

Iviana Setta

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO GRUPO SERRA GRANDE
(SILURIANO) NO ESTADO DO TOCANTINS, BORDA OESTE DA
BACIA DO PARNAÍBA**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2010



UFRJ

Iviana Setta

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO GRUPO SERRA GRANDE
(SILURIANO) NO ESTADO DO TOCANTINS, BORDA OESTE DA
BACIA DO PARNAÍBA**

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

Julho de 2010

SETTA, Iviana

Caracterização Petrográfica do Grupo Serra Grande (Siluriano) no Estado do Tocantins, borda Oeste da bacia do Parnaíba./ Iviana Setta - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2010.

xii, 35f. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2010.

Orientador: Leonardo Borghi.

1. Geologia. 2. Estratigrafia e Paleontologia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

Iviana Setta

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO GRUPO SERRA GRANDE
(SILURIANO) NO ESTADO DO TOCANTINS, BORDA OESTE DA
BACIA DO PARNAÍBA**

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:

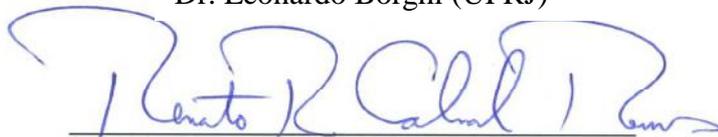
Leonardo Borghi

Aprovada em: 13 jul. 2010

Por:



Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)



Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos (Museu Nacional – UFRJ)



Dr. Carlos Jorge de Abreu (UnB)

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

À minha família, pelo apoio incondicional durante todos os momentos de minha vida.

Agradecimentos

À COPPETEC pela concessão a bolsa de pesquisa junto ao projeto CONEXÃO - Reavaliação Geológica dos Sistemas Siluriano e Devoniano da Borda Oeste da Bacia do Parnaíba.

Ao meu orientador Leonardo Borghi pelo apoio nas discussões.

Aos amigos do Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed) pelo companheirismo e discussões geológicas, em especial, João Carlos L.S. Menescal pela colaboração e contribuição na confecção desse trabalho.

Aos meus amigos de turma pelo companheirismo e dedicação ao longo desses anos.

Resumo

SETTA, Iviana. *Caracterização Petrográfica do Grupo Serra Grande (Siluriano) no Estado do Tocantins, borda Oeste da bacia do Parnaíba*. 2010. xii, 35f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente estudo baseia-se em um testemunho de sondagem perfurado na borda Oeste da bacia, tendo como principal contribuição a evolução do conhecimento estratigráfico da mesma. Propõe-se a análise petrográfica do Grupo Serra Grande (Siluriano), visando entender sua evolução diagenética, assim como a proveniência de seus sedimentos. Como resultados foram reconhecidas três petrofácies, por meio da análise de agrupamento, a qual possibilitou a identificação de rochas fonte. Esta análise proporcionou a identificação de fonte de origem metamórfica, sedimentar e provavelmente plutônica, contribuindo para a geração das rochas do Grupo Serra Grande. A partir da determinação das petrofácies foi possível quantificar a influência destas nas amostras analisadas o que originou o conceito de petrossequência. Esta representa um intervalo de rocha com assinatura distinta de variação da intensidade de ocorrência de um petrofácies e possibilitou a identificação de duas superfícies representando mudanças bruscas de área fonte.

Palavras-chave: Grupo Serra Grande; Bacia do Parnaíba; Petrografia.

Abstract

SETTA, Iviana. *Petrographic Characterization of the Serra Grande Group (Silurian) in the State of Tocantins, Western border Parnaíba Basin*. 2010. xii, 35f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The present study is based on one core recovered in the west edge of the basin and gets the evolution of knowledge of Parnaíba basin as the meaning contribution. In the present work is proposed the petrographic analysis of Serra Grande Group (Silurian), in the view of understanding its diagenetic evolution as well as the probably provenience of its rocks. As results were recognized three petrofacies using the cluster analysis, that enabled the identification of provenance. This analysis provided the identification of metamorphic, sedimentary and plutonic source rock, contributing to the generation of Serra Grande Group rocks. From the determination of petrofacies was possible to quantify the influence of these in the samples which originated the concept of petrossequence. It is represents a range of rock with distinct signature of petrofacies occurrence intensity variation, and enabled the identification of two surfaces representing abrupt changes in the source area.

Key-Words: Serra Grande Group; Parnaíba basin; Petrography

Lista de figuras

Figura 1: Mapa de localização do poço 2-ARN-1TO (9°59'37''S; 47°56'59''W) na bacia do Parnaíba (Fonte: Bizzi *et al.*, 2002).

Figura 2: Mapa geotectônico do embasamento da bacia do Parnaíba (Fonte: Cunha, 1986).

Figura 3: Diagrama estratigráfico da bacia do Parnaíba (Fonte: Denck, 2009).

Figura 4: Classificação petrográfica das amostras estudadas no diagrama triangular de Folk (1980).

Figura 5: Classificação petrográfica das amostras estudadas com base na reconstrução composicional (Folk, 1980).

Figura 6: Distribuição das amostras estudadas no diagrama triangular de Dickinson *et al.* (1983a).

Figura 7: Distribuição das amostras estudadas em diagramas triangulares de proveniência com base no tipo de quartzo (Basu *et al.*, 1975).

Figura 8: Dendrograma (modo Q) utilizado na distinção das petrofácies.

Figura 9: Dendrograma (modo R) mostrando a relação entre as petrofácies e as amostras analisadas.

Figura 10: Correlação entre as petrossequências (I, II e III) e os perfis litológicos e de raio gama (RG).

Lista de quadros

Quadro 1: Síntese das amostras analisadas com a profundidade de cada uma delas.

Quadro 2: Síntese das petrofácies encontradas

Lista de tabelas

Tabela 1: Composição detrítica do arcabouço.

Tabela 2: Influência relativa de cada petrofácies nas amostras analisadas.

Lista de estampas

Estampa A – Petrofácies A

Fotomicrografia 1 - Fragmento de rocha com grãos de quartzo e micas com leve orientação. Nicol cruzado (Amostra 12, profundidade 273,4 m).

Fotomicrografia 2 - Detalhe, ao centro, de um fragmento de rocha estirado, provavelmente de origem metamórfica. Nicol cruzado (Amostra 6, profundidade 213,9 m).

Fotomicrografia 3 – Observar fragmentos líticos, predominantemente, quartzosos com contato poligonais (canto inferior esquerdo) e suturados (canto superior direito). Nicol cruzado (Amostra 7, profundidade 223,3 m).

Fotomicrografia 4 - Fragmento lítico com grãos de quartzo, provavelmente de origem sedimentar. Nicol cruzado (Amostra 12, profundidade 273,4 m).

Estampa B – Petrofácies B

Fotomicrografia 1 – Observar grão de microclina. Nicol cruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Fotomicrografia 2 - Detalhe, ao centro, de um plagioclásio. Nicol cruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Fotomicrografia 3 – Observar grãos de muscovita levemente compactados. Nicol cruzado (Amostra 4, profundidade 195,9 m).

Fotomicrografia 4 – Epimatriz caulinítica oriunda do processo de caulinitização nos grãos de muscovita. Nicol cruzado (Amostra 4, profundidade 195,9 m).

Estampa C – Evolução diagenética

Fotomicrografia 1 – Observar a precipitação de óxido de ferro preenchendo os poros intergranulares. Nicol descruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Fotomicrografia 2 – Cimento de caulinita oriundo da dissolução do feldspato. Nicol cruzado (Amostra 13, profundidade 282,0 m).

Fotomicrografia 3 – Grão de muscovita compactado (lado esquerdo) e contato entre os grãos de quartzo suturados (centro). Nicol cruzado (Amostra 13, profundidade 282,0 m).

Fotomicrografia 4 – Dissolução do grão de feldspato evidenciado pela presença de borda de argila e resquício do grão. Nicol descruzado (Amostra 5, profundidade 204,8 m).

Fotomicrografia 5 – Grão de microlina dissolvido, originado porosidade intragranular. Nicol cruzado (Amostra 2, profundidade 177,2 m).

Fotomicrografia 6 - Grão de microlina dissolvido, originado porosidade intragranular. Nicol descruzado (Amostra 2, profundidade 177,2 m).

Fotomicrografia 7 - Processo de substituição em muscovita dando origem a caulinita. Nicol cruzado (Amostra 5, profundidade 204,8 m).

Fotomicrografia 8 – Grão de muscovita sofrendo processo de caulinitização evidenciando a feição característica em forma de leque. Nicol cruzado (Amostra 11, profundidade 264,3 m).

