada por diáclases e feições morfológicas menores, tais como suaves degraus topográficos ou encaixe de vales de drenagem.

Hackspacher *et al.* (1985) relacionaram a ocorrência de fanglomerados, incluindo brechas de tálus e conglomerados polimíticos polimodais, brechas de falha, falhas escalonadas, além do condicionamento morfológico, no reconhecimento específico da Falha de Afonso Bezerra. Estes autores consideraram a Falha de Afonso Bezerra como o mais importante lineamento do sistema frágil de direção NW da Bacia Potiguar. Posteriormente, Oliveira *et al.* (1993) a definiram como um agrupamento de fraturas que se alinha segundo a direção NW-SE e se estendem desde o sul de Lages (RN), adentrando-se a Bacia Potiguar até sudeste de Macau (RN), alcançando cerca de 200 km de comprimento e 5 a 20 km de largura.

Oliveira *et al.* (1993) reconheceram, em campo, o afloramento que hoje representa a melhor exposição da Falha de Afonso Bezerra em superfície, o qual foi chamado de Afloramento de Afonso Bezerra (AAB). Neste local, ocorre a falha principal, com rejeito direcional e dimensões decamétricas, associada a mesofalhas conjugadas e a uma dobra cônica ampla.

### **5.2 Caracterização Estrutural**

O trabalho de campo consistiu em mapear estruturas nas rochas aflorantes da zona de interdigitação entre os arenitos da Formação Açu e as rochas siliciclásticas e carbonáticas sobrejacentes da Formação Jandaíra, além dos terraços aluviais do rio Açu.

O reconhecimento das grandes estruturas em escala de afloramento não foi fácil, pois tais estruturas, em muitos locais, estão encobertas pelo regolito ou obliteradas por sedimentos inconsolidados. Em alguns casos, foi possível reconhecer, localmente, várias mesoestruturas que, em geral, correspondem à impressão do tectonismo regional em afloramento.

Dentre estas estruturas destacam-se: as bandas de deformação nos arenitos e calcários arenosos, desde seu estágio mais incipiente até zonas com intenso cisalhamento; conjunto de meso-falhas com sentido de movimento variado, e vinculado, ou não, a dobras abertas decamétricas; associação de dobras métricas, estilólitos tectônicos que afetam carbonatos da Formação Jandaíra, brechas de falhas composta por fragmentos de calcário da Formação Jandaíra, e juntas. Foram ainda observadas estruturas de liquefação, denominadas de Sismitos, em rochas conglomeráticas dos Depósitos Aluvionares Antigos.

O Grupo Barreiras apresenta bons exemplos da deformação neotectônica, onde são identificadas mesofalhas em falésias que ocorrem ao longo do litoral, além de falhas de orientação NW marcadas por intensas zonas de silicificação tanto nos sedimentos do Grupo Barreiras como em pacotes mais recentes.

## Bandas de deformação

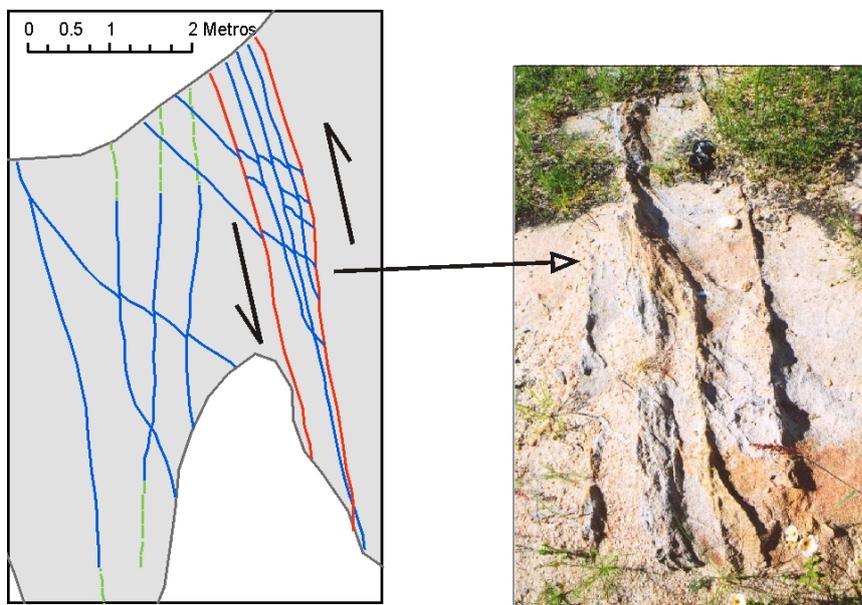
As bandas de deformação são falhas aproximadamente planares, desenvolvidas em arenitos porosos, em formas de veios, que ocorrem como delgadas faixas de poucos centímetros de espessura e vários metros de comprimento, e acomodam pequeno rejeito da ordem de poucos milímetros a poucos centímetros (Aydin & Johnson, 1978). São atualmente reconhecidas como um conjunto de barreiras permo-porosas ao desenvolvimento do fluxo de fluidos numa bacia sedimentar, por isso representa mais uma descontinuidade estrutural bastante estudada em simulações de rochas reservatórios de petróleo.

A área de estudo apresenta vários afloramentos com bandas de deformação que apresentam uma ocorrência seletiva em termos de área geográfica, contexto estrutural e estratigráfico.

Do ponto de vista geográfico, as bandas de deformação ocorrem por toda a faixa de afloramentos da Formação Açu. O padrão de desenvolvimento desses afloramentos varia desde incipiente, onde as condições de fraturamento elástico são reconhecíveis, até zonas de cisalhamento anastomosadas e espessas.

Do ponto de vista estrutural, as bandas de deformação correspondem a um conjunto de falhas transcorrentes dextrais e sinistras, às vezes com componente oblíquo associado, e geralmente de direção NW a NNW (Figura 9). Os planos apresentam mergulhos entre 70° e 85°.

Tais bandas ocorrem preferencialmente em áreas de zonas de falhas, como por exemplo, no *trend* de Carnaubais (conjunto de falhas normais, geradas na fase rifte, de direção NE) e na falha de Afonso Bezerra.

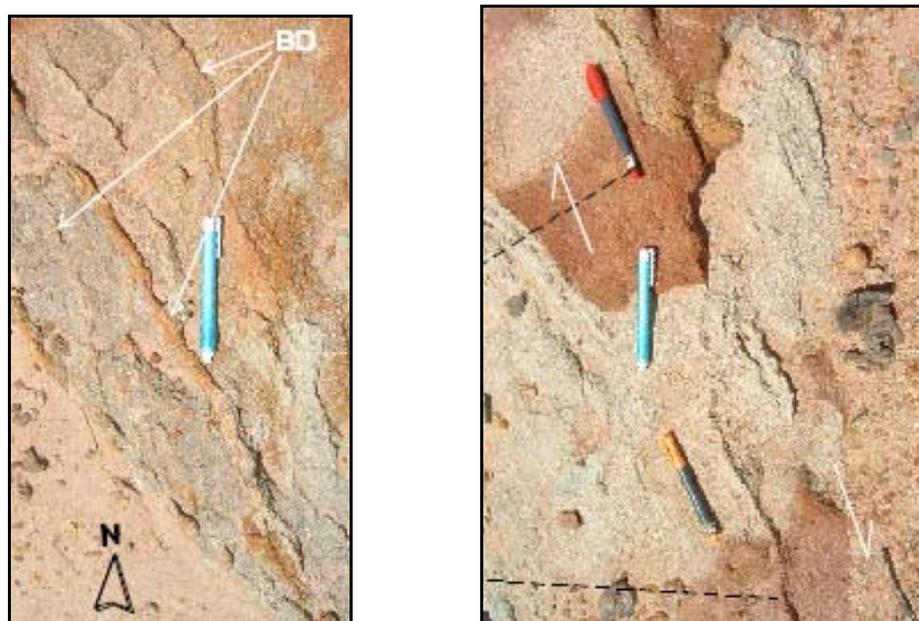


**Figura 9:** Banda de Zona de deformação (Afonso Bezerra).

As bandas de deformação caracterizam-se por formar vários planos paralelos ou anastomosados. É possível identificar falhas principais que atingem mais de 10 m, associadas às diversas outras secundárias. As bandas de deformação atingem até 5 cm de espessura e possuem granulometria mais fina que a rocha encaixante. Normalmente, a granulometria da encaixante é areia média a

grossa, por vezes conglomerática, e na banda de deformação, a granulometria é areia fina. A faixa de concentração de zonas de bandas de deformação pode atingir alguns metros (Figura 10).

