

Rafael Andrade Alves

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E PETROGRÁFICA DE AREIAS
RECENTES NO GRÁBEN DO RIO SANTANA (RJ)**

Trabalho Final de Curso

Rio de Janeiro
2009



UFRJ

Rafael Andrade Alves

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E PETROGRÁFICA DE AREIAS
RECENTES NO GRÁBEN DO RIO SANTANA (RJ)**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Leonardo Borghi

Rio de Janeiro
Setembro, 2009.

ALVES, Rafael Andrade

Caracterização sedimentológica e petrográfica de areias recentes no gráben do rio Santana (Rj) / Rafael Andrade Alves - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2009.xi, 36 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: Leonardo Borghi.

1. Geologia. 2. Instituto de Geociências – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Borghi, Leonardo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Caracterização sedimentológica e petrográfica de areias recentes no gráben do rio Santana (RJ).

Rafael Andrade Alves

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E PETROGRÁFICA DE AREIAS
RECENTES NO GRÁBEN DO RIO SANTANA (RJ)

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador: Leonardo Borghi

Aprovada em: 15/09/2009

Por:

Orientador: Prof. Leonardo Borghi (UFRJ)

Prof. Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)

Prof. Renato Rodriguez Cabral Ramos (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009

Dedico este trabalho aos meus pais, Renato e Marilene, que sempre acreditaram que, um dia, teriam este trabalho nas mãos. E à minha vó Francisca, por tudo...

Agradecimentos

Agradeço à minha família, que foi fundamental antes mesmo de eu pensar em entrar na faculdade; à minha mãe, por sempre estar ao meu lado e me mostrar que mais do que mãe, é minha amiga; ao meu pai, por sempre tentar entender e resolver os problemas, mesmo quando não fazia a menor idéia do que se tratava.

À Aline, que me ajudou a escolher o curso, entrar, cursar, e ainda está ao meu lado na saída, sempre me incentivando a continuar.

Ao professor Paulo Menezes, que além de me levar pro mundo do geoprocessamento, se tornou um amigo para todas as horas.

Ao professor Cláudio Limeira, que me ensinou a gostar de geologia; e ao professor Renato Ramos, pelo empurrãozinho necessário.

Ao professor Leonardo Borghi, pela orientação.

Aos amigos que fiz na faculdade: Theodor Silva, Rafael Valadão, Vinicius Veríssimo, Bruno Brandão e Cláudio “Jay”, que me acompanharam em viagens pelo Brasil, dividindo novas experiências e velhos biscoitos.

Aos amigos que fiz no Geocart: Leonardo Valentim, sempre disponível para uma cerveja ou dúvida de qualquer espécie, e Manoel Fernandes, por dividir sua mesa comigo sem nunca reclamar.

Aos amigos que carrego desde sempre: Victor Barone, Daniel Rodrigues, Flávia Moreno e Gustavo Augusto, que sempre me fazem rir nas horas certas e erradas.

Aos primos Fernando “Gambet” e Pedro “zigode”, que não sabem nada de geologia, mas me escutam falar dela assim mesmo.

Aos técnicos Roberto Gomes de Lima, por ter me ajudado a realizar as análises sedimentológicas, e Tarcísio Raymundo de Abreu, pela confecção das lâminas petrográficas.

Ao departamento de Geologia, e em especial ao secretário de graduação Walgenor, pela orientação na vida acadêmica e “política” na faculdade.

A todos, meus sinceros agradecimentos e o desejo de retribuir tudo o que fizeram por mim.

"Existem verdades que só podemos
dizer depois de ter conquistado
o direito de dizê-las."
(Jean Cocteau)

RESUMO

ALVES, Rafael Andrade. **Caracterização sedimentológica e petrográfica de areias recentes no gráben do rio Santana (RJ)**. 2009. xi, 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente estudo objetiva a caracterização textural (sedimentológica) e composicional (petrográfica) de amostras de areias coletadas na região da bacia hidrográfica do rio Santana (RJ), bem como do seu sistema de drenagem alimentador, para analisar a sua evolução mineralógica na área-fonte primária (área de denudação e de transporte fluvial) com o fim de se estabelecerem petrofácies, as quais possam ser aplicadas na compreensão da acumulação e qualidade de arenitos considerados reservatórios da bacia de Santos. O material de estudo constitui-se, em uma primeira etapa, de 10 amostras de areias obtidas ao longo dos afluentes do rio Santana (RJ). Em geral, texturalmente as amostras se apresentam como areias grossas, mal selecionadas, mesocúrticas e simétricas. Composicionalmente, as amostras são constituídas predominantemente por grãos de quartzo (Q=67,20%); feldspato (F=19,82%); biotita (Biot=8,27%); fragmentos líticos (L=2,25%); minerais pesados (MP=1,67%) e muscovita (Musc=0,73%). A partir da análise e integração dos dados texturais e petrográficos pode-se dividir as amostras em diferentes grupos, de acordo com sua classificação, e comparar as mesmas levando em consideração suas respectivas áreas-fonte.

Palavra-chave: petrofácies, rio Santana, areias, bacia de Santos.

ABSTRACT

ALVES, Rafael Andrade. **Sedimentological and petrographical characterization of recent sands from the Santana rivers's graben**. 2009. xi, 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The study aimed a textural (sedimentologic) and compositional (mineralogical) of sand samples collected along the region of the Santana's river hydrographic basin (RJ), as well as its drainage system, with the purpose of analyzing the mineralogical evolution of its primary source-area (denudation area and fluvial transportation) to establish petrofacies, which can be applied in the comprehension of the sedimentation and quality of sand rocks considered as reservoir in the Santos basin.

The material of study is formed of 10 sand samples collected along Santana's river tributaries (RJ). In general, texturally the samples are made by coarse sand, poorly sorted, mesokurtic and symmetrical. Compositionally, the samples consists of quartz grains (Q=67,20%); feldspar (F=19,82%); biotite (Biot=8,27%); lithics (Lit=2,25%); heavy minerals (Mp=1,67%) and muscovite (Musc=0,73%). Based on the analysis and integration of textural and petrographical data it was possible to divide the samples in different groups, according to its classification, and compare them considering their respective source-area.

Key-words: petrofacies, Santana river, sands, Santos basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa rodoviário do estado do Rio de Janeiro com o rio Santana em destaque (DNIT, 2002).

Figura 2 - Mapa topográfico do sudeste do Brasil com SRCSB interpretado (Zalán & Oliveira, 2005).

Figura 3 – Modelo de elevação digital do terreno mostrando o vale do rio Santana (fonte: Google Earth)

Figura 4 - Domínios geológicos do estado do Rio de Janeiro, com os pontos de amostragem plotados (fonte: CPRM, 2001).

Figura 5 – Localização da Bacia de Santos (fonte: ANP).

Figura 6 - Carta estratigráfica da bacia de Santos. Assinalado o intervalo que compreende as areias cuja discussão de modelos análogos recentes de petrofácies é objetivo deste estudo (fonte: ANP).

Figura 7 – Parâmetros texturais das amostras. Observa-se a clara diferença dos valores entre os dois grupos texturais.

Figura 8 – Análise granulométrica. Observa-se a predominância de granulometria média e grossa.

Figura 9 - Gráfico em pizza da composição mineralógica média das amostras, mostrando o predomínio de quartzo monocristalino, seguido de feldspato potássico e biotita.

Figura 10 - Gráfico de frequência relativa dos minerais por amostra.

Figura 11 – Distribuição composicional das amostras plotadas no diagrama de Folk (1974) e Dickinson (1985).

Figura 12 – *Cluster* agrupando as amostras em 3 famílias de acordo com a similaridade de seus valores de parâmetros texturais.

Figura 13 – *Cluster* agrupando as amostras em 3 famílias de acordo com a similaridade de seus valores de porcentagens minerais.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostras e suas respectivas coordenadas.

Tabela 2 - Amostras e suas respectivas rochas-fonte.

Tabela 3 - Grupos de amostras separados por parâmetros texturais.

Tabela 4 - Amostras separadas em grupos e seus domínios geológicos correspondentes.

Tabela 5 – Resultados das análises realizadas com as amostras.

SUMÁRIO

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
<i>Abstract</i>	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODO	2
3 CONTEXTO GEOLÓGICO	6
3.1 Aspectos gerais	6
3.2 Gráben do rio Santana	7
3.3 Bacia de Santos	11
4 RESULTADOS	15
4.1 Caracterização dos parâmetros sedimentológicos	15
4.1.1 Parâmetros texturais	15
4.1.2 Granulometria	17
4.1.3 Seleção	17
4.1.4 Assimetria	18
4.1.5 Curtose	18
4.2 Caracterização petrográfica	19
4.2.1 Aspectos gerais	19

4.2.2 Caracterização das amostras	20
5 CORRELAÇÃO TEXTURAL E PETROGRÁFICA	24
6 CONCLUSÕES	29
Referências bibliográficas	31
Apêndice A - Método de análise granulométrica	33
Apêndice B - Resultados das análises sedimentológicas e petrográficas ...	39
Apêndice C – Estampas das fotomicrografias das lâminas das amostras ...	40

1 INTRODUÇÃO

O estudo da composição e da mineralogia de areias em amostras coletadas desde a fonte sedimentar até o sítio deposicional pode contribuir para a caracterização da qualidade das rochas reservatórios e para a compreensão dos efeitos da evolução diagenética (i.e., porosidade secundária por dissolução, matriz secundária, compactação e cimentação). Os ambientes fluviais são uma importante fonte de sedimentos para a plataforma e, subsequentemente, para regiões de águas profundas, onde se acumulam por processos gravitacionais, como os turbiditos. Tais depósitos são extremamente importantes no cenário exploratório nacional de óleo e gás, no qual participam com mais de 80% das reservas, particularmente na bacia de Campos.

O estudo objetiva caracterizar sedimentologicamente e petrograficamente amostras de areia da bacia hidrográfica do rio Santana (RJ), bem como do seu sistema de drenagem alimentador, para analisar a sua evolução mineralógica nas áreas-fonte primária (área de denudação e de transporte fluvial) com o fim de se estabelecerem petrofácies, as quais possam ser aplicadas na compreensão da acumulação e qualidade de arenitos considerados reservatórios da bacia de Santos.

2 MATERIAL E MÉTODO

A área em estudo situa-se a sudoeste do Estado do Rio de Janeiro, no limite nordeste da baixada de Sepetiba, Município de Miguel Pereira (Figura 1). O rio Santana nasce próximo à cidade de Miguel Pereira e estende-se para sudoeste, até os arredores da cidade de Japeri. A bacia hidrográfica deste rio é circundada pela serra do Pau Ferro a oeste, e pela serra da Bandeira a leste. O rio Santana e o ribeirão das Lajes formam o rio Guandu próximo a Japeri, constituindo a principal drenagem da baixada de Sepetiba.

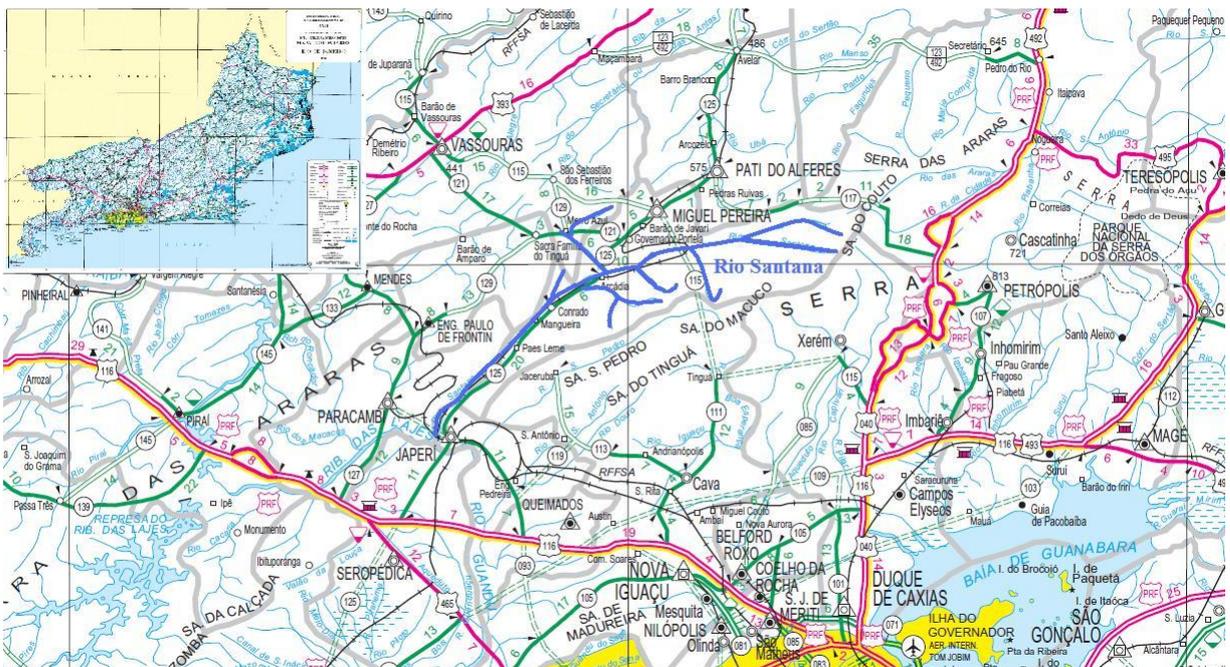


Figura 1 – Mapa rodoviário do estado do Rio de Janeiro com o rio Santana em destaque (DNIT, 2002).

