UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS APLICADA AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO
NA BACIA PARAÍBA**

Felipe Lamus Ochoa

Orientadora: Ana Maria Góes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica.

SÃO PAULO
2010

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do
Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Lamus Ochoa, Felipe

Análise de minerais pesados aplicada ao
mapeamento geológico na Bacia Paraíba. / Felipe
Lamus Ochoa. - São Paulo, 2010.
186f. : il.

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP
Orient.: Góes, Ana Maria

1. Bacia Paraíba : Minerais pesados 2. Bacia
Paraíba : Petrografia sedimentar 3. Bacia Paraíba :
Mapeamento geológico I. Título

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS APLICADA AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO
NA BACIA PARAÍBA**

Felipe Lamus Ochoa

Orientadora: Ana Maria Góes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Ana Maria Góes	
Examinadores:	Prof. Dr.	<hr/>
	Prof. Dr.	<hr/>
		<hr/>

SÃO PAULO
2010

A María Magnolia y Fernando,

Mi eterno Norte...

Agradecimentos

Ao Brasil inteiro “Terra de Deus” que me ofereceu todas as oportunidades para continuar com meus estudos acadêmicos; principalmente à CAPES pela bolsa de estudos e à FAPESP pelo financiamento para o campo na Paraíba e os trabalhos de laboratório.

À USP, que representa a melhor instituição pela qual já tive a honra de passar, pela qual tenho uma infinita gratidão por todo o conhecimento que me deu e pelas ferramentas que espero aplicar de hoje em diante.

À minha orientadora, Professora Ana Góes e sua infinita paciência para me mostrar o caminho a percorrer na USP, espero que consiga ter sua presença marcante por muito tempo mais.

À HIDROTEC, em particular ao geólogo Ricardo Brandão, por ter proporcionado as amostras de subsuperfície do presente trabalho

Aos professores Petri, Coutinho, Brito Neves, Giannini, Sawakuchi, Rossetti, Bezerra, Valeriano por terem-me mostrado outra forma de pensar com respeito às geociências.

Ao Isaac Jamil Sayeg do Laboratório de Petrografia Sedimentar, Elaine Aparecida da Silva Sinfrônio e Vitor Aguiar do Laboratório de Sedimentologia

Aos estudantes Lucas Cassini, Victor Maurer, Caio Mello, Flavia Decloedt, Helena Andrade pela oportuna ajuda na fase de laboratório.

Ao pessoal da Biblioteca por toda a ajuda recebida durante a elaboração do documento.

Às Secretárias da Pós-Graduação especialmente à Ana Paula Cabanal e à Magali Poli Fernandes Rizzo por toda sua boa disposição. Ao Tadeu Caggiano por toda sua colaboração e orientação técnica na impressão.

À minha família inteira incluindo as famílias Hyppolito Meira e Hyppolito Nogueira por ter aberto um lugar nos seus corações para mim.

À Margarita Maria por seu profundo amor, apoio e lealdade, apesar da distância. Amo-te profundamente.

À comunidade colombiana da USP por ser constante companhia e boa conselheira.

Aos colegas e amigos Renato Henrique Pinto, Cauê Cioffi, Bruna Borges, Brenda Chung da Rocha, Luciana Filipoos, Liza Polo, Marley Chamani, Alba Marina Suarez, Ana Paula Tanaka, Lucimar Pereira (*in memoriam*), Alice W. Luana F., Rafael B., Bruno T., Lucas W., Fernanda Q., Ricardo D., Fabiana F., Oscar Romero, Leonardo P., Emiliano C., Gabriela T, Roberta P., André M. Jorge N. Daniel N., Carlos G.

Aos amigos do Brasil, do CEPEGE, do ENEGEO, da Bicicletada.

Esta terra, Senhor, me parece que da ponta que mais contra o sul vimos até à outra ponta que contra o norte vem, de que nós deste porto houvermos vista, será tamanha que haverá nela bem vinte ou vinte e cinco léguas por costa. Tem, ao longo do mar, nalgumas partes, grandes barreiras, delas vermelhas, delas brancas; e a terra por cima toda chã e muito cheia de grandes arvoredos. De ponta a ponta, é toda praia parma, muito chã e muito formosa.

Pero Vaz de Caminha
(Carta ao Rei Dom Manuel I)

RESUMO

LAMUS OCHOA, F. *Análise de minerais pesados aplicada ao mapeamento geológico na Bacia Paraíba*. 186f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O mapeamento geológico dos depósitos siliciclásticos aflorantes nas bacias marginais do nordeste brasileiro tem gerado um alto volume de designações estratigráficas ainda abertas às discussões. No intuito de subsidiar a resolução deste problema cartográfico foi escolhida a parte emersa da Bacia Paraíba, mais especificamente as sub-bacias Alhandra e Mirirí. Para isto foi realizada a caracterização mineralógica e petrográfica dos arenitos cenozóicos da Bacia Paraíba, com vistas a identificação de critérios discriminadores entre os diversos depósitos siliciclásticos aflorantes. Derivado deste processo é acrescentado o reconhecimento das áreas fontes desses arenitos e suas implicações na evolução do Cenozóico da Bacia Paraíba. Análises laboratoriais incluíram análises granulométricas, de minerais pesados e morfológica de grãos em 134 amostras de superfície e subsuperfície. Foram estudadas também 5 seções delgadas para testar a petrografia sedimentar como ferramenta no auxílio do mapeamento geológico. A identificação dos minerais pesados transparentes foi feita através microscópio petrográfico, com quantificação dos principais minerais transparentes (100 grãos/lâmina), além de várias contagens independentes (100 grãos/lâmina) das relações transparentes/opacos, do par rutilo/zircão e sobre as formas e grau de arredondamento de zircão e turmalina. Em superfície foram mapeadas como unidades siliciclásticas de base para topo a Formação Barreiras (Mioceno), Depósitos Pós-Barreiras I (Neopleistoceno) e Depósitos Pós-Barreiras II (Holoceno). Em subsuperfície, o furo estudado atravessa toda seção cenozóica e mesozóica, inclusive as unidades basais da bacia, as formações Beberibe e Itamaracá. A mineralogia acessória é dominada por minerais opacos com porcentagens superiores a 60% em todas as unidades. Em toda sucessão cenozóica, as assembléias de minerais transparentes são muito homogêneas e apresentam como minerais principais zircão, turmalina, cianita e rutilo e, subordinadamente, estauroлита, andaluzita, topázio e anfibólios cálcicos. Ocorrem como traços sillimanita, epidoto, monazita e granada. Em subsuperfície, no entanto, na unidade basal é reportada a existência de granada como mineral principal. A análise de formas de zircão e turmalina permitiu diferenciar, tanto em superfície como em subsuperfície, os depósitos estudados. Em termos gerais, existe um maior grau de arredondamento das formas de zircão e turmalina na direção do topo das unidades. Os dados de petrografia, ainda que poucos, apontam diferenças texturais, composicionais e inclusive diagenéticas entre os arenitos aflorantes na bacia. Esta ferramenta mostrou-se promissora para a caracterização das unidades da bacia. A mineralogia acessória em superfície não permite diferenciar as unidades aflorantes, mas, em subsuperfície, mostra que a Formação Beberibe tem uma assinatura de granada que a caracteriza muito bem e permite concluir, de maneira categórica, que esta unidade não aflora na área estudada. Os resultados do estudo de formas em zircão e principalmente em turmalina permitem diferenciar as unidades aflorantes pelo grau de arredondamento dos grãos, o que evidencia uma reciclagem sedimentar inclusive das unidades cretáceas. Este dado é reproduzível em subsuperfície, onde as categorias euédricas concentram-se nas unidades basais. Assim, considera-se que as

principais fontes para os depósitos cenozóicos são resultantes do retrabalhamento de unidades sedimentares preexistentes, e subordinadamente, de fontes primárias relacionadas às rochas metamórficas da Zona Transversal da Província Borborema.

Palavras Chave: Bacia Paraíba, Mineral pesados, Petrografia sedimentar, Mapeamento geológico.

ABSTRACT

LAMUS OCHOA, F. *Análise de minerais pesados aplicada ao mapeamento geológico na Bacia Paraíba*. 2010. 186f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The geologic mapping of siliciclastic deposits which outcrop in the marginal basins of Brazilian northeast have generated a high volume of stratigraphic designations that are opened to actual discussions. In order to solve this cartographic problem, the emerging part of the Paraíba basin was chosen, specifically the sub-basins of Alhandra and Mirirí. For this reason were realized the mineralogic and petrographic characterizations of the Cenozoic sands and sandstones of the Paraíba Basin, with the purpose of identifying the discriminating criteria between the diverse siliciclastic deposits. Additionally were realized the recognition of the sandstones' source areas and its implications in the evolution of the Paraíba Basin in the Cenozoic times. The laboratory analysis included heavy minerals, granulometric, morphology from grains in 134 surface and subsurface samples. Five thin sections were studied to testify the sedimentary petrography as a tool for geological mapping. The identify of heavy minerals was done under petrographic microscope for species descriptions, with counting of 100 grains per slide. Several independent counts (100 grains/slide) of the ratio transparent/opaque, the rutile/zircon index and shape and grain roundness of the zircon and tourmaline were also done. On the geological mapping, the siliciclastic units were considered, from the base to the top, Barreiras Formation (Miocene), deposits Post-Barreiras I (Neopleistocene) and deposits Post-Barreiras II (Holocene). On subsurface, the drill hole studied crosses through the whole Cenozoic and Mesozoic stratigraphy of the basin, including the basal units (Beberibe and Itamaracá formations). The accessory mineralogy is dominated by opaque heavy minerals with higher percentages than 60% in all units. In the whole Cenozoic succession, the assembly of transparent heavy minerals is very homogeneous and is essentially composed by zircon, tourmaline, kyanite and rutile, containing also staurolite, andalusite, topaz and calcic amphibole subordinately. Sillimanite, epidote, monazite and garnet occur as a trace minerals. Otherwise, on subsurface, garnet is reported as a principal mineral in the basal unit. The analysis of zircon and tourmaline's shapes allowed to distinguish all the studied deposits. In general, the grade of roundness in grains of zircon and tourmaline increases to the top of succession. The

petrographic data showed textural, compositional and diagenetic differences between the cropping out sands - sandstones of the basin. This tool seemed to be a promising to characterize the stratigraphic units of Paraíba Basin. The accessory mineralogy permitted to distinguish the Beberibe Formation, which is well characterized by the presence of garnet. On the other hand, the absence of garnet in the described sandstones let to conclude the Beberibe Formation not exposed in the mapped area. The data from shape studies in grains of zircon and tourmaline allowed to differentiate the cropping out units by the roundness grade, evidencing a sedimentary recycling, including the Cretaceous units. This data is reproducible on subsurface samples where the euhedral categories are concentrated on the basal units. At last, the main sources of the Cenozoic deposits are considered to be reworked preexistence sedimentary units, and subordinately, the primary sources comprise the metamorphic rocks from Transversal Zone of Borborema Province.

Keywords: Paraíba Basin, Heavy minerals, Sedimentary petrography, Geological mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1–	Mapa com as principais rodovias do Estado da Paraíba(modificado de BRASIL, 1982; 2009).....	20
Figura 1.2–	Mapa de localização da área de pesquisa com os locais estudados.....	21
Figura 2.1–	Correlações da Província Borborema com a Província Nigeriana e a Faixa Dobrada Africana Central. Legenda:Br/PA Domínios da Orogenia Brasileiro/ Pan-Africana; PalaeoPr Crusta paleoproterozóica. Principais domínios e regiões: AYD, Domínio Adamawa-Yadé; MK, Terreno Mayo Kebi; NWCD, Domínio Camarões NW; OU Faixa dobrada Oubanguide; PEAL Domínio Pernambuco-Alagoas; RGND, Domínio Rio Grande do Norte; SD, Domínio Sergipano; Transv Dom, Domínio Transversal; YD, Domínio Yaoundé. Zonas de Falha e Cisalhamento: AF, Falha Adamawa; Pa, Zona de Falha Patos; Pe, Zona de Falha Pernambuco; SF Falha Sanaga; TBF, Falha Tcholliré-Banyo; TBL, Linhamento transbrasiliano. Cidades: D, Douala; G, Garoua; JP João Pessoa, K, área Kaduna de Nigéria; R, Recife; N, Natal; S, Salvador; y, Yaoundé. (Segundo VAN SCHMUS <i>et al.</i> 2008).....	23
Figura 2.2–	A: Província Borborema. Principais Terrenos e Domínios: CE, Domínio Ceará; MCD, Domínio Médio Coreá; PEAL, Domínio Pernambuco-Alagoas; RGN, Domínio Rio Grande do Norte (Núcleos arqueanos, São José do Campestre, SJC); RP, Domínio Riacho do Pontal; SD, Domínio Sergipano; SFC, Cráton do São Francisco; SLC, Cráton São Luis; TD, Domínio Transversal (AP, Terreno Alto Pajeú; AM, Terreno Alto Moxoto; CB, Faixa Cachoerinha; CV, Faixa orogênica Cariris Velhos; RC, Terreno Rio Capibaribe). Zonas de Falha e Cisalhamento: AIF, Falha Afagados do Ingrazeira; BCsz, zona de cisalhamento Boqueirão dos Conchos; PAsz, zona de cisalhamento Patos; PESz, Zona de cisalhamento Pernambuco; SCF, Falha Serra do Caboclo; SMAz zona de cisalhamento São Miguel do Aleixo; TBL Lineamento Transbrasiliano. Cidades: Fo, Fortaleza; Na, Natal; JP, João Pessoa; Re, Recife; Sa, Salvador. Os plutons neoproterozóicos ou unidades supracrustais no Domínio Ceará não aparecem na figura. B: Distribuição geral de granitos brasileiros. (Segundo VAN SCHMUS <i>et al.</i> 2008).....	24
Figura 2.3–	Geologia geral no Domínio Transversal. TTNH, Alto estrutural Texeira-Terra Nova que coincide com a direção dos plutons sieníticos brasileiros. Principais zonas de falha: Alsz (Zona de Cisalhamento Afagados do Ingrazeira), BCsz (Zona de Cisalhamento de Boqueirão dos Conchos), CGsz (Zona de cisalhamento Campina Grande), SCF (Falha Serra do Caboclo). AP (Terreno Alto Pajeú); AM (Terreno Alto Moxoto); CV (Faixa orogênica Cariris Velhos); RC (Terreno Rio Capibaribe); Faixa Dobrada Cachoerinha (CFB); Orógeno Cariris Velhos (CV); Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL); Domínio Rio Grande do Norte (RGND). (Segundo VAN SCHMUS <i>et al.</i> 2008).....	25
Figura 2.4–	Esquema da evolução tectônica das bacias Pernambuco e Paraíba: 1. Rife do Cupe. 2. Zona de Cizalhamento de Patos. 3. Lineamento de Pernambuco. 4. Alto de Tamandaré. 5. Graben de Olinda. 6. Graben de Piedade. 7. Granito do Cabo de Santo Agostinho. 8. Graben de Cupe. 9. Sub-bacia de Canguaretama. 10. Sub-bacias Alhandra e Miriri. 11. Sub-bacia de Olinda. 12. Talude da Bacia Paraíba. 13 Alto de Mamanguape. 14. Alto de Goiana (modificado de LIMA FILHO; BARBOSA; SOUZA, 2006).....	30
Figura 2.5–	Localização da Bacia Paraíba e as Sub-bacias Alhandra e Miriri (modificado de BARBOSA; LIMA FILHO, 2006).....	31
Figura 2.6 -	Coluna generalizada das Sub-bacias Alhandra e Miriri (modificado de BARBOSA <i>et al.</i> 2003).....	32
Figura 3.1–	Fluxograma genérico para análise granulométrica por pipetagem e peneiramento. Modificado de Mello <i>et al.</i> (2004).....	44
Figura 3.2–	Categorias de morfologia e grau de arredondamento do zircão.....	51
Figura 3.3–	Categorias de morfologia e grau de arredondamento da turmalina.....	52

Figura 3.4–	Categorias de morfologia e grau de arredondamento de cianita.....	53
Figura 4.1–	Mapa geológico da parte norte da Bacia Paraíba (Sub-bacias Alhandra e Miriri (Modificado de Rossetti, em preparação).....	57
Figura 4.2–	Exemplo de perfis litoestratigráficos representativos da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II.....	58
Figura 4.3–	Arenitos e argilitos em pacotes com geometria côncava atribuídos à deposição em canais fluviais da Formação Barreiras.....	59
Figura 4.4–	Vista geral de afloramento da Formação Barreiras, onde ocorrem arenitos e conglomerados em estratos cruzados de grande porte e alto ângulo.....	59
Figura 4.5–	Formação Barreiras. A) Vista geral de afloramento contendo, na base, arenitos finos com bioturbações (Ab), intercalados com arenitos grossos a conglomeráticos (Cg). B) Detalhe do arenito bioturbado. C e D) Detalhes dos tipos de traços, ilustrando Ophiomorpha (C) e Planolites com Diplocraterion (D).....	60
Figura 4.6–	Horizonte concrecionário ferruginosos <i>in situ</i> associado com paleossolo laterítico do topo da Formação Barreiras na porção litorânea da Sub-bacia de Alhandra. Os depósitos acima da superfície de laterização correspondem a Sedimentos Pós-Barreiras I.....	62
Figura 4.7–	Fragmentos de laterita ferruginosa dentro dos Depósitos Pós-Barreiras I, produto da erosão e retrabalhamento da laterita do topo da Formação Barreiras.....	63
Figura 4.8–	Detalhes dos estilos de estruturas deformacionais que são abundantes nos Sedimentos Pós-Barreiras I, ilustrando: A) Acamamento maciço, possivelmente devido à fluidificação, com intenso fraturamento subsequente. B a D) Estratificação convoluta E) Fissura sub-vertical que desaparece para baixo, sendo preenchida por areia oriunda da unidade sobrejacente.F) Depósito muito fraturado com percolação de águas que levam os óxidos deixando mais clara a rocha junto da fratura.....	65
Figura 4.9–	Detalhe de areia friável inserida nos Sedimentos Pós-Barreiras I ilustrando estruturas de bandas de infiltração.....	65
Figura 4.10–	Afloramentos dos Depósitos Pós-Barreiras II A-B) Areias friáveis maciças C) Arenito endurecido Pós-Barreiras I em contato discordante com arenitos maciços friáveis Pós-Barreiras II D) Estrutura de bandas de infiltração nos Depósitos Pós-Barreiras I e II.....	66
Figura 4.11–	Coluna estratigráfica do poço FJP (Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa), com amostras localizadas.....	67
Figura 4.12–	Histogramas de frequências dos minerais principais da Formação Barreiras em superfície.....	72
Figura 4.13–	Distribuição dos minerais pesados em subsuperfície da Formação Barreiras, depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II.....	75
Figura 4.14–	Histogramas de frequências dos minerais principais dos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície.....	76
Figura 4.15–	Histogramas de frequências dos minerais principais dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície.....	78
Figura 4.16–	Distribuição dos minerais pesados em subsuperfície da Formação Beberibe e Itamaracá.....	80
Figura 4.17–	Histogramas de frequências dos minerais principais da Formação Beberibe em subsuperfície.....	82
Figura 4.18–	Diagrama de pizza de formas de zircão da Formação Barreiras e superfície.....	83
Figura 4.19–	Histogramas de frequências das texturas do zircão na Formação Barreiras em superfície.....	84
Figura 4.20–	Diagrama de pizza de formas da turmalina da Formação Barreiras em superfície.....	84
Figura 4.21–	Histogramas de frequências das texturas da turmalina na Formação Barreiras em superfície.....	85
Figura 4.22–	Diagrama de pizza de formas de zircão dos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície...	86

Figura 4.23–	Histogramas de frequências das texturas do zircão nos depósitos Pós-Barreiras I em superfície.....	86
Figura 4.24–	Diagrama de pizza de formas de turmalina dos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície.....	87
Figura 4.25–	Histogramas de frequências das texturas da turmalina nos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície.....	87
Figura 4.26–	Diagrama de pizza de formas de zircão dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície..	88
Figura 4.27–	Histogramas de frequências das texturas do zircão nos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície.....	88
Figura 4.28–	Diagrama de pizza de formas de turmalina dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície.....	89
Figura 4.29–	Histogramas de frequências das formas de turmalina nos depósitos Pós-Barreiras II em superfície.....	89
Figura 4.30–	Diagramas de pizzas (médias) de formas de zircão dos Depósitos Pós-Barreiras II até a Formação Beberibe em subsuperfície, com distribuição no furo por amostras.....	91
Figura 4.31–	Diagramas de pizzas (médias) de formas de turmalina nos depósitos mesozóicos e cenozóicos em subsuperfície, com distribuição no furo por amostras.....	92
Figura 4.32–	Gráfico de dispersão de diâmetro médio (Φ) versus desvio padrão dos depósitos de superfície.....	94
Figura 4.33–	Gráfico de dispersão de componentes principais (dados mineralógicos de superfície).....	95
Figura 4.34–	Dendrograma de mineralogia dos depósitos de superfície estudados.....	96
Figura 4.35–	Dendrograma de granulometria dos depósitos de superfície estudados.....	96
Figura 4.36–	Dendrograma de morfologia e arredondamento de turmalinas dos depósitos de superfície estudados.....	97
Figura 4.37–	Gráfico de dispersão de diâmetro médio (Φ) versus desvio padrão dos depósitos de subsuperfície.....	100
Figura 4.38–	Gráfico de dispersão de componentes principais (A) e gráfico de peso das variáveis de medida (B; mineralogia) para as amostras de subsuperfície.....	101
Figura 4.39–	Grãos de zircão presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	102
Figura 4.40–	Grãos de turmalina presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	103
Figura 4.41–	Grãos de cianita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	104
Figura 4.42–	Grãos de rutilo presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	105
Figura 4.43–	Grãos de granada presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	106
Figura 4.44–	Grãos de estauroлита presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	107
Figura 4.45–	Grãos de andaluzita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	108
Figura 4.46–	Grãos de topázio presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	109
Figura 4.47–	Grãos de anfibólios cálcicos presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	110
Figura 4.48–	Grãos de sillimanita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	111
Figura 4.49–	Grãos de epídoto presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	112
Figura 4.50–	Grãos de monazita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície.....	113

Figura 4.51–	Grão de espinélio presente nos depósitos Pós-Barreiras I em superfície.....	113
Figura 4.52–	Evolução pós-deposicional da Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras I.....	118
Figura 4.53–	Diagramas de classificação e proveniência da Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras I (modificado de FOLK, 1986 e DICKINSON, 1985).....	121
Figura 5.1–	Distribuição geográfica do grupo GR2, obtido a partir do gráfico de dispersão de diâmetro médio versus desvio padrão.....	125
Figura 5.2–	Perfil da parte cenozóica do furo FJP com a distribuição vertical dos principais minerais pesados, com destaque para o comportamento da estauroлита. Notar a súbita diminuição deste mineral a partir da profundidade 36m.....	132
Figura 5.3–	Mapa geológico com anomalias mineralógicas mais relevantes das amostras de superfície.....	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1–	Médias dos parâmetros granulométricos dos arenitos dos depósitos Barreiras, Pós-Barreiras I e II na área estudada.....	69
Tabela 4.2–	Médias dos parâmetros granulométricos dos arenitos Beberibe, Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I e II no furo FPJ da Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa).....	70
Tabela 4.3–	Proporções em massa da mineralogia acessória da Formação Barreiras, e os depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em amostras de superfície.....	71
Tabela 4.4–	Proporções em massa da mineralogia acessória dos arenitos Beberibe, Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I e II no poço FJP.....	71
Tabela 4.5–	Médias dos minerais pesados transparentes não micáceos da Formação Barreiras em superfície.....	72
Tabela 4.6–	Médias dos minerais pesados transparentes não micáceos da Formação Barreiras e depósitos Pós-Barreiras I e II em subsuperfície.....	74
Tabela 4.7–	Médias dos minerais pesados transparentes não micáceos dos depósitos Pós-Barreiras I em superfície.....	76
Tabela 4.8–	Minerais pesados transparentes não micáceos dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície.....	78
Tabela 4.9–	Minerais pesados transparentes não micáceos das formações Itamaracá e Beberibe em subsuperfície.....	79
Tabela 4.10–	Média dos contagens texturais de zircão em subsuperfície desde a Formação Beberibe até os Depósitos Pós-Barreiras II.....	90
Tabela 4.11–	Média dos contagens texturais de zircão em subsuperfície desde a Formação Beberibe até os depósitos Pós-Barreiras II.....	92
Tabela 4.12–	Contagens texturais de cianita em superfície da Formação Barreiras, Depósitos Pós-Barreiras I e Depósitos Barreiras II.....	93
Tabela 4.13–	Tabela de correspondência e teste qui-quadrado para avaliar a dependência entre os grupos encontrados para mineralogia, granulometria e texturas de turmalina.....	97
Tabela 4.14–	Estatísticas descritivas das variáveis associadas dos grupos de granulometria e formas de turmalina, os números grifados representam os valores que se encontram associados (vide Tabela 4.13).....	98
Tabela 4.15–	Tabela de correspondência e teste qui-quadrado para avaliar a dependência entre os grupos encontrados para mineralogia, granulometria e formas de turmalina com grupos estratigráficos.....	99
Tabela 4.16–	Estimativa modal de componentes.....	114
Tabela 4.17–	Resultados de análises petrográficos (Cálculos de composição modal).....	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1–	Unidades litoestratigráficas do Terreno Alto Pajeú.....	26
Quadro 2.2–	Unidades litoestratigráficas do Terreno Alto Moxotó.....	27
Quadro 2.3–	Unidades litoestratigráficas do Terreno Rio Capibaribe.....	27
Quadro 3.1–	Tabela de frequências esperadas e observadas. As frequências esperadas podem ser os agrupamentos de granulometria comparadas com frequências observadas nos agrupamentos da mineralogia.....	48
Quadro 4.1–	Tipos de grãos do arcabouço (grãos >0,0625mm) e formulas utilizadas para cálculos de composição modal.....	115
Quadro 5.1–	Quadro com rochas fontes potenciais e sua possível mineralogia.....	130

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE QUADROS.....	14
SUMÁRIO.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Objetivos.....	19
1.3 Localização.....	19
2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	22
2.1 Pré-Cambriano/Província Borborema.....	22
2.2 Bacia Paraíba.....	27
2.2.1 Formação Beberibe (Coniaciano?- Campaniano).....	32
2.2.2 Formação Itamaracá (Neo-Campaniano – Eo-Maastrichtiano).....	33
2.2.3 Formação Gramame (Maastrichtiano).....	34
2.2.4 Formação Maria Farinha (Paleoceno - Eoceno?).....	35
2.2.5 Formação Barreiras (Mioceno).....	36
2.2.6 Depósitos Pós-Barreiras(Neopleistoceno- Holoceno).....	40
3 MÉTODOS.....	42
3.1 Análises Sedimentológicas.....	42
3.1.1 Trabalhos de campo.....	42
3.1.2 Análise granulométrica.....	43
3.1.3 Análise de minerais pesados.....	43
3.1.3.1 Introdução.....	43
3.1.3.2 Identificação e contagem.....	44
3.1.3.3 Análises texturais de zircão, turmalina e cianita.....	49
3.2 Petrografia de Arenitos.....	54
4 RESULTADOS.....	56
4.1 Geologia Local.....	56
4.2 Análises Sedimentológicas.....	69
4.2.1 Análises texturais.....	69
4.2.2 Minerais pesados.....	70
4.2.2.1 Estatística descritiva.....	70
4.2.2.2 Texturas de zircão e turmalina.....	83
4.2.2.3 Estatística multivariada.....	93
4.2.2.4 Descrição microscópica dos minerais pesados.....	101
4.3 Petrografia de arenitos.....	114

4.3.1	Estimativa modal de componentes.....	114
4.3.2	Componentes deposicionais.....	115
4.3.3	Componentes diagenéticos.....	117
4.3.4	Classificação petrográfica.....	120
5	DISCUSSÃO.....	122
5.1	Considerações estratigráficas.....	122
5.2	Considerações da procedência sedimentar.....	129
5.3	Comparação dos dados mineralógicos com trabalhos anteriores.....	136
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		143
ANEXOS.....		154

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

São amplamente conhecidas as divergências ao respeito da cartografia das unidades sedimentares cenozóicas das bacias marginais da região nordeste (p.ex. BEURLIN, 1967a; BRASIL, 1982; ESTUDOS GEOLÓGICOS, 1991; BRASIL, 2002; GEOLOGIA USP, 2006; BRITO NEVES *et al.*, 2009). As diferenças entre os mapas geológicos propostos têm dificultado o entendimento do preenchimento e evolução sedimentar desta área. Encontra-se em execução um amplo projeto (FAPESP 2006/04687-7) que integra sedimentologia, estratigrafia, tectônica, sensoriamento remoto, datações com luminescência opticamente estimulada (LOE) e datações de lateritas, com vista em ajudar no mapeamento sedimentar na porção central da Bacia Paraíba. O presente projeto de dissertação é parte deste projeto e pretende auxiliar no mapeamento com a utilização principalmente da análise de minerais pesados e, subordinadamente petrografia.

O uso dos minerais pesados pode ser adequado para delimitar distintos tipos de corpos arenosos (MANGE; MAURER, 1992), além disso a aplicação do estudo de minerais pesados tem sido amplamente documentada como ferramenta auxiliar para a correlação estratigráfica em sequências dominadas por arenitos com ausência de controle bioestratigráfico (p.ex. MORTON, 1991; MANGE-RAJETZKY, 1995; MORTON; HURST, 1995; MORTON; GRANT, 1998; SVENDSEN; HARTLEY, 2002; MANGE; DEWEY; WRIGHT, 2003).

As assembléias de minerais pesados podem revelar informações cruciais sobre os tipos de rochas-fonte, o que é fundamental na determinação da proveniência e em sua diferenciação, já que assinaturas mineralógicas diferenciadas demonstram aportes de fontes diferenciadas (BASU, 1985; MORTON; TODD; HAUGTON, 1991; MANGE; MAURER, 1992; MORTON; HALLSWORTH 1994; DILL, 1998; entre outros).

A petrografia de arenitos é um método clássico para estudos estratigráficos e de proveniência sedimentar. A análise modal em arenitos, baseada nas relações entre os principais componentes clásticos, como quartzo, feldspato e fragmentos de rochas, é amplamente utilizada para diferenciação de unidades sedimentares, inferência de rochas fontes e do ambiente tectônico de sucessões sedimentares e metassedimentares (FOLK, 1974; DICKINSON & SUCZEK, 1979; INGERSOLL & SUCZEK, 1979; DICKINSON, 1985; entre outros). As associações composicionais são designadas como petrofacies que, por sua vez, ajudam na subdivisão estratigráfica informal e posteriormente na correlação das unidades formais (DICKINSON, 1970; JOHANSSON, 1993; EYNATTEN; BARCELO-VIDAL; PAWLOWSKY, 2003; WELTJE; EYNATTEN, 2004; LAMUS, 2006).

O alvo desta pesquisa são as unidades arenosas siliciclásticas cenozóicas aflorantes no Estado da Paraíba. A problemática essencial consiste que muitos pesquisadores consideram como cenozóica a maior parte das unidades mapeadas, enquanto para outros, ela consiste em rochas mais antigas mesozóicas. Especificamente no Estado da Paraíba, a divergência está nas áreas de ocorrência dos arenitos relacionados à Formação Barreiras ou à Formação Beberibe. Este fato está relacionado a aparente similaridade litológica entre estas unidades quando alteradas pelo intemperismo atual, fato já apontado por Beurlen (1967a). Mais recentemente,

outros pesquisadores (p. ex. ROSSETTI; GÓES; VALERIANO, 2007; ROSSETTI; GÓES, 2007) propõe que a maior parte trata-se de depósitos informalmente chamados de Pós-Barreiras.

1.2 Objetivos

Esta dissertação apresenta a caracterização mineralógica e petrográfica dos arenitos cenozóicos da Bacia Paraíba com objetivo principal de auxiliar na cartografia geológica, especificamente da parte emersa das sub-bacias Alhandra e Mirirí.

Os objetivos secundários deste trabalho são 1) elaboração de critérios para a distinção entre os diversos depósitos siliciclásticos cretáceos e cenozóicos; 2) contribuição no conhecimento das áreas fontes desses arenitos e 3) contribuição para o entendimento da evolução do Cenozóico da Bacia Paraíba.