Diversos critérios cinemáticos foram usados para caracterizar a movimentação das bandas de deformação. As juntas de cisalhamento de Riedel foram o critério cinemático mais utilizado para definir a movimentação relativa entre os blocos, assim como o desenvolvimento de estruturas em "olhos" ou "amêndoas" e em "rampa".



**Figura 10:** Zona de banda de deformação (ZBD), com planos de alto mergulho indicando o contraste textural característico das bandas de deformação (afloramento localizado a 1,5 km a oeste de Afonso Bezerra).

Do ponto de vista estratigráfico, as bandas ocorrem, de forma incipiente, em arenitos da unidade Açú 4 (Açú 4, segundo Vasconcelos *et al.*, 1990), e de forma mais abundante, na unidade Açú 3 (Vasconcelos *et al.*, 1990). Tal ocorrência está diretamente relacionada ao aspecto textural. O aspecto textural, na banda de deformação, diz respeito a cominuição de grãos dentro da estrutura, uma importante característica, além da diminuição brusca de porosidade e aumento da matriz no sentido rocha hospedeira – rocha deformada.

### Falhas

A ocorrência de rochas de falha é importante para fornecer indícios de falhas de maior magnitude e reconhecer o nível crustal em que se formaram.

No município de Alto do Rodrigues, mais precisamente às margens da Lagoa de Queimados ocorrem afloramentos compostos por conglomerados limonitizados e brechados provavelmente, quaternários, que capeiam arenitos finos do Grupo Barreiras e calcários da Formação Jandaíra, as quais apresentam falhas transcorrentes dextrais com componentes extensionais associados. Essa rocha apresenta fragmentos de calcário imersos numa matriz fina carbonática, calcedônia, opala e sílica amorfa.

Na borda sudoeste da lagoa, a ocorrência desta rocha é mais freqüente. Essa região corresponde ao traço de falha pertencente ao Sistema de Afonso Bezerra. Na borda nordeste, com menor

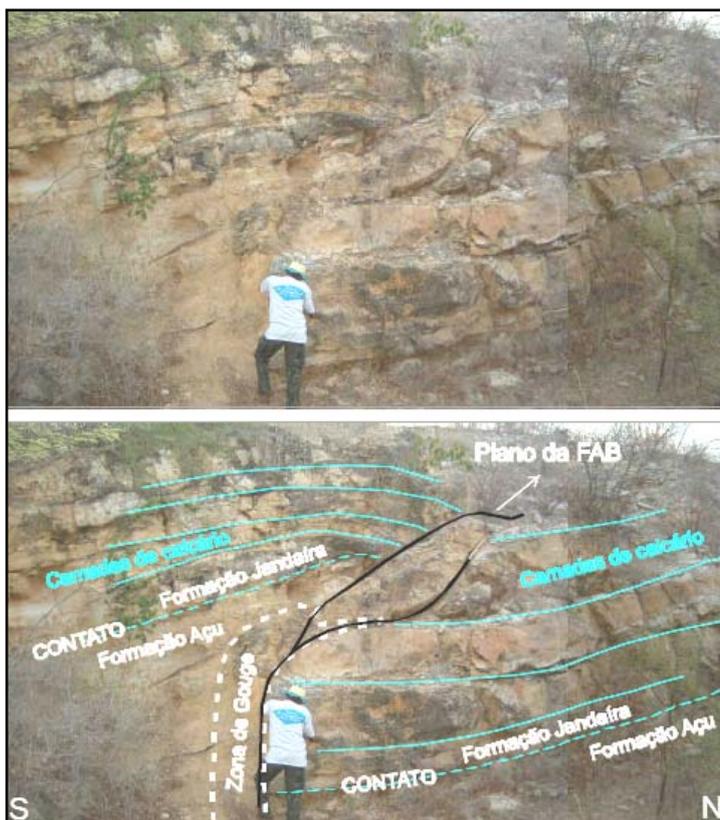
ocorrência, o calcário brechado e silicificado corresponde à expressão, em superfície, da Falha de Queimados, também inserida no contexto do mesmo sistema.

Analisando-se as características das rochas de falha (brecha, *gouge* e pseudotaquilito), é possível inferir que o sistema de falhas de direção NW formou-se em profundidade superior a 5 km (Dantas, 2004).

O alinhamento dos braços da lagoa é um reflexo da influência da Falha de Queimados.

No Afloramento da Falha de Afonso Bezerra, a falha principal possui uma geometria irregular e apresenta, nos planos da falha, estrias horizontais semelhantes a sulcos. Localmente, alarga-se, formando uma zona onde se desenvolve um intenso cataclasamento (zonas de *gouge*). A análise estrutural destas feições permitiu definir uma cinemática direcional-dextral, dentro do contexto de uma região de transpressão (Figura 11).

Foram observadas outras estruturas nas adjacências da cidade de Afonso Bezerra (RN), no mesmo contexto geológico da Falha de Afonso Bezerra, como a presença de falhas normais com vários metros de comprimento (Foto 16 a,b) e planos estriados, juntas métricas e subverticais (Foto 17 e Figura 12).



**Figura 11:** Afloramento de Afonso Bezerra (AAB), localizado a cerca de 4,5 km a norte de Afonso Bezerra - RN.



**Foto 16:** a – Deslocamento de camadas dos arenitos da Formação Açú, provocado por falhamento normal. O rejeito vertical é de cerca de 70 cm (afloramento localizado a cerca de 4,5 km a leste de Afonso Bezerra). b – Deslocamento de camadas nos calcários da Formação Jandaíra, provocado por falhamento normal (afloramento localizado a cerca de 4,5 km a oeste da comunidade Riacho Grande).

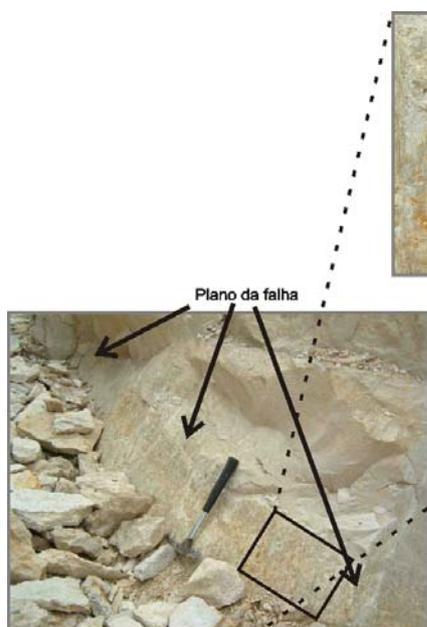
## Estilólitos

A observação dos estilólitos tectônicos nos calcários da Formação Jandaíra é um critério de campo usado para corroborar os dados de paleotensões derivados de falhas. A determinação da cinemática das falhas seguiu vários critérios. Os mais utilizados foram juntas de cisalhamento de Riedel, fraturas de distensão, planos de falhas conjugados e marcadores deslocados.

Os estilólitos foram encontrados ao longo de toda a área estudada e afetam carbonatos da Formação Jandaíra. Os estilólitos tectônicos cortam planos de acamamento e estilólitos diagenéticos, como mostram as relações de campo (Figura 30). As relações de campo indicam que estes estilólitos foram formados por um campo compressivo, com eixo  $\sigma_1$  subhorizontal e com orientação aproximada N-S.



**Foto 17:** Plano de falha normal desenvolvido no arenito da Formação Açú com estrias de alto rake (afloramento localizado cerca de 4,5 km a leste de Afonso Bezerra).



**Figura 12:** Plano de falha normal desenvolvido no calcário da Formação Jandaíra com estrias de fibras de calcita (afloramento localizado a cerca de 4,5 km a NW da comunidade de Riacho Grande).

As juntas preenchidas por  $\text{CaCO}_3$  e FeO nos arenitos apresentam direção preferencial de NNE e uma secundária de WNW.

As juntas secas nas rochas carbonáticas apresentam um *trend* expressivo NE que varia entre  $\text{N}10^\circ\text{-}50^\circ\text{E}$ . É possível notar a ocorrência de uma direção importante NS.