Fotomicrografia 9 – Bioturbação em forma de tubo evidenciada pela boa porosidade. Nicol descruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de figuras	viii
Lista de quadros	ix
Lista de tabelas	ix
Lista de estampas	x
Sumário	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Objetivo e finalidade	2
2 MATERIAL E MÉTODO	3
3 CONTEXTO GEOLÓGICO	6
3.1 Embasamento	6
3.2 Grupo Serra Grande	8
3.3 Tectônica formadora	9
4 RESULTADOS	11
4.1 Classificação	11
4.2 Petrofácies	17
4.2.1 Petrofácies A.....	17
4.2.2 Petrofácies B.....	21
4.2.3 Petrofácies C.....	24
4.3 Petrossequência	24
5 EVOLUÇÃO DIAGENÉTICA	27
6 CONCLUSÕES	32
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A bacia do Parnaíba é uma bacia de interior cratônico localizada no nordeste do Brasil, sobre a Província Parnaíba. Abrange principalmente os estados do Maranhão e Piauí, com suas margens se estendendo aos estados do Pará, Goiás, Tocantins e Ceará, com área de cerca de 600.000 km², segundo Mesner & Wooldridge (1964).

Apresenta forma suavemente elíptica, sendo limitada ao Norte, com o Oceano Atlântico, pelo arco Ferrer-Urbano Santos; com a bacia do São Francisco, ao Sul, pelo arco de São Francisco; e a Noroeste, com o *rift* mesozóico do Marajó, pelo arco de Tocantins (Young 2006).

Seu preenchimento sedimentar é composto pelas supersequências Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica e Cretácea, atingindo espessura máxima da ordem de 3500 m em seu depocentro (cf. Vaz *et al.*, 2007). Entretanto, muitos autores como Rossetti *et al.* (2001) consideram as supersequências Jurássica e Cretácea como representantes de outra bacia (bacia do Grajaú), posterior à bacia do Parnaíba, devido à sua distinta evolução tectônica, inclusive com mudança da posição do depocentro; dessa forma, apenas as supersequências Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé) e Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas) corresponderiam à bacia do Parnaíba *stricto sensu*.

A bacia do Parnaíba é uma das menos estudadas do território brasileiro, devido à sua grande extensão e o afastamento dos grandes centros de população, tecnologia e pesquisa do país.

Os principais estudos realizados na região se deram devido à exploração de petróleo iniciada na década de 1960, pela Petrobrás, resultou em trabalhos de mapeamento geológico, interpretação fotogeológica, levantamentos geofísicos (gravimetria e sísmica 2D) e a perfuração de 22 poços, com indícios de óleo e gás nas supersequências basais, Siluriana (Grupo Serra Grande) e Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé) (Góes *et al.*, 1990).

O sistema petrolífero principal da bacia é composto pelos folhelhos geradores devonianos da Formação Pimenteira e pelos arenitos reservatórios da Formação Cabeças.

Em 2002, na 4ª Rodada de Licitações, a Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) ofereceu um bloco (BT-PN-1) para a exploração de petróleo na bacia

(Fonte: Agência Nacional do Petróleo, <http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/index.html>, acessado em 18/06/2010). A falta de ofertas por parte das empresas deixou evidente a necessidade de realizar novos estudos nessa área, diminuindo assim o risco exploratório para as mesmas. Posteriormente em 2006, a Agência realizou o levantamento de dados magnetométricos e gravimétricos o que resultou em grande participação das empresas na 9ª Rodada de Licitações, realizada em 2007.

Apesar dos insucessos a perspectiva de produção de óleo ou gás na bacia do Parnaíba não foi abandonada. Esta é atualmente denominada “fronteira exploratória” o que demonstra a expectativa de encontrar hidrocarbonetos nessa região com o avanço das pesquisas, atualmente realizadas, dentre outras entidades, por universidades como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

É nesse contexto de carência de estudos detalhados e análises petrográficas que se inserem os arenitos e conglomerados fluviais silurianos do Grupo Serra Grande, foco desse trabalho. Originalmente definida por Góes *et al.* (1992 apud Góes & Feijó, 1994) poucos estudos foram realizados sobre esse grupo que, por não ser avaliada como potencial reservatório petrolífero da bacia do Parnaíba, ficou em segundo plano tanto nos estudos realizados por empresas quanto nos trabalhos acadêmicos realizados pelas universidades.

1.2 Objetivo e finalidade

O presente trabalho apresenta como objetivo a caracterização petrográfica de lâminas delgadas dos arenitos do Grupo Serra Grande (Siluriano), na borda oeste da bacia do Parnaíba, analisando os processos diagenéticos atuantes e definindo possíveis rochas fonte.

Busca-se dessa forma, através de estudos de proveniência e evolução diagenética, contribuir para a análise estratigráfica do intervalo assim como avaliar sua qualidade como reservatório.

2 MATERIAL E MÉTODO

Para caracterização petrográfica foram utilizadas 13 lâminas delgadas, retiradas do intervalo basal (170,7 a 282,0 m) do poço da UFRJ 2-ARN-1-TO. O poço estudado está localizado na borda Oeste da bacia, Estado do Tocantins, nas coordenadas: 9°59'37''S; 47°56'59''W (Figura 1). As lâminas delgadas foram analisadas quantitativamente usando-se um contador manual de pontos marca SWIFT model F, com uma cobertura de 300 pontos, no microscópio de luz polarizada Zeiss Axioskop 40. Para a captura das fotomicrografias utilizou-se o microscópio Zeiss AxioImager A.2m de luz polarizada/transmitida, além do software AxioVision 4.8. Nas fotomicrografias, a porosidade aparece em azul, devido à impregnação de resina colorida, realizada nas amostras, antecedendo a confecção das lâminas. A Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) foi utilizada para o reconhecimento de possíveis padrões de associação de amostras e elementos composicionais do arcabouço, possibilitando a identificação de petrofácies e rochas fonte. Para tal, utilizou-se o programa *Statistica 7.0*.

A composição mineralógica foi quantificada através do método de contagem de pontos (300 pontos), segundo Gazzi-Dickinson (in Zuffa, 1984). Os valores encontrados foram, posteriormente, normalizados para porcentagens de quartzo-feldspato-líticos (QFL) e plotados no diagrama triangular de classificação de rochas (Folk, 1980). Para a análise de proveniência utilizaram os diagramas triangulares de Dickinson *et al.* (1983a) e Basu *et al.* (1975). Neste último, os valores foram recalculados obtendo-se concentrações relativas de diferentes tipos de quartzo (Qm, podendo apresentar extinção ondulante ou reta; Qp, quartzo policristalino com 2 a 3 subgrãos ou mais de 3 subgrãos).

A Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) tem como objetivo principal classificar valores de uma matriz de dados em grupos discretos, de acordo com suas similaridades, gerando-se, dessa forma, um dendrograma (método gráfico onde estão dispostas linhas ligadas segundo similaridades que agrupam variáveis). O método estatístico usado nessa análise foi o Ward 1- Pearson r possibilitando a geração de dois dendrogramas. No primeiro, denominado modo R, o grau de similaridade está relacionado com as amostras (profundidade), e no segundo, denominado modo Q, o grau de similaridade está relacionado com a composição mineralógica.