1.3 Localização

A área selecionada para esse estudo localiza-se na região nordeste do Brasil, no Estado da Paraíba, na sua porção mais leste aproximadamente entre as coordenadas 34°45'W - 35°45'W e 6°35'S - 7°35'S. A partir da capital do estado (João Pessoa), os acessos ao campo podem ser feitos pelas rodovias federais (BR101 e BR230) e estaduais (PB8, PB18, PB32, PB34 e PB42). Os principais afloramentos visitados situam-se nos arredores dos municípios de Sapé, També, Santa Rita, Bayeux, Jacumã, Alhandra e Pedra de Fogo, e também nas falésias costeiras entre João Pessoa e Pitimbú (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Mapa com as principais rodovias do Estado da Paraíba (modificado de BRASIL, 1982; 2009)

Figura 1.2 - Mapa de localização da área de pesquisa com os locais estudados

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

O conhecimento da geologia do nordeste foi impulsionado desde a primeira metade do século XX pela descoberta de substâncias minerais estratégicas para a indústria e continuou até agora, dando uma tradição mineral à região que outrora era agrícola e pastoril. Em particular, o Estado da Paraíba destaca-se no contexto nacional pela produção de minerais não-metálicos (p.e: fosfatos, calcários, caulim, bentonita, vermiculita, argilas comuns, rochas ornamentais) e potencial hidrogeológico (BRASIL, 2002), bens minerais geralmente relacionados aos depósitos sedimentares que preencheram a Bacia Paraíba.

2.1 Pré-Cambriano/Província Borborema

As fontes primárias dos depósitos da Bacia Paraíba relacionam-se às rochas ígneas e meta mórficas da Província Borborema (PB). Esta ocupa uma extensão em torno dos 400.000 Km², está confinada entre as províncias São Francisco e Parnaíba e as bacias marginais. Coincide com a região de Dobramentos Nordeste, desenvolvida no Ciclo Brasileiro, que se apresenta como um mosaico complexo abrangendo diversos sistemas de dobramentos lineares separados entre si por altos do embasamento relacionados ou não com falhas (ALMEIDA, 1977). Na contraparte africana encontram-se conexões proterozóicas entre a PB e as faixas dobradas da África Central, e entre os crátons do Congo e São Francisco (p.ex. VAN SCHMUS *et.al.* 2008, ARTHAUD *et.al.* 2008).

A Figura 2.1 apresenta a reconstituição da porção central do Gondwana Ocidental há 500 Ma atrás, mostrando as províncias geológicas inferidas e correlações

potenciais com a região nordeste do Brasil e a porção centro-oeste da África, segundo Van Schmus *et al.* (2008).

Figura 2.1 - Correlações da Província Borborema com a Província Nigeriana e a Faixa Dobrada Africana Central. Legenda: Br/PA Domínios da Orogenia Brasiliano/ Pan-Africana; PalaeoPr Crusta paleoproterozóica. Principais domínios e regiões: AYD, Domínio Adamawa-Yadé; MK, Terreno Mayo Kebi; NWCD, Domínio Camarões NW; OU Faixa dobrada Oubanguide; PEAL Domínio Pernambuco-Alagoas; RGND, Domínio Rio Grande do Norte; SD, Domínio Sergipano; Transv Dom, Domínio Transversal; YD, Domínio Yaoundé. Zonas de Falha e Cisalhamento: AF, Falha Adamawa; Pa, Zona de Falha Patos; Pe, Zona de Falha Pernambuco; SF Falha Sanaga; TBF, Falha Tcholliré-Banyo; TBL, Linhamento transbrasiliano. Cidades: D, Douala; G, Garoua; JP João Pessoa, K, área Kaduna de Nigéria; R, Recife; N, Natal; S, Salvador; y, Yaoundé. (Segundo VAN SCHMUS *et al.* 2008)

zona de cisalhamento Boqueirão dos Conchos; PAsz, zona de cisalhamento Patos; PESz, Zona de cisalhamento Pernambuco; SCF, Falha Serra do Caboclo; SMA sz zona de cisalhamento São Miguel do Aleixo; TBL Lineamento Transbrasiliiano. Cidades: Fo, Fortaleza; Na, Natal; JP, João Pessoa; Re, Recife; Sa, Salvador. Os plutons neoproterozóicos ou unidades supracrustais no Domínio Ceará não aparecem na figura. **B:** Distribuição geral de granitos brasileiros. (Segundo VAN SCHMUS *et al.* 2008)

É pertinente destacar no presente trabalho o Domínio Transversal (TD) localizado entre as zonas de cisalhamento de Pernambuco e Patos (EBERT, 1970). Este domínio é provavelmente o diretamente responsável pelo aporte de detritos na Bacia Paraíba. O TD aportaria sedimentos de três terrenos tectono – estratigráficos, a saber, Alto Moxotó, Alto Pajeú e Rio Capibaribe (Figura 2.3), além disso, os *plutons* brasileiros (Figura 2.2) também puderam contribuir como fontes. Estes terrenos são descritos a seguir.

Figura 2.3 - Geologia geral no Domínio Transversal. TTNH, Alto estrutural Texeira-Terra Nova que coincide com a direção dos plutons sieníticos brasileiros. Principais zonas de falha: Als (Zona de Cisalhamento Afogados do Ingrazeira), BCSz (Zona de Cisalhamento de Boqueirão dos Conchos), CGsz (Zona de cisalhamento Campina Grande), SCF (Falha Serra do Caboclo). AP (Terreno Alto Pajeú); AM (Terreno Alto Moxoto); CV (Faixa orogênica Cariris Velhos); RC (Terreno Rio Capibaribe); Faixa Dobrada Cachoerinha (CFB); Orógeno Cariris Velhos (CV); Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL); Domínio Rio Grande do Norte (RGND). (Segundo VAN SCHMUS *et al.* 2008)

O Terreno Alto Pajeú (AP), sistema de dobramentos caracterizado por uma faixa de supracrustais eo-neoproterozóicas (950 M.a.), é considerado como partícipe fundamental da Orogenia Cariris Velhos (colagem Grenvilliana ?) e por conseguinte um fragmento do Supercontinente Rodínia. Apesar do intenso retrabalhamento das supracrustais e plutônicas desta faixa (e de seu embasamento) pelos eventos do Ciclo Brasileiro, a característica original deste terreno está bem preservada (BRITO NEVES *et al.* 2001a). Este terreno encontra-se limitado ao norte pela Zona de Cisalhamento de Patos e ao sul por linhas de falhas que o limitam de frações da colagem paleoproterozóica, respectivamente o Domínio Rio Grande do Norte mais os núcleos arqueanos de São Jose do Campestre (para o norte) e o Terreno Alto Moxoto (para o sul), como pode ser visto na Figura 2.3. Nele, são identificados três contextos litológicos (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Unidades litoestratigráficas do Terreno Alto Pajeú

Unidade Litoestratigráfica	Litologia
Metagranitóides Cariris Velhos	Granada - muscovita – biotita <i>augen</i> gnaiss e migmatito com sillimanita
Complexo São Caetano	Muscovita - biotita –gnaisses às vezes granatífero, biotita gnaiss, muscovita xisto, quartzito, calcário cristalino, ortoanfibolito, metatufo ácido e metavulcanoclástica
Ortognaiss granodiorítico - granítico	Ortognaiss granodiorítico – granítico migmatizado

Fonte. Modificado de BRASIL, 2002

O Terreno Alto Moxotó (AM), considerado embasamento paleoproterozoico com alguns remanescentes arqueanos, muito retrabalhados nos ciclos Cariris Velhos e Brasileiro (BRITO NEVES *et al.* 2001b), apresenta dois contextos lito-estruturais predominantes (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 - Unidades litoestratigráficas do Terreno Alto Moxotó

Unidade Litoestratigráfica	Litologia
Complexo Caroalina – Subirim	Biotita gnaiss, sillimanita – granada – biotita xisto com níveis de calcário e quartzito
Suite Granítica Camalaú	Ortognaisse tonalítico trondhjemitico; <i>augen</i> ortognaisse granítico, quartzo – sienítico e sienítico; anfibólio – biotita ortognaisse quartzo monzonítico a granítico e muscovita ortognaisse com sillimanita
Complexo Sumé	Leucognaisse com freqüentes intercalações de metabasitos, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas, mármore, metapiroxenito e metagabro
Metanortosito Boqueirão	Metanortosito incluindo metadiorito e metagabro
Metagranitóides e Migmatitos Serra de Jabitacá	Ortognaisse tonalítico – granodiorítico com anfibolito e migmatito com leucossoma granítico e mesossoma de biotita gnaiss
Complexo Sertânia	Biotita gnaiss com granada e/ou sillimanita, biotita gnaiss, calcário cristalino, rocha calcissilicática, quartzito e raro anfibolito
Ortognaisse granodiorítico - granítico	Ortognaisse de composição tonalítica – (trondhjemitica) – granodiorítica com intercalações de rochas metamáficas

Fonte. Modificado de BRASIL, 2002

O Terreno Rio Capibaribe (RC), situado na parte mais sudeste do TD, diferencia-se dos demais terrenos pelas seqüências supracrustais xistosas e pelíticas, com muitas intercalações calcissilicáticas e carbonáticas e pelos grandes batólitos cálcio-alcalinos com alto teor de potássio (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 - Unidades litoestratigráficas do Terreno Rio Capibaribe

Unidade Litoestratigráfica	Litologia
Complexo Caroalina – Subirim	Biotita – gnaiss, granada – biotita xisto, com níveis de calcário cristalino e muscovita quartzito
Complexo Vertentes	Granada – biotita gnaiss, metavulcânicas máfica e intermediária
Complexo Gnáissico - migmatítico	Ortognaisse de composição granítica a tonalítica, incluindo fácies monzonítica, monzodiorítica e diorítica

Fonte. Modificado de BRASIL, 2002

2.2 Bacia Paraíba

Data do Jurássico, o início da formação do Oceano Atlântico e da Margem Continental Brasileira com o surgimento das bacias marginais. Na região nordeste, a apesar dos avanços nas pesquisas da indústria do petróleo com a descoberta de óleo

nas bacias marginais, a Bacia Paraíba ainda continua com um baixo volume de dados de subsuperfície na parte em terra e dados sísmicos apenas na sua contraparte marinha (CORDOBA *et al.*, 2007a; 2007b), fato que tem gerado grandes dificuldades na interpretação desta bacia. Isto pode ser explicado porque esta bacia é diferente das suas vizinhas de Pernambuco e Potiguar. Ela foi a última a se formar no final do Cretáceo, e como decorrência, o seu preenchimento sedimentar não excedeu 400 metros, o que é bem menos espesso que a sua vizinha sul (Bacia Pernambuco) que alcançou mais de 3000 metros de profundidade (LIMA FILHO, 1998; LIMA FILHO, SOUZA, 2001).

Nos trabalhos de Mabesoone e Alheiros (1988;1993) são propostas as feições estruturais que permitiram a separação das bacias Paraíba e Pernambuco, mas esta distinção foi melhor fundamentada por Lima Filho (1998). Este autor enfatiza as diferenças entre a faixa costeira ao norte do Lineamento de Pernambuco individualizando propriamente a Bacia Paraíba composta pelas sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri.

A Bacia Paraíba não apresenta um preenchimento sedimentar relacionado à fase rifte aptiana típica na sua porção emersa; esta fase, no entanto, está representada pela Formação Cabo no Rifte do Cupe (Bacia Pernambuco) e no seu prolongamento na Sub-bacia Olinda (Figura 2.4). O evento tectônico do final do Turoniano - início do Coniaciano marca a fase inicial da deposição clástica Beberibe na Bacia Paraíba (LIMA FILHO; SOUZA, 2001; LIMA FILHO; BARBOSA; SOUZA, 2006).

Apesar da diferenciação do preenchimento sedimentar das bacias Pernambuco e Paraíba, a evolução tectônica de ambas está intimamente ligada. A Bacia Pernambuco inicia sua história desde o Barremiano com abertura inicial, de sul para norte, do Rifte

do Cupe (Figura 2.4- A). Durante o Aptiano, nesta área, continuam os esforços em direção NW, configurando ainda mais o processo de rifteamento (Figura 2.4- B). Posteriormente, no final do Albiano, já na Bacia Paraíba, ocorre uma parada da sedimentação siliciclastica da Formação Cabo no Gráben de Olinda, que corresponderia um rifte abortado, provavelmente pela movimentação do Lineamento de Pernambuco (Figura 2.4- C). No Turoniano – Santoniano, devido a uma subsidência na região entre o Lineamento de Pernambuco e o Alto de Touros, inicia-se a deposição fluvial da Formação Beberibe nas áreas deprimidas. Sincronicamente, na região a norte do Alto de Mamanguape começa a deposição transicional da Formação Itamaracá devido ao início da transgressão marinha (Figura 2. 4- D). Os trabalhos de Barbosa (2007) e Barbosa *et al.* (2007) inferem a possível existência de uma discordância erosiva mesocampaniana que separa o topo da Formação Beberibe da base da Formação Itamaracá. O suporte deste raciocínio fundamenta-se na existência bem conhecida desta discordância mesocampaniana na Bacia Portuguesa. Durante o Neocampaniano, toda a Bacia Paraíba encontra-se em franco processo de transgressão que, finalmente, no Maastrichtiano-Santoniano, numa fase de calma tectônica, resulta na formação da plataforma carbonática Gramame (Figura 2.4- E, LIMA FILHO, BARBOSA, SOUZA, 2006). Durante o Eoceno-Paleoceno, a regressão marinha é responsável pela deposição dos carbonatos da Formação Maria Farinha, seguida de soerguimento e erosão. Posteriormente, durante o Mioceno, ocorre uma transgressão marinha de caráter global que deposita os sedimentos siliciclásticos transicionais da parte inferior da Formação Barreiras. No final do Mesomioceno, em função da forte queda do nível do mar, e longo período de quietude tectônica, a bacia fica longo tempo exposta ao intemperismo, o que resulta na formação de expressivo

paleossolo laterítico até o Eoplioceno, período em que a sedimentação foi retomada (SHIMABUKURO; ARAI, 1999; ROSSETTI 2004). Durante o Pleistoceno, reativações tectônicas ao longo de antigas zonas de cisalhamento (BRITO NEVES *et al.*, 2004; BEZERRA *et al.*, 2008), criam espaços acomodacionais que recebem a sedimentação Pós-Barreiras mais espessa do que aquela da região norte do Brasil (ROSSETTI; GÓES; VALERIANO, 2007).

Figura 2.4 – Esquema da evolução tectônica das bacias Pernambuco e Paraíba: 1. Rifte do Cupe. 2. Zona de Cisalhamento de Patos. 3. Lineamento de Pernambuco. 4. Alto de Tamandaré. 5. Graben de Olinda. 6. Graben de Piedade. 7. Granito do Cabo de Santo Agostinho. 8. Graben de Cupe. 9. Sub-bacia de Canguaretama. 10. Sub-bacias Alhandra e Miriri. 11. Sub-bacia de Olinda. 12. Talude da Bacia Paraíba. 13. Alto de Mamanguape. 14. Alto de Goiana (modificado de LIMA FILHO; BARBOSA; SOUZA, 2006)

O objeto de estudo do presente trabalho situa-se principalmente na Sub-bacia Alhandra limitada entre as falhas de Goiana e Itabaiana, e em parte da Sub-bacia Miriri ao norte da Falha de Itabaiana até a Falha de Mamanguape (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Localização da Bacia Paraíba e as Sub-bacias Alhandra e Miriri (modificado de BARBOSA; LIMA FILHO, 2006)

O empilhamento estratigráfico da área de pesquisa corresponde ao registro das duas últimas fases de evolução (D e E da Figura 2.4), e pode ser visualizado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Coluna generalizada das Sub-bacias Alhandra e Miriri (modificado de BARBOSA *et al.* 2007)

2.2.1 Formação Beberibe (Coniaciano?- Campaniano)

A definição litoestratigráfica da unidade mais basal das sub-bacias de Alhandra e Miriri foi feita por Beurlen (1967a), que elevou à categoria de formação o Membro

Beberibe da Formação Itamaracá de Kegel (1955), para referir-se aos arenitos fossilíferos aflorantes no vale do rio Beberibe. Os fósseis, principalmente moluscos bivalves (80%), *Mulinoides*, *Tellina* e *Corbula*, e alguns representantes menos comuns, *Fragum*, *Astarte*, *Liophista*, *Turritella*. O amonóide *Pseudoschloenbachia* permitiu datar a deposição da Formação Beberibe como Neosantoniano a Campaniano (BEURLIN, 1967b), para Barbosa *et al.* (2003), esta formação corresponderia, provavelmente, ao intervalo Coniaciano? – Campaniano. Trata-se de arenitos calcíferos, maciços, predominantemente quartzosos, grossos a conglomeráticos intercalados com siltitos, atribuídos a sistemas deposicionais fluviais entrelaçados e planície aluvial que lateralmente passam a fácies de plataforma carbonática rasa (Nobrega e Alheiros 1991, Alheiros *et al.* 1993). A espessura máxima relatada é de mais de 300m (BEURLIN, 1967a; PETRI; FÚLFARO, 1983; ALHEIROS *et al.*, 1993) e os depocentros estão localizados entre Recife e a ilha de Itamaracá (BARBOSA *et al.* 2007). Os arenitos desta unidade são considerados excelentes aquíferos na região (BEZERRA; ALMEIDA; SOUZA, 1970).

2.2.2 Formação Itamaracá (Neocampaniano – Eomaastrichtiano)

A Formação Itamaracá foi definida por Kegel (1955) para designar os arenitos calcíferos aflorantes na Ilha de Itamaracá, norte da cidade de Recife. Beurlen (1967a) aboliu o termo Formação Itamaracá, incluindo estes arenitos calcíferos transicionais na base da Formação Gramame, posteriormente Lima Filho e Souza (2001) retomam o nome de acordo com a sua proposta inicial. Trata-se de uma sucessão transgressiva composta de calciarenitos fossilíferos que chegam a formar coquinas, intercalações siliciclásticas de granulometria variável e depósitos fosfáticos no topo (LIMA FILHO;

SOUSA, 2001; BARBOSA *et.al.* 2007). A idade neocretácea desta formação já foi inferida nos trabalhos de Maury (1930) em função da ocorrência de moluscos das zonas *Roudairia* (bivalves provavelmente do Campaneano) e *Sphenodiscus* (amonóide do Maastrichtiano). As fácies fosfáticas apresentam maior abundância de gastrópodes em relação a bivalves (*Plicatula*, *Venericardia*, *Lucina*, *Xenomorpha*, *Helicaulax*, *Cypraea* entre outros), além de abundantes as associações de foraminíferos (*Siphogenerinoides*, *Epistominella*, *Fallotia*, *Rosita*, *Globotruncana* e *Rugoglobigerina*. TINOCO, 1967), ostracodes, dentes de peixes, pequenos moluscos, coprólitos, e, mais raramente, algas calcárias (MABESOONE; OLIVEIRA, 1991). Os depósitos da Formação Itamaracá podem alcançar 100 metros de espessura (MUNIZ, 1993), cujos depocentros localizam-se entre a ilha de Itamaracá e Pitimbu e nas vizinhanças de João Pessoa. Nas periferias, esta unidade não ultrapassa 30 metros. A Formação Itamaracá recobre discordantemente em situação de *onlap* a Formação Beberibe (BARBOSA et al.,2007).

2.2.3 Formação Gramame (Maastrichtiano)

Kegel (1955) definiu esta formação, no vale do mesmo nome, como, predominantemente, bancos de calcário cinzento, mais ou menos argiloso, dolomítico na base, com intercalações argilosas.

Estas margas apresentam fauna predominante de grandes amonóide (*Pachydiscus*, *Pseudophyllites*, *Canadoceras*, *Glyptoxoceras* e *Sphenodiscus*), e, subordinadamente, ostracodes (*Cytherella*, *Cytheropteron* e *Cythereis*) e escamas e dentes de peixes (seláquios) (MAURY, 1930 TINOCO, 1967). Os microfósseis mais

característicos desta formação são foraminíferos (*Pseudogaudryinella*, *Marginulina*, *Robulus*, *Gümbelina*, *Siphogenerinoides*, *Bulliminella*, *Bolivina*, *Gyroidina*, *Globigerina*, *Globotruncana*, *Globorotalia*, *Cytherea*, *Cytherella*, *Rugoglobigerina*, *Plummerita*, *Pseudotextularia*, *Racemiguembelina*, *Heterohelix*, *Pseudoguembelina*, *Plectina*, *Lenticulina*, *Dentalia*, *Vaginulina*, *Nodosaria*, *Neoflabelina*, *Loxostomum*, *Brizalina* e *Cibicides* (TINOCO, 1967, 1971). Gastrópodes e bivalves são em geral pouco representativos.

A Formação Gramame pode alcançar espessuras de até 55 metros (SOUZA, 2006), e é considerada como depositada em uma plataforma rasa com energia baixa a moderada com influência periódica de tempestades (BEURLEN, 1967a, 1967b; MUNIZ, 1993; BARBOSA *et al.*, 2007).

2.2.4 Formação Maria Farinha (Paleoceno - Eoceno?)

Definida por Oliveira (1940) e descrita por Oliveira e Ramos (1951), na região de Olinda, como um calcário mais puro, pelo menos na parte basal, que o subjacente (Formação Gramame) e destaca-se deste último fundamentalmente pelo conteúdo fossilífero. Compõe-se de calcários detríticos com estratificação bem definida, intercalados com calcários dolomitizados e margas. Esta sequência representa uma fase regressiva após a transgressão Gramame (MUNIZ, 1993). As maiores espessuras desta formação não ultrapassam 30 metros e ocorrem na Sub-bacia Olinda, na faixa costeira entre Recife e o vale do rio Goiana (PETRI ;FÚLFARO,1983; MUNIZ, 1993). Nas sub-bacias Alhandra e Miriri, restritamente na parte costeira, ocorrem apenas calcários recifais atribuídos à parte superior desta formação (BARBOSA, 2004, 2007).

Na Formação Maria Farinha são comuns as faunas de nautilóides (*Hercoglossa* e *Cimomia*), gastrópodes (*Campanile*, *Pyrazus*, *Naticidae*, *Cucullaea*, *Venericardia*, *Turritella*, *Mesalia*, *Scala*, *Cerithium*, *Cypraea*, *Calytraphorus* e *Volutocorbis*), lamelibrânquios (*Nuculana*), foraminíferos (*Globigerina*, *Chilloguembelina*, *Dentalina*, *Vaginulina*, *Lenticulina*, *Valvulineria*, *Nodosaria*), ostracodes (*Cytherella*, *Costa*, *Cytheretta*, *Pontocythere*, *Paracypris*, *Cytheropteron*), fragmentos de equinodermas, escleritos de holotúrias, peças ambulacrais de asteróides, ossículos de ofiuróides e, mais raramente, dentes de peixes e coprólitos (BEURLIN 1967a, 1967b; PETRI; FÚLFARO, 1983; MABESOONE; OLIVEIRA, 1991; MUNIZ, 1993; ALMEIDA 2000)

2.2.5 Formação Barreiras (Mioceno)

A primeira referência do termo “Barreiras” foi feita pelo Pero Vaz de Caminha em 1500 (CAMINHA, 2001), na primeira carta ao Rei Dom Manuel I, para se referir a uma feição geográfica observada desde o norte do Rio de Janeiro até Amapá. Começou a ser utilizada com o sentido geológico, em trabalhos do início do século XX (p.e. BRANNER, 1902; MORAES, 1928), posteriormente Oliveira e Leonardos (1943) introduzem a denominação informal “série das barreiras” ampliando sua extensão para os afloramentos dos rios amazônicos até a divisa com Colômbia, Peru e Bolívia. O termo “Formação Barreiras” foi utilizado pela primeira vez nos trabalhos de Oliveira e Ramos (1956) em Pernambuco e Kegel (1957) em Rio Grande do Norte. Matoso e Robertson (1959) propõem o abandono do termo “barreiras” em qualquer das suas denominações como série ou formação por “Formações Cenozóicas Indiferenciadas” até que o aprofundamento dos conhecimentos geológicos seja suficiente como para separar em formações. Com a utilização de metodologias morfoclimáticas, na área de

Natal, Bigarella e Andrade (1964) elevam esta unidade a categoria de grupo subdividido nas formações Guararapes e Riacho Morno separadas entre si por significativa superfície de discordância erosiva. Campos e Silva (1965; 1968), também em Natal, reconhecem outros depósitos eólicos quaternários em desconformidade sobre a Formação Riacho Morno, os quais são denominados de formações Macaíba e Potengi. Na região das serras, no interior de Rio Grande do Norte e Paraíba, em cotas superiores a 600 metros, aflora uma unidade arenosa conglomerática considerada sotaposta à Formação Barreiras (MORAIS NETO, 1998), definida por Moraes (1924) como Formação Serra do Martins. Na revisão estratigráfica feita por Mabelsoone *et al.* (1972), esta unidade é incluída no Grupo Barreiras. Além disso, neste trabalho, os referidos autores utilizam simultaneamente conceitos lito e edafoestratigráficos, o que vem acrescentar uma maior complexidade à nomenclatura estratigráfica do Cenozóico na região nordeste do Brasil. Estes autores redefinem o Grupo Barreiras como composto pelas formações Serra do Martins, Guararapes e Macaíba e pelos intemperismos Riacho Morno e Potengi.

Bigarella (1975) não aceita a proposição de Mabelsoone *et al.* (1972) e afirma que o Grupo Barreiras é constituído pelas formações Guararapes e Riacho Morno no *sensu strictu* como definido em Bigarella e Andrade (1964). Este autor inclui a Formação Potengi como uma fácies eólica da Formação Riacho Morno, porém considera a Formação Macaiba como equivalente costeiro da Formação Serra do Martins e de idade mais antiga. Bossi, Lins e Andreis (1982), trabalhando na região entre João Pessoa e Maceió, consideram que a Formação Guararapes é a unidade cenozóica principal aflorante na região que contém diversas fácies deposicionais (fácies fluviais=Guararapes e Riacho Morno, fácies litoral= Forte Orange).

Alheiros *et al.* (1988) e Alheiros e Lima Filho (1991) retomam a denominação original de Formação Barreiras em virtude do seu registro litológico contínuo, predominantemente arenoso com ampla extensão geográfica e evolução sedimentológica similar. Segundo Alheiros e Lima Filho (1991), na região entre Natal e Recife, esta formação é constituída de três fácies atribuídas a leques aluviais, canais entrelaçados e ambientes litorâneos (lagunas e planícies de maré). A fácies leques aluviais é constituída de areias conglomeráticas e conglomerados com seixos de quartzo ou blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares a lenticulares de até 1 metro, intercaladas com siltitos e argilitos com estratificação plano-paralela. A fácies fluvial entrelaçada representa a maior parte dos depósitos de preenchimento de canal (70% em área) compostos de sucessões granodecrescentes de areias subarcólicas de granulação grossa a fina, com estratificações cruzadas acanalada e tabular. Subordinadamente, ocorrem estratos siltíticos-argilosos com níveis de paleossolos atribuídos a planície de inundação. A fácies litorânea é constituída de areias médias a finas intercaladas ritmicamente com filmes de argilas cinzas e matéria orgânica, em estratificação plano-paralela e, localmente, ondulada. Esta fácies é registrada exclusivamente nas falésias costeiras ou próximo a elas, e representa ambientes costeiros não deltaicos, incluindo lagunas e planícies de maré.

Apesar de, por muito tempo, a Formação Barreiras ser referenciada como afossilífera, já tinham sido encontrados nesses depósitos, na Bahia, megafósseis vegetais pliocênicos de *Ouriçanguinhas* (OLIVEIRA; LEONARDOS, 1943). Além disso, Regali em comunicação verbal com Vianna *et al.* (1971), na Bacia Recôncavo-Tucano, reportou *Psilastephanocolporites*. Pouco tempo depois, no Rio Grande do Norte, Salim *et al.* (1975) reportam em subsuperfície níveis pretos argilosos com pólenes de

Zonocostites ramonae, flora de afinidade com mangue dominante no Mioceno Superior. No mesmo trabalho, sobrepostos aos níveis fossilíferos, são relatados basaltos atribuídos a fase vulcânica Cabugi (Mioceno). Arai *et al.* (1988;1994), no nordeste de Pará, mediante palinologia dataram o Barreiras como Eomioceno, em função da ocorrência de *Crassoretitriletes vanraadshooveni* e *Retitricolpites amapaensis*. Outra conclusão importante destes trabalhos é a confirmação de paleoambiente estuarino ou lagunar com presença de manguezais, já apresentado anteriormente por Salim *et al.* (1975). O registro de Ophiomorpha (FERNANDES *et al.*, 1992; TRUCKENBRODT *et al.*, 1994) e de dinoflagelados (ARAI, 1997) nesses sedimentos miocênicos da região norte do Brasil confirmam a ambiência costeira.

O uso indiscriminado do termo Barreiras no nordeste do Brasil tem gerado inumeráveis nomenclaturas e subdivisões estratigráficas que não tem esclarecido a evolução geológica do Cenozóico na área. A análise bibliográfica acima relatada demonstra que, no nordeste do Brasil, a utilização da designação Barreiras é muito ampla e engloba os depósitos pós-cretáceos e pré-holocênicos. Nesta dissertação, considera-se que a Formação Barreiras inclui exclusivamente os depósitos referenciados localmente como “Guararapes” que apresentam no topo um marcante paleossolo laterítico. Mesmo que na região nordeste não tenham ainda sido encontrados fósseis-guia miocênicos, os trabalhos de Shimabukuro e Arai (1999;2000;2001), Arai e Shimabukuro (2003) e Arai (2006), utilizando a integração da estratigrafia de seqüências com dados das bacias submersas da margem continental brasileira, inferem que o episódio Barreiras é consequência da transgressão miocênica global.

2.2.6 Depósitos Pós-Barreiras (Neopleistoceno- Holoceno)

A utilização informal de Depósitos Pós-Barreiras iniciou-se na região norte do Brasil por Sá (1969) referindo-se aos sedimentos que se sobrepõem à Formação Barreiras em discordância erosiva. Góes (1981), no nordeste de Pará e no noroeste de Maranhão, descreve-os como sedimentos grossos com predominância de areia fina e grossa, com seixos quartzosos, fragmentos de “grés de Pará” e concreções ferruginosas retrabalhadas. A ocorrência desta unidade é confirmada nos trabalhos de Rossetti, Truckenbrodt e Góes (1989), Rossetti (2000), os quais são mapeados em subsuperfície mediante o uso de radar de penetração no solo (ROSSETTI; GÓES, 2001; ROSSETTI; GÓES; SOUZA, 2001). Ainda nesta região, estudos baseados em datação com luminescência opticamente estimulada (TATUMI *et al.* 2008) subdividem esses depósitos em dois conjuntos com idades entre 430000 (± 60000) anos e 3400 (± 400) anos.

A despeito desta terminologia não ser tradicionalmente utilizada na região nordeste do Brasil, sucessões pós-miocênicas espessas têm sido relatadas (Beurlen 1967 a) com consequente proliferação de designações litoestratigráficas (por exemplo, Macaíba e Potengi), geralmente inseridas no “Grupo Barreiras”. Por outro lado, estudos sedimentológicos integrados com datações de luminescência opticamente estimulada na Bacia Paraíba apontam que esta deposição ocorreu durante o Neopleistoceno – Holoceno (ROSSETTI *et al.* em preparação)¹. Apesar de serem encontradas superfícies de descontinuidade que poderiam distinguir diversos Depósitos Pós-Barreiras, estes

¹ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES-FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; BRITO-NEVES, B.B. Late Quaternary sedimentation in Northeastern Brazil and the interplay of landform, sea-level and tectonics in Eastern South America passive margin

resultados permitem subdividi-los em apenas dois conjuntos, PBI com idades entre 178.300 (± 26.800) anos e 15.100 (± 1.800) anos, e PBII com idades entre 11.300 (± 1.700) anos e 1800 (± 200). O primeiro conjunto deveria incluir pelo menos, os sedimentos das formações Riacho Morno, Macaiba e Potengi. O segundo conjunto, de idade holocência é facilmente correlacionável às coberturas sedimentares de “Areias Brancas” (FERREIRA; ALHEIROS, 1992).

3. MÉTODOS

3.1 Análises sedimentológicas

As análises sedimentológicas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia Prof. Armando M Coimbra, do Instituto de Geociencias da USP

3.1.1 Trabalhos de campo

As atividades de campo realizadas visaram: (a) reconhecimento geral da área de estudo, com coleta de dados sedimentológicos e estratigráficos que possibilitem a distinção e correlação das unidades sedimentares; (b) coleta de amostras para análises de minerais pesados e petrografia de arenitos.

Foram coletadas amostras de superfície em afloramentos de corte de estrada e em falésias. Trata-se de exposições intemperizadas que apresentam menor grau de alteração nos novos cortes gerados pela duplicação da BR 101. Em cada ponto foram levantadas colunas detalhadas e amostrados os diversos níveis estratigráficos procurando sempre registrar os mesmos níveis nos distintos afloramentos. Durante 3 campanhas de campo foram coletadas 114 amostras na fração areia fina a muito fina ou eventualmente areia media.

Por outro lado, com a finalidade de auxiliar na cartografia e estratigrafia de superfície foram estudadas utilizadas 20 amostras de calha coletadas em um furo (FJP) para água subterrânea no Campus da Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa, PB) realizado pela empresa HIDROTEC.