Inicialmente foi feita uma análise bibliográfica para a elaboração de um plano de amostragem. Segundo o plano de amostragem foi feita a coleta de 10 amostras de areias em 10 afluentes do rio Santana (Figura 2). Foi coletado cerca de 1 kg de areia por ponto de amostragem, que tiveram seu posicionamento registrado com pontos de coordenadas

geográficas UTM (WGS 84) com uso de aparelho de GPS. Os pontos se encontram listados na tabela 1.

Tabela 1 – Amostras e suas respectivas coordenadas.

Ponto	Localidade	Coordenadas (UTM, WGS 84)	
RA1	Afluente do rio		
	Santana	647276	7506151
RA2	Afluente do rio		
	Santana	649342	7508036
RA3	Afluente do rio		
	Santana	651936	7509998
RA4	Afluente do rio		
	Santana	652740	7511629
RA5	Afluente do rio		
	Santana	660515	7512339
RA6	Afluente do rio		
	Santana	665660	7512864
RA7	Afluente do rio		
	Santana	670715	7514927
RA9	Afluente do rio		
	Santana	673039	7514064
RA10	Afluente do rio		
	Santana	671789	7514362
RA11	Rio Santana	641828	7501491

As amostras foram quarteadas para gerar subamostras para análise petrográfica e granulométrica. Os ensaios granulométricos por tamisação (fração areia) visaram caracterizar parâmetros texturais tais como moda, média, curtose, seleção e assimetria, segundo o método gráfico de Folk (1974). Um gráfico com os parâmetros texturais foi confeccionado e as amostras foram separadas em dois grupos diferentes. A metodologia com a descrição das técnicas de análise granulométrica encontra-se no Apêndice A.

Foi feita uma lâmina para cada amostra de areia, utilizando as frações areia fina e média. A areia foi secada a 35° celsius, depois imbutida em uma forma com uma cola formada pela mistura de Resina 1109 (Araudite), Endurecedor 951 e Azul de Ceres GN, na

proporção de 10:1:0,5, respectivamente. Após a secagem desta mistura, com duração de 24 horas, a mistura de areia e cola é desenformada com uma serra e nivelada com o uso de abrasivos. Após o nivelamento, uma lâmina é colada na amostra, com o uso da mistura anterior sem o Azul de Ceres GN. Após colada na lâmina, a amostra é desbastada com uma politriz até que atinja a espessura de 30 micra (o que pode ser observado quando o quartzo atinge coloração cinza ou branca).

A análise petrográfica, realizada com microscópio Carl Zeiss, modelo Axio Imager A1 e contador de pontos, visou a caracterização composicional (mineralógica) das areias, no intuito de discriminar distintas proveniências dos sedimentos, além de sua classificação segundo Folk (1974). A identificação de minerais foi feita com a contagem de 300 pontos por lâmina. Os grãos de quartzo foram divididos em monocristalinos e policristalinos, segundo o método de Young (1970). A confecção das lâminas foi realizada com volume de aproximadamente 10 gramas utilizando-se somente as frações areia fina e média presentes nas amostras, pois isso permite a comparação dos resultados entre as diversas amostras, eliminando-se o problema do controle textural sobre a composição, de acordo com a metodologia de Basu (1985).

Foram feitas fotomicrografias das lâminas das amostras com o microscópio Carl Zeiss, modelo Axio Imager A1 e a câmera Axio Cam MRc, que podem ser encontradas nas estampas I e II do apêndice C.

Os resultados da análise composicional foram plotados nos diagramas ternários QFL, de Folk (1974) para classificação de areias e QmFL, de Dickinson (1985) para classificação de ambiente tectônico e proveniência.

Para uma análise comparativa, foram feitas análises *Clusters* com os valores obtidos nos ensaios granulométricos e com as porcentagens minerais das lâminas. A Análise *Cluster* (AC) é uma técnica multivariada que engloba diferentes algoritmos de classificação para organizar informações sobre variáveis e formar grupos homogêneos. A AC é uma análise que não faz

suposições com relação ao número de grupos ou às suas estruturas; o agrupamento é feito com base nas similaridades ou dissimilaridades (caracterizadas por diversas formas de cálculo de “distâncias”) . Em resumo ela tem como objetivo básico descobrir os agrupamentos naturais dos itens (ou variáveis).

Para confecção das análises *Clusters* e seus diagramas, tanto textural quanto petrográfico, foi utilizado o programa *Statistica 8.0*.

Nos gráficos das análises *Clusters* as amostras foram agrupadas em diferentes famílias por semelhança, e essas famílias foram comparadas com os resultados do gráfico de parâmetros texturais, frequência relativa dos minerais das amostras e classificação petrográfica de Folk (1974).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Aspectos gerais

Segundo Zalán & Oliveira (2005), a região Sudeste do Brasil não se constituiu em uma típica margem passiva. Depois de cessado o rifteamento, iniciou-se um levantamento de natureza epirogenética da crosta continental em resposta à passagem da Placa Sulamericana sobre uma anomalia térmica (*hot spot* de Trindade). Este soerguimento, neocretácico, foi acompanhado de intenso magmatismo de natureza alcalina sobre crosta continental não-afinada e de natureza básica sobre crosta afinada. Um megaplanalto de cerca de 300.000 km² (Serra do Mar Cretácea) foi formado durante este período e transformou-se na principal área-fonte de sedimentos coniacianos-maastrichtianos das bacias de Santos, Campos e Paraná. À medida em que se alçava, seu topo era nivelado pela erosão. Ao final de seu soerguimento, exatamente no limite Cretáceo/Paleoceno, uma superfície de aplainamento (Superfície Japi) nivelou-o em torno de 2.000 m em relação ao nível do mar atual. Este imenso volume de rocha soerguida possuía sua borda oriental adjacente às áreas subsidentes das bacias de Santos e Campos. Tal situação tornou-se isostaticamente instável, e o colapso gravitacional do megaplanalto em direção às áreas deprimidas teve início.

Ainda segundo Zalán & Oliveira (2005), durante boa parte do Cenozóico, a crosta continental fendeu-se e afundou-se em diversas áreas lineares formando-se corredores de grábens paralelos à costa. O antigo limite oriental da Serra do Mar Cretácea coincide com a atual linha de charneira das bacias de Santos e Campos. Os remanescentes topográficos deste megaplanalto constituem hoje em dia as partes altas das serras do Mar e da Mantiqueira,

modificadas por rebate elástico e basculamento dos blocos. A associação das serras do Mar e Mantiqueira com vales tectônicos intervenientes e suas extensões na plataforma continental das bacias de Santos e Campos foram denominadas de Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil (SRCSB), ilustrado na Figura 2.

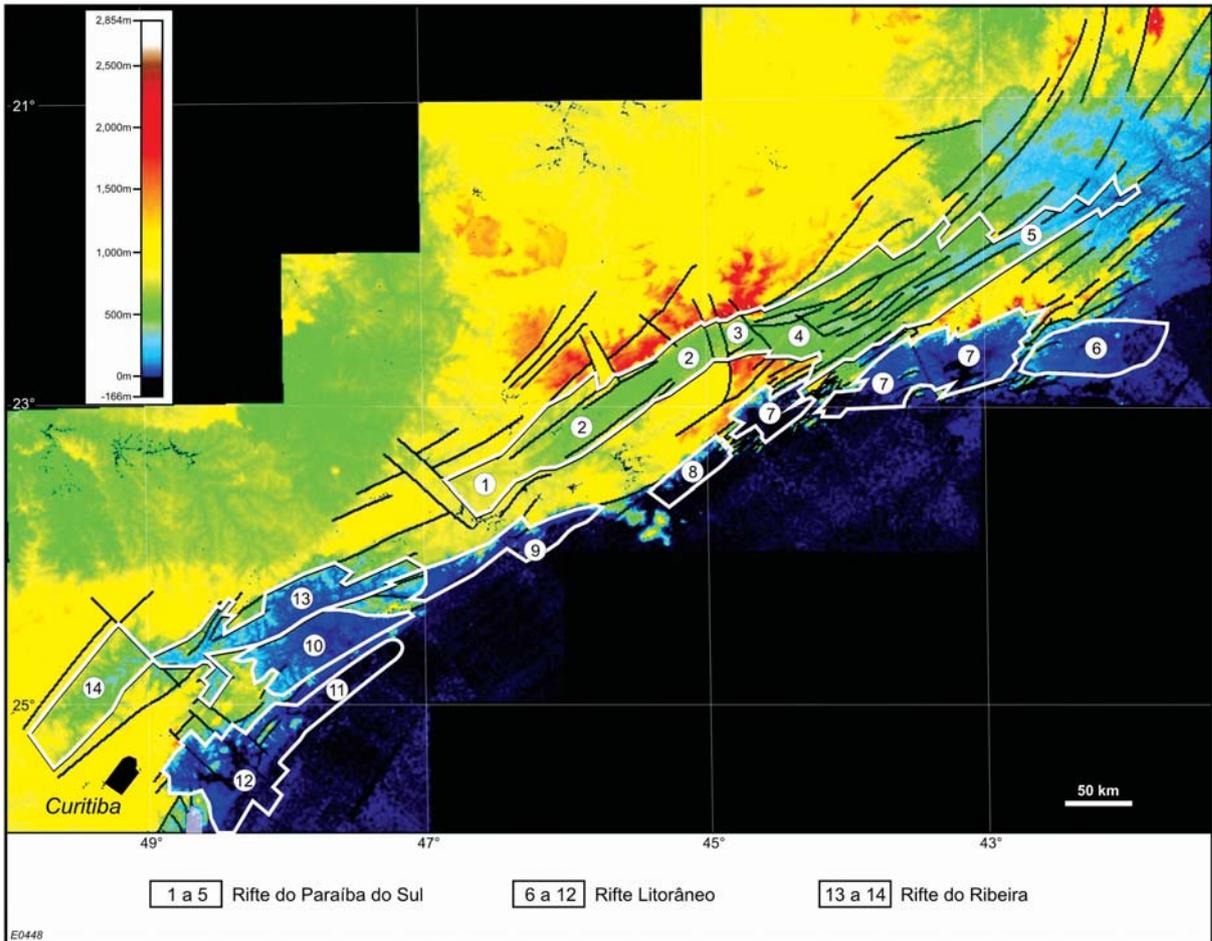


Figura 2 - Mapa topográfico do sudeste do Brasil com Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil interpretado (Zalán & Oliveira, 2005).

3.2 Gráben do rio Santana

Segundo o mapa geológico da folha Paracambi, em DRM/RJ (1982), o vale do rio Santana é limitado pelas unidades: *Serra das Araras*, um batólito, composto por granitóides e migmatitos e exposto na serra da Bandeira; e *Rio Negro*, composta por migmatitos estromáticos e gnaisses com lentes de quartzito expostos na serra do Pau Ferro.

O vale do rio Santana está encaixado no lineamento Jacuecanga-Conrado, cuja movimentação, relacionada à reativação tectônica Sulatlântica, perduraria até os dias atuais, o que deu origem a pequenos sismos observados na região de Angra dos Reis, em 1989, Penha & Barand (1989), *apud* Madeira & Borghi (1999). Madeira & Borghi (1999) observaram, em campo, que o embasamento que forma o leito do canal principal de drenagem apresenta-se extremamente cataclásado, evidenciando uma movimentação tectônica que pode estar relacionada diretamente à formação do vale. Na Figura 3 podemos observar o vale do rio Santana.

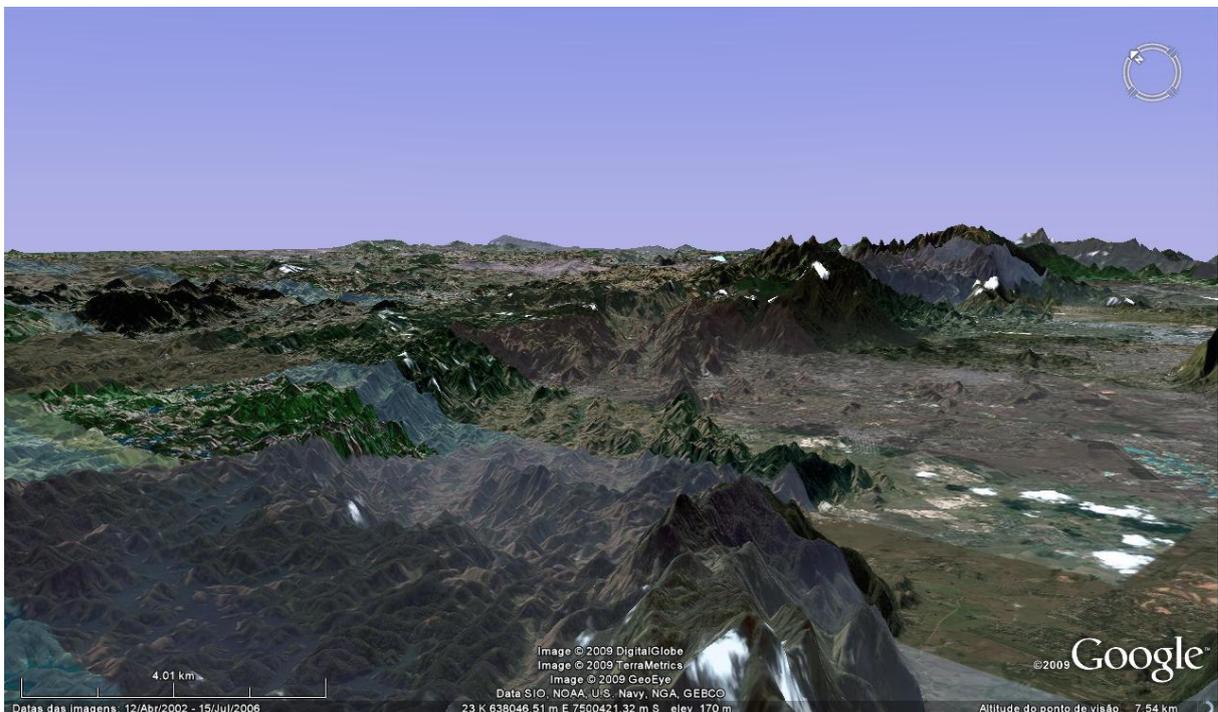


Figura 3 – Modelo de elevação digital do terreno mostrando o vale do rio Santana (fonte: Google Earth)

Penha *et al.* (1997) enumeram diferentes evidências sugestivas de tectonismo cenozóico no vale do rio Santana e, por esta razão, esses autores interpretam o vale do rio Santana como um gráben.