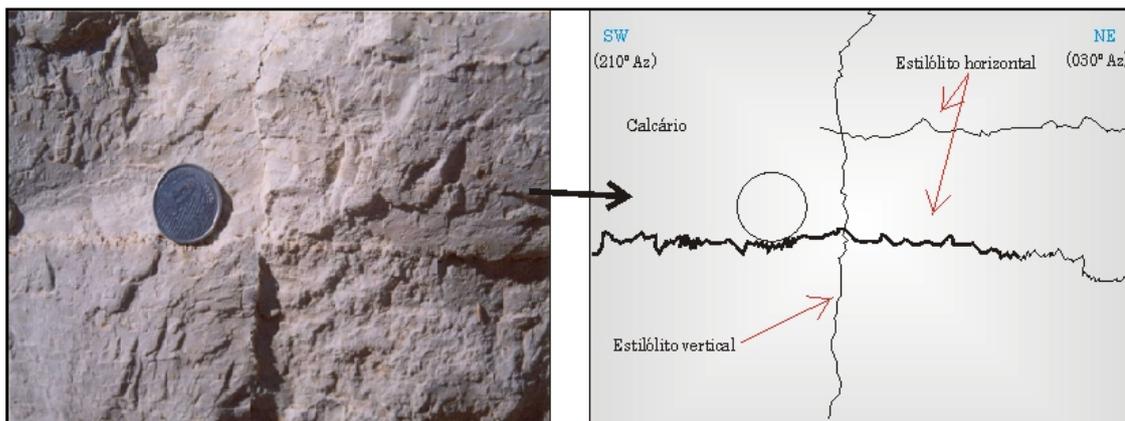
## Juntas

As juntas mapeadas na área foram classificadas como juntas extensionais verticais abundantes na Formação Jandaíra, com direção predominantemente em torno de  $\text{N}45^\circ\text{W}$ ,  $\text{N}68^\circ\text{W}$  e  $\text{N}78^\circ\text{E}$ .

As juntas nos arenitos não mostraram a uniformização das direções como ocorrido nas rochas carbonáticas. A direção predominante foi E-W,  $\text{N}50^\circ\text{E}$ ,  $\text{N}67^\circ\text{E}$ ,  $\text{N}35^\circ\text{W}$  e  $\text{N}20^\circ\text{W}$ .

Foi possível observar uma boa correlação entre as atitudes de juntas e falhas neotectônicas e o campo de tensões atual.

As juntas nos terraços fluviais do rio Açú apresentam uma heterogeneidade quanto à direção de fraturamento; no entanto, é observada uma direção preferencial em torno de  $\text{N}280^\circ\text{-}340^\circ\text{W}$  e outra secundária de  $\text{N}10^\circ\text{-}30^\circ\text{E}$ .



**Figura 30:** Interseção de estilólitos verticais e horizontais.

As juntas preenchidas por calcita no calcário assumem uma direção predominantemente NW, em torno de  $N300^{\circ}$ - $340^{\circ}$ W, e secundariamente NE. Observa-se, ainda, um terceiro *trend* NS, nas proximidades dos calcários com os terraços.

### Sismitos

Os sismitos são estruturas formadas por meio de processos de fluidização provocados pela injeção e/ou passagem de alguma espécie de fluido através dos interstícios da rocha ou por rearranjo/desarranjo do arcabouço de rochas de composição predominantemente siliciclástica/arenosa ou conglomerática através de tectônica atuante.

Tais feições de liquefação podem ser geradas sob condições tectônicas e ou diagenéticas específicas causadoras da fluidização dos sedimentos. Estas condições estão/são normalmente associadas aos processos de sobrecarga que comumente ocorrem na associação de sedimentos com granulometria contrastante, como por exemplo, camadas lamosas depositadas sobre areias conglomeráticas; ou a respostas a abalos sísmicos sofridos por rochas de textura grossa como conglomerados com matriz arenosa.

A presença destes sismitos denota e comprova a ocorrência de eventos de reativação dos grandes lineamentos regionais presentes na área, como responsáveis pela tectônica atuante na época de deposição dos terraços do rio Açu. As estruturas de liquefação encontradas nestes depósitos são a evidência da sismicidade sin-sedimentar atuante na região durante o Quaternário.

### 5.3 Aspectos Morfoestruturais

Apesar da rede de drenagem mostrar um padrão dendrítico, com drenagens de ordens até maiores do que 4 algumas delas, principalmente aquelas de maior comprimento, apresentam-se com padrões mais retilíneos, o que sugere algum controle estrutural.

Dentre as drenagens com alinhamentos preferenciais, podem-se destacar as seguintes: o rio Açu alinhado com direção NE (aproximadamente  $30^{\circ}$ Az), o Riacho da Linda Flor, a oeste e paralelo ao rio Açu, com mesma direção; o Riacho da Oiticica e o Riacho da Gangorra, ambos a leste do rio Açu, com direções NW, aproximadamente  $340^{\circ}$ Az e  $300^{\circ}$ Az, respectivamente; o Riacho da Maniçoba, o Riacho do Pocinho e o Riacho Cabeleiro, a oeste do rio Açu, alinhados E-W e os

riachos, aqui denominados: Riacho da Carnaubinha, a leste do rio Açu, o qual deságua na ponta sul da Lagoa Vargem de Cima e o Riacho Escondido, ambos com orientação N-S, em grande parte de sua extensão.

As mudanças abruptas dos cursos das drenagens também denotam e/ou comprovam a atuação de um controle tectônico. Um claro exemplo deste tipo de ocorrência é a forte inflexão N-S e E-W do rio Açu (cuja direção é predominantemente NE) na porção sul da área.

As primeiras observações provenientes da análise das imagens de satélites e fotos aéreas, além de observações de campo na região de Estreito na Bacia Potiguar emersa, nas proximidades da estrada RN-408 e entre as localidades de Carnaubais e Alto de Rodrigues, ressaltam o alinhamento de poços de petróleo na direção NEE e uma curva anômala no leito do rio Açu. Este rio possui curso predominantemente NNE, mas, neste local, o mesmo muda para o leste, o que parece indicar controle estrutural na morfologia fluvial.

## 6. RECURSOS MINERAIS E CONTROLES DAS MINERALIZAÇÕES

---

Os recursos minerais encontrados na Folha Macau podem ser classificados como “minerais não metálicos ou minerais industriais” e “recursos energéticos”. As ocorrências exploradas nesta folha apresentaram, predominantemente, uma distribuição espacial com orientação na direção NE, seja acompanhando a direção do rio Açu, seja seguindo a “estrada do óleo”, no caso dos recursos energéticos.

Os minerais industriais freqüentemente apresentam grande distribuição espacial, com baixo valor no local de produção e, alto custo de transporte. Assim, para tornar-se viável, o local de aplicação ou beneficiamento deve estar a uma distância inferior a cerca de 50 km do local de produção.

Os principais tipos de recursos encontrados na folha foram: areias, cascalhos, argilas, calcários dolomíticos, gipsita, sal marinho e petróleo e gás, os quais serão descritos abaixo.

### Agregados Naturais

Os Agregados Naturais (Martins, 1995) englobam o conjunto de areia, cascalho e brita, os quais são freqüentemente dominados por grãos ou seixos de quartzo. Estes depósitos são encontrados na forma de camadas.

O cascalho aflora em antigos leitos de rios (correspondendo principalmente aos Depósitos Aluvionares Antigos) ou, ocorre como produto da desagregação de conglomerados do Grupo Barreiras e das vulcânicas da Formação Macau (fotos 18 e 19). Estes materiais são constituídos principalmente por seixos de quartzo arredondados com diâmetros de até 7 cm, contendo intercalações de areia e argila.



**Foto 18:** Cascalho constituído de fragmentos de rochas vulcânicas relacionadas ao magmatismo Macau, utilizado comumente para recomposição de tanques de sal. Cava com 200m x 50m x 3m de profundidade. Aproximadamente 4 km a Sul de Macau.



**Foto 19:** Cava de mina paralizada de onde foi extraído grande volume de cascalho do Depósito Aluvionar Antigo (DAA). Dimensões da cava: 350m x 80m x 9m de altura. Aproximadamente a 2 km a nordeste da localidade de Carão.

O cascalho, também referido como saibro, tem sido utilizado para construção/reconstrução de tanques utilizados para cristalização de sal, em tanques para criação de camarão, e para pavimentação asfáltica das estradas. O grande número de caixas de empréstimo encontradas na área mapeada indica a retirada de um grande volume deste material, porém, com os dados atuais, não é possível quantificar.

As areias ocorrem associadas a diversas unidades, tais como Depósitos aluvionares de canal (aluviões) e depósitos litorâneos (areia de praia e das dunas), depósitos lacustres, depósitos lagunares e na cobertura arenosa situada sobre o Grupo Barreiras e sobre o arenito da Formação Açú.

As areias retiradas dos leitos secos dos rios

(Foto 20) formam camadas com 1,5 m de espessura em média, sendo constituídas de quartzo, feldspato, mica, rutilo, ilmenita, magnetita, anatásio, argilas e matéria orgânica.

Nesi & Carvalho (1999) analisaram quatro amostras da cobertura arenosa, situada sobre a Formação Açú, e relatam que duas destas amostras apresentaram qualidade muito boa (>90% de quartzo), enquanto as outras duas análises realizadas apresentaram mais de 20% de feldspato, possivelmente relacionado com a presença de níveis de arenito feldspático. Do ponto de vista químico, estas areias são caracterizadas por altos valores de sílica (> 91%) e baixos valores de  $Al_2O_3$  (<4%) e de  $Fe_2O_3$  (< 1%), podendo, portanto, ser utilizadas pela indústria.