3.1.2 Análise granulométrica

Foi utilizada a técnica de pipetagem para a fração menor que 0,063 mm com objetivo de classificar as partículas de silte e argila, utilizando-se os tempos de decantação em meio fluido de acordo com a lei de Stockes (MCMANUS, 1991). Para analisar as frações arenosas (0,063mm a 2,00 mm) foi utilizado a técnica de peneiramento a seco. A Figura 3.1 ilustra os procedimentos de laboratório envolvidos nestas duas técnicas utilizadas na análise granulométrica. Os resultados obtidos foram descritos em termos dos parâmetros estatísticos diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose, os quais foram calculados através do método analítico dos momentos de Pearson, mediante o uso do programa Momento4-expansão.xls, desenvolvido pelo Paulo C.F. Giannini e Daniel R. Nascimento Jr.

3.1.3 Análise de minerais pesados

3.1.3.1 Introdução

Para o estudo de minerais pesados utilizou-se a fração areia muito fina (0,125-0,062 mm) proveniente do peneiramento, considerada a mais adequada porque os minerais pesados tendem a se concentrar mais nas frações mais finas devido a segregação hidráulica (MORTON, 1985). Foi utilizado bromofórmio (tribromoetano CHBr_3 com densidade $2,89\text{g/cm}^3$), para concentrar os minerais mediante os processos de flutuação e afundamento. Os resíduos pesados sem extração dos minerais magnéticos foram montados com bálsamo do Canadá natural (índice de refração = 1,54) sobre lâminas de vidro.

Figura 3.1 - Fluxograma genérico para análise granulométrica por pipetagem e peneiramento. Modificado de Mello *et al.* (2004)

3.1.3.2 Identificação e contagem

A identificação dos minerais pesados transparentes não micáceos foi feita com o auxílio de microscópio petrográfico Zeiss – AXIOPLAN 2 no Laboratório de Petrografia Sedimentar do Igc. Para auxiliar na identificação da mineralogia foi utilizado o manual

adaptado de Coutinho e Coimbra (2004), atlas de minerais pesados e de mineralogia óptica (MANGE; MAURER, 1992; NESSE, 1991; TRÖGER, 1974). Foram descritas também, em cada mineral, as seguintes propriedades: cor, forma, grau de arredondamento, presença de inclusões, crescimento secundário, zoneamento, e geminações.

A quantificação mineralógica foi feita com base no método de contagem por linha (GALEHOUSE; 1969), contando-se 100 grãos/lâmina. Inicialmente foram contados os minerais transparentes e opacos e a seguir foram quantificados os minerais transparentes não micáceos presentes. Os resultados obtidos representam frequências de ocorrência destes minerais, onde aqueles com porcentagem inferior a 1 % foram considerados traços. O cálculo ZTR foi feito através da somatória das percentagens individuais de zircão, turmalina e rutilo, índice que indica o grau de maturidade mineralógica dos sedimentos (HUBERT, 1962).

Foi realizada outra contagem independente de 100 grãos incluindo apenas zircão e rutilo, minerais usados para o cálculo do índice RZi (rutilo-zircão). Este par de minerais apresenta densidade, estabilidade química e comportamento hidráulico similares e as variações obtidas denotam modificações na proveniência sedimentar (MORTON; HALLSWORTH, 1994). Este cálculo foi obtido a partir da fórmula: $RZi = 100 \cdot \text{rutilo} / (\text{rutilo} + \text{zircão})$.

Apenas para as amostras de subsuperfície foram utilizados mais dois índices minerais. O primeiro é um par mineral com a mesma estabilidade química e diferente comportamento hidráulico devido principalmente as suas densidades desiguais. Neste caso, utilizou-se o índice TZi (turmalina-zircão). Este cálculo foi obtido a partir da fórmula: $TZi = 100 \cdot \text{turmalina} / (\text{turmalina} + \text{zircão})$. Valores mais altos deste índice indicam

uma segregação hidráulica para minerais pesados menos densos e valores baixos indicam segregação dos minerais pesados mais densos. O segundo índice tem como objetivo mostrar o comportamento diferencial em relação à estabilidade química em perfis intempéricos. Para isto foi escolhido o índice ETi (estauroлита-turmalina), cujo cálculo é obtido a partir da fórmula: $ETi = 100 \cdot \text{estauroлита} / (\text{estauroлита} + \text{turmalina})$. Valores baixos deste índice mostram que o intemperismo afetou a assembléia, enquanto valores altos revelam pouca atuação de perfis lateríticos. O índice TZi foi calculado a partir de uma contagem de 100 grãos por lâmina e o índice ETi com os valores obtidos da mineralogia.

O alto volume de dados produzidos em uma análise de minerais pesados requer a aplicação de métodos estatísticos apropriados na procura dos objetivos propostos. Inicialmente, utilizou-se a estatística descritiva como ferramenta de descrição dos dados através de tabelas e gráficos. Foram ordenadas as observações em classes e computadas com suas respectivas frequências de ocorrências, para gerar as distribuições de frequência das contagens de minerais pesados transparentes, transparentes e opacos, e índices ZTR, RZi, ZTi e ETi, sendo que estes dois últimos foram somente aplicados a dados de subsuperfície.

Para o reconhecimento de padrões e comparação entre os distintos depósitos foram construídos gráficos mediante o uso do programa *MINITAB* 15, o qual permite apresentar de forma resumida as informações em histogramas, gráficos em caixa (*Boxplot*) e gráficos de dispersão. Foram calculadas as estatísticas descritivas: média, desvio padrão, curtose, assimetria, primeiro quartil, terceiro quartil e teste de normalidade (teste de ajuste à curva normal Anderson-Darling).

Foi aplicada também estatística multivariada com as técnicas de análise de componentes principais e análise de agrupamentos.

A análise de componentes principais tem por objetivo entender a estrutura dos dados por meio do conjunto de variáveis. Para isso, as variáveis são reduzidas a componentes principais que são combinações lineares das variáveis (MANDLY, 1994). A partir de dados mineralógicos (% de minerais pesados transparentes não micáceo) são gerados gráficos de dispersão dos dois primeiros componentes, que representam os mais importantes do conjunto de dados. Esta técnica foi aplicada a todas as amostras estudadas nesta dissertação.

A análise de agrupamento foi realizada com variáveis composicionais (mineralogia) e texturais (diâmetro médio e desvio padrão junto a morfologia e arredondamento de turmalina). A análise de agrupamentos é uma técnica que propende organização das observações por medida de similaridade (MANDLY, 1994). A medida de similaridade utilizada foi a distância euclidiana ao quadrado. Foi utilizado também o método Ward para o agrupamento, o qual é apropriado para dados quantitativos (p.ex. mineralogia), ele aglomera as variáveis em grupos homogêneos com variâncias mínimas e diferentes entre si.

Para eliminar falsas correlações entre componentes de dados composicionais foi utilizada uma transformação *Centered Log-Ratio* (AITCHISON, 1982), dada pela Equação 3.1:

$$clr[x_1, x_2, \dots, x_i] = \left[\ln \frac{x_1}{(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_i)^{1/i}}, \ln \frac{x_2}{(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_i)^{1/i}}, \dots, \ln \frac{x_i}{(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_i)^{1/i}} \right]$$

As variáveis da mineralogia em algumas amostras apresentam valores com zeros ou traços, devido a esta situação é preciso fazer a suposição que mesmo que

não encontrados na lâmina, a amostra é suscetível de conter todos os minerais. Quando se têm dados com zeros surgem problemas numéricos ao fazer as transformações, por isso quando a variável é zero (0), ela é substituída por 0,1 e quando a variável é traço, é substituído por um (1). Após isso, as variáveis são normalizadas e transformadas para gerar as análises de agrupamento representadas por dendrogramas. Nesta dissertação, esta técnica utiliza dados mineralógicos (% de minerais pesados, transparentes, não micáceos), granulométricos (diâmetro médio em Φ e desvio padrão) e texturais (morfologia e arredondamento de turmalina) em amostras de depósitos de superfície.

São realizados testes de aderência através do modelo qui-quadrado com os resultados dos agrupamentos. Este teste é utilizado para avaliar a adequação de modelos probabilísticos previamente estabelecidos, a um determinado conjunto de dados (MAGALHÃES; LIMA, 2002).

As tabelas de frequência geradas pelos agrupamentos de dados em categorias (mineralogia, granulometria, texturais e unidades estratigráficas) são comparadas entre si com aplicação do teste de hipótese qui-quadrado entre as frequências observadas e frequências esperadas (Quadro 3.1), donde:

H_0 : os grupos não têm associação entre si

H_1 : os grupos têm associação entre si

Quadro 3.1 - Quadro de frequências esperadas e observadas. As frequências esperadas podem ser os agrupamentos de granulometria comparadas com frequências observadas nos agrupamentos da mineralogia

Categorias	1	2	3	...	k
Frequência esperada	e_1	e_2	e_3	...	e_k
Frequência observada	o_1	o_2	o_3	...	o_k

A discrepância entre os dados é medida pela quantidade Q^2 (Equação 3.2), que é utilizada para decidir sobre as hipóteses H_0 e H_1 .

$$Q^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Onde, k é o número de categorias, o_i é a frequência observada e e_i é a frequência esperada para a categoria i . A distribuição de Q^2 pode ser aproximada por um modelo qui-quadrado com parâmetro $k-1$. Esta aproximação é mais eficaz se todas as frequências esperadas forem menores ou iguais a 5 (MAGALHÃES; LIMA, 2002).

A partir do teste qui-quadrado, calcula-se a probabilidade (p) de cometer erro tipo I, ou seja, rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira. Quanto menor o valor p , menor a probabilidade de cometer este tipo de erro. O valor (p) geralmente utilizado é 0,05. Valores superiores que 0,05 indicam rejeição da H_0 . Portanto, rejeita-se H_0 e aceita-se a hipótese H_1 de associação entre os grupos.

3.1.3.3 Análises Texturais de Zircão, turmalina e cianita

Múltiplos fatores afetam a assembléia de minerais pesados dentro do ciclo sedimentar: intemperismo na rocha fonte e durante o transporte; comportamento hidrodinâmico dos minerais no decurso do transporte e deposição; e finalmente diagênese atuante no soterramento. O comportamento hidráulico que segrega os minerais pela forma, tamanho e densidade, junto com a diagênese que causa perdas por dissolução total ou parcial de minerais, apresentam-se como os fatores que mais afetam a abundância relativa de minerais pesados num determinado depósito (MORTON, 1985; MORTON; HALLSWORTH, 1999).

Estudos de variações em minerais individuais (p.ex. zircão) ou grupos de minerais (turmalina) ajudam a obter dados independentes das condições hidráulicas e diagenéticas, porque minimizam os fatores de densidade e estabilidade química dentro da população estudada (MORTON; HALLSWORTH, 1994). Estes estudos também são referenciados como análise de minerais pesados de alta resolução (AMPAR) (MANGERAJETZKY, 1995; MANGE; DEWEY; FLOYD, 2005; MANGE; OTVOS, 2005).

Esta técnica baseia-se no reconhecimento do grau de diversidade em relação ao hábito, cor e estrutura interna destes minerais. Considerando a ampla variação de litologias que fornecem detritos para os sedimentos siliciclásticos, uma espécie individual pode abranger tipos de variedades que mostram diferentes histórias sedimentares. A análise de variedades é indicada principalmente no estudo de depósitos maduros onde ocorrem concentrações de minerais mais resistentes ao intemperismo e diagênese, tais como zircão e turmalina. Apesar disso, a AMPAR apresenta um maior grau de subjetividade do que o registro da ocorrência das principais espécies minerais. A análise convencional de minerais pesados só depende das propriedades óticas observadas em cada grão, enquanto a AMPAR (no presente caso análise de morfologia e arredondamento), engloba vários critérios relacionados ao hábito e a quantificação desses elementos pode ser complexa principalmente em função do número de categorias selecionadas para o estudo.

Nesta pesquisa, para AMPAR foram selecionados zircão e turmalina com contagens de 100 grãos por mineral, porém quando o número de grãos não alcançou este valor, desde que superior a 21 grãos, os dados foram normalizados visando o tratamento estatístico. O zircão foi subdividido em 7 categorias e a turmalina em 5, cuja escolha baseou-se em formas euédricas e as anédricas, sendo estas últimas

subdivididas segundo o grau de arredondamento de Powers (1953). O zircão faz parte do sistema tetragonal e as formas euédricas mais comuns são prismas bipiramidais (CORFU *et al.*, 2003). A turmalina, em geral, pode apresentar três hábitos, prismas curtos com terminações em uma ou mais raramente nas duas pontas, seções basais triangulares ou hexagonais e finalmente em agregados colunares e aciculares (MANGE; MAURER, 1992). No presente estudo, os grãos que apresentavam pelo menos três faces bem desenvolvidas foram considerados como subeudrais. Assim, as categorias determinadas foram as seguintes:

Zircão: eudrais (Z1); subeudrais angulosos, (Z2); subeudrais arredondados, (Z3); anedrais angulosos e muito angulosos, (Z4); anedrais subangulosos, (Z5); anedrais subarredondados, (Z6); anedrais arredondados e bem arredondados, (Z7). (Figura 3.2). Para facilitar os cálculos e visualização dos resultados, as 7 categorias acima relacionadas são agrupadas em três tipos de zircão: $Z_a = (Z1+Z2+Z4)$; $Z_b = (Z3+Z5)$ e $Z_c = (Z6+Z7)$.

Figura 3.2 - Categorias de morfologia e grau de arredondamento do zircão

Turmalina: euedrais e subeuedrais, (T1); anedrais muito angulosas e angulosas, (T2); anedrais subangulosas, (T3); anedrais subarredondadas, (T4); anedrais arredondadas e bem arredondadas, (T5). (Figura 3.3). Para simplificação as 5 categorias de turmalina acima citadas são agrupadas em: $Ta=(T1+T2)$; $Tb=(T3)$ e $Tc=(T4+T5)$.

Figura 3.3 - Categorias de morfologia e grau de arredondamento da turmalina

Apesar da cianita ser um mineral meta-estável, a sua ocorrência como mineral principal nas unidades cenozóicas estimulou a avaliação do seu comportamento textural restritamente nos locais onde as porcentagens deste mineral eram anormalmente altas. A forma idiomórfica mais comum deste mineral é subtabular alongada em relação ao eixo c, com arestas vivas devido à sua clivagem perfeita e partição a 90° (MANGE; MAURER, 1992). As três categorias utilizadas para cianita foram: subeuedrais subangulosas, (C1=Ca); subeuedrais subarredondadas, (C2=Cb); anedrais subarredondadas e subangulosas, (C3=Cc). (Figura 3.4)

Figura 3.4 - Categorias de morfologia e grau de arredondamento de cianita

As categorias Za, Ta, e Ca englobam formas idiomórficas sugestivas de pouco transporte e, portanto, refletem suas fontes primárias ígneas ou metamórficas; enquanto Zc, Tc e Cc representam formas resultantes de reciclagem sedimentar, as quais sugerem fontes de rochas sedimentares.

3.2 Petrografia de Arenitos

Os afloramentos cenozóicos da bacia em foco apresentam alto grau de intemperismo e baixa diagênese, fato que favorece o domínio de rochas friáveis não apropriadas à confecção de lâminas petrográficas. Por isso, foram coletadas apenas 5 amostras (2 amostras da Formação Barreiras e 3 dos Depósitos Pós-Barreiras I, que apresentavam maior grau de consolidação.

As lâminas foram preparadas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) com impregnação a vácuo com resina colorida. Esta é usada para reconhecer o volume e geometria dos espaços porosos e, ao mesmo tempo, confere certa coesão e resistência à rocha. Além disso, esta resina destaca, pela cor, a porosidade natural, diferenciando-a dos poros eventualmente formados durante a laminação.

Preliminarmente no microscópio petrográfico é feito o reconhecimento dos tipos de grãos, material intersticial e texturas características, seguido da estimativa modal (100 pontos) destes componentes (arcabouço, matriz, cimento e poros). Para explicar a origem do material argiloso intersticial foi utilizada a agrupação preliminar proposta por Dickinson (1970). A seguir, é feita a análise dos componentes deposicionais (mineralogia do arcabouço e matriz, petrotrama e texturas) com contagem de 300 grãos, porque este número garante valores representativos com pequeno desvio padrão da ordem de 5%, plenamente aceitáveis estatisticamente (VAN DER PLAS;

TOBI, 1965). Neste estudo é utilizado o método Gazzi-Dickinson que considera como arcabouço a fração superior a 0,0625 mm, para eliminar os problemas derivados da variação da composição mineralógica em função do tamanho de grão (INGERSOLL *et al.*, 1984; ZUFFA, 1985).

Na análise dos componentes diagenéticos, identifica-se os tipos de porosidade e o grau de compactação mecânica e/ou compactação química. Finalmente, é calculada a maturidade mineralógica e textural (FOLK, 1974), e feitas a classificação petrográfica (DOTT, 1964; FOLK, 1974) e as interpretações de proveniência tectônica (DICKINSON, 1985).

4. RESULTADOS

Nesta sessão, serão apresentados os resultados da descrição sedimentológico - estratigráfica realizada em campo e laboratório.

4.1 Geologia Local

A integração de dados de sensoriamento remoto, análise de afloramentos e de subsuperfície referentes a poços de captação de água subterrânea e dados geocronológicos (luminescência opticamente estimulada em quartzo e análise U-Th/He em goetita) gerou o mapa geológico (Figura 4.1) realizado pela equipe do Projeto FAPESP processo # 04687-2006. A seguir, são apresentadas as unidades siliciclásticas objeto de investigação desta dissertação.

A maioria das observações são realizadas na região correspondente à parte nordeste da Bacia da Paraíba, entre João Pessoa e norte de Goiânia, na Sub-bacia Alhandra, e estendeu-se também para a Sub-bacia Miriri, em busca de afloramentos adicionais que pudessem ampliar a caracterização e correlação das unidades sedimentares que ocorrem sobrepostas ao embasamento cristalino.

Em afloramento, a unidade sedimentar siliciclástica mais antiga que aflora é a Formação Barreiras, exposta predominantemente na porção sul oriental da área de estudo, onde ocorrem suas maiores espessuras registradas em cerca de 75 metros. Para oeste, esta formação torna-se delgada, e desaparece, seja porque foi erodida, seja porque não foi depositada. Os depósitos consistem em arenitos friáveis, maciços ou estratificados, de coloração branca, rósea avermelhada e amarelada, que ocorrem intercalados a argilitos maciços ou laminados plano-parallelamente, de cores variadas (Figura 4.2). Os arenitos variam de muito finos a grossos, sendo desde bem a mal

selecionados. Além disto, estes depósitos apresentam conglomerados finos a grossos, brancos a avermelhados, constituídos de seixos de quartzo dispersos em matriz arenosa média a grossa e mal selecionada.

Figura 4.1 - Mapa geológico da parte norte da Bacia Paraíba (Sub-bacias Alhandra e Miriri (Modificado de Rossetti, em preparação)²

²ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES-FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; BRITO-NEVES, B.B. Late Quaternary sedimentation in Northeastern Brazil and the interplay of landform, sea-level and tectonics in Eastern South America passive margin

Figura 4.2 - Exemplo de perfis litoestratigráficos representativos da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II.

Estratos com geometria côncava, bem como sucessões com granodecrescência ascendente (Figura 4.3), são comuns na Formação Barreiras, sendo relacionados a canais, em geral fluviais. Estratificação cruzada composta de grande porte pode ocorrer, sendo atribuída a depósitos de barras fluviais (Figura 4.4). A presença de depósitos conglomeráticos intercalados com arenitos finos e argilitos com bioturbações abundantes (*Ophiomorpha*, *Planolites* e *Diplocraterion* Figura 4.5) sugerem que o sistema fluvial era do tipo costeiro, influenciado por processos marinhos, similarmemente ao registrado na Formação Barreiras que ocorre no norte do Brasil (ROSSETTI; TRUCKENBRODT; GÓES, 1989; ROSSETTI; GÓES; TRUCKENBRODT, 1990;

ROSSETTI, 2000). O elevado grau de intemperismo dos estratos não permite, entretanto, uma análise faciológica mais refinada desta unidade geológica.

Figura 4.3 - Arenitos e argilitos em pacotes com geometria côncava atribuídos à deposição em canais fluviais da Formação Barreiras

Figura 4.4 - Vista geral de afloramento da Formação Barreiras, onde ocorrem arenitos e conglomerados em estratos cruzados de grande porte e alto ângulo

Figura 4.5 - Formação Barreiras. A) Vista geral de afloramento contendo, na base, arenitos finos com bioturbações (Ab), intercalados com arenitos grossos a conglomeráticos (Cg). B) Detalhe do arenito bioturbado. C e D) Detalhes dos tipos de traços, ilustrando *Ophiomorpha* (C) e *Planolites* com *Diplocraterion* (D).

Merece destaque a existência de uma crosta laterítica, que corresponde a um horizonte concrecionário de paleossolo laterítico similar a muitos outros encontrados no topo da Formação Barreiras ao longo da costa brasileira (p.e., ROSSETTI, 2000; 2001;

2004). Este horizonte mostra grande continuidade lateral na área de estudo e, portanto, constitui importante registro por representar superfície estratigráfica chave para correlações locais e regionais. Pode-se afirmar que grande parte dessa crosta ferruginosa desenvolveu-se após a deposição da Formação Barreiras. Isto é demonstrado por sua ocorrência frequente, como horizonte concrecionário *in situ* sobre essa unidade (Figura 4.6). Muito raramente, observa-se crosta ferruginosa *in situ* diretamente sobre o embasamento cristalino ou, mais comumente, próximo dele, sendo separada por delgada camada de arenito ou conglomerado. Os resultados das datações de horizontes lateríticos foram fundamentais para se decidir se a área de estudo apresenta mais do que uma fase de formação de paleossolo laterítico, ou se a laterita que ocorre diretamente sobre o embasamento corresponde àquela do topo da Formação Barreiras. As datações obtidas em paleossolos lateríticos *in situ* alcançam valores entre 0.43 a 17.03 Ma, entretanto idades mais antigas foram registradas em fragmentos de concreção laterítica presente em depósitos Pós-Barreiras I (i.e., PB71-3a=25.03 Ma e PB71-3b=27.14 Ma). Dada a ausência de fósseis-guia indicativos da idade de deposição da Formação Barreiras, os dados cronológicos das lateritas sugerem que esta unidade geológica deve ser mais velha que 27 milhões de anos (ROSSETTI *et al.*, em preparação)³

³ROSSETTI, D.F.; SANTOS JÚNIOR, A.E.A.; VASCONCELOS, P.M.; MONTEIRO, H.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; BRITO NEVES, B.B. (U-Th)/He dating of Tertiary weathering goethite from coastal basins of Northern and Northeastern Brazil

Figura 4.6 - Horizonte concrecionário ferruginosos *in situ* associado com paleossolo laterítico do topo da Formação Barreiras na porção litorânea da Sub-bacia de Alhandra. Os depósitos acima da superfície de laterização correspondem a Sedimentos Pós-Barreiras I.

Sobrepostos aos arenitos Barreiras encontram-se vários depósitos siliciclasticos informalmente chamados Pós-Barreiras, cujas datações com luminescência opticamente estimulada de quartzo (LOE-SAR) permitiram separar dois conjuntos: Pós-Barreiras I com deposição entre 178.300 (± 26.800) anos e 15.100 (± 1.800) anos e o segundo Pós-Barreiras II com idades entre 11.300 (± 1.700) anos e 1800 (± 200) anos (ROSSETTI *et al.*, em preparação)⁴.

Os Depósitos Pós-Barreiras I (Pleistoceno tardio) ocorrem em grande parte da área estudada, como cobertura da Formação Barreiras ou diretamente acima do embasamento (Figura 4.2). Assim como a Formação Barreiras, suas espessuras

⁴ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES-FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; BRITO-NEVES, B.B. Late Quaternary sedimentation in Northeastern Brazil and the interplay of landform, sea-level and tectonics in Eastern South America passive margin

tornam-se mais significativas nas proximidades da costa, sendo que, em afloramento, chegam a atingir até 20 m de espessura. Geograficamente representam em área a unidade que mais se encontra exposta em superfície. Trata-se de um complexo de depósitos de areias e arenitos conglomeráticos, em geral maciços, e raramente com estratificações cruzadas incipientes, mal selecionados, de coloração que varia de avermelhada a rósea, a amarelo-clara e amarronzada. Grânulos de quartzo são frequentemente dispersos nas areias e arenitos médios a grossos. Onde a laterita do topo da Formação Barreiras está ausente, a diferenciação desses estratos daquela unidade é problemática. Entretanto, os Sedimentos Pós-Barreiras I contêm tipicamente fragmentos de laterita ferruginosa de diferentes tamanhos e em volumes variáveis, o que não é observado na Formação Barreiras (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Fragmentos de laterita ferruginosa dentro dos Depósitos Pós-Barreiras I, produto da erosão e retrabalhamento da laterita do topo da Formação Barreiras

Os depósitos Pós-Barreiras I apresentam-se, em geral, com baixo grau de consolidação, mas, cabe destacar a ocorrência de um horizonte de arenito duro, de cores amarelo-dourado, amarelo-esbranquiçada e branca. Este horizonte endurecido apresenta predominantemente estrutura maciça e com abundantes estruturas deformacionais que incluem feições de estratos convolutos, diques de injeção de areia, brechamentos, fraturas de alívio de tensão, falhas de gravidade e intraclastos de grandes dimensões (Figura 4.8). Este conjunto de estruturas geneticamente relacionadas é interpretado como deformação contemporânea ou logo após a sedimentação, durante desestabilização de massas gravitacionais de grande escala, geradas por ondas sísmicas. A origem sismogênica sinsedimentar desses depósitos deformados encontra sustentação no fato de que estes estratos podem ser correlacionados a grandes distâncias e estão localizados entre níveis não deformados (ROSSETTI *et al.*; em preparação)⁵.

Adicionalmente às areias e aos arenitos descritos anteriormente, na parte oriental da área de estudo afloraram areias amareladas friáveis com laminação ondulada marcada por filmes de lama, correspondentes a bandas de infiltração (YAALON; FRANZLE 1975, GIANNINI 1993) ou estruturas de dissipação de dunas (BIGARELLA, 1975). Apesar da similaridade faciológica com os depósitos Pós-Barreiras II, descritos a seguir, estas areias foram incluídas nos Sedimentos Pós-Barreiras I baseados no controle cronológico dos depósitos (Figura 4.9).

⁵ ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES-FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; BRITO-NEVES, B.B. Late Quaternary sedimentation in Northeastern Brazil and the interplay of landform, sea-level and tectonics in Eastern South America passive margin

Figura 4.8 - Detalhes dos estilos de estruturas deformacionais que são abundantes nos Sedimentos Pós-Barreiras I, ilustrando: A) Acamamento maciço, possivelmente devido à fluidificação, com intenso fraturamento subsequente. B a D) Estratificação convoluta E) Fissura sub-vertical que desaparece para baixo, sendo preenchida por areia oriunda da unidade sobrejacente. F) Depósito muito fraturado com percolação de águas que levam os óxidos deixando mais clara a rocha junto da fratura

Figura 4.9 - Detalhe de areia frável inserida nos Sedimentos Pós-Barreiras I ilustrando estruturas de bandas de infiltração

Os depósitos Pós-Barreiras II incluem areias holocênicas friáveis, brancas, e secundariamente cinzas, amarronzadas e amareladas, de granulometrias médias a grossas, por vezes finas, que se desenvolvem discordantemente sobre todos os demais estratos da área de estudo, e também diretamente sobre rochas do embasamento cristalino (Figura 4.2). Predominantemente afloram na área central e mais setentrional da área de estudo. Esses depósitos arenosos (Figura 4.10 A-C), bem a mal selecionados, foram verificados em cotas topográficas distintas, desde o litoral até as topografias mais elevadas da região, com espessuras sempre inferiores a 7 metros.

Em geral, as areias desta unidade são maciças, porém em várias localidades observam-se estruturas de bandas de infiltração (Figura 4.10-D). Estas estruturas associadas a um melhor selecionamento e arredondamento dos grãos são sugestivas de retrabalhamento de areias através da ação eólica.

Figura 4.10 - Afloramentos dos Depósitos Pós-Barreiras II A-B) Areias friáveis maciças C) Arenito endurecido Pós-Barreiras I em contato discordante com arenitos maciços friáveis Pós-Barreiras II D) Estrutura de bandas de infiltração nos Depósitos Pós-Barreiras I e II

Apesar da Formação Beberibe ter sido registrada em mapas geológicos publicados anteriormente (p.e., BRASIL, 1982; 2002; BRITO NEVES *et al* 2009) nas sub-bacias Alhandra e Miriri, nesta pesquisa não foram encontradas evidências de nenhuma exposição desta unidade cretácea. Para eliminar quaisquer dúvidas, foram selecionadas amostras do poço FJP (Figura 4.11), pois este apresenta uma seção completa de 152m de profundidade, representativa dos depósitos das sub-bacias Alhandra e Miriri, descrita a seguir:

Figura 4.11 - Coluna estratigráfica do poço FJP (Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa), com amostras localizadas

Do topo até 2m ocorrem areias médias, de coloração marrom clara, pobremente selecionadas, com grãos subarredondados, quartzosas, as quais correspondem aos Depósitos Pós-Barreiras II.

No intervalo de 2 a 6m ocorrem areias medias a grossas, de coloração marrom clara, pobremente selecionadas, com grãos subarredondados a subangulosos, quartzosas, as quais correspondem aos Depósitos Pós-Barreiras I.

Entre 6 e 54m, ocorrem areias finas a médias, de coloração vermelha alaranjada, pobremente selecionadas, com grãos quartzo-feldspáticas subangulosos a subarredondados, as quais correspondem à Formação Barreiras.

Dos 54 até 78m, ocorrem calciarenitos de granulação muito fina da Formação Gramame; nos primeiros 4m destaca-se uma coloração amarelada que passa para cinza clara constante até o final deste intervalo. A mudança de coloração sugere que ocorreu exposição subaérea com formação de paleossolo, evidenciando uma discordância entre esta formação e àquela sobreposta.

A partir de 78 até 102m, ainda ocorrem calciarenitos muito finos cinza claros, porém com maior contribuição da fração terrígena constituída de grãos quartzosos, pobremente selecionados e subangulosos; estas rochas mistas foram relacionadas à Formação Itamaracá.

No intervalo de 102 até 152m, ocorrem arenitos quartzosos calcíferos grossos, de coloração bege a amarelada, pobremente selecionados, com grãos angulosos a subangulosos, correspondentes à Formação Beberibe.

No poço fica bem diferenciado o pacote cenozóico do cretáceo, mas individualizações entre as formações foram feitas mediante o uso da mineralogia acessória como será constatado nos itens posteriores.

4.2 Análises Sedimentológicas

4.2.1 Análises texturais

Durante o projeto, para estudo da sedimentologia e análises texturais, foram selecionadas amostras provenientes da Formação Barreiras (41), dos Sedimentos Pós-Barreiras I (66) e de Sedimentos Pós-Barreiras II (7). No furo FPJ da Universidade Federal da Paraíba foram selecionadas amostras das litologias mais siliciclásticas assim: Sedimentos Pós-Barreiras II (1), Sedimentos Pós-Barreiras I (2), Formação Barreiras (7), Formação Itamaracá (2) e Formação Beberibe (8).

As amostras dos depósitos Barreiras e Pós-Barreiras I correspondem ao intervalo granulométrico de areias muito finas (0,063-0,090 mm) e os Depósitos Pós-Barreiras II pertencem a classe textural areia média. Em subsuperfície, os depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II são de areias médias, a Formação Barreiras em média são areias finas e os calciaarenitos e arenitos calcíferos mesozóicos (Formações Itamaracá e Beberibe) são areias muito finas e grossas, respectivamente. Todos os depósitos mencionados apresentam-se pobremente selecionados, tanto em superfície como em subsuperfície. As médias dos parâmetros granulométricos e texturais são apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2, os Anexos A e B contem os dados completos

Tabela 4.1 – Médias dos parâmetros granulométricos dos arenitos dos depósitos Barreiras, Pós-Barreiras I e II na área estudada

	DIÂMETRO MÉDIO	DIÂMETRO MÉDIO	CLASSE TEXTURAL	DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
	Φ	mm			
MÉDIA BARREIRAS	3,60	0,08	areia muito fina	2,95	pobremente selecionado
MÉDIA PÓS- BARREIRAS I	3,62	0,08	areia muito fina	2,72	pobremente selecionado
MÉDIA PÓS- BARREIRAS II	1,90	0,27	areia média	1,99	pobremente selecionado

Tabela 4.2 - Médias dos parâmetros granulométricos dos arenitos Beberibe, Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I e II no furo FPJ da Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa)

	DIÂMETRO MÉDIO Φ	DIÂMETRO MÉDIO mm	CLASSE TEXTURAL	DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
PÓS-BARREIRAS II	2,23	0,21	areia média	2,41	pobremente selecionado
MÉDIA PÓS- BARREIRAS I	1,42	0,37	areia média	2,85	pobremente selecionado
MÉDIA BARREIRAS I	2,31	0,20	areia fina	3,14	pobremente selecionado
MÉDIA ITAMARACÁ	4,90	0,03	areia muito fina	2,97	pobremente selecionado
MÉDIA BEBERIBE	1,09	0,47	areia grossa	1,76	pobremente selecionado

4.2.2 Minerais pesados

4.2.2.1 Estatística descritiva

Os minerais pesados em rochas sedimentares comumente apresentam baixos valores em massa em relação à mineralogia total. Não foi diferente do encontrado nesta pesquisa, onde as proporções em massa entre minerais pesados e o total dos minerais presentes não superaram 0,5% (Tabela 4.3 e Anexo C) em todas amostras coletadas em superfície. Os valores encontrados nas amostras de subsuperfície (Tabela 4.4 e Anexo D) não alcançam 0,1%, exceto na Formação Itamaracá onde o valor médio foi de 0,3%. A coleta seletiva de amostras em superfície no intervalo granulométrico areia fina a muito fina (Tabelas 4.1) propiciou valores ligeiramente superiores do que os encontrados nas amostras de subsuperfície onde o diâmetro médio foi de areia média nos depósitos Pós-Barreiras I e II, areia fina na Formação Barreiras, areia muito fina na Formação Itamaracá e areia grossa na Formação Beberibe. Este fato demonstra que a seleção hidráulica comanda a acumulação de minerais pesados em depósitos

siliciclásticos, onde estes minerais concentram-se nas frações mais finas (RUBEY, 1933; RITTENHOUSE, 1943). Coaduna-se com esta idéia, o valor mais alto de concentrados de minerais pesados na Formação Itamaracá, além disso, tem na maior parte da fração pesada fragmentos de cimento dolomítico que em função da sua densidade ($2,86 \text{ g/cm}^3$) decantaram no bromofórmio.