O gráben do rio Santana está localizado no interior do gráben da Guanabara, que, segundo Zalán & Oliveira (2005), está inserido no Rife Litorâneo do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil (Figura 2). O gráben do rio Santana é constituído por litologias que fazem parte das unidades mapeadas pelo Projeto Rio de Janeiro, realizado pelo CPRM (2001), descritas a seguir e ilustradas na Figura 4. Os resultados das análises petrográficas se encontram na Tabela 2 do Apêndice B.

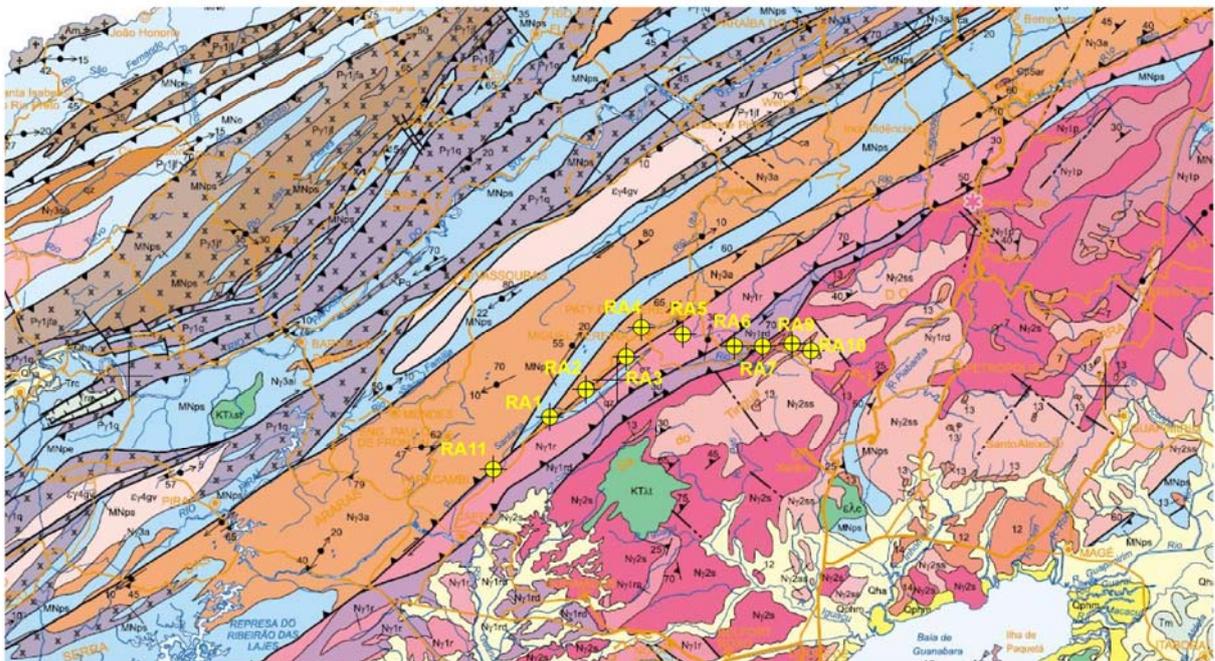


Figura 4 - Domínios geológicos do estado do Rio de Janeiro, com os pontos de amostragem plotados (fonte: CPRM, 2001).

Suíte Serra das Araras (Ny3a) – Granada-granito a duas micas, tipo-S, com granulação grossa, equigranular a porfirítico, com foliação transcorrente, rico em enclaves de paragneisse. Inclui fácies leucogranítica a silimanita-granada-muscovita-biotita com turmalina negra como mineral acessório.

Suíte Serra dos Órgãos – Unidade Serra dos Órgãos (Ny2s) – Hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica, composição cálcio-alcalina. Texturas e estruturas magmáticas preservadas com foliação tangencial em

estado sólido superimpostas. Localmente podem ser observados enclaves paleodiques sanfibolíticos.

Unidade Santo Aleixo (Ny2ss) - Fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisse parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção). Intrusões tardias de leucogranito tipo-S são comuns.

Complexo Rio Negro – Unidade Rio Negro (Ny1r) – Ortognaisse bandado, TTG, de granulação grossa, texturas porfiríticas recristalizadas e augen, com forte foliação tangencial. Intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfíbolito) ocorrem localizadamente. Intrusões de granada leucogranito tipo-S e de apófises de granitóides do Batólito Serra dos Órgãos ocorrem regionalmente.

Unidade Duas Barras (Ny1rd) – Fácies homogênea, foliada, de composição tonalítica, intrudida por veios e bolsões de leucogranito tipo-S.

Complexo Paraíba do Sul – Unidade São Fidélis (MNps) – Granada-biotita-sillimanita gnaisse quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos *in situ* ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaisse calcissilicático e quartzito freqüentes. Variedades com cordierita e sillimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaisse. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática (Ca) e quartzito (qz). Em raros domínios, com baixas taxas de strain estruturas turbidíticas são preservadas.

A Tabela 2 possui as amostras, em ordem geográfica, da amostra mais à jusante (RA11) até a amostra mais à montante (RA10) com suas respectivas rochas-fonte.

Tabela 2 – Amostras e suas respectivas rochas-fonte.

	Unid. Duas Barras	Unid. Rio Negro	Unid. São Fidélis	Suíte Serra das Araras	Unid. Santo Aleixo	Unid. Serra dos Órgãos
RA11	x	x	x	x	x	x
RA1	x	x	x	x		
RA2	x	x	x			
RA3		x		x		
RA4				x		
RA5	x	x			x	x
RA6	x					x
RA7	x				x	x
RA9					x	
RA10						x

3.3 Bacia de Santos

A bacia de Santos é uma bacia sedimentar com orientação geral SW-NE e geometria côncava, localizada no sudeste brasileiro, abrangendo a costa dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Figura 5) . Sua área é de aproximadamente 352.260 km², sendo limitada ao norte pelo arco de Cabo Frio (limite com bacia de Campos) e ao sul pelo alto de Florianópolis (limite com bacia de Pelotas), ambas sendo feições que se posicionam na terminação de lineamentos oceânicos expressivos, segundo Cainelli & Mohriak (1998). Para oeste, a bacia de Santos é limitada pela Serra do Mar, uma feição fisiográfica que confina a bacia marginal ao domínio oceânico.

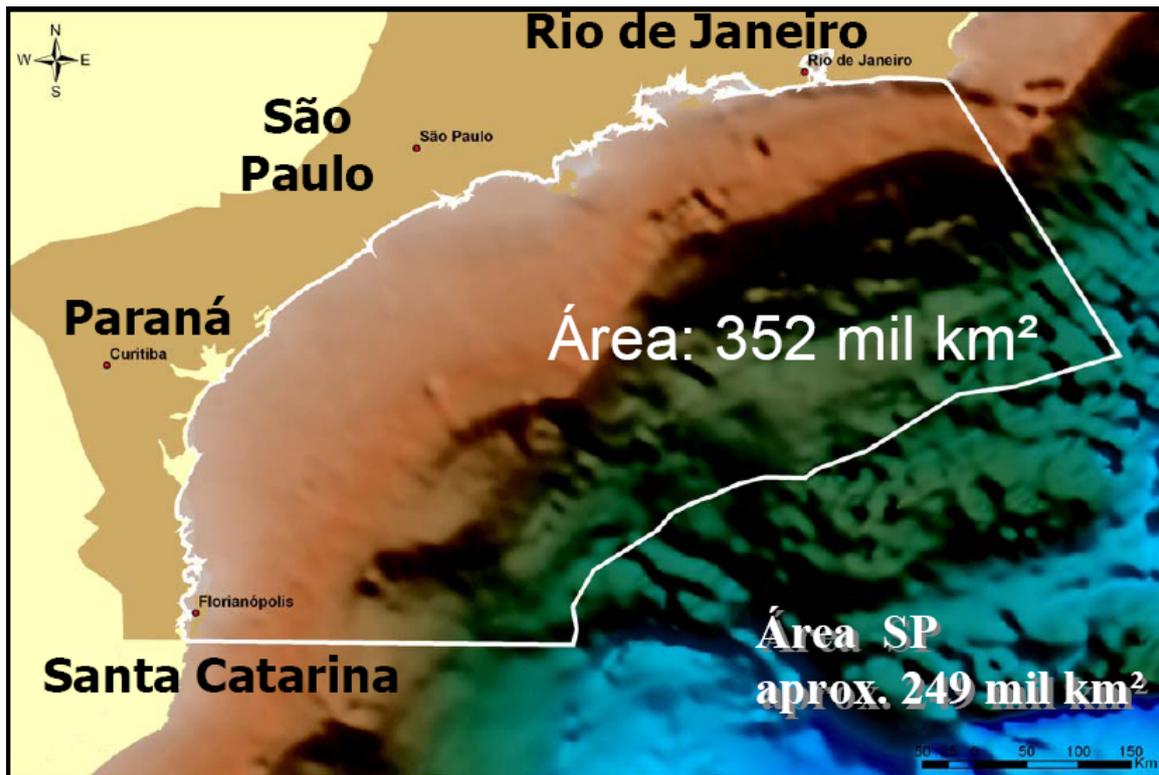


Figura 5 – Localização da Bacia de Santos (fonte: ANP).

Sua geração e evolução estão relacionadas ao evento de ruptura do Supercontinente de Gondwana, iniciado no Neocomiano, que culminou na abertura do Oceano Atlântico Sul e implantação das bacias marginais brasileiras no chamado Sistema de Riftes do Leste Brasileiro, de acordo com Chang *et al.* (1992).

Estes eventos foram, possivelmente, desencadeados pela atuação do *Hot Spot* de Tristão da Cunha, sob a área do Platô de São Paulo, que ocasionou ampla anomalia térmica na região, seguida de domeamento e implantação do processo de rifteamento (White & Mackenzie, 1989).

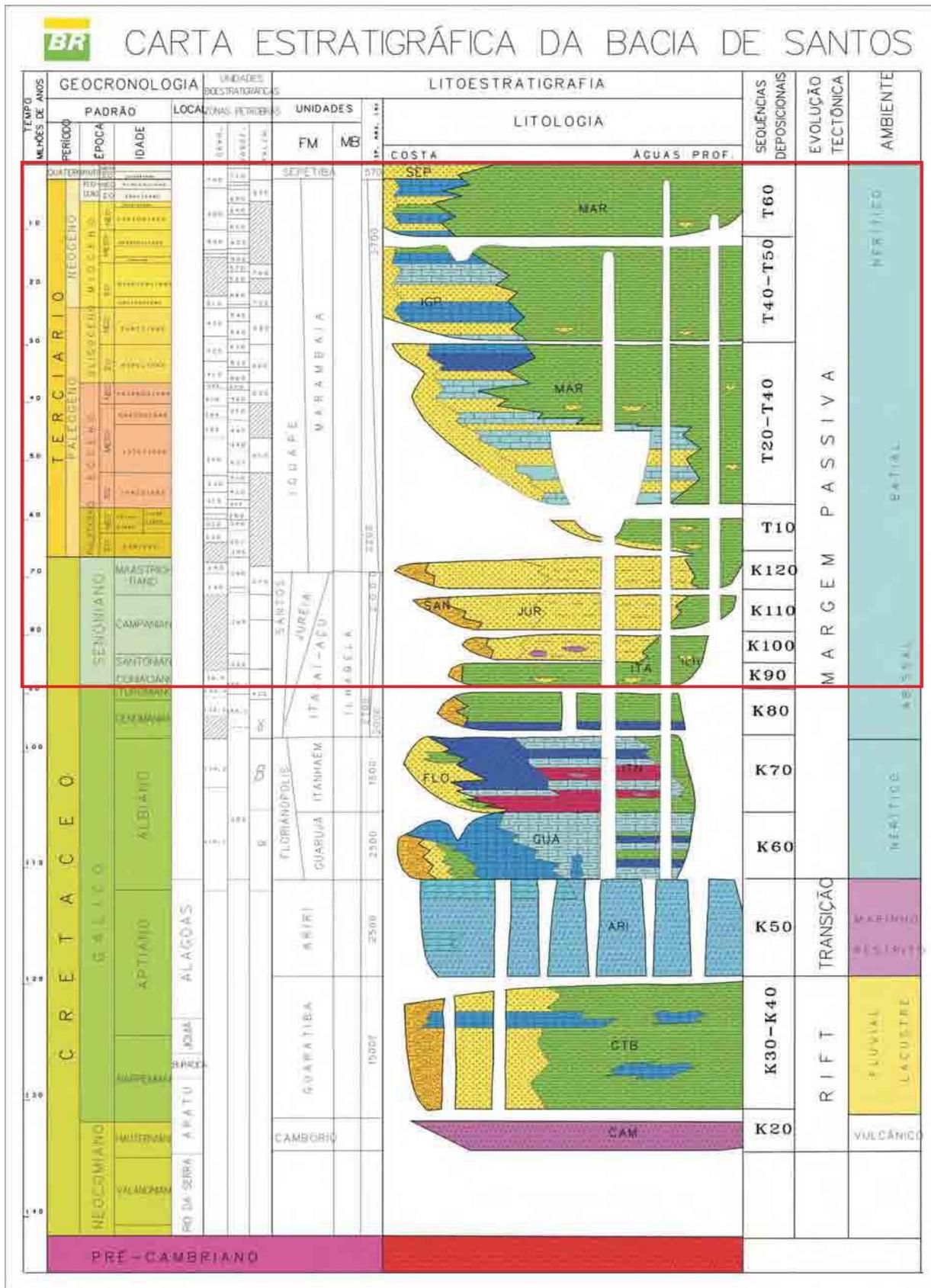
Desenvolveu-se inicialmente como uma bacia rifte, com intenso magmatismo na porção basal, sobreposto por depósitos flúvio-lacustres. Cessado o estiramento, a subsidência térmica implantou-se, instalando-se então um ambiente marinho restrito, com ampla deposição de evaporitos durante o Aptiano. No início do Albiano, com a progressão da abertura, foi gerada

uma plataforma carbonática rasa que foi progressivamente afogada a partir do Albiano Médio, por um oceano aberto em ambiente tectônico de margem passiva. A progressão da subsidência térmica gerou amplo espaço de acomodação, permitindo a deposição e preservação de espessuras sedimentares da ordem de até 15 km nos depocentros da bacia, segundo Mio (2005).