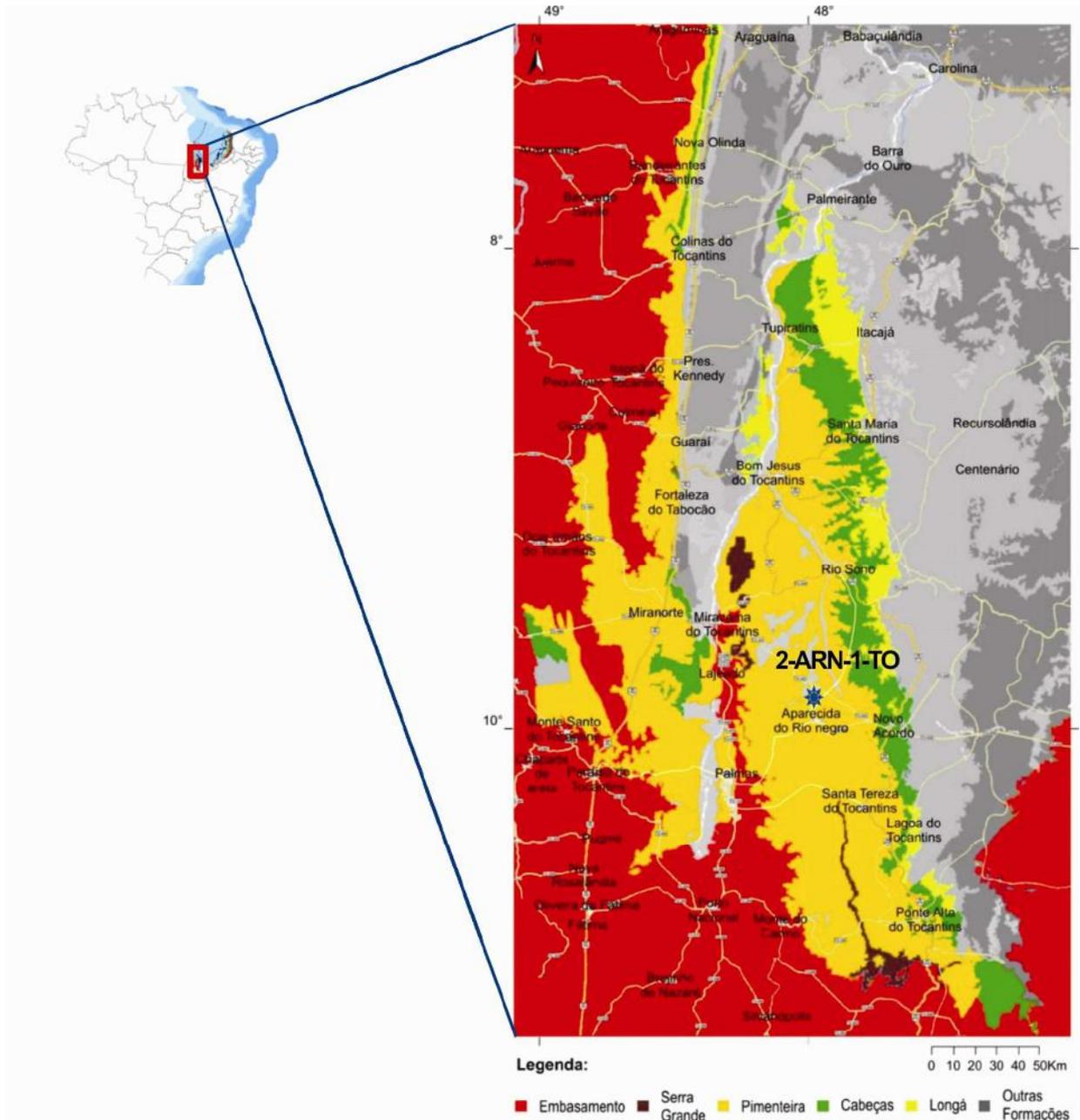


Figura 1: Mapa de localização do poço da UFRJ 2-ARN-1-TO (9°59'37''S; 47°56'59''W) na borda Oeste da bacia do Parnaíba (Fonte: Bizzi *et al.*, 2002).

Para a análise petrográfica foram utilizadas rochas arenáceas (Quadro 1) com características distintas, a fim de avaliar sua evolução diagenética e proveniência. A descrição enfatizou aspectos texturais como granulometria, seleção, grau de arredondamento e esfericidade dos grãos; aspectos diagenéticos como contato entre os grãos, cimentação e matriz; porosidade; e composição mineralógica.

Quadro 1- Conjunto de amostras analisadas

Amostragem	Profundidade (m)	Descrição macroscópica
1	170,7	Arenito médio inferior, bioturbado
2	177,2	Arenito fino moderadamente selecionado
3	186,4	Arenito médio moderadamente selecionado
4	195,9	Arenito fino a médio, micáceo, bem selecionado
5	204,8	Arenito médio moderadamente selecionado
6	213,9	Arenito médio a grosso, com laminação cruzada e seleção moderada
7	223,3	Arenito grosso inferior, com laminação e mal selecionado
8	233,0	Arenito grosso superior, mal selecionado
9	242,8	Arenito fino a médio (bimodal)
10	255,8	Arenito fino a médio, bem selecionado
11	264,3	Arenito fino superior, bem selecionado
12	273,4	Arenito grosso, muito mal selecionado
13	282,0	Arenito fino superior, moderadamente selecionado.

A granulometria foi definida a partir do reconhecimento visual médio do tamanho dos grãos, de acordo com Wentworth (1992).

A seleção, grau de arredondamento, esfericidade e contato entre os grãos (flutuante, pontual, longo, côncavo-convexo e suturado) foram definidos, respectivamente, a partir da comparação com as tabelas de Beard & Weyl (1973); Powers (1953); Boggs (1992).

A porosidade foi caracterizada como primária (sindeposicional) ou secundária (pós-deposicional), tendo como base a sua morfologia. Os tipos de porosidade observados são: inter granular, intragranular, de fratura e móldica. A porosidade é predominantemente secundária e os critérios petrográficos adotados para sua identificação, segundo De Ros & Moraes (1982 *apud* Cruz, 1987) são: dissolução parcial ou total dos grãos e raramente da matriz, deixando resquícios; poros agigantados; grãos corroídos marginalmente apresentando reentrâncias após a dissolução; porosidade intragranular produzida pela dissolução do feldspato ao longo de seus planos de clivagem.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Embasamento

Poucas informações podem ser obtidas do embasamento da bacia do Parnaíba devido ao recobrimento fanerozóico. Estas são em geral obtidas através de dados de testemunho de poços que alcançaram o embasamento, além de afloramentos presentes nas bordas da bacia, pois acredita-se que o embasamento da bacia é constituído, em seu interior, por faixas de dobramentos, maciços medianos e descontinuidades crustais que afloram em suas bordas.

Segundo Cunha (1986) a bacia do Parnaíba dispõe-se predominantemente sobre um embasamento metamórfico, fortemente estruturado, constituído por rochas formadas ou retrabalhadas pelo Ciclo Brasileiro. Enquanto as estruturas dos metassedimentos das faixas de dobramentos Araguaia (parte oeste) e Rio Preto-Riacho do Pontal (parte sudoeste) são subparalelas às bordas da bacia, nas bordas leste, noroeste, nordeste e sul as estruturas das faixas de dobramentos Brasília, Gurupi, e da Província Borborema são oblíquas às bordas. Espera-se dessa forma que estas últimas se prolonguem para baixo da bacia (Figura 2).

A borda ocidental da bacia é limitada pela faixa de dobramento Araguaia-Tocantins, que representa lineamento de orientação N-S. Esta unidade geotectônica é do Proterozóico superior e sofreu deformações intensas entre 1000 e 500 Ma, as últimas relacionadas ao Ciclo Brasileiro. As rochas dessa faixa de dobramentos representam principalmente metassedimentos de baixo a alto grau metamórfico, com menor contribuição de rochas carbonáticas, máficas, ultramáficas e intrusões graníticas (Alvarenga *et al.*, 2000 *apud* Moura *et al.*, 2008), e são agrupadas em duas grandes unidades litoestruturais denominadas Grupo Estrondo e Grupo Tocantins (Costa *et al.*, 1998 *apud* Paixão *et al.*, 2008). O primeiro é composto por metaconglomerado, quartzito, micaxisto, mármore e lentes de anfibólito. O Grupo Tocantins inclui quartzo-clorita-muscovia-xisto, intercalações de filito e quartzito, ardósia, meta-arcósio (Hassui *et al.*, 1984 *apud* Moura *et al.*, 2008).