Tabela 4.3 - Proporções em massa da mineralogia acessória da Formação Barreiras, e os depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em amostras de superfície

Proporção em massa de MP no total (%)	
PÓS-BARREIRAS II	0,2
PÓS-BARREIRAS I	0,2
BARREIRAS	0,4

Tabela 4.4 - Proporções em massa da mineralogia acessória dos arenitos Beberibe, Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I e II no poço FJP

Unidade	Proporção em massa de MP no total (%)
PÓS-BARREIRAS II	0,07
PÓS-BARREIRAS I	0,03
BARREIRAS	0,04
ITAMARACÁ	0,31
BEBERIBE	0,02

A assembléia de minerais pesados em superfície apresentou um domínio absoluto de minerais opacos em detrimento aos transparentes, com valor médio de 64%, dos quais a magnetita e a ilmenita são provavelmente os principais minerais.

Em relação aos minerais transparentes não micáceos, para as 41 amostras da Formação Barreiras em superfície (Anexo E, Tabela 4.5 e Figura 4.12), os principais minerais encontrados com 100% de ocorrência são:

Zircão (média 54%) apresenta valores mínimos e máximos entre 16% e 83%; onde 50% das amostras têm entre 44% e 68%. Turmalina (média 23%) apresenta valores mínimos e máximos entre 4% e 56%; onde 50% das amostras têm entre 11% e 30%. Cianita (média de 10%) apresenta valores mínimos e máximos entre 1% e 35%; onde 50% das amostras têm entre 4% e 14%. Rutilo com média de 4% com valores mínimos e máximos entre 1% (traços) e 13%; onde 50% das amostras têm entre 2% e 5%.

Tabela 4.5 - Médias dos minerais pesados transparentes não micáceos da Formação Barreiras em superfície

Barreiras	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr
Média	10	3	3	1	1	1	0	23	54	4	81	11	35

Cia: cianita; **Est:** estauroлита; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo; **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos

Figura 4.12 – Histogramas de frequências dos minerais principais da Formação Barreiras em superfície

Como minerais subordinados, ocorrem: estaurolita 3%, (frequência de ocorrência 93%), andaluzita 3% (frequência de ocorrência 76%), topázio 1% (frequência de ocorrência 63%) e anfibólios cálcicos 1% (frequência de ocorrência 34%). Em 10% das amostras a estaurolita alcançou valores superiores a 9%; em 12% das amostras de andaluzita atingiu de até 13%, enquanto o topázio não supera 7% em 10% das amostras estudadas. A hornblenda atinge 17 % em apenas uma única amostra.

Minerais traços encontrados são monazita, epídoto, granada, dumortierita e sillimanita. Este último com frequência de ocorrência de 27% localmente pode alcançar até 21% na amostra PB 141-1.

O índice de maturidade ZTR mostra uma assembléia matura com valor médio 81%, podendo chegar a valores superiores a 90% em 34% das amostras e em apenas duas amostras atinge menos de 56% (PB 98-2 e PB 140-1).

O valor médio do índice de proveniência RZi é 11 com variações acima de 20 em 12% das amostras e abaixo de 7 em 34 % das amostras estudadas. Comparativamente as 7 amostras de subsuperfície da Formação Barreiras (Tabela 4.6 e Figura 4.13), mesmo sendo estatisticamente inferiores, apontam valores médios similares, tanto na mineralogia quanto nos índices ZTR e RZi. Tanto os minerais principais como os subordinados, com exceção da estaurolita, apresentam uma distribuição homogênea a longo do perfil do poço, o que valida todos os dados de superfície. No caso da estaurolita, observou-se que no topo desta unidade a frequência variou de 1 a 2%, enquanto na base do poço oscilou de 8 a 9 %.

De modo geral, o índice hidráulico TZi nos depósitos cenozóicos mostra uma diminuição gradual na direção das unidades mais jovens, com valores de 37 na

Formação Barreiras, 33 nos Depósitos Pós-Barreiras I e 24 nos Depósitos Pós-Barreiras II.

Esta tendência decrescente ocorre também quando se calcula o índice de intemperismo ETi, com valores de 13 na Formação Barreiras, 4 nos Depósitos Pós-Barreiras I e 3 nos Depósitos Pós-Barreiras II.

Tabela 4.6 - Médias dos minerais pesados transparentes não micáceos da Formação Barreiras e depósitos Pós-Barreiras I e II em subsuperfície

Amostra	Unidade	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr	TZi	ETi
FJP 01	Pós-Barreiras II	7	1	0	0	0	0	tra	19	69	6	93	7	33	24	3
FJP 02	Pós-Barreiras I	14	2	4	0	0	0	tra	26	51	4	81	7	36	33	7
FJP 03	Pós-Barreiras I	6	tra	2	2	1	0	1	25	58	8	90	10	35	33	0
	Média	10	1	3	1	0	0	1	25	54	6	85	9	36	33	4
FJP 04	Barreiras	10	1	2	3	1	0	0	31	48	6	84	12	31	32	3
FJP 06	Barreiras	5	2	2	4	0	0	0	21	63	5	88	7	23	31	9
FJP 14	Barreiras	25	1	1	1	1	0	2	19	47	3	69	8	25	28	7
FJP 16	Barreiras	12	2	4	1	2	0	1	24	52	4	80	7	26	35	6
FJP 18	Barreiras	13	8	4	3	1	0	1	25	42	5	71	8	19	36	23
FJP 24	Barreiras	5	8	3	5	0	0	0	32	41	8	81	14	43	48	20
FJP 27	Barreiras	10	9	2	4	1	0	0	36	34	4	74	11	33	48	21
	Média	11	4	3	3	1	0	0	27	47	5	78	10	29	37	13

Cia: cianita; **Est:** estauroлита; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo; **ZTR:** $\sum$ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos; **TZi:** índice turmalina- zircão; **ETi:** índice estauroлита-turmalina

Figura 4.13 – Distribuição dos minerais pesados em subsuperfície da Formação Barreiras, depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II

As 66 amostras dos depósitos Pós-Barreiras I em superfície (Anexo E, Tabela 4.7 e Figura 4.14) apresentam como minerais principais com 100% de ocorrência: zircão, média 55%, com valores mínimos e máximos entre 20% e 84%; onde 50% das amostras têm entre 43% e 70%; turmalina, média 25%, com valores mínimos e máximos entre 2% e 63%; onde 50% das amostras têm entre 12% e 35%; cianita, média 7%, com valores mínimos e máximos entre 0% (traços) e 27%; onde 50% das amostras têm entre 3% e 11%, onde apenas 6% das amostras apresentam valores extremos superiores a 22; rutilo, média 5%, com valores mínimos e máximos entre 0% (traços) e 13%; onde 50% das amostras têm entre 3% e 6%, onde apenas uma amostra (PB 119-6) com 13% é o valor extremo da distribuição.

Merece destaque na avaliação da mineralogia principal 4 amostras da Formação Barreiras e 8 amostras dos Depósitos Pós-Barreiras I, nas quais o mineral dominante

não é o zircão e sim a turmalina com valores entre 39 e 63%, enquanto o zircão varia de 16 a 31%.

Tabela 4.7 - Médias dos minerais pesados transparentes não micáceos dos depósitos Pós-Barreiras I em superfície

Pós-Barreiras I	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr
Media	7	4	2	1	0	1	0	25	55	5	85	9	37

Cia: cianita; **Est:** estaurólita; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo, **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos

Figura 4.14 – Histogramas de frequências dos minerais principais dos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície

Como minerais subordinados, ocorrem: estaurólita 4%, (frequência de ocorrência 97%), andaluzita 2% (frequência de ocorrência 80%) e topázio 1% (frequência de ocorrência 74%); os valores extremos destes minerais não superam 17% do total das amostras com valores de 17% para estaurólita e 9% para andaluzita e topázio. Minerais traços são representados por sillimanita (frequência de ocorrência 29%), granada, epídoto, espinélio e monazita com frequências de ocorrência entre 3% e 20%.

O índice ZTR mostra uma assembléia matura com valor médio 85%, onde 75% das amostras têm valores superiores a 80% podendo alcançar valores próximos a 90% em 35% delas e só em duas amostras atinge valores extremos inferiores a 68%.

O valor médio do índice Rutilo/Zircão é 9 com variações acima de 18 em 6% das amostras e abaixo de 5 em 24 % das amostras estudadas.

Ao comparar as 2 amostras dos Depósitos Pós-Barreiras I de subsuperfície com aquelas coletadas em superfície, obtiveram-se valores médios similares em toda a mineralogia e nos índices (Tabela 4.6 e Figura 4.13). A exceção é o valor máximo de cianita de 14% que foi inferior ao encontrado em superfície (27%).

Os depósitos Pós-Barreiras II nesta pesquisa foram representados por poucas amostras, tanto em superfície (7) como em subsuperfície (1) em função da pequena espessura destes depósitos na área da Sub-bacia Alhandra. Apesar da pouca representatividade estatística desses dados, qualitativamente os resultados obtidos têm valor intrínseco na comparação dos diversos depósitos cenozóicos. Porém, a sua caracterização precisa ser mais bem investigada, e os dados aqui apresentados devem ser entendidos como preliminares.

A análise de minerais pesados dos Depósitos Pós-Barreiras II (Anexo E, Tabela 4.8 e Figura 4.15) mostra que neles ocorrem como minerais principais (100% de ocorrência):

Zircão (média 62%) com valores mínimos e máximos entre 42% e 78%. Turmalina (média 18%) com valores mínimos e máximos entre 3% e 29%. Cianita (média 9%) com valores mínimos e máximos entre 2% e 21%. Rutilo (média 6%) com valores mínimos e máximos entre 4% e 9%.

Tabela 4.8 - Minerais pesados transparentes não micáceos dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície

Pós-Barreiras II	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr
Media	9	3	1	1	1	0	0	18	62	6	85	13	35

Cia: cianita; **Est:** estaurolita; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo; **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos

Figura 4.15 – Histogramas de frequências dos minerais principais dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície

Como minerais subordinados, ocorrem: estaurolita 3%, (frequência de ocorrência 100%), andaluzita 1% (frequência de ocorrência 86%), topázio 1% (frequência de ocorrência 71%) e anfibólios 1% (frequência de ocorrência 29%); estaurolita apresenta um valor extremo de 10% em uma amostra. Minerais traços são representados por espinélio, granada e sillimanita com frequências de ocorrências 14%, 28% e 57% respectivamente.

O índice de maturidade ZTR destaca uma assembléia supermatura com valor médio 87%, 25% das amostras têm valores superiores a 90%, dado que confirma uma maior maturidade mineralógica para o topo da sucessão sedimentar cenozóica.

O valor médio do índice de proveniência RZi é 13 com valores entre 9% e 23%, com 75% das amostras acima de 10.

A mineralogia dos Depósitos Pós-Barreiras II de superfície e subsuperfície é bastante similar, apenas uma sutil diferença foi encontrada com um aumento de zircão (69%) e conseqüentemente, aumento do índice ZTR (93%) e uma diminuição do índice RZi (7%).

A primeira sequência siliciclástica mesozóica representativa da Sub-bacia Alhandra atravessada pelo Poço FJP é a Formação Itamaracá, encontrada na profundidade de 78 m (Tabela 4.9 e Figura 4.16). Esta apresenta, na contagem de transparentes e opacos, uma assembléia dominada por minerais opacos com valor médio de 80%. Os 20% de minerais pesados transparentes principais com 100% de ocorrência são: zircão (média 49%) com valores mínimos e máximos entre 41% e 50%; turmalina (média 26%) com valores entre 18% e 34%; cianita (média 17%) com valores mínimos e máximos entre 19% e 15%; a estaurolita (média 5%) com valores mínimos e máximos entre 6% e 3% e rutilo (média 4%) com valores mínimos e máximos entre 4% e 5%. Como minerais subordinados, também com frequência de ocorrência 100%, ocorrem: andaluzita 1%, topázio 1% e sillimanita 3%.

Tabela 4.9 - Minerais pesados transparentes não micáceos das formações Itamaracá e Beberibe em subsuperfície

Amostra	Unidade	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr	TZi	ETi
FJP 31	Itamaracá	19	6	1	1	0	0	3	18	50	4	72	2	20	26	25
FJP 33	Itamaracá	15	3	1	Tra	0	0	3	34	41	5	79	11	20	54	8

	Média	17	5	1	1	0	0	3	26	45	4	75	7	20	40	17
FJP 34	Beberibe	8	0	1	1	0	13	1	8	65	6	79	8	17	7	0
FJP 35	Beberibe	11	1	0	1	0	15	1	11	56	4	71	5	26	16	8
FJP 36	Beberibe	16	3	1	1	0	19	1	9	46	6	60	10	18	15	22
FJP 38	Beberibe	10	tra	2	1	1	14	2	11	55	7	73	5	31	20	0
FJP 39	Beberibe	12	1	3	0	0	24	2	19	39	3	60	6	30	31	3
FJP 41	Beberibe	10	1	2	0	0	27	2	14	44	2	60	7	33	26	7
FJP 44	Beberibe	5	3	1	0	1	39	0	6	43	4	52	6	35	15	31
FJP 46	Beberibe	5	2	1	Tra	0	43	tra	6	42	1	49	3	39	13	29
	Média	9	1	1	0	0	24	1	10	49	4	63	6	29	18	12

Cia: cianita; **Est:** estaurolita; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo; **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos; **TZi:** índice turmalina- zircão; **ETi:** índice estaurolita-turmalina

Figura 4.16 – Distribuição dos minerais pesados em subsuperfície da Formação Beberibe e Itamaracá

O índice ZTR apresenta valor médio de 75% com uma variação entre 72% e 79%, o que classifica a Formação Itamaracá como maduro mineralogicamente. O índice de proveniência RZi em média é 7 com uma ampla variação entre 2 e 11. O índice TZi em média 40 com ampla variação entre 26 e 54 e finalmente o índice ETi em média 17 com variação entre 8 e 25

A passagem da Formação Itamaracá para a Formação Beberibe foi determinada por um aumento das granulometrias mais grossas e da frequência percentual de granada. Este mineral, que antes comporta-se como traço, passa a ser um componente mineralógico principal.

Na contagem de transparentes e opacos, constata-se uma assembléia dominada por minerais opacos com apenas 29% de transparentes. Os minerais principais transparentes da Formação Beberibe (Tabela 4.9, Figura 4.16 e Figura 4.17) são: zircão (média 49%) com valores mínimos e máximos entre 39% e 65%; onde 50% das amostras têm entre 42% e 56%; granada apresenta média de 24%, com valores mínimos e máximos entre 13% e 43%; onde 50% das amostras apresentam entre 14 e 36%; turmalina (média 10%) apresenta valores mínimos e máximos entre 6% e 19%; onde 75% das amostras têm entre 6% e 13%; cianita (média 9%) com valores mínimos e máximos entre 5% e 16%; onde 50% das amostras têm entre 6% e 12%; rutilo (média 4%) apresenta valores mínimos e máximos entre 1% e 7%; onde 50% das amostras têm entre 2% e 6%.

Como minerais subordinados (Tabela 4.9) ocorrem: estaurolita 1%, (frequência de ocorrência 100%) e andaluzita 1% (frequência de ocorrência 88%). Minerais traços são representados por sillimanita com frequência de ocorrência 63%, topázio com

frequência de ocorrência 50%, anfíbios, epídoto e apatita com frequência de ocorrência inferior a 25%.

O índice ZTR mostra valor médio de 63%, com valores mínimos e máximos entre 49% e 78%; onde 63 % das amostras têm valores inferiores a 70%. Este índice mostra que a Formação Beberibe apresenta uma assembléia mineralogicamente submatura. O índice de proveniência RZi tem valor médio de 6 com uma variação entre 3 e 10. O índice TZi apresenta valor médio de 18 com variação entre 7 e 31. Por último, o índice ETi mostra valor médio de 12 com variação entre 0 e 31.

Figura 4.17 – Histogramas de frequências dos minerais principais da Formação Beberibe em subsuperfície

4.2.2.2 Texturas de zircão, turmalina e cianita

Na Formação Barreiras, em superfície, foram realizadas contagens morfológicas de 35 amostras para zircão e 41 amostras para turmalina, as tabelas completas podem ser consultadas no Anexo F.

O comportamento do zircão (Figuras 4.18 e 4.19) foi o seguinte: Za (média 9%) com valores mínimos e máximos entre 3% e 18%; onde 50% das amostras têm entre 5% e 12%. Zb (média 39%) com valores mínimos e máximos entre 31% e 50%; onde 50% das amostras têm entre 34% e 43%. Zc (média 53%) com valores mínimos e máximos entre 38% e 65%; onde 50% das amostras têm entre 49% e 56%.

Figura 4.18 - Diagrama de pizza de formas de zircão da Formação Barreiras e superfície

Figura 4.19 – Histogramas de frequências das texturas do zircão na Formação Barreiras em superfície

O comportamento da turmalina (Figuras 4.20 e 4.21) foi o seguinte: Ta (média 36%) com valores mínimos e máximos entre 6 e 69%; onde 50% das amostras têm entre 27% e 47%. Tb (média 40%) com valores mínimos e máximos entre 19% e 74%; onde 50% das amostras têm entre 32% e 47%. Tc (média 24%) com valores mínimos e máximos entre 2% e 70%; onde 50% das amostras têm entre 13% e 32%.

Figura 4.20 - Diagrama de pizza de formas da turmalina da Formação Barreiras em superfície

Figura 4.21 – Histogramas de frequências das texturas da turmalina na Formação Barreiras em superfície

Nos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície foram realizadas contagens texturais de 35 amostras para zircão e 66 amostras para turmalina, as tabelas completas podem ser consultadas no Anexo F.

O comportamento do zircão (Figuras 4.22 e 4.23) foi o seguinte: Za (média 8%) com valores mínimos e máximos entre 1% e 22%; onde 50% das amostras têm entre 4% e 13. Zb (média 42%) com valores mínimos e máximos entre 28% e 73%; onde 50% das amostras têm entre 35% e 48%. Zc (média 50%) com valores mínimos e máximos entre 14% e 71%; onde 50% das amostras têm entre 39% e 58%.

Figura 4.22 - Diagrama de pizza de formas de zircão dos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície

Figura 4.23 – Histogramas de frequências das texturas do zircão nos depósitos Pós-Barreiras I em superfície

O comportamento da turmalina (Figuras 4.24 e 4.25) foi o seguinte: Ta (média 27%) com valores mínimos e máximos entre 8% e 56%; onde 50% das amostras têm entre 19% e 33%. Tb (média 39%) com valores mínimos e máximos entre 16% e 55%; onde 50% das amostras têm entre 25% e 41%. Tc (média 39%) com valores mínimos e máximos entre 4% e 72%; onde 50% das amostras têm entre 29% e 49%.

Figura 4.24 - Diagrama de pizza de formas de turmalina dos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície

Figura 4.25 – Histogramas de frequências das texturas da turmalina nos Depósitos Pós-Barreiras I em superfície

Nos Depósitos Pós-Barreiras II, em superfície, foram realizadas contagens morfológicas de 6 amostras para zircão e 7 amostras para turmalina, as tabelas completas podem ser consultadas no Anexo F.

O comportamento do zircão (Figuras 4.26 e 4.27) foi o seguinte: Za (média 5%) com valores mínimos e máximos entre 3% e 12%. Zb (média 32%) com valores mínimos e máximos entre 27% e 38%. Zc (média 63%) com valores mínimos e máximos entre 50% e 70%.

Figura 4.26 - Diagrama de pizza de formas de zircão dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície

Figura 4.27 – Histogramas de frequências das texturas do zircão nos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície

O comportamento da turmalina (Figuras 4.28 e 4.29) foi o seguinte: Ta (média 18%) com valores mínimos e máximos entre 11% e 25%. Tb (média 30%) com valores mínimos e máximos entre 11% e 46%. Tc (média 52%) com valores mínimos e máximos entre 33% e 73%.

Figura 4.28 - Diagrama de pizza de formas de turmalina dos Depósitos Pós-Barreiras II em superfície

Figura 4.29 – Histogramas de frequências das formas de turmalina nos depósitos Pós-Barreiras II em superfície

Foram analisadas texturalmente, em subsuperfície, 20 amostras distribuídas assim: Depósitos Pós-Barreiras II (1), Pós-Barreiras I (2), Formação Barreiras (7), Formação Itamaracá (2) e Formação Beberibe (8), os resultados detalhados encontram-se no Anexo F.

O comportamento do zircão em subsuperfície desde a Formação Beberibe até os depósitos Pós-Barreiras II (Tabela 4.10 e Figura 4.30) foi o seguinte: nas formações Beberibe e Itamaracá, as formas de zircão dominantes são as subeudrais arredondadas e as anedrais subangulosas, com pequeno decréscimo no sentido da Itamaracá; na Formação Barreiras mesmo que o domínio seja ainda das categorias Zb, acontece um aumento significativo das categorias anedricas subarredondadas a arredondadas (Zc); nos Depósitos Pós-Barreiras I, esta tendência continua até os Depósitos Pós-Barreiras II, onde as formas arredondadas alcançam 45%.

Tabela 4.10 - Média dos contagens texturais de zircão em subsuperfície desde a Formação Beberibe até os Depósitos Pós-Barreiras II

Unidade	Za	Zb	Zc
Pós-Barreiras II	12	43	45
Pós-Barreiras I	11	44	46
Barreiras	11	51	39
Itamaracá	21	49	31
Beberibe	17	55	28

Za: euédrico + subeuédrico anguloso + anédrico anguloso; **Zb:** subeuédrico arredondado + anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado

Figura 4.30 - Diagramas de pizzas (médias) de formas de zircão dos Depósitos Pós-Barreiras II até a Formação Beberibe em subsuperfície, com distribuição no furo por amostras

O comportamento da turmalina, em subsuperfície, desde os Depósitos Pós-Barreiras II até a Formação Beberibe (Tabela 4.11 e Figura 4.31) foi o seguinte: nas formações Beberibe e Itamaracá, as categorias euédricas e subédricas (Ta) e anédricas subangulosas (Tb) alcançam 79%; na Formação Barreiras e nos Depósitos Pós-Barreiras I, estas duas categorias caem para 62%-57% à custa de um acréscimo das formas mais arredondadas (39%-43%); e nos Depósitos Pós-Barreiras II as formas (Tc) alcançam 68%.

Tabela 4.11 - Média das contagens texturais de zircão em subsuperfície desde a Formação Beberibe até os Depósitos Pós-Barreiras II

Unidade	Ta	Tb	Tc
Pós-Barreiras II	18	14	68
Pós-Barreiras I	24	33	43
Barreiras	20	42	39
Itamaracá	37	41	22
Beberibe	42	37	21

Ta: euédrico e subeuédrico + anédrico anguloso e muito anguloso + anédrico anguloso; Tb: anédrico subanguloso; Tc: anédrico subarredondado + anédrico arredondado e muito arredondado

Figura 4.31 - Diagramas de pizzas (médias) de formas de turmalina nos depósitos mesozóicos e cenozóicos em subsuperfície, com distribuição no furo por amostras

Para as contagens de cianita foram escolhidas apenas algumas amostras que apresentam maiores porcentagens assim: 4 amostras da Formação Barreiras com valores entre 35% e 26%; 5 amostras dos Depósitos Pós-Barreiras I com valores 27% e 14%, e por último 1 amostra dos Depósitos Pós-Barreiras II com o maior porcentagem de 21%, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.12 e no Anexo F.

Tabela 4.12 - Contagens texturais de cianita em superfície da Formação Barreiras, Depósitos Pós-Barreiras I e Depósitos Barreiras II

Barreiras	Ca	Cb	Cc	N
PB 062-1	45	20	35	100
PB 098-2	21	16	63	100
PB 114-1	22	27	51	100
PB 140-1	14	22	64	100
Pós-Barreiras I	Ca	Cb	Cc	N
PB 003-2	58	17	25	100
PB 059-3	16	37	47	100
PB 094-1	42	10	48	100
PB 119-3	23	33	44	100
PB 139-1	17	35	48	83
Pós-Barreiras II	Ca	Cb	Cc	N
PB 003-3	19	47	34	100

Ca: subeuédrico anguloso; Cb: subédrico arredondado; Cc: anédrico arredondado + anédrico anguloso; N: número de grãos contados

4.2.2.3 Estatística multivariada

Os resultados granulométricos, mineralógicos e texturais de turmalina de 110 amostras de superfície e 19 amostras de subsuperfície foram utilizados para processar com estatística multivariada envolvendo gráficos de dispersão e análises de componentes principais e de agrupamento. Em função do número pequeno de amostras de subsuperfície, foram aplicados apenas os gráficos de dispersão e a análise de componentes principais mineralógicos.

Superfície

O gráfico de dispersão da granulometria (diâmetro médio versus desvio padrão) mostra dois grupos diferenciados, um grupo menor arenoso com moderada seleção granulométrica (GR2 Figura 4.32) e outro maior com mais influência das frações pelíticas com muito pobre seleção granulométrica (GR1 Figura 4.32). Este gráfico mostra que o agrupamento GR1 é muito heterogêneo e mistura amostras de todas as unidades estratigráficas. Por outro lado, o grupo GR2 é bem mais homogêneo e inclui principalmente as amostras dos Depósitos Barreiras I.

Figura 4.32 - Gráfico de dispersão de diâmetro médio (Φ) versus desvio padrão dos depósitos de superfície

A análise de componentes principais da mineralogia revela também um comportamento fortemente disperso dos dados com uma fraca tendência de agrupar um maior número de amostras na porção positiva do segundo componente (Figura

4.33). Este gráfico mostra a impossibilidade de através da mineralogia separar os depósitos cenozoicos em superfície.

Figura 4.33 - Gráfico de dispersão de componentes principais (dados mineralógicos de superfície)

A análise de agrupamento foi condicionada para reunir os dados em dois grandes conjuntos (2 *clusters*), com as variáveis estandardizadas. Os dendrogramas de mineralogia (Figura 4.34), granulometria (Figura 4.35) e formas de turmalina (Figura 4.36) mostram sempre dois agrupamentos, apesar de terem estruturas diferentes.

Figura 4.34 - Dendrograma de mineralogia dos depósitos de superfície estudados

Figura 4.35 - Dendrograma de granulometria dos depósitos de superfície estudados

Figura 4.36 - Dendrograma de morfologia e arredondamento de turmalinas dos depósitos de superfície estudados

No intuito de ver a relação entre os grupos de mineralogia, granulometria e texturas de turmalina são realizados testes de aderência pelo modelo qui-quadrado. Os resultados obtidos (Tabela 4.13) dos valores p indicam que só tem relação os grupos de granulometria com morfologia e arredondamento de turmalina, onde os grupos correlacionados são GR1 com MA1 e GR2 com MA2.

Tabela 4.13 - Tabela de correspondência e teste qui-quadrado para avaliar a dependência entre os grupos encontrados para mineralogia, granulometria e texturas de turmalina

			Mineralogia	
			Grupo MIN1	Grupo MIN2
Granulometria	Grupo GR1	Freq. Observada	67	19
		Freq. Esperada	68,8	17,2
	Grupo GR2	Freq. Observada	21	3
		Freq. Esperada	19,2	4,8

Teste qui-quadrado

Qui-quadrado=1,079		Graus de liberdade= 1		p= 0,299	
			Morfologia e arredondamento		
			Grupo MA1	Grupo MA2	
Granulometria	GRUPO GR1	Freq. Observada	39	47	
		Freq. Esperada	34,4	51,6	
	2 GRUPO	Freq. Observada	5	19	
		Freq. Esperada	9,6	14,4	
Teste qui-quadrado					
Qui-quadrado=4,699		Graus de liberdade= 1		p= 0,030	
			Morfologia e arredondamento		
			Grupo MA1	Grupo MA2	
Mineralogia	GRUPO MIN1	Freq. Observada	35	53	
		Freq. Esperada	35,2	52,8	
	GRUPO MIN2	Freq. Observada	9	13	
		Freq. Esperada	8,8	13,2	
Teste qui-quadrado					
Qui-quadrado=0,009		Graus de liberdade= 1		p= 0,922	

As amostras do Grupo GR2 são aquelas mais arenosas com moderada seleção e estão associadas com o Grupo MA2 que corresponde as categorias anédricas arredondadas dos grãos de turmalina (Tc). A Tabela 4.14 resume os parâmetros estatísticos de cada um desses grupos associados.

Tabela 4.14 - Estatísticas descritivas das variáveis associadas dos grupos de granulometria e formas de turmalina, os números grifados representam os valores que se encontram associados (vide Tabela 4.13)

Variável	grupos	n° de amostras	média	desvio padrão
Ta	MA1	44	38,07	11,17
	MA2	66	24,12	10,41
Tb	MA1	44	44,36	9,05
	MA2	66	30,101	8,111
Tc	MA1	44	17,57	8,74
	MA2	66	45,78	10,82
Diâmetro médio	GR1	86	3,785	1,166
	GR2	24	2,325	1,087
Desvio padrão (grau de seleção)	GR1	86	3,1769	0,4249
	GR2	24	1,1582	0,1478

Foram realizados testes de aderência também entre granulometria, mineralogia e texturas de turmalina com dois grupos estratigráficos (Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras sem distinção). A Tabela 4.15 apresenta estes resultados. Foi encontrada relação entre a granulometria e estratigrafia do GR1 com a Formação Barreiras e do GR2 com os Depósitos Pós-Barreiras indiferenciados. Isto indica que as amostras arenosas moderadamente selecionadas associam-se com os Depósitos Pós-Barreiras indiferenciados. O teste de aderência para morfologia e arredondamento de turmalina com estratigrafia também mostra associação entre MA1 e a Formação Barreiras e MA2 com os depósitos Pós-Barreiras indiferenciados, o que indica uma forte relação entre as categorias anédricas arredondadas (Tc) com os Depósitos Pós-Barreiras em geral.

Tabela 4.15 - Tabela de correspondência e teste qui-quadrado para avaliar a dependência entre os grupos encontrados para mineralogia, granulometria e formas de turmalina com grupos estratigráficos

			Estratigrafia	
			Barreiras	Pós-Barreiras
Mineralogia	Grupo MIN1	Freq. Observada	34	54
		Freq. Esperada	32	56
	Grupo MIN2	Freq. Observada	6	16
		Freq. Esperada	8	14
Teste qui-quadrado				
Qui-quadrado=0,982		Graus de liberdade= 1		p= 0,322
			Estratigrafia	
			Barreiras	Pós-Barreiras
Granulometria	Grupo GR1	Freq. Observada	36	50
		Freq. Esperada	31,27	54,73
	Grupo GR2	Freq. Observada	4	20
		Freq. Esperada	8,73	15,27
Teste qui-quadrado				
Qui-quadrado=5,147		Graus de liberdade= 1		p= 0,023
			Estratigrafia	
			Barreiras	Pós-Barreiras

Morfologia e arredondamento	Grupo MA1	Freq. Observada	29	15
		Freq. Esperada	16	28
	Grupo MA2	Freq. Observada	11	55
		Freq. Esperada	24	42
Teste qui-quadrado				
Qui-quadrado=27,664		Graus de liberdade= 1		p= 0,000

Subsuperfície

O gráfico de dispersão do diâmetro médio *versus* desvio-padrão (Figura 4.37) mostra que a Formação Beberibe é bem homogênea em relação ao diâmetro médio granulometria com dominância no intervalo das areias grossas, porém o grau de seleção varia desde bem selecionadas até pobremente selecionadas. As demais unidades estratigráficas possuem poucas amostras e os seus resultados mostram um grau de seleção muito pobre com dispersão no diâmetro médio. A maior variação foi encontrada nas amostras Barreiras desde o intervalo areia grossa até areia muito fina.