As areias que contribuem com a discussão de modelos análogos recentes de petrofácies e são diretamente aplicáveis à exploração petrolífera foram depositadas durante o Cenomaniano-Maastrichtiano. Com o progressivo aprofundamento da bacia, foram depositados espessos pacotes de clásticos finos da Formação Itajaí-Açu com arenitos turbidíticos intercalados do Membro Ilhabela, enquanto que nas porções mais proximais depositavam-se clásticos grossos em leques aluviais da Formação Santos e folhelhos e arenitos finos de plataforma da Formação Juréia (Vidal *et al*, 2003).

Para fins de comparação, as areias turbidíticas de idades Santoniana e Campaniana do Membro Ilhabela possuem granulometria média a grossa e são moderadamente a mal selecionadas, os turbiditos Maastrichtianos possuem granulometria fina e são bem selecionados, enquanto os arenitos da Formação Juréia possuem granulometria fina a grossa. Esses arenitos são classificados como arcóseos e arcóseos líticos (Folk, 1974), ricos em fragmentos de rochas vulcânicas ácidas e básicas (De ros *et al*, 2003).

Ainda segundo Sombra *et al* (1990), os arenitos da base da Formação Juréia e do Membro Ilhabela são constituídos predominantemente por quartzo (50-60%), feldspatos (20-25%) e litoclastos de rochas vulcânicas (10%), podendo ser classificados como arcóseos ou arcóseos líticos (Folk, 1974).



4 RESULTADOS

Texturalmente, as amostras são em geral areias grossas ($\phi=0,826$), mal selecionadas ($\sigma=1,103$), mesocúrticas ($KG=1,063$) e simétricas ($Ski=0,044$). Composicionalmente, as amostras são constituídas, predominantemente, por grãos de quartzo monocristalino ($Qm=64,28\%$); feldspato ($F=19,82\%$); biotita ($Biot=8,27\%$); quartzo policristalino ($Qp=2,93\%$); fragmentos líticos ($L=2,25\%$); minerais pesados ($MP=1,67\%$) e muscovita ($Musc=0,73\%$).

4.1 Caracterização dos parâmetros sedimentológicos

4.1.1 Parâmetros texturais

Os parâmetros texturais são controlados pela rocha fonte, o transporte sedimentar e o clima da região. Um gráfico de parâmetros texturais (Figura 7) foi plotado com os valores de média, desvio-padrão, assimetria, curtose e moda. Nesse gráfico, dois grupos com padrões texturais diferentes foram identificados, de acordo com suas diferenças nos valores de granulometria e seleção. Os grupos também estão separados geograficamente, ou seja, o grupo 1 é formado de amostras que se encontram na parte inferior do rio Santana, enquanto o grupo 2 é formado por amostras que se encontram na parte superior do mesmo. As amostras estão na ordem de localização geográfica, ou seja, a amostra RA11 se encontra mais à jusante do rio Santana enquanto a amostra RA10 se encontra mais à montante do mesmo. As

diferentes classificações e o número de amostras que cada grupo possui, com determinada classificação, foi resumida na Tabela 3.

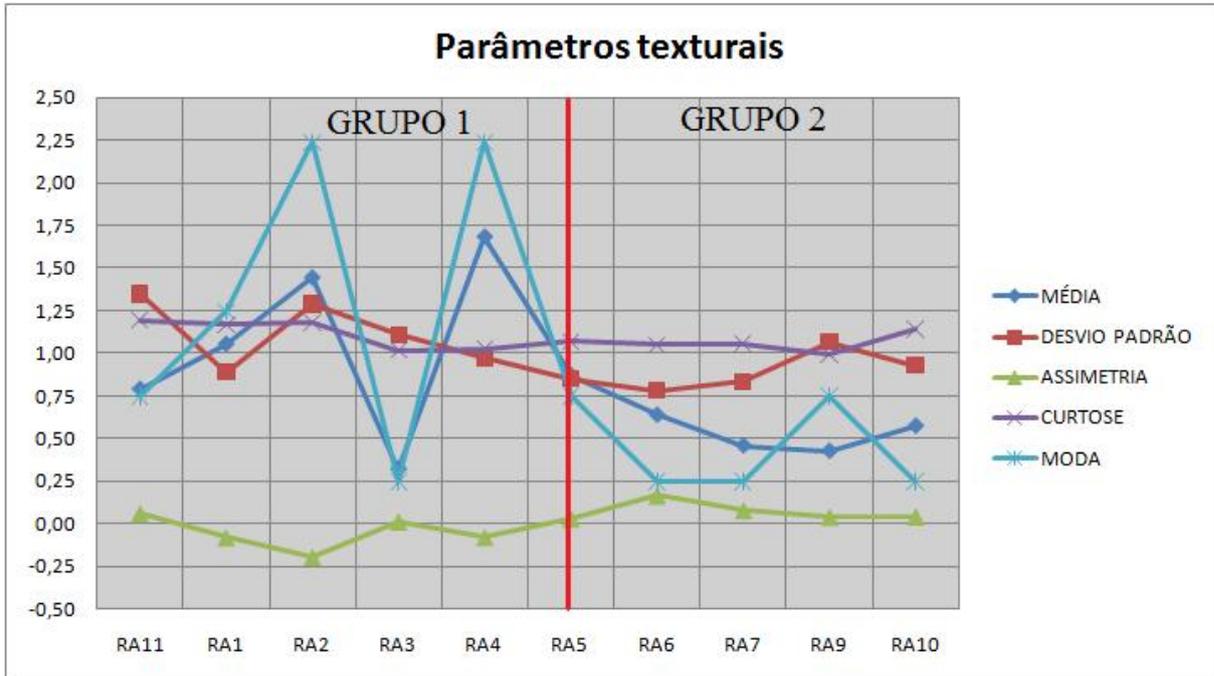


Figura 7 – Parâmetros texturais das amostras. A amostra RA11 se encontra mais à jusante do rio Santana, enquanto a amostra RA10 se encontra mais à montante.

Tabela 3 - Grupos de amostras separados por parâmetros texturais

	Granulometria		Seleção		Assimetria			Curtose	
	Areia média	Areia grossa	Moder	Mal	Pos.	Neg.	Simétrico	Lepto	Meso
Grupo 1	3	2	2	3	0	1	4	3	2
Grupo 2	0	5	4	1	1	0	4	1	4

Dentre os seis domínios geológicos presentes na área de estudo, apenas dois estão presentes simultaneamente nos dois grupos: unidade Rio Negro e unidade Duas Barras (Tabela 4). Como os grupos possuem expressivas diferenças na granulometria e na seleção,

podemos supor que esses dois domínios geológicos citados acima possuem influência menor na textura dos sedimentos das amostras.

Tabela 4 - Amostras separadas em grupos e seus domínios geológicos correspondentes

	Amostras	Domínios geológicos
Grupo 1	RA11, RA1, RA2, RA3, RA4	Unid. São Fidélis, Suíte Serra das Araras
Grupo 2	RA5, RA6, RA7, RA9, RA10	Unid. Santo Aleixo, Unid. Serra dos Órgãos

4.1.2 Granulometria

Nas amostras observa-se uma variação granulométrica que vai de areia média ($\phi=1,683$) a areia grossa ($\phi=0,320$), o que também pode ser observado na Figura 8. Observando a Figura 7, no grupo 1 temos 3 amostras com areia média, enquanto no grupo 2 todas as amostras são formadas por areia grossa. Isto pode ser uma indicação de que os domínios geológicos da área do grupo 2, unidades Santo Aleixo e Serra dos Órgãos, contribuem com uma granulometria mais grossa do que os domínios geológicos da área do grupo 1 (unidade São Fidélis e suíte Serra das Araras).

4.1.3 Seleção

O desvio-padrão calculado nas amostras aponta seleção baixa ($\sigma=1,103$), e uma variação de moderadamente selecionado ($\sigma=0,782$) a mal selecionado ($\sigma=1,289$). Em relação a Figura 7, o grupo 2 apresenta melhor seleção em relação ao grupo 1, com quatro das cinco amostras classificadas como moderadamente selecionadas, e apenas uma mal selecionada. O grupo 1 possui três amostras classificadas como mal selecionadas, o que indica uma diferença maior entre a granulometria dos domínios geológicos influentes nas amostras.

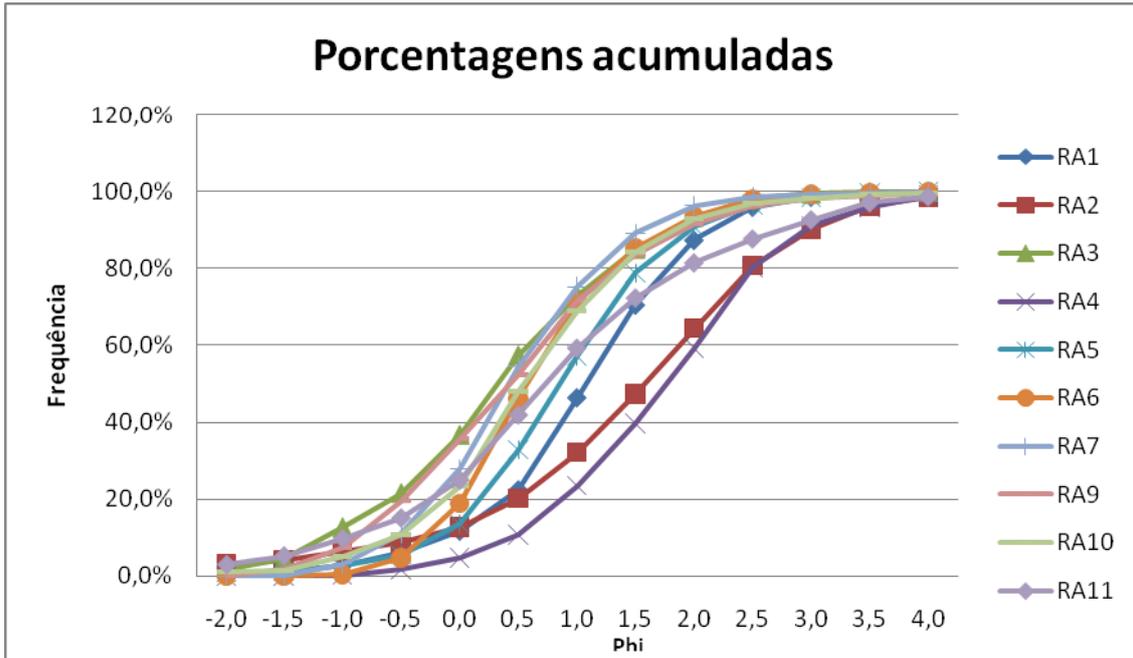


Figura 8 – Análise granulométrica. Observa-se a predominância de granulometria média e grossa.

4.1.4 Assimetria

As amostras apresentam distribuição simétrica com o valor médio de 0,044, e uma variação de -0,195 (assimetria negativa) e 0,166 (assimetria positiva). Observando a Figura 7, os dois grupos de amostras possuem quatro resultados simétricos, porém no grupo 1 uma amostra apresenta assimetria negativa enquanto no grupo 2 uma amostra apresenta assimetria positiva.

4.1.5 Curtose

A curtose apresenta valor médio de 1,063, e valores que vão de 0,994 (mesocúrtica) até 1,195 (leptocúrtica). A população presente é predominantemente mesocúrtica. Como observado na Figura 7, o grupo 1 apresenta três amostras leptocúrticas e duas mesocúrticas, enquanto o grupo 2 possui uma amostra leptocúrtica e quatro mesocúrticas. Este parâmetro versa sobre a distribuição interna da granulometria dos sedimentos, e isso indica que o grupo

1, que possui três amostras classificadas como leptocúrticas, possui melhor distribuição dos sedimentos.