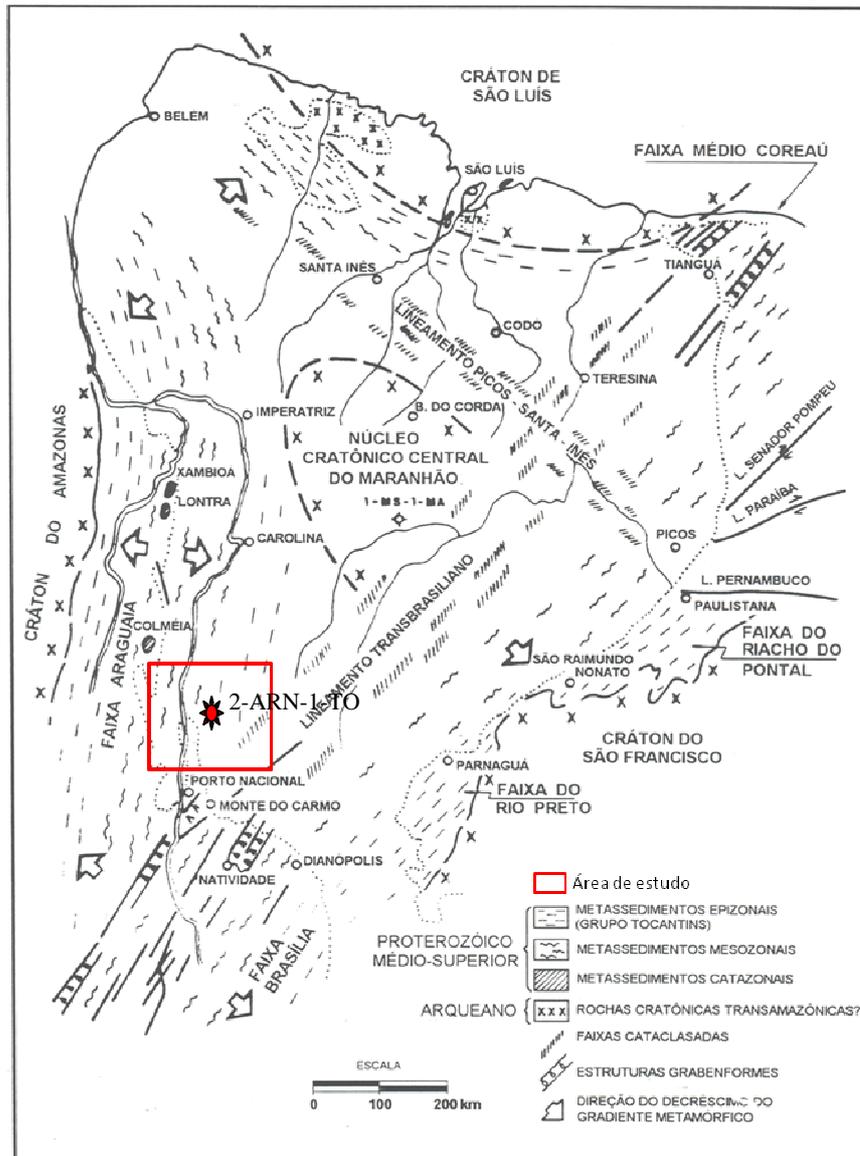


Figura 2: Mapa geotectônico do embasamento da bacia do Parnaíba (Cunha, 1986), onde se assinala a área e a localização aproximada o poço estudado.

Vaz *et al.* (2007) observam a existência de duas unidades sedimentares como parte do embasamento. A Formação Riachão de idade proterozóica média ou superior é composta, conforme amostras de poços, por grauvascas, arcósios, siltitos, folhelhos vermelhos e ignimbritos. O Grupo Jaibaras de idade cambro-ordoviciana é composto por depósitos fluviais, aluviais e lacustres, associados à gênese da bacia. Este aflora ao leste-nordeste da bacia e foi identificado, através de dados geofísicos, preenchendo calhas grabeniformes.

3.2 Grupo Serra Grande

A unidade estratigráfica estudada nesse trabalho corresponde ao Grupo Serra Grande, pertencente à supersequência Siluriana. Este grupo representa um ciclo transgressivo-regressivo completo (Vaz *et al.*, 2007) e seu contato superior com a supersequência Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé) é discordante. Em sua base ocorrem arenitos com seixos, conglomerados com matriz areno-argilosa e matacões de quartzo ou quartzito e arenitos finos a grossos, depositados em diversos ambientes, de glacial proximal e glacio-fluvial a leques ou frentes deltaicas (Caputo, 1984), pertencentes à Formação Ipu, depositada entre o final do Ordoviciano e o início do Siluriano (Caputo & Lima, 1984).

Sobreposta concordantemente à Formação Ipu ocorrem folhelhos cinza-escuro bioturbados, sideríticos e carbonáticos, arenitos cinza-claro, fino a médio e feldspáticos, e intercalações de siltitos e folhelhos cinza-escuros, bioturbados e micáceos, pertencentes à Formação Tianguá. Estes foram depositados num ambiente de plataforma rasa durante o Wenlock, no Siluriano (Góes & Feijó, 1994).

Encerrando a sedimentação da sequência Siluriana, sobrepostos concordantemente à Formação Tianguá, ocorreu a deposição das rochas pertencentes à Formação Jaicós. Esta foi originalmente definida por Plummer *et al.* (1948) para camadas que afloram na cidade de Jaicós, no estado do Piauí. Neste local observam-se bancos mais ou menos espessos de arenito conglomerático, de coloração cinza-clara a branca, com certo teor de feldspato e caulim para os quais foi atribuída idade cretácea (Kegel, 1958).

Posteriormente, Caster (1948), ao compará-la com os arenitos da Formação Furnas, determinou idade devoniana para a Formação Jaicós, com origem glacial ou fluvio-glacial (Kegel, 1958).

Segundo Kegel (1958), a Formação Jaicós foi correlacionada à Formação Cabeças por Campbell *et al.* (1949), que atribuíram idade carbonífera a permo-carbonífera à mesma, além de substituir a denominação Jaicós por Serra Grande.

Metelo (1999) cita em seu trabalho a evolução do termo Serra Grande. Segundo esta autora, a denominação Serra Grande foi originalmente proposta por Small (1914) como “série”. Após a denominação de Campbell *et al.* (1949) como formação, a Formação Serra Grande foi promovida a grupo por Carozzi *et al.* (1975), composto pelas formações Mirador, Ipu, Tianguá e Itaim. Posteriormente, Caputo & Lima (1984) e Góes & Feijó (1994)

consideraram-no composto pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós (Figura 3). Esta é a denominação ainda aceita atualmente.

Caputo (1984) caracterizou a Formação Jaicós como arenitos cinza com tonalidades claras, creme ou amarronzadas, grossos, contendo seixos angulares e subangulares, mal selecionados, friáveis, maciços ou com estratificação cruzada ou lenticular. Estes segundo Góes & Feijó (1994), teriam sido depositados em sistemas fluviais entrelaçados. As idades da Formação Jaicós, assim como as outras duas formações pertencentes ao Grupo Serra Grande foram determinadas por datações que constam de Grahn *et al.* (2005), onde as três foram datadas e apontam alternativamente para uma possível idade Siluriana.

3.3 Tectônica formadora

Segundo Góes *et al.* (1990) pulsos terminais do Ciclo Brasileiro (Cambriano-Ordoviciano) deram origem a uma série de *grabens* distribuídos pela bacia, predominantemente, com eixos NE-SW e N-S. Estes *grabens* foram preenchidos por sedimentos imaturos correspondentes a Formação Riachão e ao Grupo Jaibáras.

O fim do Ciclo Brasileiro foi marcado pelo resfriamento crustal e como consequência originou o abatimento da litosfera, sendo assim, criou-se uma grande depressão ordoviciano, e nela instalou-se a primeira grande supersequência deposicional, a supersequência Siluriana, representada por sedimentos flúvio-deltáicos a marinho raso do Grupo Serra Grande. O fim da sedimentação desse grupo é marcado pela orogenia Caledoniana, que refletiu numa discordância regional (Góes *et al.*, 1990).

A contínua subsidência termal na região, aliada a tendência global de elevação do nível do mar e processos flexurais, resultaram na sedimentação da segunda grande supersequência deposicional, a supersequência Devoniana, representada por sedimentos marinhos do Grupo Canindé. O encerramento dessa supersequência deposicional é marcado por uma discordância de caráter regional associada aos efeitos da orogenia Eoherciniana (Góes *et al.*, 1990).

A terceira supersequência, a Neocarbonífera-Eotriássica, registra o retorno da sedimentação com a deposição do Grupo Balsas. Este grupo representa a diminuição do pulso marinho e progressiva continentalização e desertificação da bacia, marcada por sedimentos marinho raso e restrito. O fim dessa supersequência deposicional, e do registro Paleozóico, está relacionado a Reativação Wealdeniana, que representa o rifteamento do paleocontinente Gondwana (Góes *et al.*, 1990).

GEOCRONOL.	CRONO-/LITOESTRATIGRAFIA		<i>Seqüências</i>
Cretáceo	Fm. Itapecuru	Fm. Codó	Cretácea
	Fm. Corda	Fm. Grajaú	
	Fm. Sardinha		
Jurássico	Fm. Pastos Bons		Jurássica
	Fm. Mosquito		
Triássico	Fm. Sambaiba		Neocarbonífera - Eotriássica
	Fm. Motuca		
Permiano	Fm. Pedra de Fogo		Gr. Balsas
Carbonífero	Fm. Piauí		Mesodevoniana - Eocarbonífera
	Fm. Poti		
Devoniano	Fm. Longá		Gr. Canindé
	Fm. Cabeças		
	Fm. Pimenteira	Fm. Itaim	
Siluriano	Fm. Tianguá	Fm. Jaicós	Gr. Serra Grande
	Fm. Ipu		

Figura 3: Coluna estratigráfica da bacia do Parnaíba, tendo assinalado o Grupo Serra Grande (vermelho) (Denck, 2009).