Figura 4.37 - Gráfico de dispersão de diâmetro médio (Φ) versus desvio padrão dos depósitos de subsuperfície

As análises de componentes principais da mineralogia mostram uma clara separação entre as amostras das formações Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I com as amostras da Formação Beberibe (Figura 4.38A), estas últimas apresentam forte influência do componente de granada (Figura 4.38B). A amostra do Pós-Barreiras II ficou isolada influenciada pela componente de zircão (Figura 4.38B).

Figura 4.38 - Gráfico de dispersão de componentes principais (A) e gráfico de peso das variáveis de medida (B; mineralogia) para as amostras de subsuperfície

4.2.2.4 Descrição microscópica dos minerais pesados

O zircão é o mineral mais abundante em todas as unidades siliciclásticas da Bacia Paraíba. Este mineral ocorre predominantemente incolor e mais raramente amarelo pálido ou com películas de óxidos. As formas arredondadas anédricas e subédricas dominam no topo da sucessão. Formas euédricas com prismas longos ocorrem subordinadamente e em proporções baixas. Podem-se observar linhas de crescimento, fraturamentos internos, e inclusões, não é raro encontrar cristais com metamictização moderada a forte (Figura 4.39)

Figura 4.39 - Grãos de zircão presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Turmalina apresenta-se geralmente em cores marrom a esverdeado e, subordinadamente azul, mais raramente ocorrem grãos bicolores. As formas anédricas subangulosas com tendência alongada predominam nos depósitos mesozóicos, enquanto as formas anédricas subarredondadas e arredondadas aumentam progressivamente nos depósitos cenozóicos. Podem-se observar a presença de inclusões minerais e estrias de crescimento (Figura 4.40)

Figura 4.40 - Grãos de turmalina presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de cianita geralmente são incolores, e quando mais espessos pode-se observar a coloração azulada levemente pleocróica. Chama a atenção as formas prismáticas com clivagem e partição proeminentes, o que torna sua identificação fácil, mas também ocorrem grãos arredondados. Merece destaque a presença, em todas as unidades de grãos deformados que apresentam extinção e relevo anômalos e birrefringência mais forte que a usual, o que pode tornar difícil sua identificação. Não é raro a ocorrência de grãos corroídos e oxidados (Figura 4.41).

Figura 4.41 - Grãos de cianita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de rutilo ocorrem em formas anedrais e subtabulares arredondadas e subordinadamente subeuédricos com terminações piramidais. Alguns grãos apresentam fratura conchoidal, estrias ou maclas lamelares em duas direções e mais raramente macla "em cotovelo". Suas colorações variam de amarelo metálico a vermelho amarronzado, que poderia ser confundido com óxidos de ferro, mais sua altíssima birrefringência permite separá-los dos óxidos (Figura 4.42).

Figura 4.42 - Grãos de rutilo presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

A granada mineral traço nos depósitos cenozoicos, na Formação Beberibe (em subsuperfície) este mineral converte-se em principal, podendo ser considerado como uma assinatura mineralógica desta unidade; apresenta-se em formas anédrica angulosas a subangulosas, com fratura conchoidal, superfícies de picoteamento e feições de dissolução que deixam sua superfície turva. Em geral é incolor, mais raramente com colorações rosa pálidas ou esverdeadas, seu relevo alto e caráter isótropo torna muito fácil sua identificação (Figura 4.43).

Figura 4.43 - Grãos de granada presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de estarolita ocorrem em formas anédricas subangulosas e subarredondadas indistintamente, de cores amareladas com pleocroísmo forte a moderado, geralmente apresentam inclusões, alguns grãos corroídos e com superfícies oxidadas, de fácil identificação por seu relevo alto e pleocroísmo característico (Figura 4.44).

Figura 4.44 - Grãos de estaurolita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Andaluzita apresenta-se em formas anédricas, por vezes subtabulares, subarredondados e subangulosos indistintamente. Geralmente incolor, pode mostrar leve pleocroísmo rosa, comumente com inclusões, óxidos ou superfícies corroídas. Os traços de clivagem são muito fracos, sua birrefringência é baixa com relevo moderado, quando apresenta figura de interferência biaxial com 2V próximo a 90° e caráter ótico negativo (Figura 4.45). Foi encontrada na amostra PB71-1 traços de viridiana, variedade manganésiana de andaluzita, de cor verde amarelado pleocróica.

Figura 4.45 - Grãos de andaluzita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Topázio ocorre em formas anédricas, subarredondadas e subangulosas indistintamente. Geralmente lincolor, pode mostrar leve pleocroísmo amarelado, comumente com inclusões e recobertos parcialmente por filmes de óxidos. Quando com birrefringência baixa e relevo moderado, apresenta figura de interferência biaxial com $2V$ próximo a 70° . Pode ser facilmente confundível com andaluzita, distinto apenas através do seu caráter ótico positivo (Figura 4.46).

Figura 4.46- Grãos de topázio presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de anfibólios cálcicos englobam três tipos de minerais presentes na assembléia: hornblenda, tremolita e actinolita, com domínio do primeiro, geralmente subtabulares a anédricos subangulosos, com clivagens fortes, por vezes fibrosos, pleocroícos (hornblenda e actinolita), com extinção inclinada, birrenfringência baixa a moderada (tremolita e actinolita) a forte (hornblenda), de colorações incolor, esverdeadas a amarronzadas, geralmente muito corroidos e com óxidos (Figura 4.47).

TREMOLITA

HORNBLENDAS

ACTINOLITA

Figura 4.47 - Grãos de anfibólios cálcicos presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de sillimanita são subédricos tabulares, por vezes, subarredondados, geralmente fibrosos (fibrolita), incolores, com extinção paralela ao prisma, alta birrefringência, alongação positiva e comumente com evidências de corrosão superficial que deixam a sua superfície turva (Figura 4.48).

Figura 4.48 - Grãos de sillimanita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de epídoto ocorrem em formas anédricas subangulosas a subarredondadas, com alto relevo, de colorações amarelo limão a verde claro com pleocroísmo notável, de birrefringência moderada (cores de segunda ordem), assemelhando um “manto de arlequim” com cores muito vívidas. Geralmente seus grãos estão muito corroídos com superfícies turvas e texturas rugosas. (Figura 4.49).

Figura 4.49 - Grãos de epídoto presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Monazita apresenta grãos anédricos subarredondados, com relevo alto, brilho vítreo, incolores, com alta birrefringência, podendo ser confundido com zircão, mais o relevo dele menor e seu caráter ótico é biaxial positivo (Figura 4.50).

Figura 4.50 - Grãos de monazita presentes na área de estudo tanto em superfície como em subsuperfície

Os grãos de espinélio só ocorrem como traços nos depósitos Pós-Barreiras I de superfície. Apresentam-se anedricos subangulosos, de colorações esverdeadas azuladas e de fácil identificação por seu alto relevo, cores intensas e caráter isotrópico (Figura 4.51).

Figura 4.51 - Grão de espinélio presente nos depósitos Pós-Barreiras I em superfície

A dumortierita foi encontrada como traço na Formação Barreiras (PB 56-2), trata-se de um grão anédrico subanguloso, com relevo alto, de cor violácea, pleocroísmo forte muito característico e birrefringência moderada.

4.3 Petrografia de arenitos

Foram analisadas 2 lâminas da Formação Barreiras e 3 do Pós-Barreiras (Anexo G), macroscopicamente os depósitos Pós-Barreiras I tem maior endurecimento e menor seleção granulométrica.

4.3.1 Estimativa modal de Componentes

A avaliação entre as relações de arcabouço, matriz (verdadeira o sindeposicional) e porosidade primária está parcialmente comprometida em função do grau de alteração das amostras estudadas. Apesar disso, os resultados (Tabela 4.14) mostram uma diferenciação petrográfica entre os arenitos Barreiras e Pós-Barreiras I, onde os primeiros apresentam porcentagem maior de arcabouço e menor de material intersticial, em relação aos Depósitos Pós-Barreiras I. Em ambos os casos, o material argiloso presente não é matriz sindeposicional, fato melhor explicado no subitem a seguir.

Tabela 4.16 - Estimativa modal de componentes

Unidade	Arcabouço	Matriz/Cimento	Porosidade	Material Intersticial
Média Formação Barreiras	61,5	28,0	10,5	38,5
Média Pós-Barreiras I	45,7	49,3	5,0	54,3

4.3.2 Componentes deposicionais

O arcabouço está constituído mineralogicamente de quartzo, feldspato, fragmentos líticos instáveis e acessórios. Os cálculos de composição modal são apresentados na Tabela 4.15 e suas características petrográficas resumidas no Quadro 4.1.

Tabela 4.17 - Resultados de análises petrográficas (Cálculos de composição modal)

Unidade	Lâmina	Qm	Qp	Fpl	Lm	Ls	Outros	Qm	Qt	F	L	Lt
Pós-Barreiras I	PB 129-2	97,3	0,0	0,0	0,0	0,3	2,3	99,7	99,7	0,0	0,3	0,3
Pós-Barreiras I	PB 144-7	96,0	0,0	0,0	0,0	0,3	3,7	99,7	99,7	0,0	0,3	0,3
Pós-Barreiras I	PB 156-1	97,3	0,0	0,0	0,0	0,3	2,3	99,7	99,7	0,0	0,3	0,3
Média Pós-Barreiras		96,9	0,0	0,0	0,0	0,3	2,8	99,7	99,7	0,0	0,3	0,3
Formação Barreiras	PB 69-3A	94,0	0,0	0,0	0,7	4,0	1,3	95,3	95,3	0,0	4,7	4,7
Formação Barreiras	PB144-2	79,7	12,0	0,3	0,3	5,7	2,0	81,3	93,5	0,3	6,1	18,4
Média Formação Barreiras		86,8	6,0	0,2	0,5	4,8	1,7	88,3	94,4	0,2	5,4	11,5

Quadro 4.1 - Tipos de grãos do arcabouço (grãos >0,0625mm) e fórmulas utilizadas para cálculos de composição modal

CÓDIGO	NOME	DESCRIÇÃO
Qm	Quartzo monocrystalino	Grãos com extinção homogênea ou ondulante, alguns muito fraturados
Qp	Quartzo policristalino	O tamanho de cada cristal que compõe o grão varia de silte grosso a areia muito fina; os cristais podem estar orientados em bandas ou não e os contatos podem ser nítidos ou com bordas difusas
FI	Feldspato	Grãos são, em geral, subeudrais com geminações polissintéticas e apresentam diversos graus de alteração, com texturas superficiais corroídas na forma de sulcos orientados segundo os planos de clivagem (<i>honeycombed grains</i>)
Lm	Líticos metamórficos micáceos	Fragmentos líticos muito alterados bandados com micas, às vezes deformadas ou caulinitizadas.
Ls	Líticos sedimentares	Siltitos com moderada seleção e homogeneidade na granulação (silte e argila), isotropos e com as bordas geralmente oxidadas.
Ou	Outros	Minerais pesados

CÓDIGO	CÁLCULOS
Arc	% Arcabouço = (Total de pontos Arc/300)* 100
Mat Int	% Material Intersticial = (Cimento +Matriz +Poros/300)* 100
Qt	% Quartzo Total = % Qm+% Qp
Qm	% Quartzo monocristalino
F	% Feldspatos totais
L	% Líticos = % Ls+% Lm
Lt	% Líticos totais = % Ls +% Lm+Qp
% de Mineral Normalizado. Ex: Qp	% Qp = (número de grãos de Qp*100) / (300 - Nº de grãos de outros)

Os arenitos estudados são geralmente quartzosos, com predomínio de quartzo monocristalino (Qm) sobre policristalino (Qp) na Formação Barreiras e domínio absoluto de Qm nos depósitos Pós-Barreiras. Os fragmentos líticos são raros nestes depósitos, quando presentes (aproximadamente 5% Formação Barreiras e 0,3% Depósitos Pós-Barreiras I) predominam os líticos sedimentares (argilosos) em relação aos metamórficos. A presença de feldspatos é muito baixa em ambos os depósitos, possivelmente em função do intemperismo que alterou estas unidades. Fotos destes tipos de grãos são apresentadas no Anexo H.

O material argiloso intersticial, encontrado tanto na Formação Barreiras como nos Depósitos Pós-Barreiras I, é caulinita que foi identificada através de difratometria de raios X. Na Formação Barreiras, o material argiloso (28%) é essencialmente pós-deposicional, identificado como pseudomatriz (líticos instáveis esmagados), epimatriz (substituição por caulinita) e cimento caulínítico em forma de livretos (*booklets*). No Arenito Pós-Barreiras I, o material argiloso (49%) é proveniente de atividade biogênica

e injeção de argilas. A ilustração sobre os diversos tipos de material argiloso intersticial é apresentada no Anexo H.

A Formação Barreiras e os Depósitos Pós-Barreiras I apresentam empacotamento aberto sendo que o Pós-Barreiras tem valores menores (10-20%) em relação à Formação Barreiras (25-30%). As amostras selecionadas são texturalmente areias médias a grossas com baixa esfericidade. A Formação Barreiras apresenta seleção granulométrica moderada a pobre e grãos angulosos a subangulosos distintamente dos Depósitos Pós-Barreiras I que são compostos de grãos subangulosos a subarredondados pobre a muito pobremente selecionados.

4.3.3 Componentes diagenéticos

Foram constatados nos Arenitos Barreiras processos diagenéticos indicativos de soterramento, contrariamente aos Depósitos Pós-Barreiras I que, mesmo quando fortemente endurecidos, não apresentam evidências de mesodiagênese (CHOQUETTE; PRAY, 1970; SCHMIDT; MCDONALD, 1979).

Os principais processos diagenéticos identificados na Formação Barreiras e nos Sedimentos Pós-Barreiras são apresentados a seguir e a evolução pós-deposicional de ambos arenitos está resumida na Figura 4.52.

Barreiras

A compactação mecânica é evidenciada pela existência de grãos deformados de fragmentos líticos metamórficos, que inclusive chegam a fraturar alguns deles. A intensificação do processo de compactação mecânica provoca o esmagamento de grãos de líticos sedimentares argilosos que dão lugar à formação de uma “falsa matriz”, denominada de pseudomatriz por Dickinson (1970). Denominou-se epimatriz a uma ampla porção do material intersticial formado pela substituição dos grãos do arcabouço

por caulinita. Apesar da maioria dos contatos ser pontual ou planar, a presença de alguns contatos côncavo-convexos já denota processos de compactação química possivelmente mais frequentes nos estágios de mesodiagênese. Além disso, a identificação de caulinita lamelar na forma de livretos (*booklets*) precipitada nos poros desses arenitos indica que a Formação Barreiras alcançou estágios muito próximos a mesodiagênese. A porosidade secundária produzida pela dissolução de grãos instáveis do arcabouço pode ter acontecido durante a mesodiagênese ou em um estágio telodiagenético associado ao soerguimento e exposição dos depósitos. O Anexo I ilustra os principais componentes diagenéticos presentes nas amostras.

Figura 4.52 - Evolução pós-deposicional da Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras I

Pós-Barreiras

Os arenitos endurecidos do Pós-Barreiras I apresentam sua litificação possivelmente devido a adição de frações granulométricas finas que perfazem 49% da rocha. Este alto volume de material argiloso é proveniente da introdução mecânica de argilas por processos variados que incluem principalmente ressedimentação relacionada à movimentação de fluidos no espaço intersticial e, subordinadamente processos de bioturbação. A injeção de material argiloso por fluidificação é constatada através de abundantes feições caóticas com padrão morfológico de convoluções que envolvem os grãos de quartzo, chegando mesmo a recobri-los parcialmente (Anexo H). Este padrão de deformação plástica sinsedimentar pode ser observado também na escala de afloramento, as vezes com ferrificação nas bordas da estrutura convoluta (Figuras 4.8B-D). O processo de ressedimentação que introduz argilas também parece ser responsável pela diminuição do grau de seleção em função da mistura de diferentes estratos. Nos estágios superiores da fluidificação, os depósitos chegam a ficar com uma aparência mais homogênea que deixa maciça a rocha. O aspecto maciço (Figura 4.8A) deve ter sido gerado pela ressedimentação devido ao processo de liquefação, o qual pode ter induzido o endurecimento de sedimento resultante da ressuspensão do grão com consequente reempacotamento devido ao escape de grandes volumes de água intersticial. Processo similar tem sido invocado para explicar endurecimento em sismitos (p.ex. MILLS, 1983; BLANC; BLANC – ALÉTRU; MOJON, 1998).

Diferente da Formação Barreiras, os Arenitos Pós-Barreiras apresentam uma dominância de grãos de quartzo fraturados com injeção de argila (Anexo H). Este fraturamento também acontece no material argiloso intersticial (Anexo H). Esta feição

ocorreu em um estágio onde o comportamento reológico era rúptil. Este fraturamento é também observado macroscopicamente (Figuras 4.8 A, E e F).

Feições de bioturbação também são identificadas, em menor proporção, nas lâminas dos Arenitos Pós-Barreiras. São reconhecidas por apresentarem um padrão regular de forma tubular com meniscos internos (Anexo H). Em escala de afloramentos, a intensidade da bioturbação é muito grande o que não permite a identificação dos icnofósseis.

4.3.4 Classificação petrográfica

Ambos os arenitos (Barreiras e Pós-Barreiras) são mineralogicamente supermaturos, com 97% e 99% de Qt, respectivamente. Texturalmente (FOLK, 1974), ambos são submaturos por apresentarem menos de 5% de matriz argilosa sindeposicional e desvio padrão (PETTIJOHN; POTTER; SIEVER, 1972) superior a 0,5 Φ . Composicionalmente ambos arenitos são classificados como quartzo arenitos (Figura 4.53; DOTT, 1964; FOLK, 1974). Porém, se considerarmos que os 11% de porosidade secundária dos arenitos Barreiras fossem constituídos anteriormente de feldspatos e/ou fragmentos líticos instáveis, sua classificação segundo Folk (1974) corresponderia ao campo dos subarcósios ou sublitoarenitos e segundo Dott (1964) dos arenitos feldspáticos ou líticos. A avaliação macroscópica de campo sugere que mais provavelmente os arenitos Barreiras são subarcósicos ou feldspáticos.

Figura 4.53 - Diagramas de classificação petrográfica da Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras I (modificado de FOLK, 1974 e DOTT, 1964)

5 Discussão

A complexidade imposta pela tectônica regente na área, inclusive durante o Quaternário, influencia nas espessuras e distribuição das unidades sedimentares da Bacia Paraíba. Desta forma, a compreensão dos aspectos sedimentológicos e estratigráficos depende da elaboração de um modelo tectônico bem elaborado e vice-versa. Os modelos propostos até agora dão destaque maior a evolução tectônica mesozóica que a cenozóica (p.ex. BARBOSA, 2007; BARBOSA *et al.*, 2007; LIMA FILHO; BARBOSA; SOUZA, 2006; BARBOSA, 2004). Talvez pelo fato destes pesquisadores mapearem como Cretáceo muitas ocorrências do Pleistoceno tardio. A melhor delimitação de unidades estratigráficas terciárias e quaternárias é o primeiro passo para proporcionar subsídios para o entendimento da evolução tectônica do Cenozóico.

5.1 Considerações estratigráficas

São apresentadas a seguir as considerações estratigráficas relacionadas primeiramente aos dados mineralógicos e granulométricos para, posteriormente, fazer a correlação com os dados petrográficos.

Mineralogia e granulometria

Em superfície, onde só afloram unidades cenozoicas, os resultados mostram uma grande homogeneidade mineralógica com dominância de zircão, turmalina, cianita e rutilo. Todas as análises multivariadas realizadas demonstram taxativamente que o critério mineralógico não funciona para delimitar estratigraficamente o intervalo cenozóico. Destaque para o gráfico de dispersão dos componentes principais

mineralógicos (Figura 4.33) que mostra a alto espalhamento dos dados, ou seja não aparece nenhum agrupamento que distinga quaisquer das unidades terciárias e quaternárias estudadas em superfície.

Porém, a análise dos componentes principais mineralógicos dos dados de subsuperfície (Figura 4.38) que contem toda a seção estratigráfica da Bacia Paraíba mostra um cenário bem diferente. Ela revela dois conjuntos, o primeiro exclusivamente com as amostras da Formação Beberibe e o segundo com todas as outras. O fator determinante para esta segregação é a granada que varia de 13%-43% com valor médio de 24%. Este mineral, com ocorrência de 100%, nas amostras da Formação Beberibe representa um indicador mineralógico para esta formação e permite afirmar incontestavelmente que ela não aflora nas sub-bacias Alhandra e Mirirí. Ou seja, este trabalho comprova que a assinatura mineralógica dos depósitos cretáceos siliciclasticos da Bacia Paraíba é a granada do grupo da almandina. Por outro lado, essa diferenciação mineralógica não atinge a Formação Itamaracá, pois esta apresenta grande semelhança com as assembléias identificadas nos depósitos cenozóicos.

De fato, a diferenciação mineralógica e granulométrica encontrada nas formações Beberibe e Itamaracá, além de mostrar um forte contraste estratigráfico, é concordante com a hipótese da existência de uma discordância mesocampiana entre elas (BARBOSA, 2007; BARBOSA *et al.* 2007). Se isto for verdadeiro, este fato aponta diferenças na interpretação da paleogeografia entre as formações e consequentemente da ação tectônica neste intervalo.

O gráfico de dispersão dos dados granulométricos de superfície (Figura 4.32) mostrou também, a despeito de identificar dois grandes grupos com alta dispersão, que em ambos os grupos ocorrem todas as unidades estratigráficas. Porém, o teste de

aderência (Tabela 4.15) mostra a existência de uma associação da granulometria com a estratigrafia. Esta ligação é entre o Grupo GR2, de amostras arenosas moderadamente selecionadas, com o conjunto dos Depósitos Pós-Barreiras e do grupo GR1 com a Formação Barreiras. Esta associação é dada porque a maioria das amostras da Formação Barreiras está no grupo granulométrico GR1, porém os Depósitos Pós-Barreiras estão dispersos nos dois grupos granulométricos. Como o grau de dispersão das amostras do grupo GR2 é relativamente menor, esta tendência de melhor agrupar as amostras foi testada em relação às suas localizações geográficas (Figura 5.1). A análise da figura revela uma ampla distribuição dessas amostras de norte a sul da bacia, sem que nenhuma diferenciação geográfica pudesse ser inferida.

As análises de morfologia e arredondamento de zircão e de turmalina fornecem importantes dados para esta diferenciação. O primeiro critério diferenciador é o arredondamento encontrado nos Depósitos Pós-Barreiras II de superfície, onde as categorias arredondadas do zircão têm uma dominância maior que 60% frente a 50% encontrado para a Formação Barreiras e os Depósitos Pós-Barreiras I. Este comportamento não é observado em subsuperfície, provavelmente porque os Depósitos Pós-Barreiras na área de João Pessoa apresentam pouca espessura, e, portanto, não estão tão bem registrados como em superfície.

O grau de arredondamento da turmalina, entretanto, é notório na diferenciação de todas as unidades cenozóicas entre si. O grau de arredondamento aumenta em direção ao topo com valores que variam de 20% na Formação Barreiras, 39% nos Depósitos Pós-Barreiras I e 56% nos Depósitos Pós-Barreiras II. Esta tendência repete-se em subsuperfície, onde alcança valores médios de 39% na Formação Barreiras, 43% nos Depósitos Pós-Barreiras I e 68% nos Depósitos Pós-Barreiras II.

Figura 5.1 - Distribuição geográfica do grupo GR2, obtido a partir do gráfico de dispersão de diâmetro médio versus desvio padrão

Como foi explicado no item 4.2.2.3, o teste de aderência mostra uma relação entre os grupos de granulometria com os de formas das turmalinas. Esta relação evidencia que é mais simples concentrar grãos arredondados de turmalina em depósitos mais arenosos do que nos mais pelíticos. Isto pode ser explicado como

resposta da componente hidráulica. Durante o transporte, os grãos em carga de fundo sofrem desgaste e arredondamento das arestas devido ao processo de abrasão.

O teste de aderência entre os grupos de forma de turmalinas com os grupos da estratigrafia mostra os Depósitos Pós-Barreiras associados ao grupo MA2 que representa turmalinas mais arredondadas. Este resultado está de acordo com o observado anteriormente no item 4.2.2.2, onde as categorias mais arredondadas ocorrem no topo da sucessão estratigráfica.

Os resultados da morfologia e grau de arredondamento dos grãos de zircão e turmalina em subsuperfície não permitem diferenciar as unidades cretáceas entre si, as quais apresentam uma dominância das formas subédricas e anédricas angulosas em detrimento das formas anédricas arredondadas. Este fato favorece, no entanto, mais um critério de diferenciação das unidades cretáceas com as cenozóicas, porque se observa um progressivo aumento no grau de arredondamento da turmalina e zircão em direção ao topo. Isto é, de modo geral, os grãos de turmalina e zircão tendem a ser mais arredondados nas unidades cenozóicas do que naquelas cretáceas.

O índice ZTR é sensível diferenciador entre depósitos mesozóicos e cenozóicos, que, de modo geral, tende a aumentar gradativamente da base para o topo da sucessão. O ZTR medido na subsuperfície alcança o valor médio de 63% na Formação Beberibe, 75% na Formação Itamaracá; 78% na Formação Barreiras, 85% nos Depósitos Pós-Barreiras I e 93% nos Depósitos Pós-Barreiras II. Por outro lado, os depósitos cenozóicos de superfície não apresentam diferenças contrastantes de ZTR, simplesmente um leve incremento entre a Formação Barreiras com 81% e os Depósitos Pós-Barreiras I e II com 85%. Estes valores são indicativos de mais alta maturidade mineralógica no Cenozóico do que no Cretáceo.

A despeito dos dados granulométricos e mineralógicos não terem sido diagnósticos para a distinção entre os vários níveis estratigráficos cenozóicos, a presença abundante de granada é guia estratigráfico dos Arenitos Beberibe. O que demonstra que esta unidade não aflora nas sub-bacias de Alhandra e Miriri. Além disso, este trabalho comprova a importância das análises de minerais pesados de alta resolução de zircão e turmalina, as quais permitem fazer uma separação consistente entre os diversos níveis estratigráficos. Estes critérios devem ser utilizados na caracterização e distinção dos depósitos siliciclásticos da Bacia Paraíba.

A ausência de exposições da Formação Beberibe, pelo menos nas sub-bacias Alhandra e Miriri, e no seu lugar a presença de espessas unidades pleistocênicas tardias (PB I) representa fortes movimentos de subsidência tectônica, os quais favoreceram a criação de um espaço acomodacional que alojou esta sedimentação durante o Quaternário.

Petrografia

Os resultados da petrografia, ainda que com poucas amostras, sugerem vários fatos interessantes para auxiliar na diferenciação Barreiras/Pós-Barreiras I. A unidade miocênica apresenta menor maturidade mineralógica com a presença dominante de sublitoarenitos ou subarcósios, enquanto os quartzoarenitos Pós-Barreiras I apresentam-se com maior maturidade mineralógica. Além disso, os arenitos Barreiras apresentam evidências de compactação mecânica e química maiores (p.ex. cimento caulinitico na forma de *booklets*, contatos côncavo-convexo, formação de pseudomatriz) enquanto os Depósitos Pós-Barreiras I endurecidos mostram-se mais desorganizados, com maior porcentagem de material argiloso produto dos processos biogênicos e de

fluidificação, e conseqüentemente com um empacotamento mais aberto. Estes resultados reforçam a hipótese de uma evolução diagenética da Formação Barreiras que alcança estágios superiores que os Depósitos Pós-Barreiras I.

Os processos deposicionais, tanto na Formação Barreiras como nos Depósitos Pós-Barreiras, permitem a segregação da carga de suspensão e tração, isto é, os arenitos cenozóicos estudados não são originalmente *wackes*. Possivelmente, a adição do material argiloso intersticial, principalmente nos Depósitos Pós-Barreiras I, através dos diferentes processos obliterou quaisquer informações relacionadas à organização da petrotrama (segregação granular, orientação ou imbricações dos grãos).

Muitos autores têm assinalado a influência das estruturas tectônicas com orientação NE-SW e NW-SE na configuração das bacias cretáceas do nordeste brasileiro no nordeste (BEZERRA *et al.*, 1998; 2001). Feições de deformação sinsedimentar quaternária podem ser utilizadas para identificar o Neopleistoceno e o Quaternário do norte e nordeste do Brasil (BEZERRA; VITA FINZI, 2000; ROSSETTI; GÓES, 2007; ROSSETTI; GÓES; VALERIANO, 2007). Reativações pós-miocênicas de falhas preexistentes têm gerado um registro complexo de estruturas deformacionais rúpteis e dúcteis que incluem dobras e falhas em depósitos miocênicos e acamamentos convolutos e maciços, fraturas de alívio e diques clásticos nos depósitos pós-miocênicos. Estas últimas estruturas são correlacionáveis por vários quilômetros desde o Ceará até Alagoas, e foram geradas por abalos sísmicos recorrentes no Pós-Mioceno, os quais resultaram em processos de fluidificação através do aumento da pressão nos poros e subsequente ressedimentação (ROSSETTI; GÓES, 2007). Estas estruturas são claramente encontradas tanto macroscopicamente (item 4.1) como microscopicamente (item 4.3) nos Depósitos Pós-Barreiras I aqui apresentados.

5.2 Considerações da procedência sedimentar

A mineralogia predominantemente ultraestável (altos valores ZTR variando de 81 a 85%) e o alto grau de arredondamento dos grãos de zircão e turmalina encontrados nos depósitos cenozóicos apontam para rochas fontes principalmente de natureza sedimentar. Estas fontes estão relacionadas às formações siliciclásticas mesozóicas como as formações Itamaracá e Beberibe.

A despeito disso, subordinadamente, a Sub-bacia Alhandra provavelmente recebeu aportes de detritos de fontes primárias, principalmente dos terrenos Alto Moxoto e Rio Capibaribe. Já os sedimentos da Sub-bacia Mirirí estão mais associados aos terrenos Alto Pajeú e parte do Alto Moxoto. O Complexo Caroalina – Subirim dos terrenos Alto Moxoto e Rio Capibaribe, com seus xistos micáceos e subordinadamente gnaisses, pode ser o principal fornecedor de estauroлита, cianita, andaluzita, rutilo, sillimanita e granada, sem descartar aportes também das rochas gnáissicas das outras unidades presentes nestes terrenos (p.ex. Complexo Gnáissico – Migmatítico, Complexo Sumé). O zircão e turmalina têm relação maior com rochas ácidas e, portanto, seus aportes estariam associados a ortognaisses graníticos, granodioríticos e complexos gnáissicos migmatíticos presentes nos terrenos Alto Moxoto e Alto Pajeú.

O Quadro 5.1 sintetiza quais poderiam ser as fontes primárias potenciais dos minerais pesados encontrados na assembléia mineralógica.

O índice de proveniência RZi nos depósitos de superfície apresenta valores em torno de 10, sem variações significativas que apontem mudanças nas fontes de rutilo e zircão para o Cenozóico. O comportamento deste índice em subsuperfície dos depósitos cenozóicos é comparável com o de superfície, porém na parte cretácea, este

índice sofre uma sutil diminuição com valores entre 6 e 7, o que pode significar que as fontes de rutilo e zircão não mudaram significativamente no decorrer da história de preenchimento da Bacia Paraíba.