4.2 Caracterização petrográfica

4.2.1 Aspectos gerais

Como pode ser observado na Figura 9, o principal mineral constituinte das amostras é o quartzo, sendo 64% de monocristalino e 3% de policristalino. Os grãos em sua maioria apresentam-se subangulosos a angulosos, com exceção de alguns grãos de areia média superior e grossa, com moderada esfericidade. Pode ou não apresentar fraturas e revestimento de óxido de Ferro. Pode ser observado nas fotomicrografias 1, 2, 3, 4 e 8 da estampa I e 9, 12 e 15 da estampa II do apêndice C.

Os feldspatos (F=20%) são compostos em sua maioria por microclina (16%) e subordinadamente pelo plagioclásio (4%), podem ou não apresentar feições de alteração dos mais variados graus. A maioria apresenta cor castanho claro, com forma subarredondada, mas em geral possuem forma subangulosa a angulosa, e baixo a médio grau de esfericidade. Podem ser observados nas fotomicrografias 1, 2, 5 e 6 da estampa I e 9, 10, 13, 14 e 15 da estampa II do apêndice C.

A biotita (Biot=8%) apresenta hábito tabular, pleocroísmo e coloração marrom característica. Alguns grãos possuem cor esverdeada, denotando alteração para clorita. Pode ser observada nas fotomicrografias 1, 2, 3 e 4 da estampa I e 11 da estampa II do apêndice C.

Os fragmentos líticos (FR= 2%) são compostos majoritariamente por fragmentos de rochas de composição granítica. São pouco abundantes, apresentam variadas dimensões, desde a granulometria areia fina até superiores aos grãos do arcabouço, geralmente são

arredondados. Podem ser observados nas fotomicrografias 7 da estampa I e 16 da estampa II do apêndice C.

Os minerais acessórios são representados pela muscovita (Musc=1%), o piroxênio, que aparece em apenas uma amostra (Pirox=0,6%) e o óxido de ferro. Podem ser observados nas fotomicrografias 3 e 4 da estampa I e 9 da estampa II do apêndice C.

A Tabela 2 do apêndice B possui o resultado da contagem de pontos das lâminas, suas porcentagens minerais por amostra.

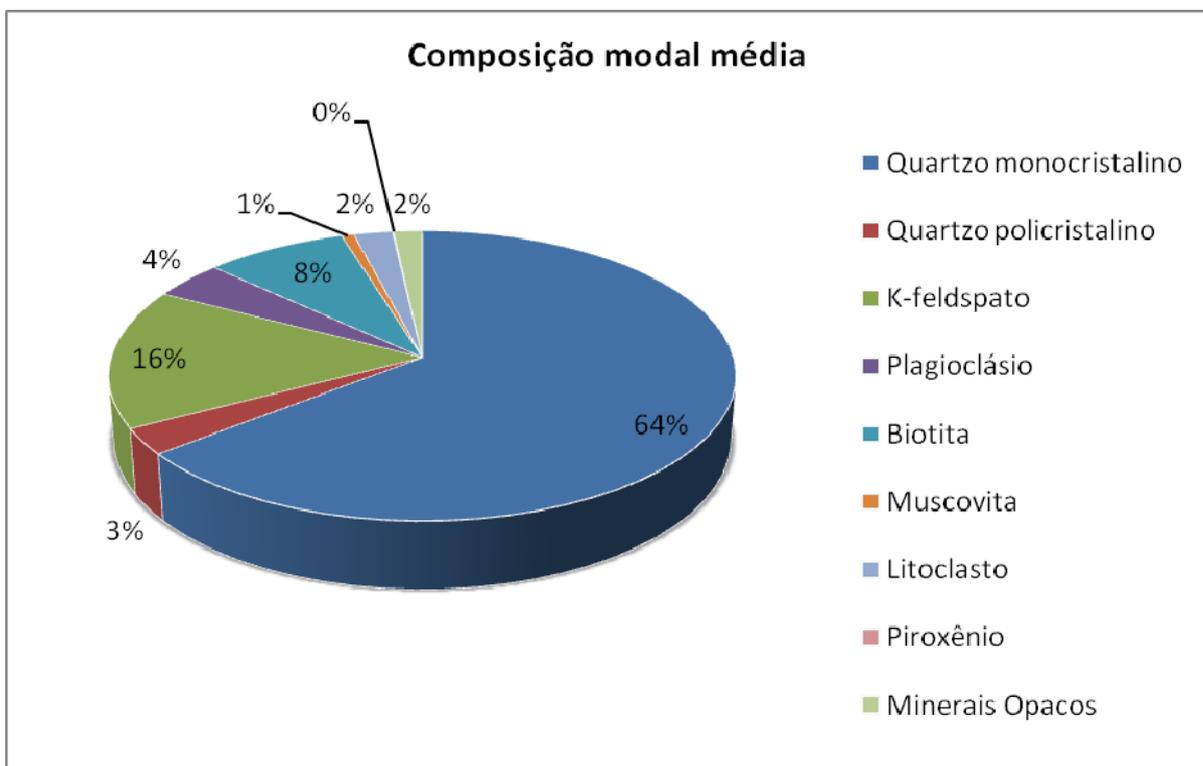


Figura 9 - Gráfico em pizza da composição mineralógica média das amostras, mostrando o predomínio de quartzo monocristalino, seguido de feldspato potássico e biotita.

4.2.2 Caracterização das amostras

As variações na assembléia mineralógica das amostras entre um ponto e outro podem auxiliar na compreensão das diferentes influências da área fonte dos sedimentos.

No gráfico da Figura 10 está representada a frequência relativa dos minerais nas amostras coletadas. A ordem das amostras segue a mesma da Figura 7, ou seja, em ordem geográfica, a amostra 11 se localiza mais à jusante e a amostra 10 mais à montante. A composição mineralógica é constituída predominantemente por quartzo, seguido pelo feldspato. O teor de quartzo apresenta os menores valores percentuais em quatro amostras, RA1, RA4, RA7 e RA10. No ponto RA1 o teor de quartzo diminui em detrimento do teor de feldspato, que aumenta. Tanto a microclina quanto o plagioclásio apresentam teores maiores neste ponto. Isto pode ser explicado pelas rochas-fonte que circundam o ponto onde a amostra foi coletada, formadas por rochas de composição granítica (unidade Duas Barras, Rio Negro, São Fidélis e suíte Serra das Araras). O ponto RA4 possui queda no teor de quartzo e o valor mais alto do teor de biotita. Isso se deve ao fato da rocha-fonte influente nesta área possuir composição granítica e alto teor de biotita em sua composição (suíte Serra das Araras). Os três maiores valores de concentração de biotita, pontos RA1, RA3 e RA4, possuem influência das rochas desta unidade.

O ponto RA7 possui o maior valor do teor de microclina, e isso se deve, provavelmente, ao fato do feldspato potássico ser de origem granítica, mais resistente ao intemperismo. Este ponto se encontra sob a influência das rochas das unidades Duas Barras, Serra dos órgãos e Santo Aleixo.

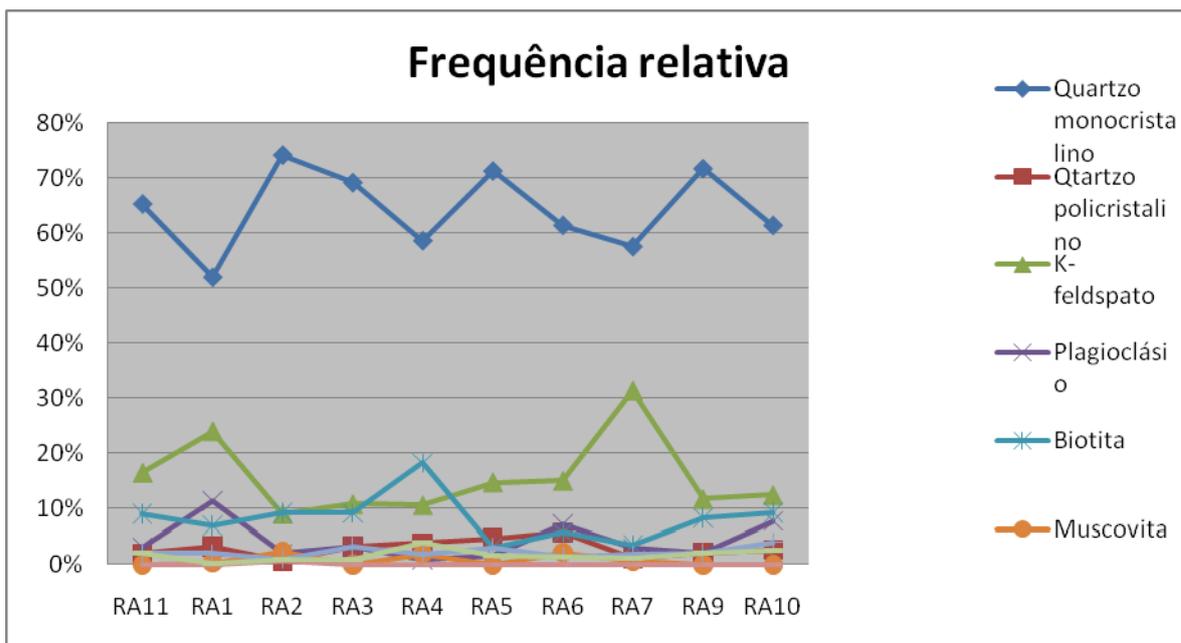


Figura 10 - Gráfico de frequência relativa dos minerais por amostra. As amostras apresentam uma sequência geográfica, da jusante para a montante, da amostra 11 para a amostra 10.

Como podemos observar na Figura 11, as areias das amostras RA1, RA6, RA7 e RA10 foram classificadas no diagrama QfI de Folk (1974) como areia feldspática, pois são compostas em média por 67% de quartzo, subordinadamente por feldspato (microclina e plagioclásio, 30%) e de fragmentos líticos (3%), apresentando mineralogia imatura devido à alta concentração de feldspato.

As areias das amostras RA2, RA3, RA4, RA5, RA9 e RA11 foram classificadas no diagrama QfL de Folk (1974) como areia subfeldspática, pois são compostas em média por 81% de quartzo, subordinadamente por feldspato (microclina e plagioclásio, 16%) e de fragmentos líticos (3%).

A classificação petrográfica de Dickinson (1985) aponta para três populações distintas em termos de proveniência (Figura 11). Essa classificação contrasta com a realidade, pois a região, como exposto anteriormente, é circundada por rochas de embasamento soerguido. Tal resultado pode ser justificado a partir de uma análise do clima e da área-fonte das amostras. O clima úmido da região favorece a degradação dos minerais instáveis ao intemperismo, como o

feldspato, havendo uma concentração de quartzo que é o elemento mais estável formador de rocha. Analisando-se a área fonte nota-se que é composta em grande parte por rochas graníticas e quartzo gnaises colaborando, assim, para a concentração de quartzo. Diante do exposto acima, é justificada a abundância de quartzo que desloca a indicação de ambiente tectônico de embasamento soerguido para continental transicional e interior cratônico.

No diagrama referido, apenas as amostras RA1 e RA7 foram classificadas como embasamento soerguido.

A partir do exposto, conclui-se que o Diagrama de Dickinson (1985), neste caso, não pode ser aplicado e sua classificação torna-se sem utilidade para o estudo em questão.

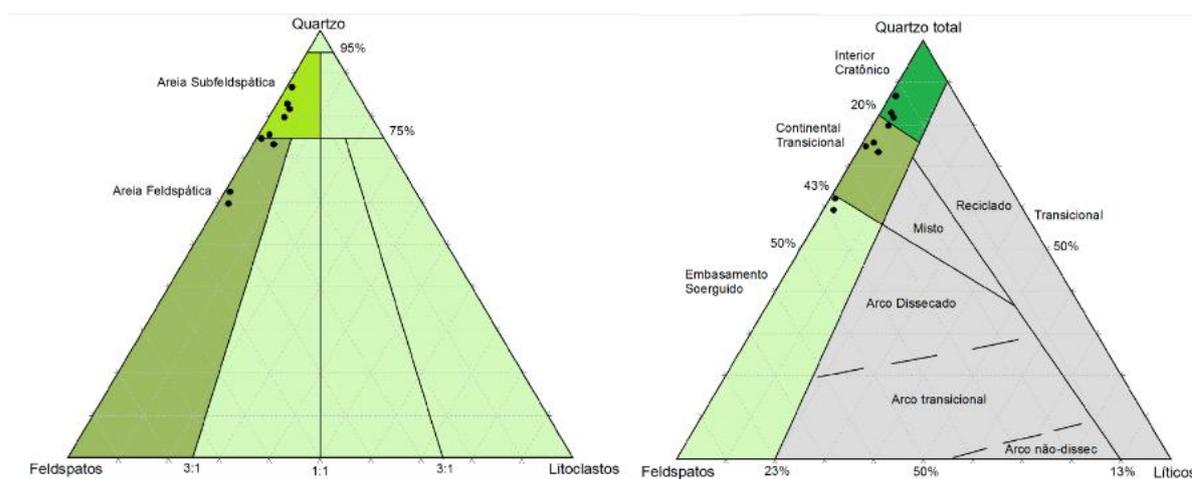


Figura 11 – Distribuição composicional das amostras plotadas no diagrama de Folk (1974) e Dickinson (1985).

5 CORRELAÇÃO TEXTURAL E PETROGRÁFICA

A variação dos valores de parâmetros texturais nas areias das amostras mostram diferenças significativas na moda e na média, permitindo a separação em dois grupos de amostras com características sedimentológicas semelhantes. O processo de segregação dos grãos, em função da granulometria e do grau de arredondamento, podem indicar a atuação de processos deposicionais nas areias das barras fluviais.