4 RESULTADOS

O resultado da contagem modal revelou uma tabela (Tabela 1) composta por elementos detríticos e diagenéticos como cimentação e matriz. Os tipos de cimento que ocorrem nas lâminas são: óxido de ferro, caulinita e de sílica. A matriz observada nas lâminas foi classificada, segundo Dickinson (1970), como epimatriz (pós-deposicional), resultante da alteração de grãos detríticos do arcabouço.

Tabela 1: Composição detrítica do arcabouço.

Amostras	Qm		Qp		Plagioclásio	Microclina	Feldspato	Quartzo policristalino	Líticos	Muscovita	Opaco	Epimatriz Caulinítica	Cimentação			Porosidade
	extinção ondulante	extinção reta	2-3 subgrãos	> 3 subgrãos									Óxido de Fe	Caulinita	Sílica	
1	54,0	4,0	5,0	3,0	1,0	5,0	3,0	2,0	2,0	0,0	1,0	0,0	5,0	7,0	0,0	8,0
2	45,0	3,0	9,0	3,0	4,0	0,0	11,0	2,0	0,0	6,0	3,0	6,0	7,0	0,0	0,0	1,0
3	46,0	5,4	11,0	4,6	4,0	1,0	6,0	0,0	2,0	3,0	0,0	7,0	5,0	0,0	0,0	5,0
4	45,0	4,0	12,0	3,0	1,0	0,0	6,0	4,0	4,0	5,0	0,0	4,0	8,0	2,0	0,0	2,0
5	40,0	5,0	11,0	4,5	0,0	0,0	16,0	0,0	4,0	1,0	0,0	3,0	0,9	0,6	0,0	14,0
6	47,0	10,5	11,5	5,3	0,0	0,0	7,3	0,0	3,6	1,3	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0	12,0
7	50,0	6,6	11,0	8,0	0,0	0,0	8,0	0,0	8,0	2,0	0,0	4,5	0,6	0,0	0,0	1,3
8	59,0	8,0	7,0	4,0	0,0	0,0	2,0	0,0	4,0	1,0	0,0	1,2	0,0	0,5	0,0	13,3
9	47,0	19,0	7,3	3,0	0,0	0,0	3,6	8,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,1	0,0	10,0
10	53,0	21,4	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	16,6
11	55,0	21,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	2,0	6,0	0,0	0,0	0,0	8,0
12	46,0	17,0	11,0	9,0	0,0	0,0	1,0	6,0	4,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	3,0
13	52,0	15,0	7,0	2,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	7,0	0,0	10,0	0,0	1,0	0,0	3,0

4.1 Classificação

Diversos métodos e classificações encontrados na literatura foram utilizados na tentativa de se obter a provável fonte das amostras e de relacioná-las as petrofácies identificadas. Estes serão discutidos a seguir.

Para a classificação de rochas sedimentares o diagrama mais utilizado é o de Folk (1980), pois tem como principais constituintes quartzo, feldspato e líticos, que são os três maiores tipos de grãos encontrados no arcabouço de arenitos. As amostras estudadas foram normalizadas e plotadas nesse diagrama (Figura 4), dessa forma, obtiveram-se dois tipos de

rocha. As amostras foram classificadas como subarcósio e quartzo-arenito; porém, processos diagenéticos como a dissolução dos grãos de feldspato afetaram a composição mineralógica primária da rocha, que é necessária para o detalhamento da proveniência (McBride, 1984); sendo assim, a classificação alcançada é meramente diagenética. Porém, a reconstituição da composição original é possível, desde que os minerais que sofreram o processo de dissolução sejam reconhecidos e contabilizados. Shanmugam (1984) sugere as seguintes etapas para amenizar o efeito da dissolução em arenitos, (1) reconstrução do limite original do grão usando critérios como borda de argila; (2) reconhecimento da porosidade secundária causada pela dissolução do grão; (3) inclusão da porção dissolvida como um grão do arcabouço. Portanto, foi possível inferir a composição mineralógica original das amostras, classificadas com predomínio de subarcósio e raramente quartzo-arenito e sublitarenito (Figura 5).

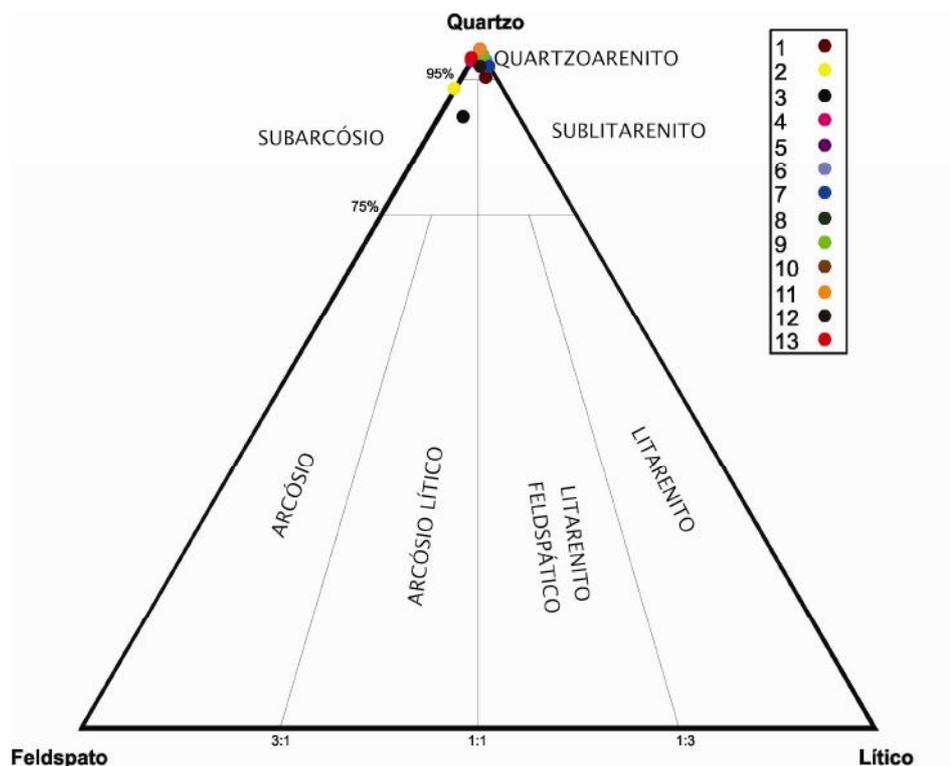


Figura 4: Classificação petrográfica das amostras estudadas no diagrama triangular de Folk (1980).

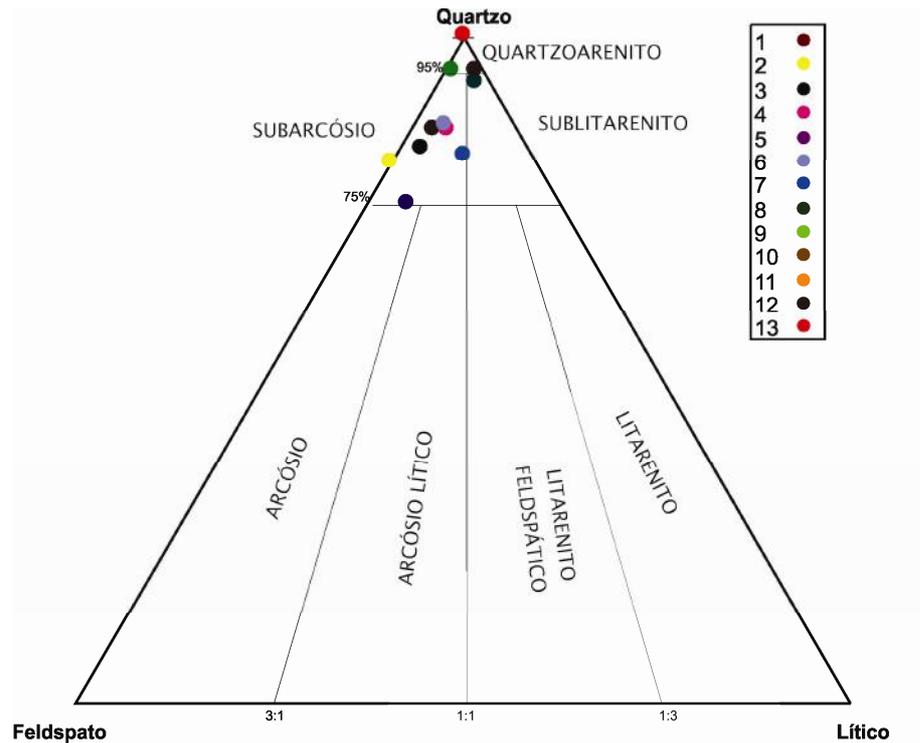


Figura 5: Classificação petrográfica das amostras estudadas com base na restituição composicional (Folk, 1980).