Quadro 5.1 - Quadro com rochas fontes primárias potenciais e sua possível mineralogia

	Unidade / Litologia		Minearais Principais	Possível mineralogia contida nas fontes									
				Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	Sill	Tur	Zir	Rut
Terreno Alto Pajeú	Metagranitóides Cariris Velhos	Gnaiss migmatito	Granada muscovita biotita sillimanita	X	X	X			X	X	X	X	X
	Complexo São Caetano	Gnaisses, xisto, mármore, anfibolito, metatufos ácidos e metavulcanoclástica	Muscovita granada biotita quartzo,	X	X	X	X	X	X		X	X	X
	Ortognaisse granodiorítico granítico	Gnaiss granodiorítico – granítico migmatizado		X	X	X	X				X	X	X
Terreno Alto Moxotó	Complexo Carolina – Subirim	Gnaiss, xisto e mármore	Biotita, sillimanita granada quartzo	X	X	X			X	X	X	X	X
	Suíte Granítica Camalau	Gnaiss tonalítico trondhjemitico granítico	Anfibólio – biotita muscovita sillimanita quartzo	X	X	X	X	X		X	X	X	X
	Complexo Sumé	Gnaiss, metabasitos, rochas calciosilicáticas, formações ferríferas, mármore, metapiroxenito e metagabro		X	X	X		X			X	X	X
	Metanortosito Boqueirão	Metanortosito incluindo metadiorito e metagabro						X			X	X	X
	Metagranitóides e Migmatitos Serra de Jabitacá	Gnaiss tonalítico – granodiorítico anfibolítico e migmatito granítico	biotita	X	X	X	X	X			X	X	X
	Complexo Sertânia	Gnaiss, mármore, rocha calciosilicática, e anfibolito	Biotita granada sillimanita, quartzo	X	X	X		X	X	X	X	X	X
	Ortognaisse granodiorítico – granítico	Gnaiss tonalítico – trondhjemitico – granodiorítico com e rochas metamáficas		X	X	X		X			X	X	X
Terreno Rio Capibaribe	Complexo Carolina – Subirim	Gnaiss, xisto, mármore	quartzo Biotita Granada muscovita	X	X	X	X		X		X	X	X
	Complexo Vertentes	Gnaiss e metavulcânicas	Granada biotita	X	X	X		X	X		X	X	X
	Complexo Gnaissico - migmatítico	Gnaiss granítico a tonalítico, monzonítico, monzodiorítico e diorítico		X	X	X	X				X	X	X

Cia: cianita; **Est:** estauroilita; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** granada **Sill:** sillimanita **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo, X= ocorrência potencial

O índice hidráulico TZi mostra duas tendências distintas. Nas unidades cretáceas os valores aumentam fortemente de aproximadamente 20 para a Formação Beberibe e duplica na Formação Itamaracá, denotando forte contraste entre as formações Beberibe e Itamaracá. Neste intervalo, como as fontes parecem ter mudado em função do alto volume de turmalina, este índice não se presta para avaliar variações hidráulicas. No entanto, da Formação Itamaracá para o topo, os dados sugerem que as fontes mantiveram-se constantes. Desta forma, os valores progressivamente mais baixos, Itamaracá=40, Barreiras=37, Pós-Barreiras I=33 e Pós-Barreiras II= 24, estão em concordância com o aumento de zircão em detrimento de turmalina em direção ao topo, através do contínuo retrabalhamento dos depósitos (canibalismo). Ou seja, a reciclagem sedimentar favoreceu pelo controle hidráulico a concentração de pesados mais densos, o que pode significar que quanto mais jovem mais proximal é o depósito em relação à bacia. Este fato não pode ser avaliado no FJP em função das amostras serem de calha.

Partindo-se do pressuposto que durante o Cenozóico não houve mudanças significativas de fontes, o índice intempérico ETi, ainda que seja qualitativo, demonstra que o paleossolo laterítico desenvolvido sobre o topo da Formação Barreiras tem forte relação com a diminuição drástica no topo do furo do conteúdo de estaurolita (Figura 5.2). O índice ETi mostra valores aproximados de 20, desde a base da Formação Barreiras até a profundidade de 36 metros. A partir dela, o valor cai drasticamente a 6 e chega ao topo da Formação Barreiras com 3. Este dado permite inferir que, possivelmente, a totalidade das amostras coletadas na Formação Barreiras em superfície representa níveis estratigráficos muito afetados pelo horizonte laterítico. Isto

explicaria o baixo volume de estaurolita (média=3%) encontrado na maioria das amostras terciárias.

As variações locais mineralógicas encontradas na Formação Barreiras com altos valores de hornblenda (17% na PB45-3) e de cianita nos pontos PB 2 e PB67 com 19% e PB 62 com 35%, sugerem que as fontes destes minerais encontravam-se próximas à bacia e relacionadas aos metamorfitos da Zona Transversal da Província Borborema. Corroborar esta interpretação a localização desses pontos próximos ao embasamento cristalino (Figura 5.3). Além disso, no caso da cianita, a análise das formas deste mineral indicou predominância de grãos subédricos angulosos (categoria Ca com 45%, PB62-1), o que corrobora a hipótese de fontes primárias. Este raciocínio é similar em outros pontos de exposição dos Depósitos Pós-Barreiras I, onde os altos valores percentuais de grãos de cianita subedrais angulosos (PB 3-2 e PB 94-1 com 58% e 42% de formas Ca, respectivamente) que podem ser atribuídos a locais mais próximos

à fonte primária. Por outro lado, as amostras PB 98-2; PB 114-1 e PB 140-1 da Formação Barreiras e PB 59-3; PB 119-3 e PB 139-1 dos Depósitos Pós-Barreiras I revelam aumento considerável das categorias arredondadas Cc com valores entre 44% e 64% (Tabela 4.12), os quais apontam fontes sedimentares retrabalhadas.

Outras variações locais encontradas na Formação Barreiras de andaluzita (13% na PB 113-9) e de sillimanita (PB 141-1=21% e PB 141-2=12% e PB 140-1=14%) localizam-se na região costeira em depósitos interpretados com influência marinha. Este fato é sugestivo da contribuição marinha para esses minerais, ou de segregação hidráulica onde estes minerais pesados menos densos (sillimanita densidade= 3,2-3,3 e andaluzita=3,1 -3,2) tenderiam a se concentrar em ambientes deposicionais mais distais.

Outras variações locais são de estauroлита (PB 156-2=12%; PB 103-1=15%, PB 102-7=17%), andaluzita (com 9% em PB 108-5 e PB 113-1) e topázio (com 9% em PB 108-5 e PB 64-6) encontradas em Depósitos PB I.

De modo geral, as amostras cenozóicas apresentam uma dominância de zircão em detrimento a turmalina. Merecem destaque alguns pontos onde estas relações estão invertidas, ou seja, ocorre domínio de turmalina sobre zircão. Os pontos da Formação Barreiras (PB45; PB62 e PB108 Figura 5.3) estão relacionados a fontes primárias, pois as formas das turmalinas mostram maior porcentagem de categorias subeudrais angulosas (Ta) e, estes pontos estão próximos ao embasamento cristalino, exceto o PB 108. Os pontos PB71 e PB94 dos Depósitos Pós-Barreiras I relacionam-se também a fontes primárias com o argumento de proximidade do embasamento e alta porcentagem de categorias subedrais angulosas (Ta). Os demais pontos anômalos (PB 156 e PB 113 Figura 5.3) correspondem a pontos mais distais em relação à fonte,

apresentam altas porcentagens de categorias anedrais arredondadas (Tc) de turmalina. Estes dados apontam para retrabalhamento sedimentar com concentração de minerais pesados menos densos (densidade de turmalina = 3,0-3,3). Nesse caso, o controle parece ter sido hidráulico.

Figura 5.3 - Mapa geológico com anomalias mineralógicas mais relevantes das amostras de superfície

A similaridade mineralógica entre os depósitos cenozóicos, o aumento progressivo do grau de arredondamento da turmalina e zircão e do índice ZTR na direção das unidades mais jovens indicam que as fontes dos depósitos quaternários foram predominantemente de reciclagem de rochas sedimentares mais antigas, inclusive da própria Formação Barreiras. A idéia de que os depósitos miocênicos sejam fonte dos pós-miocênicos encontra suporte na ocorrência de clastos de laterita nos Depósitos Pós-Barreiras I (Figura 4.7). Estes fragmentos lateríticos registram o desmantelamento de paleohorizontes lateríticos expostos à erosão e retrabalhados em novo ciclo deposicional durante a retomada de sedimentação na bacia que se seguiu à estabilidade e formação de paleossolo.

Finalmente a assinatura de granada na Formação Beberibe mostra fontes diferenciadas para esta unidade estratigráfica. As fontes primárias potenciais para este mineral encontram-se abundantemente nos terrenos Alto Moxotó (Complexo Caroalina – Subirim e Sertânia), Alto Pajeú (metagranitóides Cariris Velhos e Complexo São Caetano) e no Rio Capibaribe (Complexo Caroalina – Subirim e Complexo Vertentes). A Formação Beberibe apresenta volumes significativos (13 a 43%) de grãos angulosos de granada. Como as granadas não têm clivagem, tem uma boa dureza e resistem ao transporte de carga de fundo, isto permite deduzir que as fontes primárias deste mineral estavam bem próximas à bacia. Além disso, a sobrevivência deste mineral ao soterramento na Formação Beberibe pode estar relacionada à presença de cimento carbonático ou ainda função de sua estabilidade em ambiente geoquímico alcalino (NICKEL, 1973; MORTON, 1984; MILLIKEN, 1988; MILLIKEN; MACK, 1990).

A despeito disso, a granada só ocorre como mineral traço com baixas frequências de ocorrência nas unidades sobrepostas (Neocampaniano-Holoceno).

Como elas são sensíveis a ambientes geoquímicos ácidos comuns em perfis intempéricos (BRAMLETTE, 1929), principalmente aquelas com alto conteúdo de ferro (ALLEN, 1948), pode-se admitir que o fator controlador tenha sido o clima durante este período. Esta hipótese precisa ser mais bem investigada já que o intervalo de tempo é muito grande e diversos processos geológicos complexos podem ter atuado.

5.3 Comparação dos dados mineralógicos com trabalhos anteriores.

A seguir, é discutida a bibliografia existente na área sobre minerais pesados, comparando-se com os dados obtidos nesta dissertação.

São poucos os trabalhos que versam sobre minerais pesados no Estado da Paraíba, o mais antigo é de Coutinho e Coimbra (1973) que é um trabalho regional desde o Espírito Santo até Rio Grande do Norte. Na região entre Recife e Natal, estes autores reportam uma assembléia mineralógica dominada por zircão e subordinadamente cianita, estaurolita e turmalina. Para eles, todos os minerais são provenientes diretamente da Província Borborema, por exemplo, cianita e estaurolita são provenientes das rochas metamórficas e a turmalina pouco arredondada é relacionada aos pegmatitos. Eles incluem neste estudo também amostras de várias unidades pré-Barreiras. Seus resultados mostram que o ZTR decresce dos mais antigos aos mais recentes, fato que os faz admitir que a ação de dissolução intra-estratal seria a responsável por esta tendência. E também que as fontes precambrianas conservaram-se constantes desde o Terciário. É de ressaltar que na amostra da Formação Beberibe coletada por eles, o ZTR foi de 70% frente ao valor 83% obtido nas amostras da Formação Barreiras. Este dado é contraditório com o proposto por eles

para a região, mas concorda com o presente trabalho onde a variação de ZTR é crescente na direção do topo, como discutido no item 5.1.

Posteriormente, Gopinath, Costa e Sousa Júnior (1993), nos Arenitos Barreiras do Estado da Paraíba (28 amostras), encontram três províncias de minerais pesados associadas a fontes de granitos, gnaisses e xistos. Estas províncias são: rutilo e zircão a oeste e noroeste, turmalina e corindom a leste e por último a sul turmalina, sillimanita, zircão e hornblenda. Grosso modo, os dados mineralógicos estão reproduzidos nesta dissertação, sem que fosse possível separar províncias. No entanto, a sul da área de pesquisa desta dissertação são encontradas anomalias mais fortes de sillimanita, o que é comparável com o obtido no citado trabalho para a província sul.

Recentemente Brito Neves *et al.* (2009), também na Paraíba, obtiveram para a Formação Barreiras (10 amostras) uma mineralogia composta predominantemente por zircão, turmalina, e subordinadamente cianita, andaluzita, rutilo e estauroлита entre outros, com valores ZTR de 81%. Na mesma região propõem como aflorante a Formação Beberibe (8 amostras) com uma mineralogia acessória principalmente com zircão e turmalina, e subordinadamente cianita e rutilo, com valores ZTR de 93%. Neste trabalho apresenta-se uma assembléia mineralógica similar e o critério diferenciador entre os arenitos é o índice ZTR. Como os valores das mineralogias e do ZTR encontrados na Formação Beberibe (sentido de BRITO NEVES *et al.* 2009) por eles apresentados ajustam-se perfeitamente com dados aqui apresentados dos Depósitos Pós-Barreiras I endurecidos, admite-se que estes autores designam como cretáceo unidades do Pleistoceno tardio (itens 4.1, 4.2, 4.3 e 5.1).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- 1) A análise de minerais pesados dos depósitos cenozóicos (superfície e subsuperfície) da Bacia Paraíba revela uma assembléia dominada por zircão e turmalina, e, subordinadamente, cianita e rutilo. A mineralogia não permite distinguir entre os vários níveis estratigráficos estudados em função da grande homogeneidade dos dados. Entretanto, em subsuperfície, as variações de ZTR mostram um significativo aumento progressivo da maturidade na direção dos depósitos mais jovens, este incremento deve-se ao forte aumento do zircão em detrimento de turmalina. Em superfície, esta tendência também foi encontrada com variações sutis do ZTR entre os depósitos terciários e pleistocênicos tardios e, mais significativa quando comparado com os holocênicos.
- 2) A análise de minerais pesados de alta resolução é indicada para estudo de assembléias mineralógicas maduras. A aplicação desta técnica em grãos de zircão e turmalina revelou-se muito eficiente na diferenciação das unidades cenozóicas da Bacia Paraíba.
- 3) As formas de zircão não são eficientes para separar os depósitos miocênicos dos pleistocênicos tardios, em ambas as unidades estratigráficas a população de grãos arredondados alcança mais de 50%. Todavia, na distinção entre os depósitos pleistocênicos tardios e os holocênicos os resultados são satisfatórios, nos quais é evidente um aumento considerável da categoria dos clastos anedrais arredondados, o que aponta retrabalhamento sedimentar.
- 4) A análise das formas da turmalina é excelente critério diferenciador entre todos os depósitos cenozóicos estudados, a qual assinala uma forte

tendência de aumento das classes anédricas arredondadas na direção de unidades mais jovens. Estes resultados são reproduzíveis tanto para as amostras de superfície como de subsuperfície.

- 5) A aplicação da análise dos minerais pesados como ferramenta no mapeamento geológico, aliada aos dados sedimentológicos, petrográficos, datações de LOE-SAR e U/Th em goetitas, mostra-se eficaz no desvelamento da estratigrafia da Bacia Paraíba.
- 6) Os dados desta dissertação permitem afirmar inequivocamente que nas sub-bacias Alhandra e Mirirí afloram exclusivamente as unidades miocênicas e quaternárias, o que descarta as unidades siliciclásticas cretáceas. A confirmação foi feita através da avaliação de amostras de calha de um poço (FJP) na cidade de João Pessoa que atravessou quase toda coluna estratigráfica da Bacia Paraíba.
- 7) Desta forma, a caracterização das unidades cretáceas só pode ser feita através de dados de subsuperfície (Poço FJP). Os resultados assinalam que existe uma expressiva diferença mineralógica entre a Formação Beberibe e demais unidades siliciclásticas da Bacia Paraíba, onde a granada representa a assinatura mineralógica desta unidade cretácea. Este fato tem implicações estratigráficas, de proveniência sedimentar e tectônica de grande magnitude.
- 8) A ausência de exposições da Formação Beberibe, pelo menos nas sub-bacias Alhandra e Mirirí, e no seu lugar a presença de espessas unidades pleistocênicas tardias (PB I) representa fortes movimentos tectônicos, os quais favoreceram a criação de um espaço acomodacional que alojou esta sedimentação durante o Quaternário.

- 9) A assinatura de granada na Formação Beberibe mostra fontes diferenciadas para esta unidade estratigráfica. As fontes primárias potenciais para este mineral encontram-se abundantemente nos terrenos Alto Moxotó, Alto Pajeú e no Rio Capibaribe. Como os grãos de granada da Formação Beberibe estão frescos e angulosos, pode-se deduzir que as fontes primárias deste mineral estavam bem próximas à bacia. Além disso, a sobrevivência deste mineral ao soterramento na Formação Beberibe, pode estar relacionada à presença de cimento carbonático ou ainda função de maior estabilidade em ambiente geoquímico alcalino
- 10) Apesar disso, a granada só ocorre como mineral traço com baixas frequências de ocorrência nas unidades sobrepostas (Neocampaniano-Holoceno). Como as granadas (principalmente com ferro) são sensíveis à dissolução em perfis de solo, pode-se admitir que o fator controlador tenha sido o clima durante este período. Dada a complexidade dos processos geológicos, a pesquisa nesta direção precisa ser aprofundada.
- 11) O uso de estatística multivariada como ferramenta interpretativa confirma categoricamente que os resultados da análise dos componentes principais mineralógicos não permitem associá-los às unidades estratigráficas cenozóicas estudadas. No entanto, em subsuperfície, com a aparição da granada na Formação Beberibe, esta ganha destaque nas análises de componentes principais e permite diferenciar esta unidade das demais.
- 12) As análises de agrupamentos combinados com os testes de aderência confirmam a existência de relação entre os grupos de granulometria com as formas de turmalina e destes, por sua vez, com a estratigrafia geral proposta.

Categorias arredondadas estão associadas aos depósitos mais jovens, o que demonstra retrabalhamento dos depósitos preexistentes. Já a relação entre as formas de turmalina e granulometria explica-se como consequência da segregação hidráulica de concentrar formas mais arredondadas em granulometrias mais grossas.

- 13) Pelo menos uma parte dos detritos cenozóicos depositados na Bacia Paraíba, indiscutivelmente, vem de fontes cristalinas da Zona Transversal da Província Borborema, mas, a maioria deles foi proveniente do retrabalhamento de depósitos sedimentares preexistentes.
- 14) As mudanças pouco significativas do índice RZi sugerem que fontes destes minerais não mudaram.
- 15) O índice TZi realizado nos depósitos de subsuperfície indica que para o Cenozóico as fontes de zircão aumentam em detrimento de turmalina, o que permite reafirmar que a reciclagem de fontes sedimentares preexistentes é a causadora do aumento do zircão em direção ao topo da sucessão.
- 16) A diminuição da porcentagem de estaurolita em direção ao topo, observada em subsuperfície, pode estar relacionada à paleointemperismo no topo ou variação de fonte, estas hipóteses devem ser mais bem investigadas com auxílio de mais furos de sondagens.
- 17) Os Arenitos Barreiras apresentam uma fração argilosa produto de processos de formação de pseudomatriz, epimatriz e cimento caulínítico; e, além disso, evidências de um grau de diagênese maior que os Arenitos Pós-Barreiras I.
- 18) Os Depósitos Pós-Barreiras I, geralmente, são friáveis e quando endurecidos são mais desorganizados com maior porcentagem de finos: produto dos

processos biogênicos e de fluidificação, este último gerado por abalo sísmico. Este fato confirma que a ação tectônica na área continuou marcante inclusive até o Quaternário tardio.

- 19) Mediante o uso de petrografia sedimentar foi possível diferenciar a Formação Barreiras dos Depósitos Pós-Barreiras I endurecidos. Apesar da difícil coleta de material para petrografia, se faz necessário continuar aprofundando nesta área, principalmente com amostras de subsuperfície.
- 20) Próximas pesquisas com uma maior coleta de amostras dos depósitos Pós-Barreiras II devem ser feitas para melhor caracterizá-la. Além disso, Formação Beberibe precisa ser mais bem estudada do ponto de vista petrográfico e da mineralogia acessória, principalmente em sua seção-tipo e em outros pontos em subsuperfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society*. London v.44, n.2, (Series B - Statistical Methodology), p.139–177 1982.
- ALHEIROS M. M.; LIMA FILHO, M.; MONTEIRO, F. A.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1988. v.2, p.753-760.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. A Formação Barreiras. *Estudos Geológicos: Revisão da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte*. Recife. 10, p.77-88, 1991 (Série B).
- ALHEIROS, M. M.; M. G. FERREIRA.; DUARTE R. X.; IVO P. S. Definição da Formação Beberibe na Faixa Recife-João Pessoa. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15.,1993, Natal. *Atas...*Natal: Núcleo Nordeste SBG, 1993. p.51-53.
- ALLEN, V.T., Weathering and heavy minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.18, p38–42, 1948.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977,Campina Grande (PB). *Atas do Simpósio...* Campina Grande: SBG, 1977 p.363:391.
- ALMEIDA, J. A. C. *Calcários recifais eocênicos da Formação Maria Farinha na Sub-Bacia de Alhandra, Paraíba*: Aspectos Taxionômicos, Paleoecológicos, Paleoambientais e Estratigráficos. 2000. 164f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.
- ARAI, M. Dinoflagelados (*Dinophyceae*) miocênicos do Grupo Barreiras do Nordeste do Estado do Pará (Brasil). *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências*, Guarulhos. 2, p.98-106, 1997(número especial).
- ARAI, M., A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia USP*, São Paulo, 6, p.1-6. 2006 (Série Científica).
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. *Anais ...* Belém: SBG, 1988. v.2, p.738-752.
- ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C. R.; GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F. Novos dados sobre estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos...* Belém: SBG, 1994. p.185-187.
- ARAI, M.; SHIMABUKURO, S. The Tortonian unconformity and its relation with the stratigraphic framework of the Barreiras Group and correlative units (Neogene, Brazil). In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3., 2003, Belém. *Abstracts...* Belém: MPEG, 2003. p. 263-264.

ARTHAUD, M. H.; CABY, R.; FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; PARENTE, D. V. Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: PANKHURST, R.J.; TROUW, R.A.J.; BRITO NEVES, B.B.; WIT, M.J. (eds). *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic Region*. London: Geological Society, 2008. p.49-67. (Special Publications 249).

BARBOSA, J. A. *Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil*. 2004. 230f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

BARBOSA J. A. *A deposição carbonática na faixa costeira recife-natal, NE do Brasil: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos*. 2007. 270f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M.; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, Recife, v.13, p. 89-108, 2003.

BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.14, n.2, p. 287-306, 2006.

BARBOSA, J. A. NEUMANN, V. H. LIMA FILHO, M..SOUZA, E. M. MORAES, M. A. Estratigrafia Da Faixa Costeira Recife-Natal (Bacia Da Paraíba E Plataforma De Natal), NE Brasil. *Estudos Geológicos*, Recife, v.17, n.2., p.3-30, 2007.

BASU, A. Influence of climate and relief on composition of sands released at source areas. In: Zuffa G.G. *Provenance of Arenites*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. p.95-113.

BEURLIN, K. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.16, n.1, p. 43-53, 1967a.

BEURLIN, K. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.16, n.1, p. 73-79, 1967b.

BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. How active is a apassive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, Boulder, v.28., p.591-594, 2000.

BEZERRA, F. H. R.; LIMA-FILHO, F. P.; AMARAL, R. F.; CALDAS, L. H. O.; COSTA-NETO, L. X. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: STEWARTT, I. S.; VITA-FINZI, C. *Coastal Tectonics*. London: Geological Society, 1998. p.279-293. (Special Publication 146).

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Amsterdam, v.14, p.61-75, 2001.

BEZERRA, F. H. R.; NEVES, B. B. B.; CORREA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. . Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*, Amsterdam, 97, p.555-582, 2008.

BEZERRA, M.A.; ALMEIDA, J. C.; SOUZA, P. C. O aquífero Beberibe e as melhores áreas para captação de água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24 ., 1970, Brasília . *Anais...*Brasília:SBG, 1970. p.335-348.

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

BIGARELLA, J. J. ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). *Arquivos: Instituto de Ciências da Terra*, Recife, n.2, p.2-14, 1964.

BLANC, E. J. P.; BLANC-ALÉTRU, M. C.; MOJON, P. O. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in the uppermost Aptian to lowermost Albian transgressive deposits of the Chihuahua basin (Mexico). *Geologische Rundschau* Berlin, v.86, n.4, p.875-883. 1998.

BOSSI, G. E.; ROLIM, J. L.; ANDREIS, R. R. El Grupo Barreiras en el Noreste Brasileño. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 5., 1982, Buenos Aires. *Actas del Congreso...*Buenos Aires: International Union of Geological Science, 1982. v.1, p.173-190.

BRAMLETTE, M.N., The stability of minerals in sandstone. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.11, p32–36, 1941.

BRANNER, J. C. Geology of the northeast coast of Brazil. *Bulletin of the Geological Society of America*, New York, v.13, p.41-98, 1902.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Companhia de desenvolvimento de recursos minerais da Paraíba. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro S.A., 1982. 1 mapa, color. Escala 1: 500.000.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Organizado por SANTOS, E. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA JUNIOR J. M. F. *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba*. Recife: CPRM, 2002. 142p. +2 mapas. Escala 1:500.000.

BRASIL. Ministerio de Transporte. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. *Mapa multimodal Paraíba*. S.I. Consórcio Engemap – Engefoto, 2009. 1 mapa, color. Escala 1:500.000

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. The Tectonic History of the Borborema Province. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds) *Tectonic Evolution of the South American Continent*, Rio de Janeiro: 38th International Geological Congress, 2000. p.151-182.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, E. J. O "Sistema Pajeú-Paraíba" e o "Maciço" São José do Campestre no leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.31, p.173-184, 2001 a.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; VAN SCHMUS, W. R.; FERNANDEZ, T.M.G.; SOUZA, W.R. O Terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba ("Maciço Caldas-Brandão"). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.31, p. 185-194. 2001 b.

BRITO NEVES, B. B.; RICCOMINI, C.; FERNANDES, T. M. G.; SANT'ANNA, L. G. O sistema tafrogênico Terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico, *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.34., n.1, p.127-134, 2004.

BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; COUTINHO J. M. V, BEZERRA F. H. R. 2009. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e Estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). *Geologia USP*, São Paulo, v.9, n.2, p. 63-87, 2009.

CAMINHA, P.V. *A Carta de Pero Vaz de Caminha*: Reprodução fac-similar do manuscrito com leitura justalinear/ de Antônio Geraldo da Cunha, César Nardelli Cambraia, Heitor Megale. 2.ed. São Paulo: Humanitas/FFLCH/USP, 2001. 91p. (Série Diachronica: Fontes para a História da Língua Portuguesa, 1).

CAMPOS E SILVA, A. *O Grupo Barreiras na região de Natal*. Natal: Universidade Federal de Rio Grande do Norte, 1965. 4p. (Relatório comum, Geologia 1).

CAMPOS E SILVA, A. O grupo Barreiras e unidades correlatas no Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 4., 1968, Recife. *Atas do ...Recife*: SBG, 1968 p.21-22.

CHOQUETTE, P.W.; PRAY, L.C. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, USA, v. 54, n. 2, p. 207-250, 1970.

CORDOBA, V. C.; JARDIM DE SÁ, E. F.; SOUSA, D.C.; ANTUNES, A. F. Bacia Pernambuco Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.391-403, 2007a.

CORDOBA, V. C.; JARDIM DE SÁ, E. F.; SOUSA, D. C.; ANTUNES, A. F.; MATOS, R. M. D. Nova carta estratigráfica para a Bacia Pernambuco – Paraíba. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 22., 2007, Natal. *Atas...*Natal: Núcleo Nordeste da SBG, p.30. 2007b.

CORFU, F.; HANCHAR, J. M.; HOSKIN, P. W. O.; KINNY, P. Atlas of zircon textures. In: HANCHAR, J. M.; HOSKIN, P. W. O. *Reviews in mineralogy & geochemistry, Zircon*. Washington: The Mineralogical Society of America, 2003. v.53, p.469-500.

COSTA, J. B. S.; BORGES M. S.; BEMERGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA JUNIOR, P. S.; COSTA, M. L. Evolução Cenozóica da região de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. *Geociências*, São Paulo, 12, n.2, p.373-396, 1993.

COUTINHO, J. M. V.; COIMBRA, A. M. Os pesados do Barreiras na costa Oriental Brasileira: Estudo de áreas – fonte In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28.,1973. Porto Alegre. *Anais do...* Porto Alegre: SBG, 1973. P.27-41.

COUTINHO, J. M. V.; COIMBRA, A. M. *Tabela de identificação óptica de minerais transparentes em sedimentos*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de geociências, 2004. Manual (inéd) 18p.

DICKINSON, W. R. Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.40, n.2, p.695-707,1970.

DICKINSON, W. R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: ZUFFA, G.G. *Provenance of Arenites*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, p.333-361, 1985.

DICKINSON, W. R.; SUCZEK, C. A. Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, USA, v.63, p.2164-2182, 1979.

DILL, H.G. A review of heavy minerals in clastic sediments with case studies from the alluvial-fan through the nearshore-marine environments. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v.45, p.103-132, 1998.

DOTT, JR. R. H. Wacke, greywacke and matrix- what approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.34, n.3, p.625-632, 1964.

EBERT, H. 1970. The precambrian geology of the Borborema Belt (states of Paraíba and Rio Grande do Norte, northeastern Brazil), and origin of its mineral resources. *Geologische Rundschau*, Berlin, v.59, p.1299-1326.

ESTUDOS GEOLOGICOS – Serie B: Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco – Recife, v.10, 1991. ISSN 0080-0244.

EYNATTEN, V. H.; BARCELO-VIDAL, C.; PAWLOWSKY G. Composition and discrimination of sandstones: a statistical evaluation of different analytical methods. *Journal of Sedimentary Research*, Lawrence, v.73, n.1, p.47-57, 2003.

FERNADES, J. M. G.; QUADROS, M. L. E. S.; SOUSA JUNIOR, C. M.; BEZERRA, O. V. Considerações sobre a ocorrência de Ophiomorpha em sedimentos do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1992, Camboriú. *Anais...* Camboriú: SBG, 1992. p.497.

FERREIRA, M. G.; ALHEIROS M. M. Gênese de coberturas arenosas na faixa costeira Pernambuco – Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo *Boletim de resumos expandidos...* São Paulo: SBG, 1992. v.2, p.299-301.

FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary Rocks*. Austin: Hemphill Publishing Company, 1974. 184p.

GALEHOUSE, J. S. Counting grain mounts: number percentage vs number frequency *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.39, n.1-2, p.812-815, 1969.

GEOLOGIA USP - Série Científica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - São Paulo, v.6, n.2, Out/ 2006. Semestral. ISSN 1519-874X.

GIANNINI, P. C. F. Sistemas deposicionais no Quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imituba, SC. 1993. 439f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

GÓES, A. M. *Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão*. 1981. 55f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1981.

GOPINATH, T. R.; COSTA, C. R. S.; SOUSA JÚNIOR M. A. Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993 *Anais...*Natal: Núcleo Nordeste da SBG, 1993. p.47-48.

HUBERT, J. F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.32, p. 440-450, 1962.

INGERSOLL, R. V.; SUCZECK, C. A. Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.49, p.1217-1228, 1979.

INGERSOLL, R. V.; BULLARD, T. F.; FORD, R. L.; GRIMM, J. P.; PICKLE, J. D.; SARES, S. W. The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.54, n.1, p.103-116, 1984.

JOHNSSON, M. J. The system controlling the composition of clastic sediments. In: JOHNSSON, M. J.; BASU, A. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Boulder: Geological Society of America, 1993. 284, p.1-19 (Special Paper)

KEGEL, W. Geologia do Fosfato de Pernambuco. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n.157, 54p.1955.

KEGEL, W. Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n.170, 52p.1957.

LAMUS OCHOA, F. *Análisis de procedencia de la sucesión paleocena en el sector norte de la cuenca Cesar-Ranchería: implicaciones en los modelos tectónicos de la Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía de Perijá*. 2006. 20f. Trabajo de Grado - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

LEITE, F. P. R. *Palinofloras neógenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, área litorânea nordeste do Estado de Pará, Brasil*. 1997. 110f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LEITE, F. P. R.; OLIVEIRA, M. E. B.; ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W. Palinoestratigrafia da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, Mioceno do nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade de Guarulhos (Geociências)*, Guarulhos, 2, p.128-140.

LIMA FILHO, M. F. *Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco*. 1998. 139 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

LIMA FILHO, M. F.; SOUZA, E. M. Marco estratigráfico em arenitos calcíferos do Campaniano da Bacia Paraíba: estratigrafia e significado paleoambiental. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NORDESTE, 19., 2001. Natal. *Anais...Natal: Núcleo Nordeste da SBG*, 2001. v.1. p.87-88.

LIMA FILHO, M.; BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M. Eventos tectônicos e sedimentares nas bacias de Pernambuco e da Paraíba: Implicações no quebraamento do Gondwana e correlação com a Bacia do Rio Muni. *Geociências UNESP*, São Paulo, v.25, n.1, p.117-126, 2006.

MABESOONE, J. M.; CAMPOS-SILVA, A.; BUERLEN, K. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo v.2, p.173-188, 1972.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.18, n.4, p.476-482, 1988.

MABESOONE, J. M.; OLIVEIRA, L. D. D. Paleontologia Estratigráfica. *Estudos Geológicos. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte*, Recife. 10, p.105-109, 1991, (Série B).

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M.M. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. *Geologie en Mijnbouw*, Dordrecht, v.71, p.351-362, 1993.

MAGALHÃES, M. N; LIMA, A. C. P. *Noções de Probabilidade e Estatística*. 4ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.392p. (Acadêmica; 40).

MANDLY, B. F. J. *Multivariate statistical methods A Primer*. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1994. 215p.

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

MANGE, M. A.; DEWEY, J. F.; WRIGHT, D. T. Heavy minerals solve structural and stratigraphic problems in Ordovician strata of the western Irish Caledonides. *Geological Magazine*, Cambridge, v.140, p.25-30, 2003.

MANGE, M.A.; OTVOS, E.G. Gulf coastal plain evolution in West Louisiana: Heavy mineral provenance and Pleistocene alluvial chronology. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v.182, p.29-57, 2005.