As areias são utilizadas na construção de edifícios e em outras obras de engenharia. A SEDEC/RN (2005) registrou um aumento do volume utilizado, passando de 0,4 milhões de  $m^3$ , em 1996, para 1,5 milhões  $m^3$ , em 1997. As areias das dunas são quartzosas, esbranquiçadas e inconsolidadas. Do ponto de vista de pureza mineral são excelentes, porém, a sua utilização como material industrial não tem sido recomendada, devido ao alto potencial turístico da faixa costeira que pode ser agregado à economia do Estado do Rio Grande do Norte (Projeto Costa Branca).

Do ponto de vista genético, os agregados naturais são de origem sedimentar enquanto as rochas máficas são de origem magmática.

As rochas com alta resistência mecânica quanto à abrasão e compactação e baixas porosidades, foram utilizadas como brita. São exemplos os conglomerados do Grupo Barreiras, calcário da Formação Jandaíra e basalto não intemperizado da Formação Macau.

As argilas podem ser agrupadas em dois tipos distintos: argila para cerâmica vermelha (dominante) e argilas para cerâmica branca, sendo que as argilas vermelhas são as mais utilizadas para produzir tijolos e telhas. Estes produtos têm cor vermelha devido à cor da queima da argila, a 950°C.



**Foto 20:** Cava em leito de rio onde se extrai areia de cor branca quartzosa para construções de alvenaria. Cavas com 10 metros de diâmetro por 1m de profundidade. Aproximadamente a 2 km a nordeste da localidade de Carão.



**Foto 21:** Cava de onde se retira argila para fabricação de tijolo na região de Pendências. No centro da foto há uma pilha de tijolos cozinhados. Aproximadamente 1 km a Sudoeste de Pendências.

As argilas para cerâmica vermelha são encontradas principalmente como camadas nos depósitos de planícies aluviais (vázeeas) (Foto 21).

As argilas são compostas por uma mistura de argilo-minerais, principalmente caulinita e illita, com menor quantidade de esmectita (montmorilonita), matéria orgânica, quartzo, feldspato, mica e carbonatos. A cor vermelha é atribuída ao elevado teor de Fe (< 8%) na argila. Os depósitos aluviais formam camadas lenticulares com espessura variável entre 0,8 e 2,5 m e cor cinza escura a preta. Informações

mais detalhadas podem ser encontradas em Diniz (1986), Muzzi *et al.* (1986) e Nesi & Carvalho (1999).

Os depósitos de argila explorados na região constituem camadas pertencentes às unidades de depósitos aluvionares de planície de inundação (principalmente) e flúvio-lagunares. Ocorrem também argilas associadas ao intemperismo das formações Macau e Barreiras. Camadas maciças com 15 cm de espessura, de argila de cores verde e avermelhada, podem ser encontradas sob as rochas vulcânicas da Formação Macau.

Um dos maiores pólos de produção de argila vermelha ocorre na região do baixo rio Açu onde se instalaram cerca de 35 empresas de produção de tijolo e telha. Também existe produção nos municípios de Pendências, Ipanguaçu e Alto do Rodrigues. Este pólo produz telhas coloniais, tijolos de oito furos e lajotas. Os tijolos manufaturados (Tijolos Batidos) produzidos têm qualidade técnica inferior. Claramente, este setor carece de investimentos educativos, conhecimento específico e apoio para produção.

Uma amostra do material explorado pela CM Construtora e Serviços foi coletada em uma cava da mineração com a finalidade de identificar o tipo de mineral de argila presente no local. Uma amostra deste material foi coletada, peneirada no Laboratório de Sedimentologia da UFRN e revelou a seguinte distribuição granulométrica: Seixo (19%), Conglomerado (7%), Areia (36%), Silte (18%) e Argila (20%). A argila e o silte têm cor cinza-esverdeada e pertencem ao Grupo Barreiras (Fotos 22 e 23). Com este material, foi confeccionada uma lâmina para análise por Difração de Raios-X, a qual foi analisada no Laboratório de Pesquisa do Núcleo de Estudos em Petróleo e Gás Natural (NUPEG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sob as seguintes condições de análises: tubo de Cu com voltagem de 30,0 Kv e 30 ma, com varredura entre 5 a 80 graus. A lâmina foi analisada em duas etapas: uma sem glicol e a outra com glicol e, como resultado, foi identificada a caulinita como principal mineral de argila (Figura 14).



**Foto 22:** Parte da Mina "CM Construtora e Serviços", a qual atua na exploração de material argiloso do Grupo Barreiras. Cavas de 100m x 50m x 2,5m de profundidade.



**Foto 23:** Detalhe de uma das paredes da mina, mostrando aspecto mosqueado do Grupo Barreiras. Aproximadamente a 4 km a Sudoeste de Amargoso.

A argila refratária se caracteriza por ser silicosa e ricas em alumina (<46%), com baixo teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (<1%), o que aumenta a capacidade de resistência a altas temperaturas sem deformação ou desintegração.

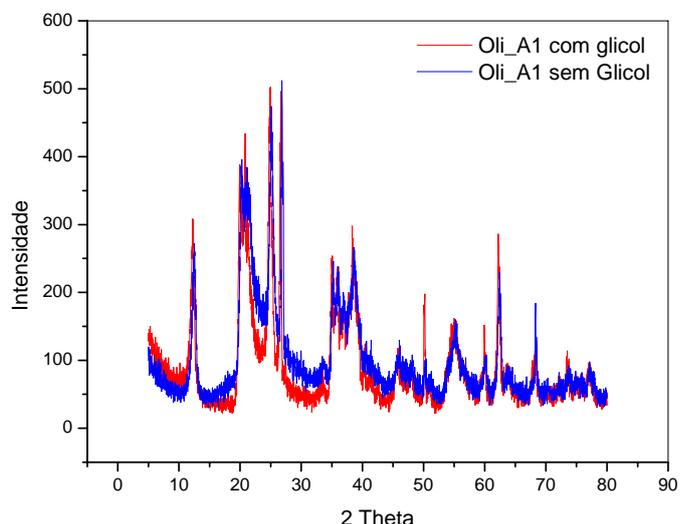
Os depósitos de calcário correspondem geograficamente à área de afloramento da Formação Jandaíra (Grupo Apodi). São constituídos de calcita ou aragonita e dolomita, com níveis de argila, contendo

sílica, alumínio e ferro.

Formam camadas que têm um leve mergulho para NNE e constituem uma reserva medida 14 Mt e 53 Mt, situadas respectivamente na região de Açu e na região de Pendências. A produção deste calcário se destina à indústria de cimento *portland* ou a produção de cal virgem, localmente.

Na Folha Macau, o calcário é explorado comumente como lajota para meio-fio (guia de calçadas) e como paralelepípedo para calçamento de ruas (Fotos 24 e 25). Na região de Pendências, a Mineração Cariri (Foto 26) produz calcário fino para ração animal, especialmente para criação de frango ou de camarão, além de um calcário em pó que pode ser utilizado como argamassa para piso de cerâmica (Foto 27), o que poderia substituir/diminuir uso do cimento *Portland*, especialmente em regiões de praia, que são submetidas a um ambiente salino.

O calcário na Folha Macau é de origem sedimentar estratiforme.



**Figura 14:** Difratoograma de Raios-X de uma amostra composta coletada na cava da mineração MC Construtora e Serviços. A distancia interplanar (7Å) e a falta de expansividade da argila indicam tratar-se de caulinita pertencente ao Grupo Barreiras.



**Foto 24:** Cava de uma mina de calcário de onde se extraem blocos para meio-fio e paralelepípedos para calçamento de rua. Tamanho da cava: 400m x 100m x 3m.



**Foto 25:** Detalhe da foto anterior mostrando a qualidade do material produzido para meio-fio. Tamanho da cava: 400m x 100m x 3m.



**Foto 26:** Detalhe das máquinas utilizadas na Mineração Cariri para produzir calcário fino para argamassa do tipo "CRECAL". Aproximadamente a 2 km a Sudeste de Pendências.



**Foto 27:** Detalhe dos sacos de argamassa embalados para entrega. Aproximadamente a 2 km a Sudeste de Pendências.

Cerca de 13 ocorrências de gipsita foram relatadas por Nesi & Carvalho (1999) na Folha Macau, incluindo os municípios de Macau, Pendências, Galinhos, Guamaré e Açú. Constituem depósitos sedimentares estratiformes associados à sedimentação carbonática (Formação Jandaíra), constituindo níveis milimétricos a centimétricos de gipsita e constituem, portanto, pequenas reservas.