Dickinson *et al.* (1983a) propõem por meio de um diagrama triangular (Figura 6), baseado na quantidade de quartzo monocristalino-feldspato-lítico total (QmFLt), os possíveis tipos de fonte para arenitos. As amostras plotadas inserem-se, predominantemente, no campo correspondente ao “interior cratônico”, retratando o contexto da bacia, entretanto duas amostras inserem-se no campo do continente transicional, contribuindo muito pouco para o estudo, pois diversos tipos de rochas podem ser encontradas nesses ambientes.

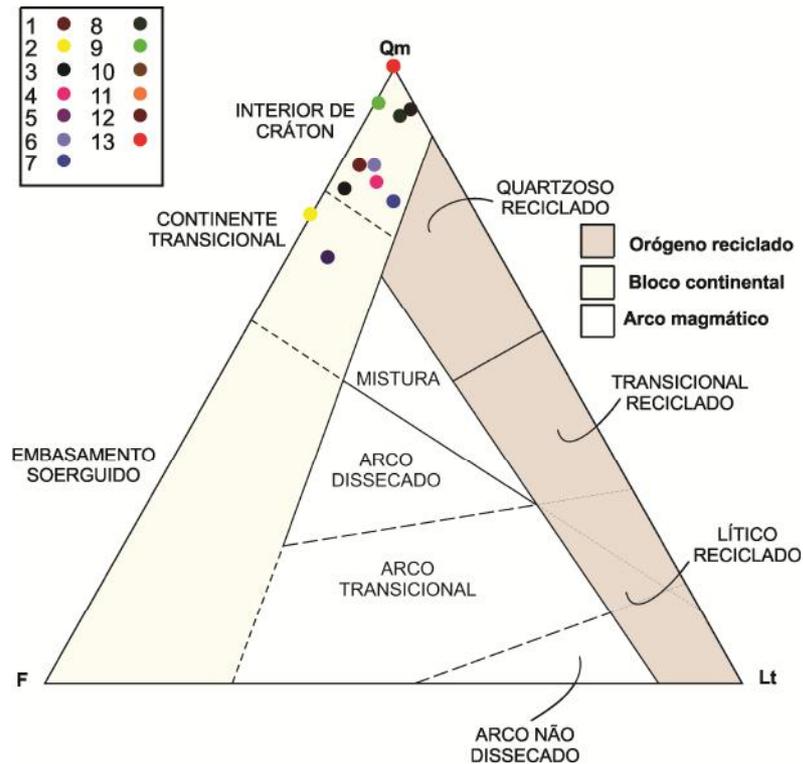


Figura 6: Distribuição das amostras estudadas no diagrama triangular de Dickinson *et al.*, (1983a).

Segundo Basu *et al.* (1975), quatro tipos de quartzo são utilizados para a identificação do tipo de rocha fonte, quartzo monocristalino com extinção ondulante (Qmo) ou reta (Qmr) e quartzo policristalino com 2 a 3 subgrãos (Qp₂₋₃) ou mais de 3 subgrãos (Qp_{>3}). Ainda segundo esse autor, para se obter uma distinção efetiva do tipo de rocha fonte é necessário que esses quatro parâmetros sejam usados juntos. Portanto, há dois tipos de diagramas: um, que enfatiza a quantidade de quartzo policristalino com 2 a 3 subgrãos; e o outro, enfatiza o quartzo policristalino com mais de 3 subgrãos. As amostras plotadas nesses diagramas mostram predominância de áreas fonte de baixo grau metamórfico (Figura 7).

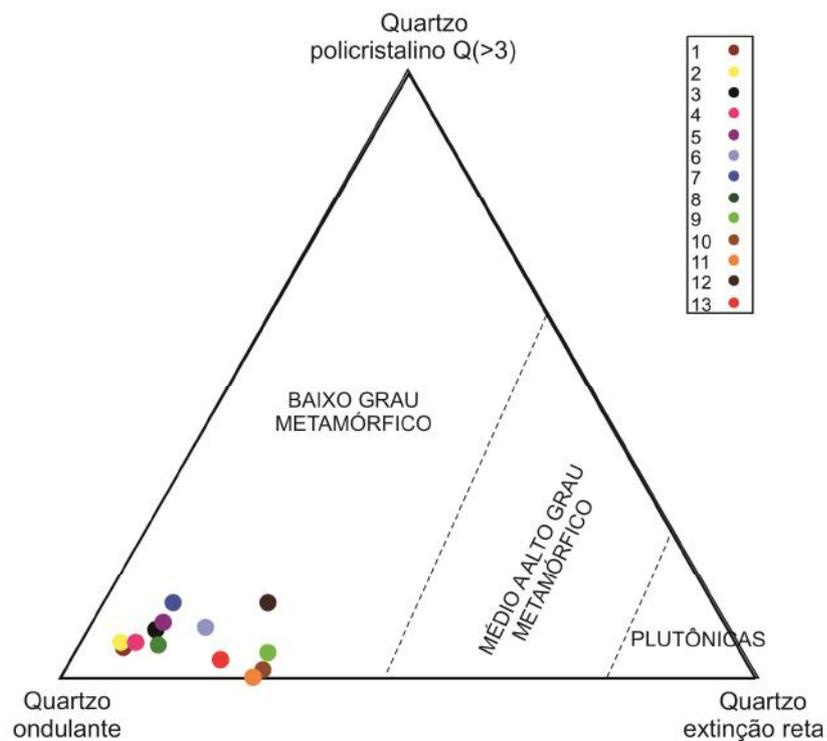
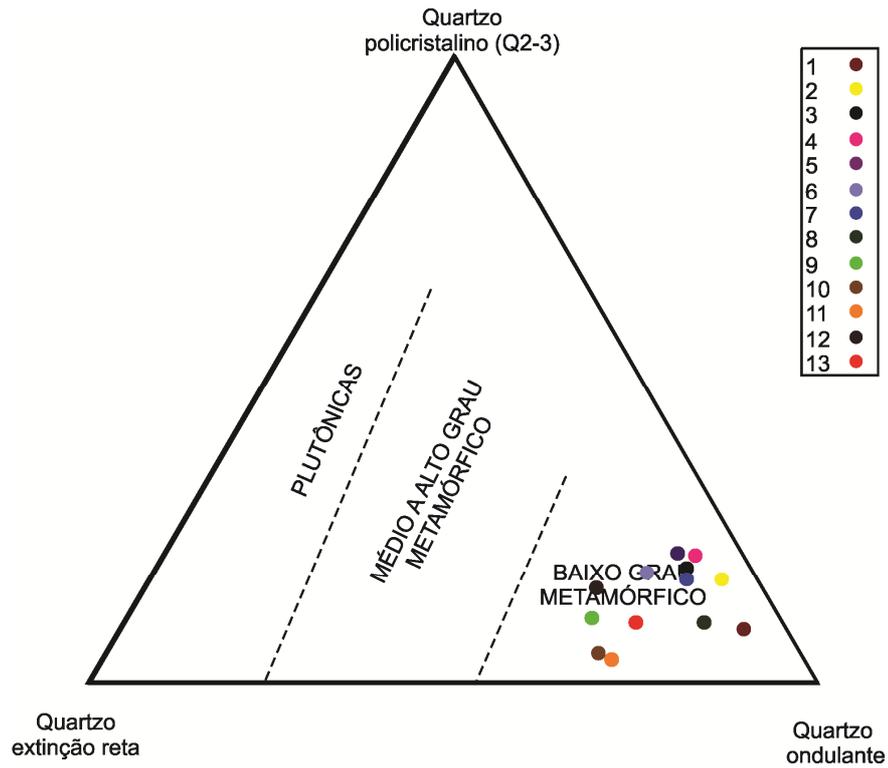


Figura 7: Distribuição das amostras estudadas em diagramas triangulares de proveniência com base no tipo de quartzo (Basu *et al.* 1975).

Por fim, a análise de agrupamento (*Cluster Analysis*) foi escolhida para determinação das petrofácies, pois através de métodos estatísticos é possível o agrupamento de variáveis com características similares, contribuindo para o refinamento dos dados. Esta análise possibilitou a distinção das amostras em três petrofácies. Para tal foi utilizado o dendrograma denominado modo Q (Figura 8). Posteriormente, as petrofácies encontradas foram relacionadas às amostras estudadas por meio do dendrograma denominado modo R (Figura 9).