MANGE, M. A.; DEWEY, J. F.; FLOYD, J. D. The origin, evolution and provenance of the Northern Belt (Ordovician) of the Southern Uplands Terrane, Scotland: a heavy mineral perspective. *Proceedings of the Geologist Association*, London, v.116, p.251-280, 2005.

MANGE-RAJETZKY, M. A. Subdivision and correlation of monotonous sandstone sequences using high resolution heavy mineral analysis, a case study: the Triassic of Central Graben. In: DUNAY, R.E.; HAILWOOD, E.A. *Non-biostratigraphical methods of dating and correlation*, Oxford: Geological Society Special Publication, 1995. v.89 p.23-30.

MATOSO, S. Q.; ROBERTSON, F. Uso geológico do termo "Barreiras". *Boletim Técnico da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.2, n.3, p.37-43, 1959.

MAURY, C. J. *O Cretáceo da Parahyba do Norte*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 1930. 305p. (Monographia n.VIII).

MCMANUS, J. Grain size determination and interpretation. In: TUCKER, M.E. *Techniques in sedimentology*. Oxford: Blackwell scientific publications, 1991. p.63-85.

MELLO, M. S.; SINFRÔNIO, E. A. S.; GIANNINI, P. C. F.; FACHINI, M.; VICTORINO, M. C. 2004. *Manual de procedimentos analíticos*. São Paulo, Laboratório de Sedimentologia, Instituto de Geociências da USP, Manual interno (inédito), 44p.

MILLIKEN, K.L. Loss of provenance information through subsurface diagenesis in Plio-Pleistocene sediments, northern Gulf of Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.58, p.992–1002, 1988.

MILLIKEN, K.L.; MACK, L.E., 1990. Subsurface dissolution of heavy minerals, Frio Formation sandstones of the ancestral Rio Grande, South Texas. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, 68, p.187–199.

MILLS, P. C. Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures- a review. *Sedimentary Geology* Amsterdam, v.35, p.83-104, 1983.

MORAES, L. J. Estudos Geológicos no Estado de Pernambuco. *Boletim Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, Rio de Janeiro, v.32, 102p., 1928.

MORAES, L. J. *Serras é Montanhas do Nordeste*. Rio de Janeiro, Ministério da Viação e Obras Públicas, Inspectoria Federal de Obras contra as Secas, 1924., v.2, 86p. (Série 1.D – Geologia, publicação 58)

MORAIS NETO, J. M. As formações Serra do Martins e Barreiras no nordeste da Paraíba: Implicações na idade do soerguimento do planalto da Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998. p.72.

MORTON, A.C.. Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones of the North Sea Basin. *Clay Minerals*, Twickenham, v.19, p.287–308, 1984.

MORTON, A. C. Heavy minerals in provenance studies. In: ZUFFA, G.G. *Provenance of Arenites*. USA: D. Reidel Publishing Company, 1985. p.249-277.

MORTON, A.C. Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research. In: MORTON, A. C.; TODD, S. P.; HAUGHTON, P. D. *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. London: Geological Society, 1991. 57 p.31-45. (Special Publication).

MORTON, A. C; TODD, S. P.; HAUGHTON, P. D. W. *Developments in sedimentary provenance studies*. London: Geological Society, 1991. 57. 370p. (Special Publication).

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

MORTON, A. C.; HURST, A. Correlation of sandstones using heavy minerals: an example from the Statfjord Formation of the Snorre Field, northern North Sea. In: DUNAY, R.E.; HAILWOOD, E.A. *Non-biostratigraphical methods of dating and correlation*, Oxford. Geological Society Special Publication, 1995. v.89 , p.3–22.

MORTON, A. C.; GRANT, S. Cretaceous depositional systems in the Norwegian Sea: heavy minerals constraints. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* USA, v.82, p.274-290, 1998.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v.124, p.3-29, 1999.

MUNIZ, G. C. B. *Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil*. Recife: Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, 1993. 202 p. (Publicação Especial, 1).

NESSE, W.D. *Introduction to optical mineralogy*. 2th ed. New York: Oxford University press, 1991. 335p.

NICKEL, E., Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastratal solution. *Contributions Sedimentology*, 1, p.1–68, 1973.

NOBREGA, V. A.; ALHEIROS, M. M. Petrografia do Arenito Beberibe, Bacia Pernambuco-Paraíba. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14.,1991, Recife. *Atas...Recife: Núcleo Nordeste SBG*, 1991. Boletim 12, p.75-77.

OLIVEIRA, A. I. *História de Pesquisa de Petróleo no Brasil*. Rio de Janeiro: Ministerio de Agricultura, 1940. 15, 208p.

OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. *Geologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: Servicio de informação agrícola. Ministério de Agricultura, 1943. 813p.

OLIVEIRA, P. E.; RAMOS, J. R. A. Contribuição à geologia do município de Olinda, Pernambuco. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n.138, 34p.,1951.

OLIVEIRA, P. E.; RAMOS, J. R. A. Geologia das quadrículas de Recife e Ponta de Pedra. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n.151, 60p.,1956.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo,1983. 631p.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. *Sand and Sandstone*. New York: Springer-Verlag, 1972 p.383-437

POWERS, M.C. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.23, n.2, p.117-119, 1953.

RITTENHOUSE, G. The transportation and deposition of heavy minerals. *Bulletin of the Geological Society of America*, New York, v.54, p.1725-1780, 1943.

ROSSETTI, D. F. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v.133, p.295-324, 2000.

ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, Amsterdam, v.14, p. 77-89, 2001.

ROSSETTI, D. F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v.169, p.151-174, 2004.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, Nordeste de Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, v.1, n.1, p.25-74, 1989.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, v.2, p. 17-29, 1990. (Série Ciências da Terra).

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Imaging Upper Tertiary to Quaternary deposits from northern Brazil applying ground penetrating radar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo v.31, p.195-202, 2001.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; SOUZA, L. S. B. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (zona bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro v.19, p.113-130, 2001.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Deformação sin-sedimentar quaternária no nordeste do Brasil e sua implicação estratigráfica. In: Congresso da ABEQUA, 11. 2007. Belem. CD ROM.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M. Correlação estratigráfica de "Formação Barreiras" no nordeste e norte do Brasil. In: Congresso da ABEQUA, 11., 2007. Belem. CD ROM.

RUBEY, W. W. The size distribution of heavy minerals within a water-lain sandstone. *Journal of Sedimentary Petrology*, Lawrence, v.3, p.3-29, 1933.

SÁ, J. H. S. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina. *Boletim Instituto Geológico*, Rio de Janeiro, 3, p.21-36, 1969.

SALIM, J.; SOUZA, C. J.; MUNIZ, G. C. B.; LIMA, M. R. Novos subsídios para a elucidação do episódio "Barreiras" no Rio Grande do Norte. In: SIMPOSIO DE GEOGRAFIA, 7., 1975, Fortaleza. *Atas do Simpósio...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Geografia, 1975. p.149-158.

SCHMIDT, V.; MCDONALD, D. A. The role of secondary porosity, in the course of sandstone diagenesis. In: SCHOLLE, P. A.; SCHLEGER. *Aspects of diagenesis*. Oklahoma: Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, 1979. p.175-207. Special publication N°26.

SHIMABUKURO, S.; ARAI, M. A transgressão marinha miocênica no Brasil: considerações baseadas no estudo do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.71, n.1, p.144, 1999

SHIMABUKURO, S.; ARAI, M. The Tortonian unconformity: its relation to the stratigraphic framework of the Barreiras Group (Brazilian coastal Cenozoic deposits). In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. *Abstracts...* Rio de Janeiro: CPRM, 2000. (1 CD-ROM).

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

SOUZA, E. M. *Estratigrafia da seqüência clástica inferior (andares coniaciano-maastrichtiano inferior) da Bacia da Paraíba e suas implicações paleoestratigráficas*. 2006. 351f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SVENDSEN, J. B.; HARTLEY, N. R. Synthetic heavy mineral stratigraphy: applications and limitations. *Marine and Petroleum Geology*, Exeter, v.19, p.389-405, 2002.

TINOCO, I. M. Micropaleontologia da Faixa Sedimentar Costeira Recife-João Pessoa. *Boletim Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.16, n.1, p.81-85, 1967.

TINOCO, I. M. *Foraminíferos e a passagem entre o Cretáceo e o Terciário em Pernambuco*. 1971. 147f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1971.

TRÖGER, W. E. *Optical determination of rock-forming minerals. Part 1 Determinative Tables*, 4th ed. Stuttgart: E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, 1979. 188 p.

TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C. R.; GÓES, A. M.; ARAI, M. Conteúdo fossilífero e estruturas sedimentares nos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos...* Belém: SBG, 1994. v. 3, p. 210-211

VAN DER PLAS, L.; TOBI, A. C. A chart for judging the reliability of point counting results. - *American Journal of Science*, New Haven v.263, n.1, p.87-90, 1965.

VAN SCHMUS, W. R.; OLIVEIRA E. P.; SILVA FILHO, A. F.; TOTEU.; PENAYE, J.; GUIMARÃES I. P. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and Central African Fold Belt. In: PANKHURST, R. J.; TROUW, R. A. J.; BRITO NEVES, B. B.; WIT, M. J.(eds). *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic Region*. London: Geological Society, 2008. p.69-99. (Special Publications, 249).

VIANNA C. F.; GAMA JUNIOR, E. G.; SIMÕES I. A.; MOURA, J. A.; FONSECA, J. R.; ALVES, R. J. Revisão estratigráfica da bacia Recôncavo/Tucano. *Boletim Técnico da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.14, n.3, p.157-192, 1971.

WELTJE, J. G. EYNATTEN, V. H. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v.171, p.1-11, 2004.

YAALON, D. H.; FRANZLE, O. Working group on rock weathering, soils and sedimentary structures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE QUATERNARY, 1975, Curitiba. *Boletim Paranaense de Geociências*: Universidade Federal do Paraná, 1975. 33, p.355-356.

ZUFFA, G. G. Optical analyses of arenites: Influence of methodology on compositional results. In: ZUFFA, G.G. *Provenance of Arenites*. USA: D. Reidel Publishing Company, 1985. p.165-189.

ANEXOS

Anexo A:	Parâmetros granulométricos dos arenitos da Formação Barreiras, dos depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em superfície.....	155
Anexo B:	Parâmetros granulométricos dos arenitos das formações Beberibe, Itamaracá, Barreiras e dos depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em subsuperfície.....	159
Anexo C:	Proporções em massa da mineralogia acessória da Formação Barreiras, e os depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em amostras de superfície.....	160
Anexo D:	Proporções em massa da mineralogia acessória dos arenitos Beberibe, Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I e II no poço FJP.....	163
Anexo E:	Minerais pesados transparentes não micáceos da Formação Barreiras, dos depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em superfície.....	164
Anexo F:	Resultados tabelizados das contagens de arredondamento e morfologias de zircão, turmalina e cianita da mineralogia acessória, para amostras de superfície e subsuperfície.....	168
Anexo G:	Tabela resumida de resultados petrográficos.....	175
Anexo H:	Tipos de grãos presentes na Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras I e tipos de material argiloso presente.....	176
Anexo I:	Componentes diagenéticos na Formação Barreiras.....	183

ANEXO A: Parâmetros granulométricos dos arenitos da Formação Barreiras, dos depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em superfície.

BARREIRAS	DIÂMETRO MÉDIO		CLASSE TEXTURAL	DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
	Φ	mm			
PB 002-4	3,91	0,07	areia muito fina	3,69	pobrementemente selecionado
PB 002-5	5,32	0,02	areia muito fina	3,03	pobrementemente selecionado
PB 036-2	4,3	0,05	areia muito fina	3,21	pobrementemente selecionado
PB 045-3	4,22	0,05	areia muito fina	3,48	pobrementemente selecionado
PB 056-2	3,96	0,06	areia muito fina	3,76	pobrementemente selecionado
PB 060-3	5,8	0,02	areia muito fina	3,46	pobrementemente selecionado
PB 062-1	3,14	0,11	areia fina	3,68	pobrementemente selecionado
PB 064-1	3,87	0,07	areia muito fina	3,48	pobrementemente selecionado
PB 066-2	3,93	0,07	areia muito fina	3,83	pobrementemente selecionado
PB 067-4	1,64	0,32	areia média	1,11	pobrementemente selecionado
PB 067-5	1,42	0,37	areia média	1,38	pobrementemente selecionado
PB 067-6	1,25	0,42	areia média	1,24	pobrementemente selecionado
PB 069-2	5,9	0,02	areia muito fina	2,9	pobrementemente selecionado
PB 069-3	3,31	0,1	areia muito fina	3,26	pobrementemente selecionado
PB 069-4	3,04	0,12	areia fina	3,53	pobrementemente selecionado
PB 071-5	3,88	0,07	areia muito fina	2,95	pobrementemente selecionado
PB 080-1	3,17	0,11	areia fina	2,75	pobrementemente selecionado
PB 080-3	3,21	0,11	areia fina	3,06	pobrementemente selecionado
PB 080-4	2,12	0,23	areia média	3,09	pobrementemente selecionado
PB 080-5	2,26	0,21	areia fina	2,42	pobrementemente selecionado
PB 082-2	2,82	0,14	areia fina	0,75	moderadamente selecionado
PB 098-2	3,36	0,1	areia muito fina	3,61	pobrementemente selecionado
PB 103-2	4,45	0,05	areia muito fina	3,79	pobrementemente selecionado
PB 104-1	3,1	0,12	areia fina	2,89	pobrementemente selecionado
PB 107-1	4,69	0,04	areia muito fina	3,72	pobrementemente selecionado
PB 108-4A	3,12	0,12	areia fina	2,77	pobrementemente selecionado
PB 108-4B	5,51	0,02	areia muito fina	3,27	pobrementemente selecionado
PB 111-1	2,24	0,21	areia média	2,84	pobrementemente selecionado
PB 112-1	2,78	0,15	areia fina	2,84	pobrementemente selecionado
PB 113-9	4,35	0,05	areia muito fina	2,87	pobrementemente selecionado
PB 114-1	3,43	0,09	areia muito fina	2,71	pobrementemente selecionado
PB 117-3	2,58	0,17	areia fina	3,18	pobrementemente selecionado
PB 119-1	2,07	0,24	areia média	1,92	pobrementemente selecionado
PB 135-1	4,22	0,05	areia muito fina	2,95	pobrementemente selecionado
PB 140-1	5,26	0,03	areia muito fina	3,46	pobrementemente selecionado
PB 141-1	4,17	0,06	areia muito fina	3,59	pobrementemente selecionado
PB 141-2	4,91	0,03	areia muito fina	3,39	pobrementemente selecionado

PB 144-1	3,13	0,11	areia fina	2,6	pobremente selecionado
PB 159-1	2,69	0,16	areia fina	2,78	pobremente selecionado
PB 160-2	3,94	0,07	areia muito fina	3,14	pobremente selecionado
PB 161A-1	3,81	0,07	areia muito fina	3,32	pobremente selecionado
média	3,60	0,08	areia muito fina	2,95	pobremente selecionado

PÓS-BARREIRAS I	DIÂMETRO MÉDIO Φ	DIÂMETRO MÉDIO Mm	CLASSE TEXTURAL	DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
PB 003-2	2,26	0,21	areia fina	0,99	moderadamente selecionado
PB 006-1	3,42	0,09	areia muito fina	3,8	pobremente selecionado
PB 006-2	3,6	0,08	areia muito fina	3,42	pobremente selecionado
PB 015-1	5,16	0,03	areia muito fina	3,29	pobremente selecionado
PB 056-3	4,73	0,04	areia muito fina	3,55	pobremente selecionado
PB 059-3	6,34	0,01	areia muito fina	3,32	pobremente selecionado
PB 059-4	4,95	0,03	areia muito fina	3,88	pobremente selecionado
PB 062-3	4,27	0,05	areia muito fina	3,33	pobremente selecionado
PB 063-1	3,19	0,11	areia fina	3,07	pobremente selecionado
PB 063-2	4,58	0,04	areia muito fina	0,98	moderadamente selecionado
PB 064-3	3,6	0,08	areia muito fina	3,32	pobremente selecionado
PB 064-5	3,18	0,11	areia fina	3,39	pobremente selecionado
PB 064-6	3,65	0,08	areia muito fina	3,27	pobremente selecionado
PB 064-7	4,77	0,04	areia muito fina	3,58	pobremente selecionado
PB 067-7	1,52	0,35	areia média	1,29	pobremente selecionado
PB 067-8	1,66	0,32	areia média	1,2	pobremente selecionado
PB 068-1	1,48	0,36	areia média	1,26	pobremente selecionado
PB 070-1	1,59	0,33	areia média	1,14	pobremente selecionado
PB 071-1	1,44	0,37	areia média	2,61	pobremente selecionado
PB 071-2	3,95	0,06	areia muito fina	3,41	pobremente selecionado
PB 072-1	4,07	0,06	areia muito fina	3,44	pobremente selecionado
PB 079-2	4,8	0,04	areia muito fina	3,6	pobremente selecionado
PB 080-6	2,86	0,14	areia fina	2,94	pobremente selecionado
PB 081-1	1,51	0,35	areia média	1,28	pobremente selecionado
PB 082-7	1,42	0,37	areia média	1,21	pobremente selecionado
PB 082-8	1,92	0,26	areia média	1,18	pobremente selecionado
PB 082-9	1,8	0,29	areia média	0,92	moderadamente selecionado
PB 087-1	6,44	0,01	areia muito fina	2,14	pobremente selecionado
PB 090-2	2,26	0,21	areia fina	1,14	pobremente selecionado
PB 090-5	3,02	0,12	areia fina	3,7	pobremente selecionado
PB 090-6	3,81	0,07	areia muito fina	3,48	pobremente selecionado

PB 091-1	3,65	0,08	areia muito fina	3,54	pobrementemente selecionado
PB 092-1	3,18	0,11	areia fina	3,43	pobrementemente selecionado
PB 094-1	2,86	0,14	areia fina	3,44	pobrementemente selecionado
PB 099-4	4,46	0,05	areia muito fina	1,29	pobrementemente selecionado
PB 099-5	2,74	0,15	areia fina	1,2	pobrementemente selecionado
PB 100-5	3,66	0,08	areia muito fina	1,26	pobrementemente selecionado
PB 100-6	2,72	0,15	areia fina	2,42	pobrementemente selecionado
PB 102-7	4,65	0,04	areia muito fina	3,34	pobrementemente selecionado
PB 103-1	2,75	0,15	areia fina	3,25	pobrementemente selecionado
PB 107-2	2,92	0,13	areia fina	1,14	pobrementemente selecionado
PB 108-5	3,4	0,09	areia muito fina	3,43	pobrementemente selecionado
PB 108-6	3,27	0,1	areia muito fina	3,21	pobrementemente selecionado
PB 109-1	3,79	0,07	areia muito fina	1,11	pobrementemente selecionado
PB 110-1	4,4	0,05	areia muito fina	1,28	pobrementemente selecionado
PB 113-1	6,77	0,01	areia muito fina	2,58	pobrementemente selecionado
PB 113-3	4,38	0,05	areia muito fina	3,53	pobrementemente selecionado
PB 113-4	5,8	0,02	areia muito fina	3,46	pobrementemente selecionado
PB 113-8	3,84	0,07	areia muito fina	3,4	pobrementemente selecionado
PB 116-2	2,41	0,19	areia fina	3,27	pobrementemente selecionado
PB 117-4	3,28	0,1	areia muito fina	2,9	pobrementemente selecionado
PB 119-3	4,61	0,04	areia muito fina	3	pobrementemente selecionado
PB 119-6	4,96	0,03	areia muito fina	2,61	pobrementemente selecionado
PB 126-2	1,39	0,38	areia média	3,07	pobrementemente selecionado
PB 128-1	4,64	0,04	areia muito fina	3,52	pobrementemente selecionado
PB 128-2	3,76	0,07	areia muito fina	3,42	pobrementemente selecionado
PB 129-1A	6,07	0,01	areia muito fina	2,73	pobrementemente selecionado
PB 139-1	4,44	0,05	areia muito fina	3,18	pobrementemente selecionado
PB 144-3	4,85	0,03	areia muito fina	3,32	pobrementemente selecionado
PB 156-2	3,82	0,07	areia muito fina	2,98	pobrementemente selecionado
PB 159-2	2,05	0,24	areia média	3,23	pobrementemente selecionado
PB 159-3	3,87	0,07	areia muito fina	3,54	pobrementemente selecionado
PB 159-4	3,85	0,07	areia muito fina	3,43	pobrementemente selecionado
PB 160-3	3,94	0,07	areia muito fina	3,16	pobrementemente selecionado
PB 160-4	4,48	0,04	areia muito fina	3,55	pobrementemente selecionado
PB 161A-3	5,35	0,02	areia muito fina	2,72	pobrementemente selecionado
Média	3,62	0,08	areia muito fina	2,72	pobrementemente selecionado

PÓS-BARREIRAS II	DIÂMETRO MÉDIO Φ	DIÂMETRO MÉDIO Mm	CLASSE TEXTURAL	DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
PB 003-1	3,26	0,1	areia muito fina	3,19	pobrememente selecionado
PB 003-3	1,33	0,40	areia média	1,06	pobrememente selecionado
PB 059-5	2,24	0,21	areia média	2,89	pobrememente selecionado
PB 070-2	1,63	0,32	areia média	1,03	pobrememente selecionado
PB 081-2	1,63	0,32	areia média	1,70	pobrememente selecionado
PB 116-3	1,74	0,30	areia média	1,36	pobrememente selecionado
PB 121-1	1,49	0,36	areia média	2,69	pobrememente selecionado
Média	1,90	0,27	areia média	1,99	pobrememente selecionado

ANEXO B: Parâmetros granulométricos dos arenitos das formações Beberibe, Itamaracá, Barreiras e dos depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em subsuperfície.

AMOSTRA	UNIDADE	DIÂMETRO MÉDIO ϕ	DIÂMETRO MÉDIO mm	CLASSE TEXTURAL	DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
FJP-01	PÓS-BARREIRAS II	2,23	0,21	areia média	2,41	pobrementemente selecionado
FJP-02	PÓS-BARREIRAS I	1,76	0,30	areia média	2,85	pobrementemente selecionado
FJP-03	PÓS-BARREIRAS I	1,09	0,47	areia grossa	2,85	pobrementemente selecionado
	Média	1,42	0,37	areia média	2,85	pobrementemente selecionado
FJP-04	BARREIRAS	2,22	0,21	areia média	3,37	pobrementemente selecionado
FJP-06	BARREIRAS	1,06	0,48	areia grossa	2,87	pobrementemente selecionado
FJP-14	BARREIRAS	1,64	0,32	areia média	3,10	pobrementemente selecionado
FJP-16	BARREIRAS	2,14	0,23	areia média	3,02	pobrementemente selecionado
FJP-18	BARREIRAS	1,68	0,31	areia média	3,07	pobrementemente selecionado
FJP-24	BARREIRAS	3,39	0,10	areia muito fina	3,18	pobrementemente selecionado
FJP-27	BARREIRAS	4,01	0,06	areia muito fina	3,38	pobrementemente selecionado
	Média	2,31	0,20	areia fina	3,14	pobrementemente selecionado
FJP-31	ITAMARACÁ	5,00	0,03	areia muito fina	3,00	pobrementemente selecionado
FJP-33	ITAMARACÁ	4,79	0,04	areia muito fina	2,93	pobrementemente selecionado
	Média	4,90	0,03	areia muito fina	2,97	pobrementemente selecionado
FJP-34	BEBERIBE	3,03	0,12	areia fina	3,18	pobrementemente selecionado
FJP-35	BEBERIBE	0,67	0,63	areia grossa	1,16	pobrementemente selecionado
FJP-36	BEBERIBE	0,15	0,90	areia muito grossa	1,15	pobrementemente selecionado
FJP-38	BEBERIBE	1,08	0,47	areia grossa	1,97	pobrementemente selecionado
FJP-39	BEBERIBE	1,75	0,30	areia média	2,46	pobrementemente selecionado
FJP-41	BEBERIBE	1,02	0,49	areia grossa	2,18	pobrementemente selecionado
FJP-44	BEBERIBE	0,48	0,72	areia grossa	0,75	moderadamente selecionado
FJP-46	BEBERIBE	0,50	0,71	areia grossa	1,20	pobrementemente selecionado
	Média	1,09	0,47	areia grossa	1,76	pobrementemente selecionado

ANEXO C: Proporções em massa da mineralogia acessória da Formação Barreiras, e os depósitos Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II em amostras de superfície

Barreiras	Proporção em massa na fração AMF de MP(%)	Proporção em massa da fração AMF no total (%)	Proporção em massa de MP no total (%)
PB 002-4	1,8	3,2	0,1
PB 002-5	2,1	11,2	0,2
PB 036-2	2,9	5,1	0,2
PB 045-3	2,1	9,3	0,2
PB 056-2	1,9	8,2	0,2
PB 060-3	1,2	6,9	0,1
PB 062-1	0,7	2,9	0,0
PB 064-1	0,5	6,7	0,0
PB 066-2	5,7	1,9	0,1
PB 067-4	1,9	4,9	0,1
PB 067-5	50,6	9,7	4,9
PB 067-6	1,8	5,3	0,1
PB 069-2	4,0	16,3	0,7
PB 069-3	2,2	4,0	0,1
PB 069-4	4,6	1,7	0,1
PB 071-5	1,5	4,0	0,1
PB 080-1	1,0	7,2	0,1
PB 080-3	1,4	7,1	0,1
PB 080-4	1,7	6,9	0,1
PB 080-5	5,2	4,2	0,2
PB 082-2	5,7	19,7	1,1
PB 098-2	24,0	5,0	1,2
PB 103-2	12,4	6,5	0,8
PB 104-1	4,3	3,9	0,2
PB 107-1	2,0	4,2	0,1
PB 108-4A	3,1	3,2	0,1
PB 108-4B	1,5	11,8	0,2
PB 111-1	2,5	7,8	0,2
PB 112-1	2,6	6,0	0,2
PB 113-9	4,3	8,1	0,3
PB 114-1	1,1	8,9	0,1
PB 117-3	4,6	4,3	0,2
PB 119-1	1,7	3,1	0,1
PB 135-1	2,5	3,1	0,4
PB 140-1	0,7	6,1	0,0
PB 141-1	0,7	6,2	0,4
PB 141-2	1,0	10,9	0,4
PB 144-1	17,9	4,7	0,8

PB 159-1	0,6	4,5	0,0
PB 160-2	1,5	12,5	0,2
PB 161A-3	0,2	33,6	0,1
Média	4,6	7,3	0,4

Pós-Barreiras I	Proporção em massa na fração AMF de MP(%)	Proporção em massa da fração AMF no total (%)	Proporção em massa de MP no total (%)
PB 003-2	1,4	10,7	0,1
PB 006-1	2,5	6,2	0,2
PB 006-2	1,8	8,1	0,1
PB 015-1	0,9	5,7	0,1
PB 056-3	1,9	9,6	0,2
PB 059-3	2,1	4,9	0,1
PB 059-4	1,8	4,7	0,1
PB 062-3	0,7	2,4	0,0
PB 063-1	18,5	0,5	0,1
PB 063-2	4,1	6,2	0,3
PB 064-3	3,2	6,0	0,2
PB 064-5	1,5	7,5	0,1
PB 064-6	1,6	8,2	0,1
PB 064-7	1,9	7,2	0,1
PB 067-7	7,2	6,5	0,5
PB 067-8	4,9	7,7	0,4
PB 068-1	2,8	8,6	0,2
PB 070-1	3,4	7,8	0,3
PB 071-1	2,3	4,7	0,1
PB 071-2	1,6	5,2	0,1
PB 072-1	2,2	8,8	0,2
PB 079-2	0,8	4,9	0,0
PB 080-6	1,1	5,4	0,1
PB 081-1	1,4	5,5	0,1
PB 082-7	3,5	7,5	0,3
PB 082-8	2,3	9,9	0,2
PB 082-9	1,4	8,6	0,1
PB 087-1	0,4	8,2	0,0
PB 090-2	9,9	3,6	0,4
PB 090-5	2,2	3,2	0,1
PB 090-6	2,2	8,8	0,2
PB 091-1	2,1	2,3	0,0
PB 092-1	3,8	5,0	0,2
PB 094-1	2,8	2,5	0,1
PB 099-4	1,7	7,2	0,1
PB 099-5	0,2	6,9	0,0

PB 100-5	0,9	9,4	0,1
PB 100-6	1,1	11,2	0,1
PB 102-7	1,0	17,1	0,2
PB 103-1	2,6	11,6	0,3
PB 107-2	15,2	8,7	1,3
PB 108-5	2,8	8,1	0,2
PB 108-6	2,0	7,7	0,2
PB 109-1	1,6	5,8	0,1
PB 110-1	2,4	5,9	0,1
PB 113-1	1,6	4,0	0,1
PB 113-3	2,4	8,2	0,2
PB 113-4	3,7	4,4	0,2
PB 113-8	5,0	4,5	0,2
PB 116-2	1,7	8,2	0,1
PB 117-4	1,5	6,2	0,1
PB 119-3	4,5	12,2	0,5
PB 119-6	15,5	14,7	2,3
PB 126-2	1,3	3,7	0,0
PB 128-1	2,4	5,8	0,1
PB 128-2	2,1	7,0	0,1
PB 129-1A	2,6	3,9	0,1
PB 139-1	0,4	8,2	0,0
PB 144-3	2,8	7,4	0,2
PB 156-2	0,7	7,6	0,1
PB 159-2	0,6	2,6	0,0
PB 159-3	0,9	7,1	0,1
PB 159-4	1,3	7,2	0,1
PB 160-3	1,4	10,7	0,2
PB 160-4	1,7	5,4	0,1
PB 161A-1A	1,8	8,2	0,1
Média	2,9	7,0	0,2

Pós-Barreiras II	Proporção em massa na fração AMF de MP(%)	Proporção em massa da fração AMF no total (%)	Proporção em massa de MP no total (%)
PB 003-1	1,4	7,2	0,1
PB 003-3	6,2	6,2	0,4
PB 059-5	2,2	8,7	0,2
PB 070-2	5,5	9,4	0,5
PB 081-2	2,4	8,3	0,2
PB 116-3	1,6	9,4	0,1
PB 121-1	1,5	8,0	0,1
Média	3,0	8,2	0,2

Anexo D: Proporções em massa da mineralogia acessória dos arenitos Beberibe, Itamaracá, Barreiras e Pós-Barreiras I e II no poço FJP

Amostra	Proporção em massa na fração AMF de MP(%)	Proporção em massa da fração AMF no total (%)	Proporção em massa de MP no total (%)
FJP-01	4,45	1,59	0,07
FJP-02	0,91	2,60	0,02
FJP-03	1,98	1,52	0,03
Média	1,44	2,06	0,03
FJP-04	0,84	4,37	0,04
FJP-06	0,66	2,72	0,02
FJP-14	1,08	2,55	0,03
FJP-16	1,21	5,18	0,06
FJP-18	1,28	3,17	0,04
FJP-24	0,70	8,36	0,06
FJP-27	0,66	6,15	0,04
Média	0,92	4,64	0,04
FJP-31	0,62	6,33	0,04
FJP-33	4,65	12,30	0,57
Média	2,64	9,31	0,31
FJP-34	2,04	0,75	0,02
FJP-35	1,78	3,78	0,07
FJP-36	0,62	1,73	0,01
FJP-38	0,88	1,60	0,01
FJP-39	0,61	1,70	0,01
FJP-41	1,03	1,47	0,02
FJP-44	0,92	2,92	0,03
FJP-46	1,62	2,04	0,03
Média	1,19	2,00	0,02

Anexo E: Minerais pesados transparentes não micáceos da Formação Barreiras em superfície