Um *Cluster* de agrupamento por semelhanças foi feito com os dados texturais das amostras. Analisando o *Cluster* da Figura 12, vemos que, por métodos estatísticos, podemos separar as amostras em três famílias distintas.

A família T1 é formada pelas amostras RA2 e RA4, que possuem valores de média e moda muito similares. Estas amostras também se encontram no mesmo grupo textural separado no gráfico da Figura 7. Em concordância com a textura, a classificação petrográfica de Folk (1974) é a mesma, sendo as duas classificadas como areias subfeldspáticas. Apesar dessas similaridades, as duas amostras não compartilham rochas-fonte.

A família T2 é formada pelas amostras RA3, RA6, RA7 e RA10. A amostra RA3 é a única que pertence a um outro grupo textural do gráfico da Figura 7 e, além disso, ela não compartilha nenhuma rocha-fonte com as amostras desta família. Isto ocorre pois esta amostra é a que possui os valores texturais mais baixos do grupo 1 (Figura 7), o que a aproxima do grupo 2 (Figura 7). Em relação à classificação petrográfica de Folk (1974), há discordâncias. Enquanto a amostra RA3 é classificada como areia subfeldspática, as outras amostras são classificadas como areia feldspática. Tendo em vista estas diferenças entre a amostra RA3 e as

demais desta família, pode-se inferir que a mesma possui características texturais semelhantes devido ao transporte e intemperismo que o sedimento sofreu.

A família T3 é formada pelas amostras RA5, RA9 e RA11. A amostra RA11 pertence a um outro grupo textural do gráfico da Figura 7. Esta amostra é uma resultante de todas as rochas-fonte, ou seja, foi coletada no fim do curso do rio Santana, onde teoricamente recebeu sedimento de todas as rochas da área. Seus valores texturais são mais altos do que das outras amostras. Em relação à classificação petrográfica de Folk (1974), há concordância, todas são classificadas como areia subfeldspática.

A amostra RA1 não se encontra diretamente inserida em nenhuma família, e em um segundo grau de semelhança, ela poderia estar inserida nas famílias T2 ou T3. Isto significa que texturalmente ela não está relacionada a nenhuma outra amostra. Levando em consideração que esta amostra compartilha rocha-fonte, classificações texturais e petrográfica de Folk (1974) com outras amostras, podemos concluir que os sedimentos desta amostra tiveram sua textura alterada pelo transporte sedimentar e intemperismo.

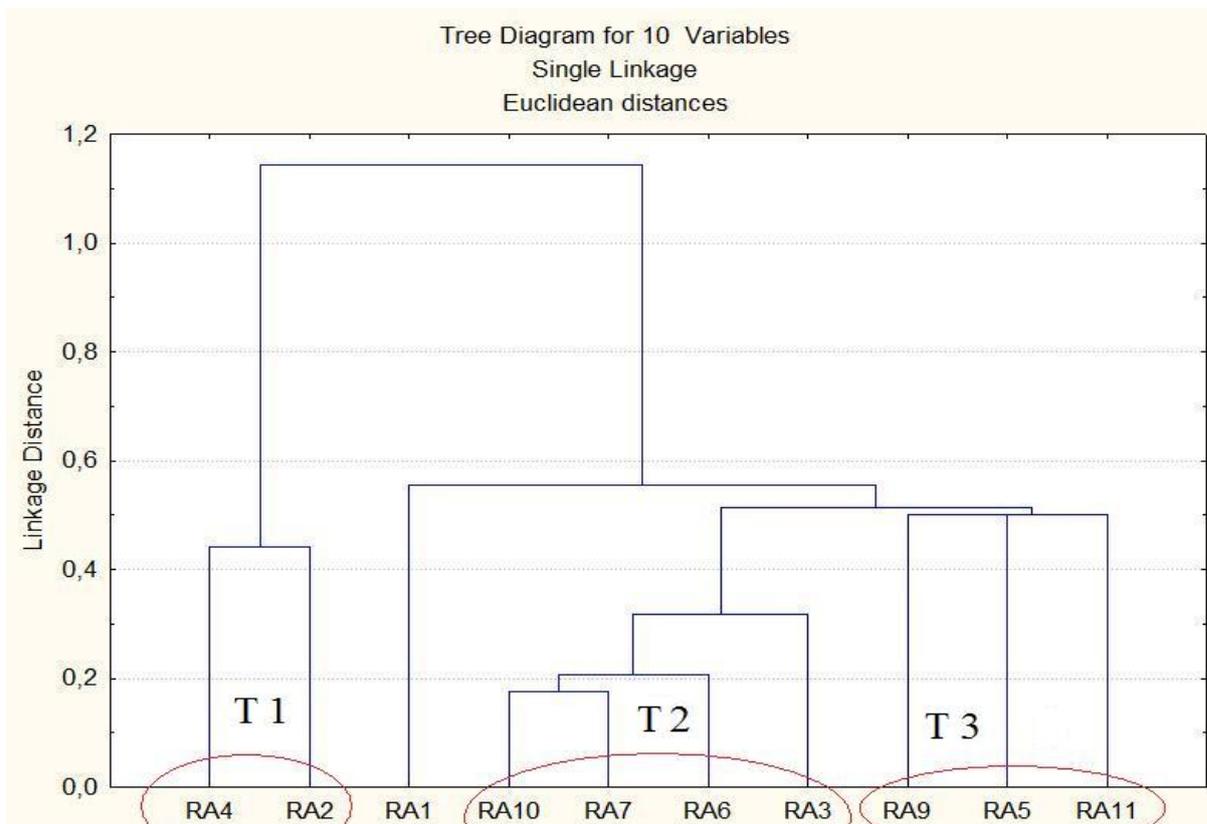


Figura 12 – *Cluster* agrupando as amostras em 3 famílias de acordo com a similaridade de seus valores de parâmetros texturais.

Com a mesma metodologia, foi feito um *Cluster* com as porcentagens minerais das amostras, e as mesmas também foram agrupadas por semelhança em três famílias composicionais relacionadas entre si (Figura 13).

A família P1 é formada pelas amostras RA1 e RA7. Estas amostras não se encontram no mesmo grupo textural do gráfico da Figura 7, mas podem ser classificadas como da mesma família no *Cluster* textural (Figura 12) e possuem a mesma classificação de Folk (1974), areia feldspática. Estas amostras são as que possuem os menores teores de quartzo e os maiores teores de microclina. Como as duas amostras também possuem uma rocha-fonte em comum (unidade Duas Barras), pode-se supor uma influência petrográfica da área-fonte superior à influência textural, provavelmente em detrimento do transporte sedimentar e do intemperismo.

A família P2 é formada pelas amostras RA6 e RA10. Estas amostras se encontram no mesmo grupo textural do gráfico da Figura 7, assim como na mesma família representada no *Cluster* textural (Figura 12). As duas amostras possuem a mesma classificação de Folk (1974), areia feldspática. Essas duas amostras possuem uma área-fonte em comum (unidade Serra dos Órgãos) e possuem dois dos três maiores valores de plagioclásio, o que pode ser explicado pelo fato da rocha-fonte em comum possuir composição cálcio-alcálica. Analisando estes dados, podemos concluir que essas duas amostras apresentam traços marcantes de influência textural e petrográfica da rocha-fonte.

A família P3 é formada pelas amostras RA2, RA3, RA5, RA9 e RA11. As amostras RA2, RA3 e RA5 possuem uma área-fonte em comum (unidade Rio Negro), e as amostras RA5 e RA9, por sua vez, também possuem uma rocha-fonte em comum (unidade Santo Aleixo). Em relação à classificação textural do gráfico da Figura 7, elas se encontram em grupos distintos. Em relação ao *Cluster* textural (Figura 12), as amostras se distribuem nas três diferentes famílias encontradas. No gráfico de frequência relativa dos minerais (Figura 10), pode-se observar que estas amostras possuem as concentrações mais altas de quartzo. Na classificação petrográfica de Folk (1974), todas as amostras estão plotadas no campo de areia subfeldspática. Tendo em vista que o principal ponto em comum destas amostras é a alta concentração de quartzo, podemos supor que a influência do transporte sedimentar e do intemperismo sofrido pelo sedimento é mais alta do que a influência textural e petrográfica da rocha-fonte.

A amostra RA4 não se encontra diretamente inserida em nenhuma família, e em um segundo grau de semelhança, ela poderia estar inserida nas famílias P2 ou P3. Isto significa que composicionalmente ela não está relacionada a nenhuma outra amostra. Levando em consideração que esta amostra compartilha rocha-fonte, classificações texturais e petrográfica

de Folk (1974) com outras amostras, podemos concluir que os sedimentos desta amostra tiveram sua composição alterada pelo transporte sedimentar e intemperismo.

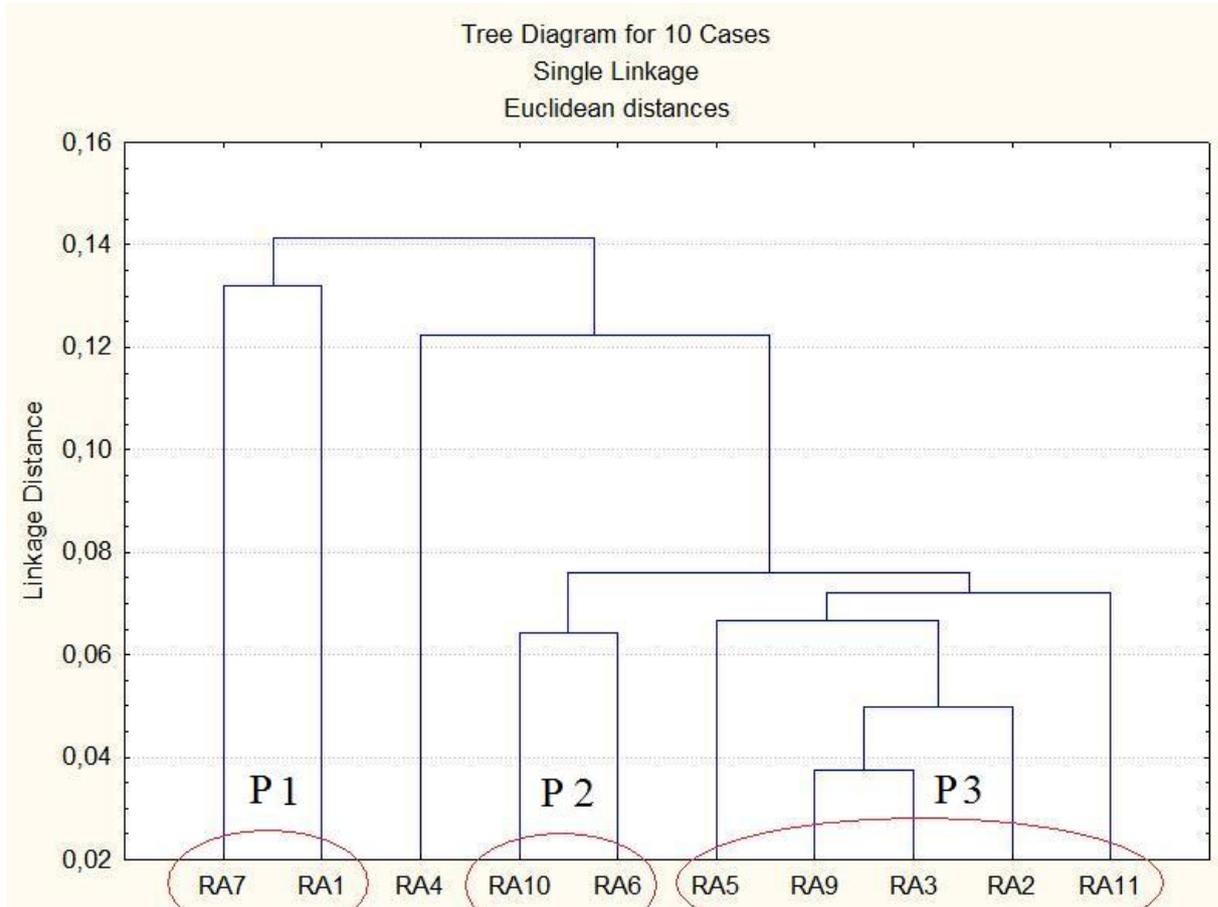


Figura 13 – *Cluster* agrupando as amostras em 3 famílias de acordo com a similaridade de seus valores de porcentagens minerais.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo visou a caracterização textural e composicional de areias em canais fluviais na bacia hidrográfica do rio Santana.

Na Tabela 4 foram sumarizados os resultados das análises dos gráficos de parâmetros texturais (Figura 7), classificação petrográfica de Folk (1974), *Cluster* textural (Figura 12) e o *Cluster* petrográfico (Figura 13).

Tabela 4 – Resultados das análises realizadas com as amostras.

	Parâmetros texturais	<i>Cluster</i> text.	Folk (1974)	<i>Cluster</i> petrog.
RA11	Grupo 1	T3	Areia subfeld.	P3
RA1	Grupo 1	-	Areia feld.	P1
RA2	Grupo 1	T1	Areia subfeld.	P3
RA3	Grupo 1	T2	Areia subfeld.	P3
RA4	Grupo 1	T1	Areia subfeld.	-
RA5	Grupo 2	T3	Areia subfeld.	P3
RA6	Grupo 2	T2	Areia feld.	P2
RA7	Grupo 2	T2	Areia feld.	P1
RA9	Grupo 2	T3	Areia subfeld.	P3
RA10	Grupo 2	T2	Areia feld.	P2

Esta tabela possui quatro classificações para cada amostra, duas texturais e duas petrográficas. Comparando apenas as classificações texturais, podemos observar que as classificações entre os grupos e famílias não são as mesmas. O grupo 1 dos parâmetros

texturais possui rochas das três famílias do *Cluster* textural, enquanto o grupo 2 possui rochas de duas famílias diferentes. Isto mostra rochas que possuem a mesma rocha-fonte com características texturais diferentes, denotando um indício da atuação do transporte sedimentar e intemperismo sobre as amostras.