Um estudo realizado por Diniz (1982) afirma que existe ainda uma reserva estimada de 47 Mt gipsita. A gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) tem ampla utilização industrial; pode ser utilizada como componente de cimento *portland*, na fabricação de gesso, na construção civil; ou como matéria prima na produção de ácido sulfúrico, sulfato de amônia, enxofre elementar e sulfato de magnésio; como corretivo de solos, como carga em papel e tintas; em material ortopédico e dentário.

### Minerais Pesados

Os minerais pesados, na região de Macau, foram estudados por diversos autores: Coutinho & Coimbra (1974), Palma (1979), Silva (1999), Vital & Guedes (2000). Silva (1999) enfocou a

caracterização da distribuição e a proveniência dos minerais pesados ao longo do rio Açú-Piranhas (RN) e identificou, através de microscópio eletrônico, as seguintes associações (i) Granada-hornblenda-turmalina com ou sem silimanita; (ii) hornblenda-granada-zircão; (iii) hornblenda-zircão-epidoto-estauroлита; (iv) hornblenda-zircão-epidoto; (v) hornblenda-zircão-estauroлита e (vi) zircão-turmalina-estauroлита. Vital & Guedes (2000) relatam que os minerais pesados das amostras coletadas no lado oeste do rio são hornblenda, epidoto, turmalina e zircão e, no lado leste do rio, hornblenda e epidoto. Relatam, ainda, a presença de estauroлита, andalusita, cianita (>5% da fração estudada), titanita, antofilita, zoizita, granada e silimanita, em quantidades inferiores a 5%.

### Sal Marinho

O sal é constituído essencialmente de cloreto de sódio, sendo extraído a partir da água do mar, que circula através de tanques justapostos, os quais são responsáveis pelo processo de aumento da concentração de NaCl, na água, por processo de evaporação solar, até ser colhido no último tanque quando a água foi completamente evaporada (Foto 28). Os tanques de cristalização de sal foram construídos frequentemente dentro da unidade mapeada como depósitos flúvio-marinhos.



**Foto 28:** Tanque de cristalização final do sal. A porção de cor branca no interior do tanque é o sal sólido pronto para ser colhido com trator. Localidade de Uburana.

A principal produção de sal de Macau

é de sal refinado e iodado, com formato cúbico. Entretanto, a região também produz um sal grosso, comumente usado para ração animal e que tem forma irregular ou bipiramidal, com até 4 cm. Um tipo raro de sal marinho, com alto valor agregado, conhecido como "Flor de Sal" vem despertando o interesse gastronômico internacional (<http://www.necton.pt/pt/flor-do-sal.html>, visitado em 24/03/2006); formam cristais piramidais ou palhetas delgadas produzidas na superfície da água salgada. Por ser colhido manualmente e em quantidades limitadas. Esse produto alcança elevado valor no mercado.

A história do sal no Rio Grande do Norte se iniciou no período colonial, quando Pero Coelho de Souza registrou, no início do século XVI, as salinas por ele vislumbradas em Amargoso, Guamaré, Macau e Areia Branca. Na mesma época, o Capitão-Mor do Rio Grande, Jerônimo de Albuquerque, doou duas salinas aos seus filhos Antônio e Matias, que se localizavam a quarenta léguas ao Norte de Natal (<http://www.salbrasil.com.br/historiadosal.php>, em 10/03/2006).

## Petróleo e Gás

No Pólo Industrial de Guamaré, são produzidos óleo diesel, gasolina C5 e nafta, sendo que parte do petróleo é transportado desde os poços até o pólo petroquímico através de oleodutos. Parte do petróleo é transportada para a refinaria da Bahia, de onde é exportado.

A exploração do petróleo se iniciou em 1976, com a descoberta do campo marinho de Ubarana, e, hoje, Macau é o maior produtor de petróleo em terra do Brasil e o segundo maior em produção marinha (SEDEC/RN, 2005).

Os campos de petróleo e gás natural liquefeito de petróleo (GLP) do estado estão concentrados dentro da Folha Macau e seu prolongamento marinho. Os principais municípios produtores de petróleo são Macau, Guamaré e Pendências, além dos campos de água profunda. O mapa geológico mostra os principais campos de petróleo registrados na Agência Nacional de Petróleo (ANP). Informações detalhadas podem ser obtidas no site da ANP ([www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)). A Foto 29 mostra uma sonda em atividade perfurando um poço na "estrada do óleo". Os reservatórios correspondem a rochas das formações Pendências, Alagamar e Açu.



**Foto 29:** Perfuratriz executando furo para construção de um poço de petróleo (Estrada do óleo).

O gás produzido na região é transportado até as indústrias através de dois gasodutos: NORDESTÃO (a partir de 1985) e o GASFOR (a partir de 2002). O gasoduto "NORDESTÃO" tem extensão de 420 km, cruzando os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, e alimentam as indústrias situadas próximas ao gasoduto. O gasoduto GASFOR transporta gás para Fortaleza. A produção da região é de 5,5 m<sup>3</sup> por dia.

A região envolvendo os municípios de Macau, Mossoró e Areia Branca tem uma vocação natural para se tornar um pólo petroquímico (Nesi & Carvalho, 1999), com o aproveitamento industrial de base, dos setores químicos e petroquímicos através do Pólo Gás-Sal. Nesta região, estão disponíveis em quantidade abundante: gás natural, calcário, sal marinho, sílica e água mãe das salinas, os quais poderão gerar produtos como barrilha, sabão em pó, vidros, soda cáustica, PVC, brometos e magnésio metálico. Um estudo avaliativo detalhado desta região foi realizado em 2001 pela NATROTEC.

## **7. CONSIDERAÇÕES SOBRE O POTENCIAL ECONÔMICO**

---

A região da Folha Macau se caracteriza por conter uma grande disponibilidade de recursos minerais não metálicos, especialmente petróleo, gás, agregados naturais, calcários dolomíticos e sal marinho. O petróleo, o gás, o saibro e o material argiloso do Grupo Barreiras apresentam aproveitamento em escala industrial, embora não tenha sido possível quantificar esta produção.

Os reservatórios de petróleo e o gás natural correspondem aos arenitos da Formação Açu ou em armadilhas tectônicas e são explorados essencialmente pela PETROBRAS. De forma resumida, a gênese do petróleo está relacionada à abundância de microorganismos antigos e ao aquecimento desse material causado pelo grande volume de rochas magmáticas da Formação Macau, especialmente em profundidade.

Os demais bens minerais constituem parte integrante das seqüências de rochas que compõem a Bacia Potiguar e, portanto, estes depósitos têm origem em processos predominantemente sedimentares. O sal constitui a única exceção, pois a sua geração é feita através da intervenção humana e esta relacionada ao processo de evaporação natural a partir da água do mar, a qual é concentrada em tanques rasos apropriados. Devido à abundância da água do mar e de energia do sol disponíveis na região várias indústrias de grande porte e micro-empresas estão ali instaladas.

Os agregados naturais, especialmente o saibro, já tem sido muito usado na região principalmente como cobertura pré-pavimentação; para construção e manutenção dos tanques de sal e de camarão e, ainda, para terraplanagem de sítios de locação de poços de petróleo. A manutenção da estrutura destes locais deve precisar de extração de cada vez mais saibro.

Os calcários na região têm sua potencialidade relacionada à produção de paralelepípedo e para pedra de meio-fio, sendo uma parte utilizada como complemento alimentar para ração animal e parte para argamassa na construção civil. Aqui seria necessário um mapeamento geoquímico sistemático do calcário visando identificar regiões que poderiam ser utilizadas para a indústria química (odontologia, etc). O calcário que aflora na região também tem potencial para ser utilizado na indústria do cimento, restando fazer um levantamento geoquímico para verificar a relação do Mg / Ca ao longo da camada aflorante da Formação Jandaíra.

Tendo em vista o alto valor econômico alcançado pela "flor do sal", seria apropriado aumentar os conhecimentos a respeito, fazer uma visita aos locais produtores, como por exemplo, em Portugal. Principalmente por ser colhido manualmente, este tipo de sal poderia ser uma fonte de geração de emprego.

As argilas dos leitos dos rios da região têm grande potencial para continuar sendo utilizada para produção de cerâmica vermelha (tijolo e telha), tendo em vista que o material produzido na região do vale do rio Açu é conhecido como sendo de excelente qualidade em todo o estado do RN e vizinhanças. A produção poderia ser melhorada com agregação de tecnologia e do aproveitamento do gás natural de petróleo produzido a poucos quilômetros na plataforma de Macau. Isto diminuiria a queima da madeira retirada da caatinga nordestina.