Barreiras	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr
PB 002-4	19	2	3	0	4	tra	0	11	59	2	72	12	29
PB 002-5	19	3	6	0	0	0	0	7	61	4	72	15	36
PB 036-2	4	tra	0	tra	0	0	0	31	63	2	96	6	27
PB 045-3	4	5	0	0	17	0	0	56	16	2	74	26	57
PB 056-2	13	tra	0	1	0	1	7	30	46	2	78	6	21
PB 060-3	7	1	0	0	0	0	1	7	80	4	91	7	32
PB 062-1	35	2	0	tra	tra	0	0	36	25	2	63	6	35
PB 064-1	4	2	8	2	2	0	0	22	54	6	82	15	55
PB 066-2	12	3	1	0	3	0	0	12	65	4	81	8	38
PB 067-4	20	1	1	0	0	0	0	20	52	6	78	21	23
PB 067-5	14	tra	2	tra	tra	0	0	10	69	5	84	18	20
PB 067-6	19	1	3	tra	tra	0	0	9	59	9	77	21	32
PB 069-2	6	tra	1	0	tra	0	0	23	65	5	93	9	25
PB 069-3	6	2	0	1	1	0	0	22	65	3	90	5	26
PB 069-4	7	1	tra	1	tra	0	0	18	71	2	91	6	23
PB 071-5	3	4	0	tra	0	0	0	45	44	4	93	15	45
PB 080-1	10	2	tra	1	0	0	0	13	66	8	87	12	41
PB 080-3	7	tra	0	0	tra	0	tra	22	66	5	93	9	33
PB 080-4	7	2	2	0	tra	0	0	11	73	5	89	11	36
PB 080-5	6	1	tra	0	0	tra	0	6	83	4	93	4	39
PB 082 -3	4	4	1	5	0	0	0	39	44	3	86	11	76
PB 098-2	26	9	2	6	0	0	1	29	22	5	56	20	37
PB 103-2	2	10	3	3	5	0	0	27	45	5	77	11	37
PB 104-1	14	2	1	tra	0	0	0	30	52	1	83	9	29
PB 107-1	7	1	1	0	0	0	0	18	70	3	91	3	22
PB 108-4A	5	10	10	6	0	tra	0	40	27	2	69	15	38
PB 108-4B	2	9	11	6	tra	0	0	50	20	2	72	15	40
PB 111-1	6	2	0	1	0	0	0	26	63	2	91	7	41
PB 112-1	6	7	8	4	0	0	0	38	34	3	75	15	29
PB 113-9	3	5	13	7	0	0	0	21	49	2	72	7	39
PB 114-1	28	2	3	1	0	0	0	28	36	2	66	10	33
PB 117-3	6	1	1	tra	0	0	0	11	79	2	92	3	31
PB 119-1	8	7	10	3	0	0	0	24	43	5	72	9	32
PB 135-1	2	0	4	2	0	0	2	7	82	1	90	1	36
PB 140-1	32	0	1	0	0	0	14	4	36	13	53	23	4
PB 141-1	13	0	1	0	0	1	21	25	33	6	64	15	51
PB 141-2	12	1	3	1	0	0	12	19	45	7	71	18	45
PB 144-1	1	3	1	0	0	0	0	8	82	6	96	2	36
PB 159-1	3	2	1	4	0	0	2	31	54	5	89	7	23
PB 160-2	6	5	2	3	0	0	0	34	48	4	86	10	51

PB 161A-3	8	2	0	0	0	0	0	10	75	5	90	8	52
média	10	3	3	1	1	1	0	23	54	4	81	11	35

Cia: cianita; **Est:** estauroлита; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo, **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos; tra: traços

Pós-Barreiras I	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr
PB 003-2	27	4	tra	1	0	0	tra	26	39	3	68	14	54
PB 006-1	11	2	2	1	2	0	1	21	54	6	81	14	39
PB 006-2	14	1	0	0	0	0	0	10	67	8	85	10	41
PB 015-1	14	1	0	0	0	0	0	12	68	5	85	5	32
PB 056-3	3	1	1	0	0	0	0	14	76	5	95	5	13
PB 059-3	14	1	2	tra	0	0	0	25	53	5	83	11	38
PB 059-4	11	2	3	2	2	1	1	12	60	6	78	9	30
PB 062-3	11	tra	0	tra	tra	0	0	20	66	3	89	3	47
PB 063-1	2	1	tra	0	tra	0	0	12	83	2	97	3	69
PB 063-2	10	3	1	0	1	tra	0	21	61	3	85	8	28
PB 064-3	15	1	1	1	1	0	1	29	48	3	80	14	31
PB 064-5	15	1	3	4	1	tra	1	26	45	4	75	13	33
PB 064-6	5	5	4	9	tra	0	2	37	37	1	75	8	42
PB 064-7	13	4	4	1	3	0	0	19	48	8	75	10	46
PB 067-7	12	2	1	1	tra	0	0	23	56	5	84	13	30
PB 067-8	14	3	1	1	0	0	0	28	51	2	81	17	28
PB 068-1	3	1	1	1	0	0	0	6	81	7	94	12	47
PB 070-1	3	6	3	4	0	0	0	36	45	3	84	10	45
PB 071-1	12	1	5	1	0	0	0	27	49	5	81	8	39
PB 071-2	3	7	6	2	0	0	2	46	30	4	80	9	44
PB 072-1	3	0	0	1	0	0	0	10	84	2	96	3	17
PB 079-2	4	5	0	0	0	0	0	14	70	7	91	5	12
PB 080-6	8	1	2	0	0	0	0	11	75	3	89	8	22
PB 081-1	3	6	2	1	0	0	0	18	64	8	90	9	34
PB 082-7	5	4	2	4	0	0	0	44	38	3	85	22	69
PB 082-8	7	6	2	1	0	0	0	63	20	1	84	22	78
PB 082-9	8	7	3	2	0	0	0	53	25	2	80	18	70
PB 087-1	tra	1	1	0	0	1	0	21	76	Tra	97	1	32
PB 090-2	6	1	1	1	0	0	0	25	62	4	91	11	29
PB 090-5	15	1	3	2	0	0	4	20	47	8	75	10	19
PB 090-6	13	1	2	5	0	0	6	35	35	3	73	4	31
PB 091-1	7	5	4	2	0	0	0	15	59	8	82	7	42
PB 092-1	9	1	tra	tra	0	0	0	45	43	2	90	8	40
PB 094-1	24	2	1	tra	0	0	0	37	34	2	73	7	48

PB 099-4	2	3	3	tra	0	0	0	11	76	5	92	7	33
PB 099-5	5	4	3	1	0	0	1	19	60	7	86	10	3
PB 100-5	3	10	1	2	0	0	1	16	65	4	85	14	33
PB 100-6	3	8	6	0	0	0	0	21	56	6	83	12	35
PB 102-7	1	17	2	0	0	0	0	34	45	1	80	5	46
PB 103-1	3	15	4	tra	0	0	0	20	51	7	78	16	42
PB 107-2	3	2	tra	2	0	0	0	17	71	5	93	9	35
PB 108-5	5	6	9	9	0	0	tra	39	28	4	71	12	38
PB 108-6	3	7	6	7	1	tra	0	43	29	4	76	9	38
PB 109-1	3	0	0	0	0	0	0	11	84	2	97	6	17
PB 110-1	2	4	1	1	0	0	0	9	79	4	92	7	40
PB 113-1	2	5	9	tra	0	0	0	45	37	2	84	7	56
PB 113-3	4	5	5	0	0	0	0	38	44	4	86	3	52
PB 113-4	2	5	tra	tra	0	0	0	22	65	6	93	5	33
PB 113-8	7	9	0	2	0	0	0	48	28	6	82	8	43
PB 116-2	7	tra	1	0	0	0	0	12	70	10	92	10	33
PB 117-4	4	1	0	5	0	0	0	7	75	8	90	2	29
PB 119-3	22	1	4	tra	tra	0	0	32	35	6	73	15	37
PB 119-6	19	2	2	tra	0	0	1	28	35	13	76	29	33
PB 126-2	2	3	2	1	0	0	0	12	77	6	94	4	37
PB 128-1	2	1	0	1	0	0	0	12	81	5	97	2	21
PB 128-2	8	2	tra	1	1	1	1	26	52	8	86	10	31
PB 129-1A	2	tra	0	1	0	1	1	12	76	7	95	6	37
PB 139-1	26	2	0	1	0	0	10	2	53	8	63	14	7
PB 144-3	4	5	5	0	0	0	1	35	50	2	87	4	36
PB 156-2	5	12	5	5	0	0	2	40	31	2	73	7	43
PB 159-2	3	1	0	1	0	2	1	5	81	7	93	10	35
PB 159-3	6	4	2	4	tra	0	1	39	42	3	84	7	38
PB 159-4	5	2	tra	1	0	0	3	25	63	3	91	4	31
PB 160-3	2	3	tra	tra	0	0	0	38	53	6	96	7	56
PB 160-4	4	5	2	tra	0	0	0	29	57	5	90	9	46
PB 161A-1	4	8	1	3	0	0	1	25	54	6	85	11	37
média	7	4	2	1	0	1	0	25	55	5	85	9	37

Cia: cianita; **Est:** estauroilita; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo; **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos; tra: traços

Pós-Barreiras II	Cia	Est	And	Top	Anf	Gra	O	T	Z	R	ZTR	RZi	Tr
PB 003-1	21	tra	tra	1	2	tra	1	28	42	5	75	23	41
PB 003-3	13	1	tra	2	0	0	tra	16	59	9	84	10	32
PB 059-5	11	1	2	tra	3	0	tra	15	62	6	83	9	24

PB 070-2	2	4	1	3	0	0	0	29	57	4	90	13	51
PB 081-2	4	10	0	0	0	0	0	19	62	5	86	10	31
PB 116-3	5	2	1	0	0	0	0	13	74	5	92	13	47
PB 121-1	9	1	tra	1	0	1	1	3	78	7	87	10	19
média	9	3	1	1	1	0	0	18	62	6	85	13	35

Cia: cianita; **Est:** estaurolita; **And:** andaluzita; **Top:** topázio; **Anf:** anfibólio cálcico; **Gra:** Granada **O:** outros minerais pesados transparentes; **T:** turmalina; **Z:** zircão; **R:** rutilo, **ZTR:** Σ % zircão, turmalina, rutilo; **RZi:** índice rutilo-zircão; **Tr:** % transparentes em relação aos opacos; tra: traços

Anexo F: Resultados tabelizados das contagens de arredondamento e morfologias de zircão, turmalina e cianita, para amostras de superfície e subsuperfície

Barreiras	Euédrico							Za Zb Zc			N	Barreiras	Euédrica e subeuédica					Ta Tb Tc			N
	Subeuédrico anguloso	Subeuédrico arredondado	Anédrico anguloso	Anédrico subanguloso	Anédrico subarredondado	Anédrico arredondado	Anédrico muito anguloso e anguloso	Anédrico subanguloso	Anédrico subarredondado	Anédrico arredondado e bem arredondado											
PB 002-4	1	4	18	3	31	36	7	8	49	43	100	PB 002-4	6	26	52	15	1	32	52	16	100
PB 002-5	1	3	26	0	11	46	13	4	37	59	100	PB 002-5	28	18	33	21	0	46	33	21	100
PB 036-2	2	8	22	3	15	40	10	13	37	50	100	PB 036-2	18	24	56	2	0	42	56	2	100
PB 045-3	0	2	14	3	20	52	9	5	34	61	100	PB 045-3	12	24	61	3	0	36	61	3	100
PB 056-2	0	7	24	2	11	42	14	9	35	56	100	PB 006-2	5	1	24	54	16	6	24	70	100
PB 062-1	0	7	21	0	22	40	10	7	43	50	100	PB 060-3	8	11	39	30	12	19	39	42	100
PB 064-1	0	2	20	2	11	50	15	4	31	65	100	PB 062-1	21	26	49	3	1	47	49	4	100
PB 066-2	1	2	17	1	16	54	9	4	33	63	100	PB 064-1	13	2	26	50	9	15	26	59	100
PB 067-4	0	3	20	0	13	57	7	3	33	64	100	PB 066-2	18	9	40	32	1	27	40	33	100
PB 067-5	0	2	26	2	19	42	9	4	45	51	100	PB 067-4	17	9	35	35	4	26	35	39	100
PB 067-6	0	2	21	4	19	43	11	6	40	54	100	PB 067-5	14	16	45	24	1	30	45	25	100
PB 069-2	0	3	20	2	22	42	11	5	42	53	100	PB 067-6	15	14	50	21	0	29	50	21	100
PB 069-3	1	2	12	2	22	52	9	5	34	61	100	PB 069-2	34	15	30	20	1	49	30	21	100
PB 069-4	1	1	18	3	15	52	10	5	33	62	100	PB 069-3	32	18	31	17	2	50	31	19	100
PB 071-5	1	3	26	0	20	44	6	4	46	50	100	PB 069-4	28	26	31	13	2	54	31	15	100
PB 080-1	1	7	28	1	12	45	6	9	40	51	100	PB 071-5	35	7	28	27	3	42	28	30	100
PB 080-3	2	4	33	1	11	35	14	7	44	49	100	PB 080-1	4	31	44	21	0	35	44	21	100
PB 080-4	1	3	25	1	13	46	11	5	38	57	100	PB 080-3	8	20	41	31	0	28	41	31	100
PB 080-5	1	1	21	6	20	46	5	8	41	51	100	PB 080-4	7	19	44	27	3	26	44	30	100
PB 082 -2	3	7	30	2	10	43	5	12	40	48	100	PB 080-5	12	11	32	42	3	23	32	45	100
PB 098-2	1	4	41	1	5	42	6	6	46	48	100	PB 082 -2	24	29	19	27	1	53	19	28	100
PB 103-2	3	9	24	0	13	43	8	12	37	51	100	PB 098-2	19	18	48	14	1	37	48	15	100
PB 104-1	1	7	28	2	13	42	7	10	41	49	100	PB 103-2	25	6	32	35	2	31	32	37	100
PB 107-1	2	7	26	4	23	31	7	13	49	38	100	PB 104-1	30	16	41	8	5	46	41	13	100
PB 108-4A	0	5	28	1	10	49	7	6	38	56	100	PB 107-1	15	54	25	6	0	69	25	6	100
PB 108-4B	3	9	26	1	5	45	11	13	31	56	100	PB 108-4A	28	32	36	4	0	60	36	4	100
PB 111-1	3	4	24	2	17	45	5	9	41	50	100	PB 108-4B	33	15	38	14	0	48	38	14	100
PB 112-1	1	9	20	3	12	47	8	13	32	55	100	PB 111-1	17	15	53	15	0	32	53	15	100

PB 113-9	3	9	30	2	10	38	8	14	40	46	100	PB 112-1	19	25	48	8	0	44	48	8	100
PB 114-1	1	7	37	8	9	37	1	16	46	38	100	PB 113-9	33	16	39	12	0	49	39	12	100
PB 117-3	3	4	24	3	11	48	7	10	35	55	100	PB 114-1	16	21	42	20	1	37	42	21	100
PB 119-1	1	9	39	2	11	32	6	12	50	38	100	PB 117-3	17	13	45	23	2	30	45	25	100
PB 135-1	3	8	15	4	18	41	11	15	33	52	100	PB 119-1	26	20	38	16	0	46	38	16	100
PB 141-1	3	7	9	8	26	44	3	18	35	47	100	PB 135-1	16	31	40	12	1	47	40	13	100
PB 141-2	0	3	6	4	34	47	6	7	40	53	100	PB 140-1	15	15	62	8	0	30	62	8	100
média	1	5	23	2	16	44	8	9	39	52		PB 141-1	7	33	44	15	1	40	44	16	100
												PB 141-2	10	11	42	30	7	21	42	37	100
												PB 144-1	40	3	40	17	0	43	40	17	100
												PB 159-1	6	11	74	9	0	17	74	9	100
												PB 160-2	17	2	33	43	5	19	33	48	100
												PB 161A-1	23	0	26	42	9	23	26	51	100
												média	19	17	40	21	2	36	40	23	

Za: euédrico + subeuédrico anguloso + anédrico anguloso; **Zb:** subeuédrico arredondado + anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado **Ta:** euédrico e subeuédrico + anédrico anguloso e muito anguloso + anédrico anguloso; **Tb:** anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado e muito arredondado; N: número de grãos contados

Pós-Barreiras I	Euédrico							Za			N	Pós-Barreiras I	Euédrica e subeuédica					Ta			N
	Subeuédrico anguloso							Zb					Anédrico muito anguloso e anguloso					Tb			
	Subeuédrico arredondado							Zc					Anédrico subanguloso					Tc			
	Anédrico anguloso												Anédrico subarredondado								
	Anédrico subarredondado												Anédrico arredondado e bem arredondado								
	Anédrico arredondado																				
PB 003-2	0	1	14	2	26	52	5	3	40	57	100	PB 003-2	14	20	51	15	0	34	51	15	100
PB 006-1	2	7	25	2	14	38	12	11	39	50	100	PB 006-1	15	8	49	26	2	23	49	28	100
PB 059-3	0	1	19	1	15	51	13	2	34	64	100	PB 015-1	12	3	39	41	5	15	39	46	100
PB 059-4	0	3	18	3	19	47	10	6	37	57	100	PB 056-2	18	6	40	36	0	24	40	36	100
PB 060-3	0	1	7	4	35	47	6	5	42	53	100	PB 056-3	17	2	30	48	3	19	30	52	64
PB 062-3	0	2	18	0	12	57	11	2	30	68	100	PB 059-3	17	7	47	28	1	24	47	29	100
PB 063-1	3	6	24	1	11	47	8	10	35	55	100	PB 059-4	16	2	40	41	1	18	40	42	100
PB 064-3	0	2	18	2	20	50	8	4	38	58	100	PB 062-3	18	9	55	18	0	27	55	18	100
PB 064-5	0	0	17	1	14	52	16	1	31	68	100	PB 063-1	42	10	22	25	1	52	22	26	100
PB 064-6	0	0	17	1	11	61	10	1	28	71	100	PB 063-2	17	12	45	25	1	29	45	26	100
PB 064-7	0	1	24	1	13	53	8	2	37	61	100	PB 064-3	15	8	40	35	2	23	40	37	100
PB 067-8	0	2	26	4	13	49	6	6	39	55	100	PB 064-5	14	4	41	40	1	18	41	41	100

PB 068-1	1	2	15	3	22	52	5	6	37	57	100	PB 064-6	29	4	27	38	2	33	27	40	100
PB 070-1	0	3	24	1	9	52	11	4	33	63	100	PB 064-7	17	1	22	55	5	18	22	60	100
PB 071-1	0	1	21	3	14	54	7	4	35	61	100	PB 067-7	13	5	36	44	2	18	36	46	100
PB 071-2	0	3	27	1	21	39	9	4	48	48	100	PB 067-8	8	5	46	39	2	13	46	41	100
PB 072-1	1	1	19	2	31	39	7	4	50	46	100	PB 068-1	18	5	28	40	9	23	28	49	100
PB 082-7	1	8	37	4	11	31	8	13	48	39	100	PB 070-1	20	1	18	49	12	21	18	61	100
PB 082-8	1	11	38	3	12	29	6	15	50	35	100	PB 071-1	18	9	24	44	5	27	24	49	100
PB 082-9	2	8	41	7	15	21	6	17	56	27	100	PB 071-2	22	14	30	30	4	36	30	34	100
PB 087-1	0	2	6	11	67	14	0	13	73	14	100	PB 072-1	-	-	-	-	-	-	-	-	*
PB 090-2	3	15	44	3	10	21	4	21	54	25	100	PB 079-2	-	-	-	-	-	-	-	-	*
PB 090-5	7	11	36	4	10	24	8	22	46	32	100	PB 080-6	19	22	40	10	9	41	40	19	100
PB 090-6	0	4	31	2	12	43	8	6	43	51	100	PB 081-1	15	15	27	28	15	30	27	43	100
PB 092-1	2	5	22	3	14	44	10	10	36	54	100	PB 082-7	23	31	21	22	3	54	21	25	100
PB 094-1	0	3	18	5	15	48	11	8	33	59	100	PB 082-8	16	9	31	40	4	25	31	44	100
PB 103-1	1	6	27	1	8	50	7	8	35	57	100	PB 082-9	12	16	24	46	2	28	24	48	100
PB 107-2	1	1	21	2	19	45	11	4	40	56	100	PB 087-1	34	12	45	9	0	47	45	9	58
PB 108-5	1	0	34	2	12	46	5	3	46	51	100	PB 090-2	3	38	55	4	0	41	55	4	100
PB 108-6	0	6	22	2	15	49	6	8	37	55	100	PB 090-5	12	35	49	4	0	47	49	4	100
PB 109-1	0	6	11	4	22	44	13	10	33	57	100	PB 090-6	14	2	38	45	1	16	38	46	100
PB 119-3	3	7	35	3	20	25	7	13	55	32	100	PB 091-1	19	4	24	49	4	23	24	53	100
PB 119-6	3	15	36	2	11	25	8	20	47	33	100	PB 092-1	17	18	47	18	0	35	47	18	100
PB 128-1	0	2	19	4	22	44	9	6	41	53	100	PB 094-1	26	23	29	22	0	49	29	22	100
PB 159-2	7	11	23	3	27	28	1	21	50	29	100	PB 099-4	13	8	24	41	14	21	24	55	100
média	1	4	24	3	18	42	8	9	42	50		PB 099-5	4	21	32	29	14	25	32	43	28
												PB 100-5	29	16	20	25	10	45	20	35	100
												PB 100-6	27	1	22	33	17	28	22	50	100
												PB 102-7	19	6	30	38	7	25	30	45	100
												PB 103-1	16	2	41	39	2	18	41	41	100
												PB 107-2	11	4	38	46	1	15	38	47	100
												PB 108-5	25	8	38	28	1	33	38	29	100
												PB 108-6	26	7	34	33	0	33	34	33	100
												PB 109-1	8	49	23	16	5	56	23	21	80
												PB 110-1	17	4	26	35	18	21	26	53	100
												PB 113-1	29	2	16	47	6	31	16	53	100
												PB 113-3	19	6	35	31	9	25	35	40	100
												PB 113-4	22	1	25	45	7	23	25	52	100
												PB 113-8	14	14	34	27	11	28	34	38	100
												PB 116-2	13	5	28	40	14	18	28	54	100
												PB 117-4	6	16	36	29	13	22	36	42	69
												PB 119-3	7	12	44	36	1	19	44	37	100
												PB 119-6	5	3	28	61	3	8	28	64	100
												PB 126-2	17	7	30	44	2	24	30	46	100
												PB 128-1	18	6	46	27	3	24	46	30	100

PB 128-2	9	2	17	58	14	11	17	72	100
PB 129-1A	18	6	22	48	6	24	22	54	100
PB 139-1	-	-	-	-	-	-	-	-	*
PB 144-3	31	2	19	44	4	33	19	48	100
PB 156-2	29	1	29	38	3	30	29	41	100
PB 159-2	16	10	46	27	2	25	46	29	100
PB 159-3	14	4	43	38	1	18	43	39	100
PB 159-4	16	2	39	39	4	18	39	43	100
PB 160-3	14	1	26	54	5	15	26	59	100
PB 160-4	17	3	32	42	6	20	32	48	100
PB 161A-3	14	6	52	27	1	20	52	28	100
média	17	9	34	35	5	27	34	40	

Za: euédrico + subeuédrico anguloso + anédrico anguloso; **Zb:** subeuédrico arredondado + anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado **Ta:** euédrico e subeuédrico + anédrico anguloso e muito anguloso + anédrico anguloso; **Tb:** anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado e muito arredondado; N: número de grãos contados; *: número insuficiente de grãos

Pós-Barreiras II	Euédrico	Subeuédrico anguloso	Subeuédrico arredondado	Anédrico anguloso	Anédrico subanguloso	Anédrico subarredondado	Anédrico arredondado	Za	Zb	Zc	N	Pós-Barreiras II	Euédrica e subeuédica	Anédrico muito anguloso e anguloso	Anédrico subanguloso	Anédrico subarredondado	Anédrico arredondado e bem arredondado	Ta	Tb	Tc	N
PB 003-1	1	2	21	1	8	58	9	4	29	67	100	PB 003-1	17	4	46	29	4	21	46	33	100
PB 003-3	0	2	17	1	10	52	18	3	27	70	100	PB 003-3	16	9	37	38	0	25	37	38	100
PB 059-5	1	3	21	0	9	48	18	4	30	66	100	PB 059-5	18	1	36	44	1	19	36	45	100
PB 070-2	0	3	20	0	12	53	12	3	32	65	100	PB 070-2	15	5	22	47	11	20	22	58	100
PB 081-2	2	2	14	8	24	48	2	12	38	50	100	PB 081-2	16	0	11	53	20	16	11	73	100
PB 116-3	0	2	18	1	20	45	14	3	38	59	100	PB 116-3	12	2	22	56	8	14	22	64	100
média	1	2	19	2	14	51	12	5	32	63		PB 121-1	8	3	36	44	8	11	36	53	36
												média	15	3	30	44	7	18	30	52	

Za: euédrico + subeuédrico anguloso + anédrico anguloso; **Zb:** subeuédrico arredondado + anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado **Ta:** euédrico e subeuédrico + anédrico anguloso e muito anguloso + anédrico anguloso; **Tb:** anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado e muito arredondado; N: número de grãos contados

Barreiras	Subeuédrico anguloso	Subeuédrico arredondado	Anédrico subanguloso	Anédrico arredondado	Ca	Cb	Cc	N
PB 062-1	45	20	19	16	45	20	35	100
PB 098-2	21	16	32	31	21	16	63	100
PB 114-1	22	27	17	34	22	27	51	100
PB 140-1	14	22	22	42	14	22	64	100

Pós-Barreiras I	Subeuédrico anguloso	Subeuédrico arredondado	Anédrico subanguloso	Anédrico arredondado	Ca	Cb	Cc	N
PB 003-2	58	17	13	12	58	17	25	100
PB 059-3	16	37	13	34	16	37	47	100
PB 094-1	42	10	28	20	42	10	48	100
PB 119-3	23	33	14	30	23	33	44	100
PB 139-1	17	35	11	37	17	35	48	83

Pós-Barreiras II	Subeuédrico anguloso	Subeuédrico arredondado	Anédrico subanguloso	Anédrico arredondado	Ca	Cb	Cc	N
PB 003-3	19	47	14	20	19	47	34	100

Ca: subeuédrico anguloso; **Cb:** subédrico arredondado; **Cc:** anédrico arredondado + anédrico anguloso; **N:** número de grãos contados

Amostra	Unidade	Euédrico	Subeuédrico anguloso	Subeuédrico arredondado	Anédrico anguloso	Anédrico subanguloso	Anédrico subarredondado	Anédrico arredondado	N	Za	Zb	Zc
FJP 01	Pós-Barreiras II	0	11	34	1	9	38	7	100	12	43	45
FJP 02	Pós-Barreiras I	0	2	16	8	30	38	6	100	10	46	44
FJP 03	Pós-Barreiras I	0	8	17	4	24	40	7	100	12	41	47
	Média	0	5	17	6	27	39	7	-	11	44	46

FJP 04	Barreiras	0	2	15	5	36	41	1	100	7	51	42
FJP 06	Barreiras	1	3	31	1	24	30	10	100	5	55	40
FJP 14	Barreiras	2	8	20	1	25	39	5	100	11	45	44
FJP 16	Barreiras	0	5	18	4	41	28	4	100	9	59	32
FJP 18	Barreiras	0	7	21	3	25	38	9	100	10	46	47
FJP 24	Barreiras	2	14	26	5	17	25	11	100	21	43	36
FJP 27	Barreiras	1	8	31	3	27	27	3	100	12	58	30
	Média	1	7	23	3	28	33	6	-	11	51	39
FJP 31	Itamaracá	0	11	23	11	26	25	4	87	22	49	29
FJP 33	Itamaracá	0	8	20	11	29	28	5	100	20	48	32
	Média	0	10	21	11	27	26	4	-	21	49	31
FJP 34	Beberibe	0	13	37	6	16	24	4	100	19	53	28
FJP 35	Beberibe	2	13	26	6	25	19	9	100	21	51	28
FJP 36	Beberibe	0	12	26	9	31	19	3	100	21	57	22
FJP 38	Beberibe	0	10	31	4	26	22	7	100	14	57	29
FJP 39	Beberibe	1	9	25	6	30	24	5	100	16	55	29
FJP 41	Beberibe	2	10	31	1	24	27	5	100	13	55	32
FJP 44	Beberibe	1	16	31	5	26	18	3	100	22	57	21
FJP 46	Beberibe	2	6	40	4	17	27	4	100	12	57	31
	Média	1	11	31	5	24	23	5	-	17	55	28

Za: euédrico + subeuédrico anguloso + anédrico anguloso; **Zb:** subeuédrico arredondado + anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado; N: número de grãos contados

Amostra	Unidade	Euédrica e subeuédrica	Anédrico muito anguloso e anguloso	Anédrico subanguloso	Anédrico subarredondado	Anédrico arredondado e bem arredondado	N	Ta	Tb	Tc
FJP 01	Pós-Barreiras II	17	1	14	57	11	100	18	14	68
FJP 02	Pós-Barreiras I	14	6	40	36	4	100	20	40	40
FJP 03	Pós-Barreiras I	20	8	26	43	3	100	28	26	46
	Média	17	7	33	40	4	-	24	33	43

FJP 04	Barreiras	11	2	43	39	5	50	13	43	44
FJP 06	Barreiras	18	6	50	26	0	100	24	50	26
FJP 14	Barreiras	12	8	43	36	1	100	20	43	37
FJP 16	Barreiras	13	4	49	34	0	100	17	49	34
FJP 18	Barreiras	20	0	37	36	7	100	20	37	43
FJP 24	Barreiras	16	1	38	42	3	100	17	38	45
FJP 27	Barreiras	22	5	32	33	8	100	27	32	41
	Média	16	4	42	35	3	-	20	42	39
FJP 31	Itamaracá	22	17	42	17	2,8	36	39	42	19
FJP 33	Itamaracá	14	21	40	23	2,5	80	35	40	25
	Média	18	19	41	20	3	-	37	41	22
FJP 34	Beberibe	-	-	-	-	-	*	-	-	-
FJP 35	Beberibe	24	11	42	22	1	100	35	42	23
FJP 36	Beberibe	30	13	35	22	0	23	43	35	22
FJP 38	Beberibe	35	8	31	27	0	26	43	31	27
FJP 39	Beberibe	26	15	36	18	5	39	41	36	23
FJP 41	Beberibe	41	8	36	15	0	39	49	36	15
FJP 44	Beberibe	29	15	40	15	1,8	55	44	40	16
FJP 46	Beberibe	34	7	41	15	3	100	41	41	18
	Média	31	11	37	19	2	-	42	37	21

Ta: euédrico e subeuédrico + anédrico anguloso e muito anguloso + anédrico anguloso; **Tb:** anédrico subanguloso; **Zc:** anédrico subarredondado + anédrico arredondado e muito arredondado; N: número de grãos contados; *: número insuficiente de grãos

Anexo G: Tabela resumida de resultados petrográficos

				Formação Barreiras	Depósitos Pós-Barreiras I
Estimativa modal de componentes	Arcabouço Material argiloso Porosidade			61%	46%
				28%	49%
				11%	5%
Componentes deposicionais	Arcabouço	Mineralogia	Quartzo total	94,40%	99,70%
			Feldspato	0,20%	0%
			Líticos	5,40%	0,30%
		Petrotrama	Segregação granular	Não	Não
			Orientação	Não	Não
			Imbricação e/ou mergulhos	Não	Não
			Empacotamento	Aberto 25-30%	Aberto 10-20%
		Textura	Granulometria modal (WENTWORTH, 1922)	Areia média a grossa	Areia média a grossa
			Desvio padrão (PETTIJOHN et al., 1972)	0,75 Φ A 1,00 Φ	1,00 Φ A 2,00 Φ
	Seleção granulometrica		Moderada a pobre	Pobre a muito pobre	
	Esfericidade (POWER 1953)		Baixa	Baixa	
	Arredondamento		Angulosas a subangulosas	subangulosas a subarredondadas	
	Cimento/Matriz	Tipo (DICKINSON 1970)		Pseudomatriz e epimatriz	Introdução de argilas por fluidificação e bioturbação
		Mineralogia		Caulinita	
Componentes e processos diagenéticos	Cimento			Caulinita em <i>booklets</i>	Não
	Porosidade secundaria (SCHMIDT; McDONALD, 1979)			grãos corroídos	grãos corroídos
	Compactação mecânica			Sim	Não
	Compactação química			Sim	Não
Classificação	Maturidade mineralógica			Supermatura	Supermatura
	Maturidade textural(FOLK 1974)			Submatura	Submatura
	Classificação petroografica (Folk 1974; DOOT. 1964)			Subarcósio ou Sublitoarenito	Quartzoarenito

Anexo H: Tipos de grãos presentes na Formação Barreiras e Depósitos Pós-Barreiras I e tipos de material argiloso presente

FM BARREIRAS

QUARTZO
MONOCRISTALINO

PÓS-BARREIRAS

FM BARREIRAS

QUARTZO
POLICRISTALINO

LÍTICOS SEDIMENTARES FM BARREIRAS

PÓS-BARREIRAS

LÍTICOS METAMÓRFICOS MICÁCEOS FM BARREIRAS

FELDSPATOS FM BARREIRAS

PÓS-BARREIRAS

ACESSÓRIOS FM BARREIRAS

PÓS-BARREIRAS

EPIMATRIZ E PSEUDOMATRIZ

Formação Barreiras

BIOTURBAÇÃO

FLUIDIFICAÇÃO

Depósitos Pós-Barreiras I

FRATURAMENTO DE GRÃOS E MATERIAL ARGILOSO

PÓS-BARREIRAS I

Anexo I: Componentes diagenéticos na Formação Barreiras

COMPACTAÇÃO MECÂNICA

Formação Barreiras

COMPACTAÇÃO QUÍMICA

Formação Barreiras

CIMENTO CAULINÍTICO

Formação Barreiras

POROSIDADE SECUNDARIA

Formação Barreiras

Depósitos Pós-Barreiras I