Comparando as classificações petrográficas, vemos que as amostras classificadas como areia feldspática pertencem às famílias P1 e P2, e as classificadas como areia subfeldspática pertencem unicamente à família P3. Isso ocorre devido à maior concentração de quartzo nessas amostras, evidenciando a influência do clima e intemperismo nestas amostras.

Comparando os resultados texturais e os petrográficos, podemos concluir que as discordâncias texturais/petrográficas/rochas-fonte encontradas nas amostras se devem ao intemperismo dos minerais menos estáveis, devido à influência do clima da região.

Texturalmente, as areias do gráben do rio Santana são similares aos arenitos turbidíticos de idades Santoniana e Campaniana do Membro Ilhabela e aos arenitos da Formação Juréia, com granulometria média a grossa e nível de seleção baixo a moderado (De Ros, 2003).

Composicionalmente, os arenitos da base da Formação Juréia e os do Membro Ilhabela são constituídos predominantemente por quartzo (50-60%), feldspatos (20-25%) e litoclastos de rochas vulcânicas (10%), sendo classificado por Folk (1974) como arcóseos ou arcóseos líticos. As areias do gráben do rio Santana são constituídas, em média, por quartzo (67%), feldspatos (20%) e litoclastos de rochas graníticas (2%), sendo classificadas por Folk (1974) como areias subfeldspáticas e areias feldspáticas. Comparando as duas composições, podemos notar que os valores médios de quartzo e feldspato são similares. Já em relação aos líticos, além da porcentagem ser diferente, a composição é outra. Isso indica que os líticos vulcânicos presentes na Formação Juréia e no Membro Ilhabela possuem outra proveniência.

Referências bibliográficas

- Basu, A. 1985. Influence of Climate and Relief on Compositions of Sands Released at Source Areas. *In: ZUFFA, G.G. (ed.) Provenance of arenites*. Dordrecht, D. Reidl Publ., p.1-18. (NATO Series)
- Cainelli, C. & Mohriak, W.U. 1998. Geology of the Atlantic Eastern Brazilian Basins. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION SHORT COURSE – Brazilian Geology, Short Course – Brazilian Geology*.
- Chang, H.K.; Kowsmann, R.O.; Figueiredo, A.M.F.; Bender, A.A. 1992. Tectonics and Stratigraphy of the East Brazil Rift System: an Overview. *Tectonophysics*, 213: 97 -138.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2001. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília, CPRM, 85p.
- De Ros, F.L.; Mizusaki, P.M.A.; Silva, A.M.C.; Anjos, C.M.S. 2003. *Volcanic rock fragments of Paraná basin provenance in the upper cretaceous sandstones os Santos basin, eastern brazilian margin. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro.
- Dickinson, W.R. 1985. Interpreting provenance relation from detrital Modes of sandstones. *In: ZUFFA, G.G. (ed) Provenance of arenites*. Dordrecht, D. Reidl Publ., p.333-361. (NATO Series).
- DRM/RJ, 1982. Mapa Geológico da Folha Paracambi (1:50.000). Niterói (RJ), Div. de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. (Doc. Interno, folha avulsa).
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. 2.ed. Austin, Hemphill Publ. Co., 184p.
- Folk, R.L.; Weaver, C.E.. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*: Hemphill`s, Austin, Texas, 170p.
- Madeira, C.V.; Borghi, L. 1999. Estrutura dos depósitos sedimentares quaternários da bacia hidrográfica do Rio Santana, Miguel, Pereira, Estado do Rio de Janeiro. RJ – Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 22: 8 – 22.
- Mio, E. 2005. *Modelagem crustal da bacia de Santos pela integração de métodos geofísicos*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 108p.

Penha, H.M.; Barand, R. 1989. Atividade sísmica na região de Monsuaba, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Uma avaliação geológica/geofísica. *Simp.de Geol. do Sudeste*.1. Rio de Janeiro. 1989. Bol. de Resumos...Rio de Janeiro, SBG. p.136.

Penha, H.M.; Ferrari, A L.; Moretti, C. & Panagoulas, T.I. 1997. Indicativos de eventos tectônicos cenozóicos no lineamento Jacuecanga-Conrado. O exemplo da região do Médio/Baixo Curso do Rio Santana, RJ. *Simp. de Geol. do Sudeste*. 5. Penedo.1997. Rio de Janeiro, SBG. p 71-73.

Pereira, M.J., Feijó,F.J. Bacia de Santos. Estratigrafia das bacias sedimentares do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.8. n.1, p. 219-234, 1994.

Sombra, L.C.; Arienti, M.L.; Pereira, J.M.; Macedo, M.J. 1990. Parâmetros Controladores da Porosidade e da Permeabilidade nos Reservatórios Clásticos Profundos do Campo de Merluza, Bacia de Santos, Brasil. *B. Geoci. Petrobrás*, 4 (4): 451-466.

Vidal, A.C.; Chang, H.C.; Corrêa, F.S. et al. 2003. *Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos*. São Paulo, ANP/UNESP/LEBAC. 180p.

White, R.S. & McKenzie, D.P. 1989. Magmatism at Rift Zones: the Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts. *Journal of Geophysical Research*, 94: 7685 – 7729.

Zalán, P.V.; Oliveira, J.A.B. 2005. Origem e Evolução Estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. RJ – Brasil. *B. Geoci. Petrobras*, 13 (2): 269-300.

Apêndice A - Métodos de análise granulométrica

1. Análise textural

A amostragem do material para a realização de ensaios granulométricos tem como objetivo determinar aspectos morfoscópicos, forma, angulosidade e parâmetros texturais tais como moda, média, curtose, seleção e assimetria, através das curvas granulométricas. As amostras dos cordões arenosos e do testemunho foram quarteadas para gerar subamostras para ensaios granulométricos e análise petrográfica.

A análise da distribuição granulométrica considera parâmetros discriminadores e morfodinâmicos de aspectos de superfície, tamanho e forma das partículas que compõem a areia e/ou arenito.

A preparação das amostras, para análise granulométrica, considera alguns fatores importantes que podem interferir no resultado final do tamanho do grão, recomendando que todas as substâncias que interfiram no processo sejam removidas, como argilas, carbonatos e precipitados químicos.

O ensaio granulométrico aplicado nas amostras coletadas foi realizado de acordo com os procedimentos definidos por Folk (1968), com o propósito de obter o tamanho do grão das partículas clásticas que foram depositadas. As análises foram realizadas no laboratório de geologia sedimentar, com o auxílio do técnico Roberto Gomes de Lima. Utilizando um conjunto de 11 peneiras, com intervalo de $\phi=25$ entre cada, incluindo as peneiras principais e as intermediárias, com objetivo de detalhar a amostragem. As propriedades das peneiras utilizadas seguem na Tabela abaixo:

Tabela 1-Especificações das peneiras utilizadas em mm, Φ e mesh.

mm	2,00	1,41	1,00	0,71	0,50	0,35	0,250	0,180	0,125	0,088	0,062
Φ	1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
n ^o peneira	10	14	18	25	35	45	60	80	120	170	230

Para acelerar o processo de análise, as peneiras foram colocadas no agitador e fixadas com um suporte durante 15 minutos. Em seguida, a areia foi separada de acordo com a sua granulometria e cada fração foi pesada individualmente na balança digital.

2. Apresentação gráfica da análise granulométrica

Neste estudo os gráficos de frequência cumulativa e histograma de massa foram utilizados para auxiliar na visualização dos resultados e distribuição dos sedimentos, além de permitir a comparação entre as amostras.

O histograma de massa é um gráfico de barras que representa as porcentagens dos valores de granulometria. Segundo Folk (1968), a curva cumulativa de probabilidade deve ser usada para a determinação de todos os parâmetros estatísticos devido à facilidade de leitura dos valores no gráfico e à sua acuracidade, depende do tamanho das partículas e a inclinação depende do grau de seleção dos grãos. A curva cumulativa critmética permite a visualização de todos os parâmetros estatísticos e a comparação entre os valores.

A curva de frequência é obtida através da medida da inclinação das curvas de tangente da curva cumulativa. Os dados de análise granulométrica podem ser plotados em gráficos com base aritmética e/ou com base logarítmica, dependendo da finalidade do trabalho, sendo a primeira de maior acurácia e facilidade na leitura visual, Folk (1968).

2.1. Parâmetros estatísticos de análise granulométrica

A aplicação dos parâmetros estatísticos descreve quantitativamente as feições das curvas granulométricas; esses valores podem ser tabulados e até indicadores de ambientes de sedimentação diferentes.

Folk (1968), define que moda é uma propriedade que representa o diâmetro da partícula que mais ocorre em uma dada distribuição granulométrica. Este diâmetro corresponde ao ponto de inflexão da curva cumulativa, somente se a curva estiver em escala aritmética, podendo ser o ponto mais alto da curva de frequência. A única maneira de determinar a moda é utilizando o gráfico de probabilidade com as amostras plotadas, e medir a porcentagem de ocorrência das amostras que apresentam um diâmetro menor que o grão mais grosso; e um diâmetro maior que o grão mais fino. Este procedimento é feito repetidamente até obter o valor mais alto que corresponde ao diâmetro da moda.

Este parâmetro estatístico apresenta importância na avaliação da gênese do sedimento, transporte de sedimentos, principalmente quando duas ou mais fontes contribuem. O diâmetro modal tende a permanecer constante em algumas áreas, enquanto que em outras pode variar bastante.

Segundo Folk (1968), a média é determinada através da medida gráfica dada pela fórmula: $Mz = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84) / 3$.

Folk (1968), afirma que as medidas de tendência central são avaliadas para determinar a uniformidade de distribuição e seleção dos sedimentos.

Desvio padrão é uma ótima medida de seleção dos grãos, apesar de apenas considerar os dois valores centrais da curva. O cálculo é dado pela fórmula:

$$Si = (\phi 84 - \phi 16) / 4 + (\phi 95 - \phi 5) / 6,6$$

Esta fórmula inclui 90% da distribuição dos sedimentos e a seleção, sendo a média do desvio calculado para ϕ_{16} e ϕ_{84} e ϕ_5 e ϕ_{95} .

Tabela 2- Valores de seleção e grau de classificação

Valores de ϕ	Seleção
< 0,35	Muito bem selecionado
0,35 – 0,50	Bem selecionado
0,50 - 0,71	Moderadamente bem selecionado
1,0 – 2,0	Moderadamente selecionado
2,0 – 4,0	Pobremente selecionado
> 4,0	Muito pobremente selecionado

A assimetria é um parâmetro medido de acordo com a cauda de distribuição dos sedimentos, pode estar deslocada mais para esquerda ou direita. Esta curva é bastante afetada pela seleção dos sedimentos, podendo apresentar valores similares de grãos de tamanho médio e serem diferentes quanto a assimetria, Folk (1968). O cálculo de S_{ki} é dado pela equação :

$$S_{ki} = (\phi_{84} + \phi_{16} - 2 \phi_{50}) / (\phi_{84} - \phi_{16}) + (\phi_{95} + \phi_5 - 2 \phi_{50}) / (\phi_{95} - \phi_5)$$

Em curvas simétricas a assimetria é nula, ou seja, $S_{ki}=0$; curvas com excesso de material fino (cauda para a direita) possuem assimetria positiva; e aquelas onde há mais material grosso (cauda para a esquerda) possuem assimetria negativa.

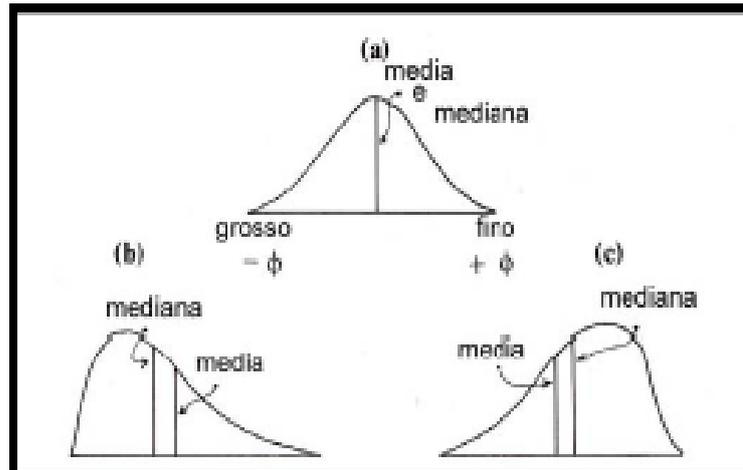


Figura 1- Padrão de distribuição de diferentes graus de assimetria: (a) simétrico; (b) positiva; (c) negativa, Leeder (1985).

Quanto mais o valor de *Ski* se afasta de zero, maior a assimetria. Os limites matemáticos teóricos variam de +1,00 a -1,00, dificilmente passam de +0,80 e -0,80.

Tabela 3-Valores limites para a classificação da assimetria, Folk (1968).