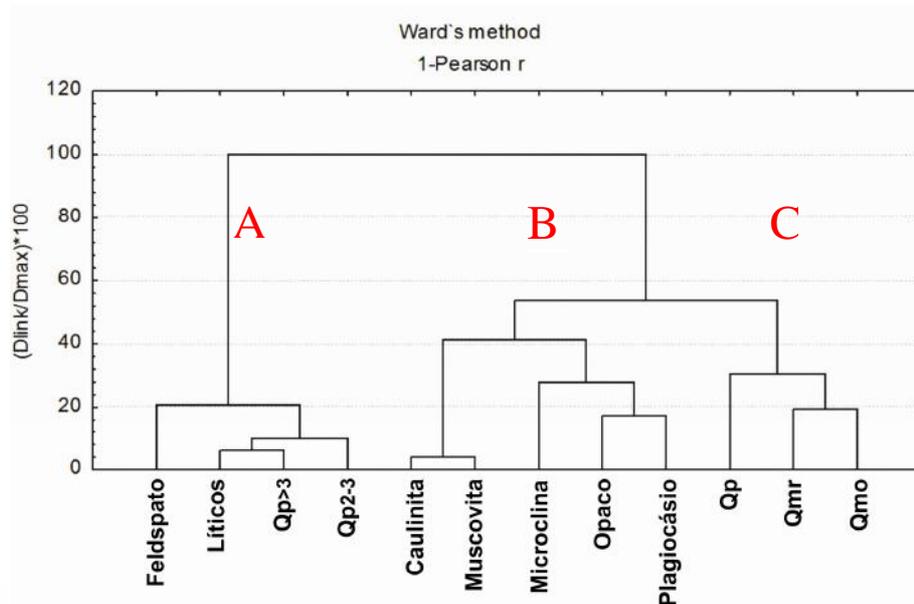


Figura 8: Dendrograma (modo Q) utilizado na distinção das petrofácies.

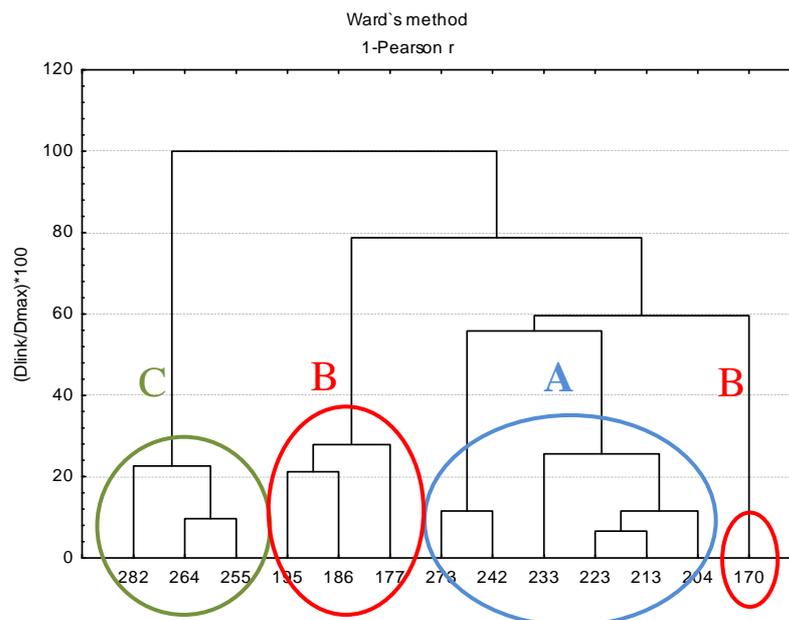


Figura 9: Dendrograma (modo R) mostrando a relação entre as petrofácies e as amostras analisadas.

4.2 Petrofácies

Petrofácies representa um pacote de rocha caracterizado petrograficamente a partir da quantificação da composição mineralógica dos grãos presentes no arcabouço. Segundo Dickinson & Rich (1972), o termo petrofácies foi cunhado para se referir aos arenitos de composição similar geralmente definida por parâmetros tais como percentagens de quartzo-feldspato-lítico e/ou a relação entre diferentes tipos de grãos. Foram identificadas três petrofácies (Quadro 2) que serão discutidas a seguir.

Quadro 2: Síntese das petrofácies encontradas.

Petrofácies	Diagnose	Descrição	Interpretação
A	Constituído caracteristicamente por Qp ₂₋₃ , Qp _{>3} , Lítico e Feldspato	Arenitos desde moderado a mal selecionado com diversos tipos de Líticos	Fonte de origem metamórfica, sedimentar e possivelmente plutônica
B	Constituído caracteristicamente por Microclina, Plagioclásio, Muscovita, Epimatriz Caulinitíca e Opacos	Arenitos com seleção moderada a boa e grãos de Plagioclásio e Microclina	Fonte metamórfica, provavelmente, paraderivada
C	Constituído caracteristicamente por Qmo, Qmr e Qp	Arenitos bem selecionado com predomínio de Qmr	Fonte de origem metamórfica e provavelmente plutônica

4.2.1 Petrofácies A

Diagnose – Arenitos constituídos, caracteristicamente, por grãos de quartzo policristalino com 2 a 3 subgrãos (de 7,0 a 11,5%; média de 10%) ou mais de 3 subgrãos (de 3,0 a 9,0%; média de 5,6%); líticos (de 1 a 8%; média de 3,5%) e feldspato (de 1 a 16%; média de 6,0%).

Descrição – Arenitos cuja granulometria varia de fina a grossa, com predomínio de areia grossa e a seleção dos grãos, desde moderada a mal selecionada. Os grãos de areia fina a média variam de angulosos a subangulosos, enquanto grãos de areia grossa, predominantemente grãos de quartzo policristalinos e líticos, são subarredondados. Os tipos de líticos (Fotomicrografias 1 a 4 – Estampa A) observados são: grãos de quartzo com contatos poligonais e suturados e grãos de quartzo com micas orientadas.

Interpretação – Fonte de origem metamórfica, sedimentar e possivelmente plutônica, evidenciada pela presença dos diversos tipos de líticos.

Discussão – Essa petrofácies é a mais expressiva, ocorrendo no intervalo entre 204,8 m e 242,8 m, com exceção da amostra 273,4 m. Os líticos onde predomina grãos de quartzo com contato suturado e micas orientadas (2,5%) podem ser relacionados à fonte de origem metamórfica, enquanto os líticos quartzosos com contatos poligonais (1,0%) são representantes de fonte sedimentar e provavelmente plutônica. Portanto, o predomínio do primeiro sugere que nesse intervalo a fonte metamórfica foi mais ativa. Os grãos de feldspato foram identificados a partir dos critérios utilizados na reconstrução do limite original do grão, citado anteriormente. Pois processos diagenéticos, como dissolução, influenciaram na quantificação dos mesmos.

Estampa A – Petrofácies A

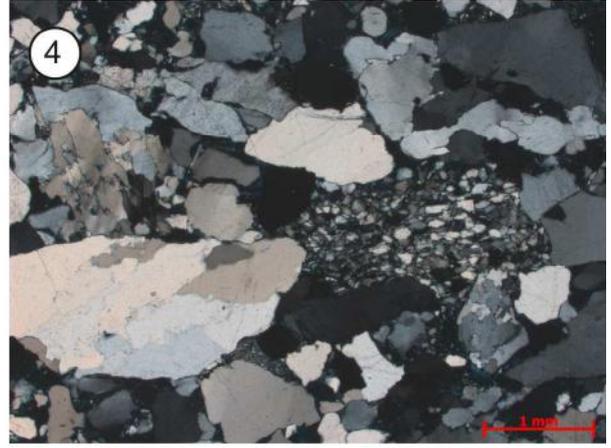
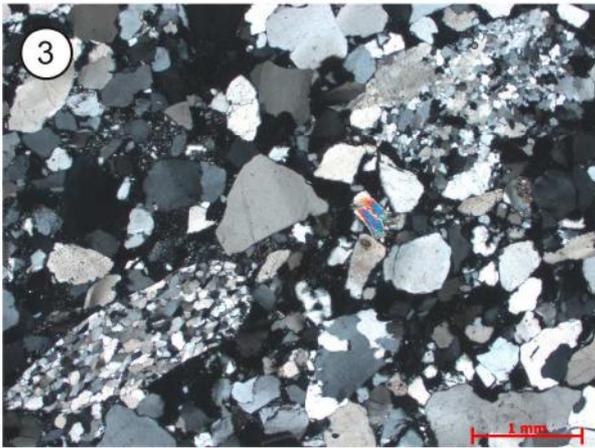
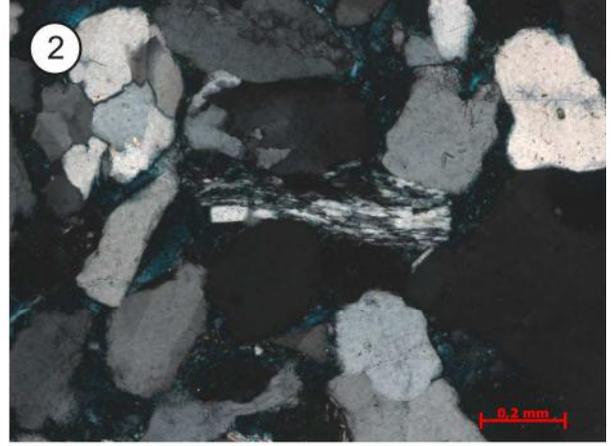
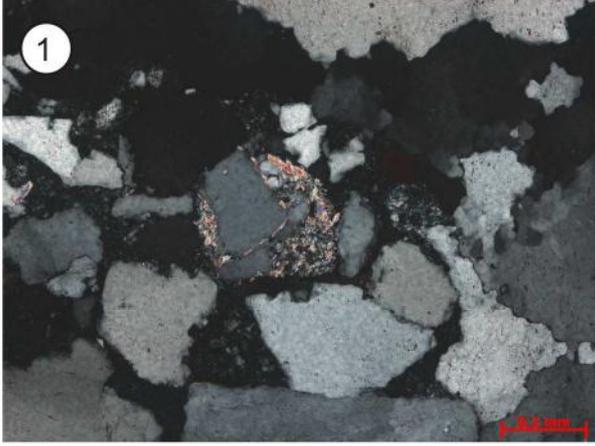
Fotomicrografia 1 - Fragmento de rocha com grãos de quartzo e micas com leve orientação. Nicol cruzado (Amostra 12, profundidade 273,4 m).