Se for considerada a possibilidade de aproveitamento de algas marinhas, junto com o calcário etc, poderia ser criado um pólo químico industrial capaz de produzir diversos materiais, como cimento, carga de borrachas, carga de papel, etc.

Os recursos hídricos são abundantes. Como aquíferos livres apresentam-se as lagoas da região (especialmente Piató e da Ponta Grande), aluviões e dunas. Os aquíferos confinados são representados pelo Grupo Barreiras, e pelas formações Jandaíra e Açu. A Barragem Armando Ribeiro Gonçalves é responsável pela perenização do rio Açu e tem parte de suas águas canalizadas através de adutoras para municípios desta Folha e para outras regiões do Rio Grande do Norte.

Como atrativos geoturísticos despontam os belíssimos cenários costeiros, correspondendo a praias, falésias, mangues, dunas e campos de dunas, destacando-se sobretudo o Campo de Dunas de Rosado com seus espetaculares "mares de areia", que já está sendo explorado de maneira não planejada como rota por motociclistas e bugueiros (v. Foto 10).

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

A partir do mapeamento geológico da Folha Macau, definiram-se as seguintes unidades litoestratigráficas: Suíte Magmática Poço da Cruz, Formação Açú, Formação Jandaira, Magmatismo Macau, Formação Tibau, Grupo Barreiras, Depósitos Aluvionares Antigos, Depósitos Flúvio-Marinhos, Depósitos Flúvio-Lacustres, Depósitos Aluvionares de Canal, Depósitos Aluvionares de Planície de Inundação, Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados, Depósitos Eólicos Litorâneos não Vegetados, Depósitos Litorâneos Praiais e Depósitos de Mangue. A Suíte Magmática Poço da Cruz corresponde ao Embasamento Cristalino, o qual constitui um *augen* gnaisse de composição granítica a granodiorítica aflorante no extremo SE da Folha. As demais unidades representam a porção superficial da Bacia Potiguar na qual se insere a maior parte da Folha.

O Grupo Barreiras (Mioceno-Plioceno), cuja distribuição se dá ao longo de toda a Folha, recobre, indistintamente, as unidades mais antigas. As demais unidades correspondem a registros do Neógeno, caracterizadas por rochas sedimentares e sedimentos depositados em ambientes *fluvial* e *litorâneo*. Foram agrupados em unidades informais os depósitos aluvionares antigos do Pleistoceno e os depósitos Holocênicos.

Embora as rochas vulcânicas que afloram na região de Macau tenham expressão superficial relativamente pequena, o seu volume é muito expressivo, uma vez que este corpo, em profundidade, apresenta espessura de até 2 km, encontrados em furos da PETROBRAS.

A deformação tectônica que atinge as rochas aflorantes na Folha Macau foi caracterizada a partir do estudo de diferentes tipos de estruturas, enfocando desde a mega até a mesoescala. As feições estruturais presentes afetam pacotes sedimentares do Turoniano-Cenomaniano (Formação Açú), o Grupo Barreiras (Mioceno / Plioceno), até os terraços aluvionares recentes. Os grandes lineamentos são marcados em superfície por feixes de fraturas e/ou alinhamentos geomorfológicos bem delineados em imagens de satélite e fotografias aéreas. Os padrões das mesoestruturas (bandas de deformação, falhas, dobras, estilólitos, juntas, estruturas de liquefação) encontradas na área correlacionam-se diretamente aos Sistemas de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra de direções NE e NW, respectivamente.

Com relação aos depósitos minerais da área mapeada, destacam-se as ocorrências de petróleo e gás natural, sal marinho e agregados minerais, como bens minerais com aproveitamento industrial e, argila para produção de tijolos e telha e calcário para calçamento de ruas, se destacam como produtos manufaturados. A área apresenta uma grande potencialidade para desenvolvimento industrial química baseado na matéria prima geológica da região.

Por ser uma área de grande e diversificada atividade econômica a pressão sobre o meio físico deve ser tomada como uma das grandes preocupações pelo Poder Público. Desta forma, a conjugação dos fatores da infraestrutura com a extensiva exploração dos recursos naturais deveria se tornar uma preocupação fundamental quando da elaboração de um Plano de Gestão Territorial para esta região, principalmente no que se refere à proposição de medidas que possam minimizar os conflitos de uso da terra e à preservação das áreas legalmente protegidas e dos recursos hídricos.

## **9. SÚMULA DE DADOS FÍSICOS**

---

A metodologia adotada para a execução do mapeamento desta folha foi fundamentada em ampla pesquisa documental (referencial teórico, referências e mapas temáticos regionais) e complementada por trabalhos de campo e de laboratório, em consonância com os termos do Contrato nº 069/PR/05.

Deste modo, foram levantados cerca de duzentos perfis de campo, utilizando-se a malha viária, a rede de drenagem e a planície litorânea. Desses perfis, foram elaboradas cerca de vinte seções geológicas visando o entendimento tridimensional das feições estruturais e da distribuição dos registros geológicos, especialmente os sedimentos neógenos; destas, estão encartadas duas dessas seções no Mapa Geológico. Os afloramentos estudados atingiram a marca dos 784 pontos, tendo, portanto, ultrapassado a marca do mínimo exigido pelo contrato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F. A formação Barreiras. 1991. In: \_\_\_\_\_. **Estudos geológicos**. Recife: UFPE, 1991. v. 10, p. 77-88. (Série B).
- ALMEIDA, F. F. M. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], n. 16, p. 325-349, 1986.
- ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Magmatismo pós-paleozóico no nordeste oriental do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], n. 18, p. 451-462, 1988.
- ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7., 1977, Campina Grande. **Atas...** Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ALVES, A. L. **Cartografia temporal e análise geoambiental da dinâmica da foz do Rio Piranhas-Açu, região de Macau-RN, com base em imagens LANDSAT 5-TM**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.
- AMARAL, C. A. **Folha João Câmara, escala 1:100.000**. [S.l.]: DNPM/CPRM, 1990. 88 p. (Anexos).
- APOLUCENO, D. M.; CÓRDOBA, V. C.; FARIAS, P. R. C. Faciologia e sistemas deposicionais da formação jandaíra, Bacia Potiguar, em uma área a norte de Apodi, RN. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16., 1995, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1995.
- ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 127-141, 1994.
- ARAÚJO, J. M. **Geologia da área de Porto Carão/Lagoa do Queimado - norte da cidade de Pendências - RN**. 1985. 125 f. Monografia (Relatório de Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1985.
- ARAÚJO, M. G. S.; BRITO NEVES, B. B.; ARCHANJO, C. J. Idade  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  do magmatismo básico meso-cenozóico da Província Borborema oriental, nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 19., 2001, Natal. **Resumos...** Natal: SBG, 2001. p. 260-261.
- ASMUS, H. E. Bacia Potiguar. **Boletim Geociências PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 8, p. 127-141, 1981.
- ASMUS, H. E. Geologia da margem continental brasileira. In: SCHOBENHAUS, C. *et al.* (Coords.). **Geologia do Brasil**: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília: DNPM, 1984. p. 443-472.
- AYDIN, A.; JOHNSON, A. Development of faults as zones of deformation bands and as slip surfaces in sandstone. **Pure and Applied Geophysics**, [S.l.], n. 116, p. 931-942, 1978.

BARBOSA, R. V. N. **Geologia da área a oeste de Macau na confluência dos Rios dos Cavalos e das Conchas, no litoral norte do estado do Rio Grande do Norte**. 1984. 142 f. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1984.

BARRETO, A. M. F. *et al.* **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 1-12, 2004. (Sér. Cient).

BERTANI, R. T.; ARARIPE, P. T.; BELTRAMI, C. V. **Evolução tectono-sedimentar das bacias sedimentares do Ceará e Potiguar**. Recife: UFPE, 1985. v. 1, p. 34-35. (Série D: textos didáticos).

BERTANI, R. T.; COSTA, I. G.; MATOS, R. M. D. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. (Eds.). **Origem e evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1990. p. 291-310.

BEZERRA, F. H. R.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte state coast, Brazil. **Marine Geology**, [S.l.], n. 196, p. 73-89, 2003.

BEZERRA, F. H. R. *et al.* Holocene coastal tectonics in NE Brazil: coastal tectonics. In: STEWARTT, I. S.; VITA-FINZI, C. (Eds.). **Geological society of London**. London: [s.n.], 1998. p. 279-293. (Special Publication, 146).

BEZERRA, F. H. R. *et al.* Liquefaction-induced structures in quaternary alluvial gravels and gravelly sediments, NE Brazil. **Engineering Geology**, n. 76, p. 191-208, 2005.