Ski	Assimetria
+ 1,0 – + 0,3	Positivamente acentuada
+ 0,3 – + 0,1	Positiva
+ 0,1 – - 0,1	Simétrica
- 0,1 – - 0,3	Negativa
- 0,3 – - 1,0	Negativamente acentuada

A Curtose é um parâmetro medido pela fórmula Gaussiana definida na curva de probabilidade normal, o intervalo entre os pontos de ϕ_{95} e ϕ_5 o diâmetro deve ser exatamente 2,44 vezes o intervalo entre os pontos ϕ_{25} e ϕ_{75} .

Esta propriedade mede a razão entre a seleção dos extremos da curva e a seleção da parte central, sendo uma medida quantitativa que descreve o afastamento/desvio da curva normal. Se a parte central da curva apresentar maior seleção do que na extremidade, a curva é

classificada como leptocúrtica; se a extremidade da curva apresentar maior seleção do que a parte central, a curva é classificada como platicúrtica.

Os valores para a classificação da curtose apresentam $Kg=1,00$ para curvas normais; $Kg>1,00$ para leptocúrticas; e $Kg<1,00$ para platicúrticas. O valor ideal para a curtose é 1,00.

Tabela 4 - Valores limites para as diferentes faixas de curtose, Folk (1968).

Kg	Classificação
< 0,67	Muito platicúrtica
0,67 – 0,90	Platicúrtica
0,90 – 1,11	Mesocúrtica
1,11 – 1,50	Leptocúrtica
1,50 – 3,00	Muito leptocúrtica
> 3,00	Extremamente leptocúrtica

Apêndice B - Resultados das análises sedimentológicas e petrográficas

Tabela 1 - Resultado das análises sedimentológicas por amostra.

	Coord. (UTM, WGS 84)	Moda	X	Si	Ski	K	Seleção	Classificação
RA1	0647276 / 7506151	1,247	1,054	0,888	-0,080	Leptocúrtico (1,168)	Mod. selecionado	Areia média
RA2	0649342 / 7508036	2,237	1,443	1,289	-0,195	Leptocúrtico (1,180)	Mal selecionado	Areia média
RA3	0651936 / 7509998	0,247	0,320	1,109	0,013	Mesocúrtico (1,017)	Mal selecionado	Areia grossa
RA4	0652740 / 7511629	2,237	1,683	0,972	-0,079	Mesocúrtico (1,028)	Mod. selecionado	Areia média
RA5	0660515 / 7512339	0,747	0,870	0,851	0,030	Mesocúrtico (1,070)	Mod. selecionado	Areia grossa
RA6	0665660 / 7512864	0,247	0,637	0,782	0,166	Mesocúrtico (1,051)	Mod. selecionado	Areia grossa
RA7	0668027 / 7513916	0,247	0,458	0,835	0,079	Mesocúrtico (1,058)	Mod. selecionado	Areia grossa
RA9	0670715 / 7514927	0,747	0,426	1,067	0,041	Mesocúrtico (0,994)	mal selecionado	Areia grossa
RA10	0672063 / 7514221	0,247	0,574	0,930	0,043	Leptocúrtico (1,142)	Mod. selecionado	Areia grossa
RA11	0641828 / 7501491	0,747	0,789	1,348	0,061	Leptocúrtico (1,195)	Mal selecionado	Areia grossa

Tabela 2 - Resultado da contagem de pontos nas lâminas

	Coord. (UTM, WGS 84)	Qm	Qp	K-feld	Plg	Biot	Musc	Lit	Pirox	Min op
RA1	0647276 / 7506151	52,00%	3,30%	24,00%	11,30%	7,00%	0,30%	2,00%	0,00%	0,10%
RA2	0649342 / 7508036	74,20%	0,60%	9,00%	2,00%	9,30%	2,30%	1,00%	0,60%	1,00%
RA3	0651936 / 7509998	69,20%	3,30%	10,80%	3,30%	9,20%	0,00%	3,30%	0,00%	0,90%
RA4	0652740 / 7511629	58,65%	3,85%	10,58%	0,96%	18,27%	1,92%	1,92%	0,00%	3,85%
RA5	0660515 / 7512339	71,32%	4,65%	14,73%	1,55%	3,10%	0,00%	3,10%	0,00%	1,55%
RA6	0665660 / 7512864	61,43%	5,71%	15,00%	7,14%	5,71%	2,15%	1,43%	0,00%	1,43%
RA7	0668027 / 7513916	57,56%	1,16%	31,40%	2,91%	3,49%	0,58%	1,74%	0,00%	1,16%
RA9	0670715 / 7514927	71,72%	2,07%	11,72%	2,07%	8,28%	0,00%	2,07%	0,00%	2,07%
RA10	0672063 / 7514221	61,42%	2,63%	12,42%	7,74%	9,21%	0,00%	3,95%	0,00%	2,63%
RA11	0641828 / 7501491	65,32%	2,00%	16,48%	3,08%	9,10%	0,00%	2,02%	0,00%	2,00%

Apêndice C

Estampa de fotomicrografias de lâminas das amostras

Estampa I

- (1) Fotomicrografia (nicóis paralelos) dos grãos de quartzo, feldspato e biotita da amostra RA1.
- (2) Fotomicrografia (nicóis cruzados) dos grãos de quartzo, feldspato e biotita da amostra RA1.
- (3) Fotomicrografia (nicóis paralelos) de quartzo, biotita e muscovita da amostra RA2.
- (4) Fotomicrografia (nicóis cruzados) quartzo, biotita e muscovita da amostra RA2.
- (5) Fotomicrografia (nicóis paralelos) de plagiocásio da amostra RA3.
- (6) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de plagiocásio da amostra RA3.
- (7) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de litoclasto de rocha granítica da amostra RA5.
- (8) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo policristalino da amostra RA5.

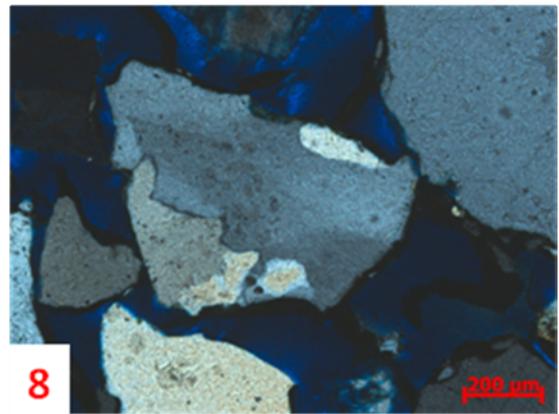
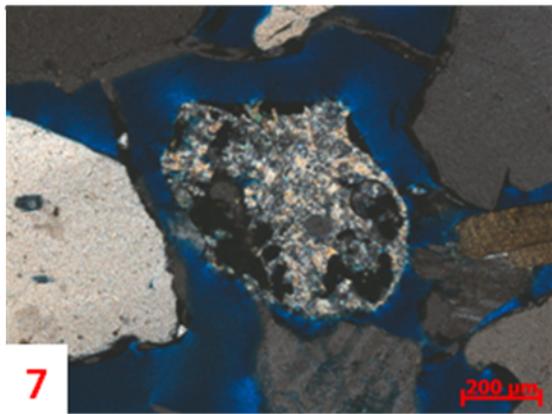
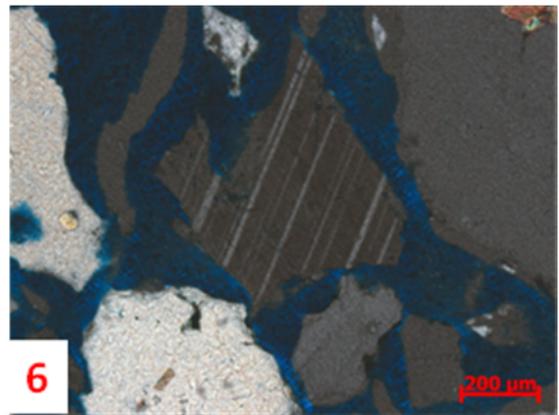
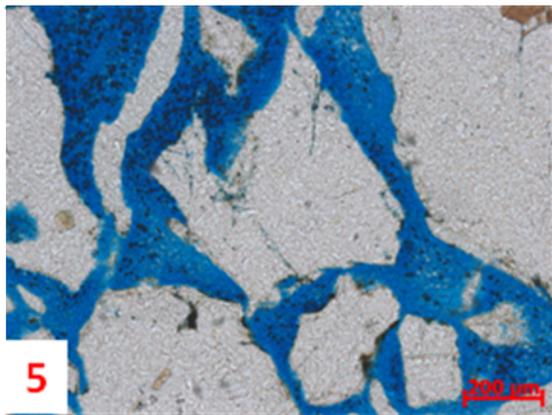
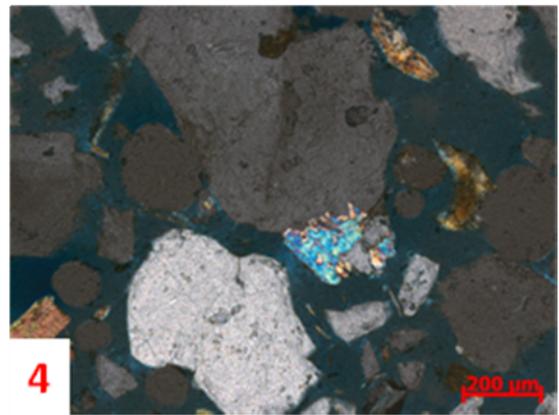
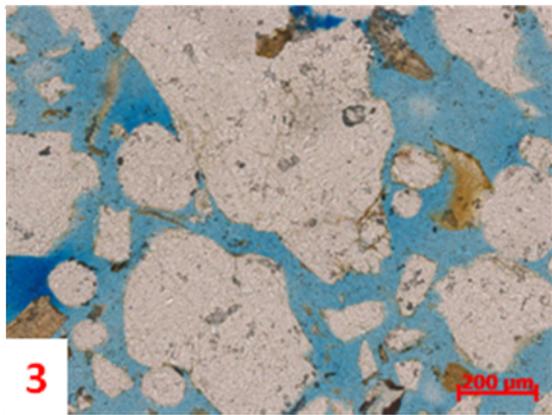
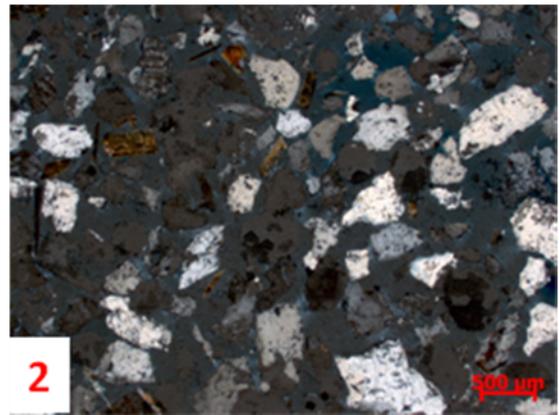
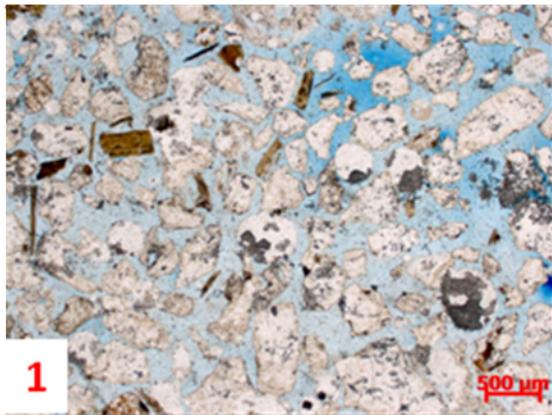
Estampa II

- (9) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo, microclina, muscovita e litoclasto da amostra RA6.
- (10) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de microclina da amostra RA6.
- (11) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de biotita da amostra RA7.
- (12) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo monocristalino com extinção reta da amostra RA7.
- (13) Fotomicrografia (nicóis paralelos) de plagioclásio com indícios de alteração da amostra RA10.
- (14) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de plagioclásio com indícios de alteração da amostra RA10.
- (15) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de microclina e quartzo da amostra RA11.
- (16) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de litoclasto de rocha granítica da amostra RA11.

Estampa I

- (1) Fotomicrografia (nicóis paralelos) dos grãos de quartzo, feldspato e biotita da amostra RA1.
- (2) Fotomicrografia (nicóis cruzados) dos grãos de quartzo, feldspato e biotita da amostra RA1.
- (3) Fotomicrografia (nicóis paralelos) de quartzo, biotita e muscovita da amostra RA2.
- (4) Fotomicrografia (nicóis cruzados) quartzo, biotita e muscovita da amostra RA2.
- (5) Fotomicrografia (nicóis paralelos) de plagiocásio da amostra RA3.
- (6) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de plagiocásio da amostra RA3.
- (7) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de litoclasto de rocha granítica da amostra RA5.
- (8) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo policristalino da amostra RA5.

ESTAMPA I



Estampa II

- (8) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo policristalino da amostra RA5.
- (9) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo, microclina, muscovita e litoclasto da amostra RA6.
- (10) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de microclina da amostra RA6.
- (11) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de biotita da amostra RA7.
- (12) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de quartzo monocristalino com extinção reta da amostra RA7.
- (13) Fotomicrografia (nicóis paralelos) de plagioclásio com indícios de alteração da amostra RA10.
- (14) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de plagioclásio com indícios de alteração da amostra RA10.
- (15) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de microclina e quartzo da amostra RA11.
- (16) Fotomicrografia (nicóis cruzados) de litoclasto de rocha granítica da amostra RA11.

ESTAMPA II