BEZERRA, F. H. R. *et al.* Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], n. 14, p. 61-75, 2001.

BEZERRA, F. H. R. *et al.* Quaternary coastal tectonics and sea-level changes in a passive margin: the example of northeastern Brazil. In: QUATERNARY COASTAL TECTONICS MEETING, [S.l.], 1997. **Abstracts...** [s.l.: s.n.], 1997.

BEZERRA, F. H. R. Neotectonic movements in northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic-hazard assessment. **Revista Brasileira de Geologia**, [S.l.], v. 30, n. 3, p. 562-564, 2000.

BEZERRA, F. H. R. **Neotectonics in northeastern Brazil**. 1998. 208 f. Thesis (Doctorate) - University of London, London, 1998.

BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? paleoseismicity in northeastern Brazil. **Geology**, [S.l.], v. 28, n. 7, p. 591-594, 2000.

BORGES, W. R. E. **Caracterização estrutural da porção sudoeste do rift Potiguar, Brasil**. 1993. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993.

CALDAS, L. H. O. **Estudo geológico e geofísico da falha de Carnaubais, Bacia Potiguar-RN, e implicações neotectônicas**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1998.

CALDAS, L. H. O. *et al.* Caracterização geológica e geofísica de uma estrutura na borda leste do graben de umbuzeiro, Bacia Potiguar/RN, e implicações neotectônicas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., 1997, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1997. v. 2, p. 885-888.

CALDAS, L. H. O. *et al.* Os beachrocks no litoral do Rio Grande do Norte: potencial como marcadores neotectônicos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17., 1997, Fortaleza. **Resumos Expandidos...** Fortaleza: SBG/NE, 1997, n. 15, p. 369-374.

CHANG, H. K. *et al.* Tectonics and stratigraphy of the east Brazil rift system: an overview. **Tectonophysics**, [S.l.], n. 213, p. 97-138, 1992.

CHOMIN-CHIARAMONTI, P. *et al.* Evidence of mantle metasomatism and heterogeneity from peridotite inclusions of northeastern Brazil and Paraguay. **Earth and Plan. Sci. Letters**, [S.l.], n. 77, p. 203-217, 1986.

CORDANI, U. G. Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. **Boletim IGA**, São Paulo, n. 1, p. 9-75, 1970.

CÓRDOBA, V. C. **A evolução da plataforma carbonática jandaíra durante o neocretáceo na Bacia Potiguar**: análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica. 2001. 239 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CORSINO, A. R. **Arcabouço tectônico preliminar da Bacia Potiguar, baseado em dados de sísmica, gravimetria e sensoriamento remoto e sub-superfície**: relatório interno - escala 1:250.000. Natal: PETROBRAS/DEBAR, 1983.

COSTA NETO, L. X. **Geologia da área entre Macauzinho e Boa Vista - Sul de Macau - RN**. 1985. 145 f. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1985.

COUTINHO, J. M. V.; COIMBRA, A. M. Os minerais pesados do Barreiras na costa oriental brasileira: estudo de áreas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 1974. v. 15, p. 27-41.

CREMONINI, O. A. **Caracterização estrutural e evolução da área de Ubarana, porção submersa da Bacia Potiguar, Brasil**. 1993. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Estrutural) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993.

CREMONINI, O. A.; GOULART, J. P. M.; SOARES, U. M. O rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4., 1996, Rio Claro. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1996. p. 89-93.

CREMONINI, O. A.; KARNER, G. D. Soerguimento termal e erosão na Bacia Potiguar submersa e seu relacionamento com a evolução da margem equatorial brasileira. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16., 1995, Recife. **Boletim...** Recife: SBG/NE, 1995. v. 14, p. 181-184.

DANTAS, A. R. **Mapeamento estrutural da porção central e sudeste da falha de Afonso Bezerra, Bacia Potiguar/RN**. 2004. 112 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

DANTAS, E. P. *et al.* Gravimetria e sensoriamento remoto aplicado na caracterização do lineamento de Afonso Bezerra e do sistema de falhas Carnaúba (RN). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17., 1997, Fortaleza. **Boletim...** Fortaleza: SBG/NE, 1997. v. 15, p. 343-347.

DANTAS, E. P. **Gravimetria e sensoriamento remoto**: uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte (RN). 1998. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1998.

DANTAS, E. P.; JARDIM DE SÁ, E. F.; CASTRO, D. L. Análise de lineamentos na porção central da Bacia Potiguar, e sua reativação neotectônica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7., 1999, Lençóis. **Anais...** Lençóis: SBG, 1999. p. 86-89.

DELLA FÁVERA, J. C. *et al.* **Estratigrafia de seqüências da formação pendências, Bacia Potiguar**: relatório interno. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DIVEX/SESTRA, 1992. 51 p.

DINIZ, R. F. **Mapeamento geológico de uma área a leste de Ipangaçu - RN**. 1981. 58 f. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1981.

DINIZ, R. F. **Projeto argilas do Rio Grande do Norte**: relatório final. Natal: CDM, 1986.

DINIZ, R. F. **Projeto gipsita/argila - Governador Dix-sept Rosado – RN**: relatório de pesquisa (fase I). Natal: CDM, 1982. 67 p.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Norte - escala: 1:500.000**. [S.l.]: DNPM/PETROBRAS/UFRN, 1998.

DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W. E. (Ed.). **Classification of carbonate rocks**. Tulsa: AAPG, 1962. p. 108-121. (Memoir, 1).

FÁVERO, A. **Sedimentação quaternária e deltáica do Rio Açu - oeste da cidade de Macau - RN**. 1985. 140 f. Monografia (Relatório de Graduação) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1985.

FERREIRA, J. M.; BEZERRA, F. H. R.; OLIVEIRA, R. T. **Relatório de avaliação preliminar do risco sísmico na região de construção da termo-elétrica do açu termoaçú**. [S.l.]: FUNPEC, 2001. Inédito.

FODOR, R. V.; MUKASA, S. B.; SIAL, A. N. Isotopic and trace-element indications of lithospheric and asthenospheric components in tertiary alkalic basalts, northeastern Brazil. **Lithos**, [S.l.], n. 43, p. 197-217, 1998.

FONSECA, V. P. **Estudos morfo-neotectônicos na área do baixo curso do rio Açu (Açu-Macau), RN**. 1996. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.

FORTES, F. P. A tectônica de teclas da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBG, 1986. v. 3, p. 1145-1159.

FORTES, F. P. Utilização combinada da fotogeologia com a magnetometria, gravimetria e sísmica, na prospecção de petróleo na Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v. 5, p. 2407-2411.

FRANÇOLIN, J. B. L.; SZATIMARI, P. Mecanismos de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 2, n. 17, p. 196-207, 1987.

HACKSPACHER, P. C. *et al.* A falha de Afonso Bezerra como evidência de significativo tectonismo frágil NW-SE, na Bacia Potiguar emersa – RN. **Boletim...** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Geologia, Natal, n. 10, p. 68, 1985.

HACKSPACHER, P. C.; OLIVEIRA D. C. A evolução estrutural das zonas de cisalhamento Portalegre e Santa Mônica – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 6, p. 1679-1692.

HACKSPACHER, P. C.; VAN SCHUMUS, W. R.; DANTAS, E. L. Um embasamento transamazônico na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG/NE, 1990. v. 6, p. 2683-2696.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A faixa Seridó (província, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia brasileira/pan-africana**. 1994. 804 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

JARDIM DE SÁ, E. F.; LEGRAND, M.; MCREATH, I. Estratigrafia de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB), com base em critérios estruturais. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 1, n. 11, p. 50-57, 1981.

KREIDLER, W. L.; ANDERY, P. A. **Mapa geológico da área sedimentar costeira do Rio Grande do Norte e parte do Ceará**. Rio de Janeiro: CNP, 1949.

LIMA, C. C. *et al.* O grupo barreiras na Bacia Potiguar: relações entre o padrão de afloramento, estruturas pré-brasilianas e neotectonismo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG/NE, 1990. v. 2, p. 607-620.

MAIA, R. P. **Planície fluvial do baixo Jaguaribe: evolução geomorfológica, ocupação e análise ambiental**. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MARTINS, L. A. M. **Os recursos físicos da terra – bloco 2: materiais de construção e outras matérias brutas**. Campinas: UNICAMP, 1995. 89 p.

MATOS, R. M. D. **Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil**. 1992a. 276 f. These (Doctor Philosophy) - Cornell University, U.S.A.

MATOS, R. M. D. Sistemas de rifts cretáceos do NE do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECTÔNICA DA PETROBRÁS, 1987, Rio de Janeiro. **Atas...** Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DEPEX, 1987. p. 126-159.

MATOS, R. M. D. The northeast brazilian rift system. **Tectonics**, [S.l.], v. 4, n. 11, p. 766- 791, 1992b.

MAYER, E. **Estratificação preliminar na plataforma continental da Bacia Potiguar, Rio Grande do Norte**: relatório interno. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1974.

MELO, U. T. Afinamento crustal e suas implicações na formação da Bacia Potiguar. In: SEMINÁRIO DE TECTÔNICA DA PETROBRÁS, 1., 1987, Rio de Janeiro. **Atas...** Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DEPEX, 1987. p. 190-220.

MENEZES, M. R. F. **Faciologia, diagênese e sistemas deposicionais das rochas siliciclásticas e carbonáticas de uma área a noroeste de Apodi – RN, neocretáceo da Bacia Potiguar**. 1996. 126 f. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1996.

MIRANDA, F. M. **Geologia da área de Macauzinho, litoral norte do estado do Rio Grande do Norte**. 1983. 168 f. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1983.

MIZUSAKI, A. M. P. A formação Macau na porção submersa da Bacia Potiguar. 1989. **Bol. Geoc.**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 191-200.

MIZUSAKI, A. M. P. *et al.* Mesozoic and cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], n. 15, p. 183-198, 2002.

MORAES NETO, J. M. *et al.* Datação Ar/Ar do plug basáltico “serrote preto” e seu significado para a cronologia da formação Serra do Martins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBG, 2002. p. 499-500.

MUZZI, R. M. M. *et al.* **Projeto caracterização tecnológica das argilas do Rio Grande do Norte**. Natal: CDM/SIC/SEPLAN, 1986. 110 p. (Anexos).

NESI, J. de R.; CARVALHO, V. G. D. **Minerais industriais do Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: PRM/SINTEC/SEBRAE/SENAI/CEFET/FUNPEC, 1999. 156 p.

NEVES, C. A. O. **Análise regional do trinômio geração-migração-acumulação de hidrocarbonetos na seqüência continental eocretácea da Bacia Potiguar emersa, NE do Brasil**. 1987. 71 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1987.

OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. **Geologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Serv. Inf. Agric., 1943. 813 p.

OLIVEIRA, D. C. Evolução magmática da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBG, 1998. 102 p.

OLIVEIRA, D. C.; MATOS, R. D.; SOARES, U. M. Contribuição ao estudo de estruturas rasas na Bacia Potiguar: análise estrutural do afloramento Afonso Bezerra (RN) e adjacências. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1993. v. 12, p. 306-311.

OLIVEIRA, D. C. **O papel do enxame de diques Rio Ceará-Mirim na evolução tectônica do nordeste oriental (Brasil): implicações na formação do rifte Potiguar**. 1993. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993.

PALMA, J. C. **Depósitos de minerais pesados: recursos minerais da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. [s.l.: s.n.], 1979. p. 33-50. (Série Projeto REMAC, 10).

PEREIRA, M. J. Considerações sobre a estratigrafia do Cenomaniano-Santoniano em algumas bacias marginais brasileiras e sua implicação na história tectônica e sedimentar da margem continental. **Boletim de Geociências**, Rio de Janeiro, PETROBRAS, v. 3/4, n. 6, p. 171-176, 1992.

PRINCIVALLE, F.; SECCO, L.; DEMARCHI, G. Crystal chemistry of a clinopyroxene series in ultramafic xenoliths from northeastern Brazil. **Contr. Mineral. Petrol.**, [S.l.], n. 101, p. 131-135, 1989.

RIVALENTI, G. *et al.* Composition and processes of the mantle lithosphere in northeastern Brazil and Fernando de Noronha: evidence from mantle xenoliths. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, [S.l.], n. 138, p. 308-325, 2000.

SAMPAIO, A. V.; SCHALLER, H. Introdução à estratigrafia da Bacia Potiguar. **Bol. Téc. PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 19-44, 1968.

SANTOS, E. J. Observações sobre a associação basáltica do Rio Grande do Norte. **Jornal de Mineralogia**, [S.l.], v. 4, n. 1-6, 1964.

SEDEC. **Avaliação e diagnóstico do setor mineral do estado do Rio Grande do Norte**. [s.l.: s.n.], 2005. 219 p.

SIAL, A. N. *et al.* Potassium-argon ages and strontium isotopo geochemistry of mesozoic and tertiary basaltic rocks, northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.l.], n. 53, p. 115-122, 1981.

SIAL, A. N.; FODOR, R. V.; LONG, L. E. Peridotite xenoliths and tertiary alkaline-basalts in northeastern Brazil. In: Intern. Kimberlite, 5., 1991, Araxá. **Field guide book...** Araxá: CPRM/SP. Publ., 1991. v. 1, n. 3/91, p. 3-13, 1991.

SIAL, A. N. Petrology and mineral chemistry of peridotite nodules included in Tertiary basalt rocks of northeast Brazil. **Geol.Soc. Am. Bull.**, n. 88, p. 1173-1176, 1977.

SIAL, A. N. **Petrology and tectonic significance of the post-paleozoic basaltic rocks of northeast Brazil**. 1974. 403 f. Thesis (Doctorate) - University of California, Davis, 1974.

SIAL, A. N. Significado tectônico do posicionamento de rochas básicas post-Paleozóicas do NE do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 6., 1975, Recife. **Boletim...** Recife: SBG, 1975. n. 3, p. 37-51.

SIAL, A. N. The post-paleozoic volcanism of north-east Brazil and its tectonic significance. **Anais da Academia de Ciências**, [S.l.], n. 48, p. 299-311, 1976a.

SIAL, A. N. The Rio Grande do Norte alkali-olivina basalt association, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], n. 6, p. 1-14, 1976b.

SILVA, A. C. Considerações sobre o quaternário do Rio Grande do Norte. **Arq. Inst. Antropol**, Natal: UFRN, v. 2, n. 1 e 2, p. 275-301, 1966.

SILVA, C. G. Estratigrafia e evolução holocênica do delta do rio Açu, Bacia Potiguar, RN. In: SIMPÓSIO SOBRE PROCESSOS SEDIMENTARES E PROBLEMAS AMBIENTAIS NA ZONA COSTEIRA NORDESTE DO BRASIL, 1., 1999, Recife. **Resumos...** Recife: SBG, 1999. p. 134-135.

SILVA, C. G. **Holocene stratigraphy and evolution of the açu river delta, Rio Grande do Norte, state northeastern Brazil**. 1991. 400 f. Thesis (Doctorate) - Dpt. of Geology in the Graduate School of Duke University, 1991.

SILVA, M. G. **Mapa geológico de uma área a nordeste de Assu, RN**. 1997. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1997.

SOARES, U. C. **Geologia da área de Macau - RN**. 202 f. Monografia (Relatório de Graduação) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1983.

SOUTO, M. V. S. **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmica costeira da região da Ponta do Tubarão, município de Macau/RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e integração em sistema de informações geográficas**. 2002. 68 f. Monografia (Relatório Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

SOUTO, M. V. S. **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, município de Macau/RN**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

SOUZA, S. M. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v. 5, p. 2392-2406.

SOUZA, Z. S. *et al.*  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of mesozoic and cenozoic magmatism in NE Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. **Short Paper...** Salvador: [s.n.], 2003.

TEXEIRA, L. **Arcabouço estrutural da porção submersa da Bacia Potiguar**: relatório interno. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1991.

TIBANA, P.; TERRA, G. I. S. Seqüências carbonáticas do Cretáceo na Bacia Potiguar. **Boletim Técnico da PETROBRÁS**, [S.l.], v. 3, 24 p., 1981.

VAN SCHMUS, W. R. *et al.* The Seridó group of NE Brazil, a late neoproterozoic pré- to syn-collisional basin in west Gondwana: insights from SHIRIMP U-Pb detrital zircons ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. **Prec. Res.**, [S.l.], v. 127, p. 287-386, 2003.

VARELA, NETO. P. L. **Geologia da Região de Açú/Ipangaçu - RN.** 1981. 106 f. Monografia (Relatório de Graduação) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1981.

VASCONCELOS, E. P.; LIMA NETO, F. F. Unidades de correlação da formação Açú – Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG/NE, 1990. v. 1, p. 227-240.

VILAÇA, J. G. *et al.* Geologia ambiental na área costeira de Búzios a Barra de Maxaranguape/RN. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12., 1985, Recife. **Boletim...** Recife: SBG/NE, 1985. v. 10, p. 220-227.

VITAL, H.; GUEDES, I. M. G. Heavy minerals of the inner continental shelf offshore the Açú River's Delta. Northeastern Brazil. (2000). **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 3, n. 30, 459 p., 2000.