Fotomicrografia 2 - Detalhe, ao centro, de um fragmento de rocha estirado, provavelmente de origem metamórfica. Nicol cruzado (Amostra 6, profundidade 213,9 m).

Fotomicrografia 3 – Observar fragmentos líticos, predominantemente, quartzosos com contato poligonais (canto inferior esquerdo) e suturados (canto superior direito). Nicol cruzado (Amostra 7, profundidade 223,3 m).

Fotomicrografia 4 - Fragmento lítico com grãos de quartzo, provavelmente de origem sedimentar. Nicol cruzado (Amostra 12, profundidade 273,4 m).

Estampa A



4.2.2 Petrofácies B

Diagnose – Arenito composto, caracteristicamente, por microclina (de 1 a 5%; média de 1,5%); plagioclásio (de 1 a 4%; média de 2,5%); muscovita (de 3 a 6%; média de 3,5%); epimatriz caulínica (Fotomicrografia 4 - Estampa B; de 1 a 10%; média de 4%) e opacos (de 1 a 3%; média de 1%).

Descrição – A granulometria varia de fina a muito grossa, com predomínio de areia fina a média e seleção dos grãos, de moderada a boa. Os grãos de plagioclásio (Fotomicrografia 2 - Estampa B) e microclina (Fotomicrografia 1 - Estampa B) são os mais representativos entre todas as petrofácies, geralmente ocorrem nas frações areia média e grossa.

Interpretação – Os grãos detríticos apresentam contribuição de rochas metamórficas, provavelmente, paraderivadas.

Discussão – Essa petrofácies ocorre no intervalo superior, entre 170,7 m e 195,9 m. Os feldspatos encontram-se parcialmente dissolvidos, porém foi possível a distinção entre plagioclásio e microclina. A muscovita (Fotomicrografia 3 - Estampa B) é originada, predominantemente, a partir de rochas metamórficas paraderivadas; portanto corrobora junto com os grãos de feldspato para o predomínio de uma fonte metamórfica.

Estampa B – Petrofácies B

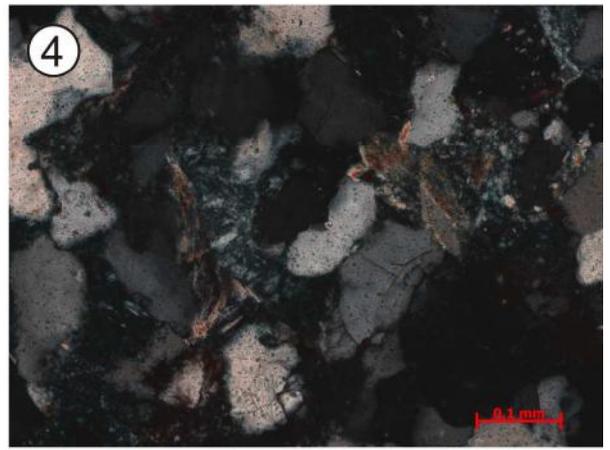
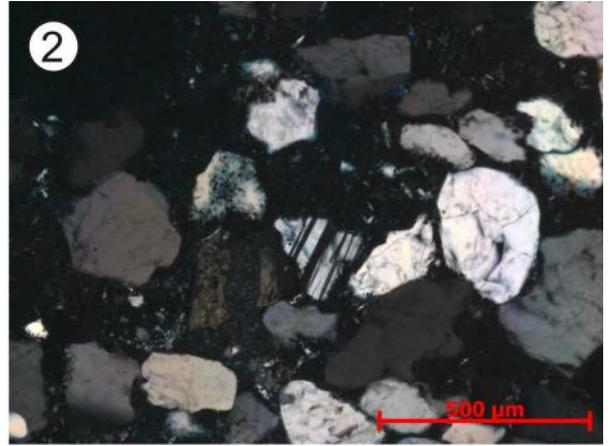
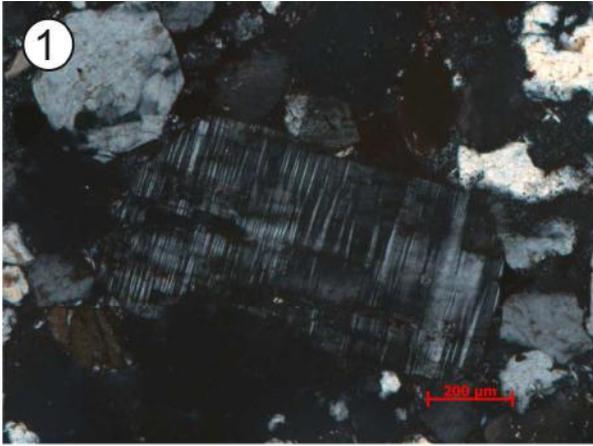
Fotomicrografia 1 – Observar grão de microclina. Nicol cruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Fotomicrografia 2 - Detalhe, ao centro, de um plagioclásio. Nicol cruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Fotomicrografia 3 – Observar grãos de muscovita levemente compactados. Nicol cruzado (Amostra 4, profundidade 195,9 m).

Fotomicrografia 4 – Epimatriz caulínica oriunda do processo de caulinitização nos grãos de muscovita. Nicol cruzado (Amostra 4, profundidade 195,9 m).

Estampa B



4.2.3 Petrofácies C

Diagnose – Arenitos caracteristicamente constituídos por grãos de quartzo detrítico monocristalino divididos, com base na extinção, em ondulante (de 52 a 55%; média de 53%) e reta (de 15 a 21,5%; média de 19%) e quartzo primário (de 1 a 3%; média de 1,7%);

Interpretação – Fonte provavelmente de origem plutônica e metamórfica.

Descrição – A granulometria varia de fina a média, com predomínio de areia fina, bem selecionado. Há o predomínio dos grãos quartzosos com extinção reta, geralmente na fração areia fina, quando comparada às outras petrofácies.

Discussão – A abundância de quartzo monocristalino com extinção reta indica uma fonte provavelmente plutônica, enquanto que a presença de quartzo com extinção ondulante e muscovita evidencia uma fonte metamórfica paraderivada.

4.3 Petrossequências

Uma rocha sedimentar pode apresentar mais de um tipo de rocha fonte de sedimentos para a sua formação. Entretanto a influência dessas, ao longo do tempo geológico, pode variar devido a fatores como soerguimento tectônico, que expõem novos tipos de rochas, além da variação do curso dos rios que erodem áreas de composições distintas; dessa forma, a análise determinística da distribuição das petrofácies ao longo do perfil litológico não é capaz de identificar as variações de proveniência, pois mais de uma petrofácies pode ocorrer num mesmo intervalo de rocha, e pode assumir durante um determinado período um papel predominante no fornecimento de sedimentos. A fim de solucionar esse problema propõe-se nesse estudo a utilização do conceito de petrossequência.

Petrossequência representa um intervalo de rocha que apresenta uma assinatura distinta determinada pela variação da intensidade percentual de ocorrência de determinadas petrofácies ao longo da profundidade. Seus limites são definidos pela inflexão da curva que representa os padrões específicos de cada petrossequência, podendo ser associados à superfícies estratigráficas, por exemplo as superfícies de discordância.

A partir dos dados de composição detrítica gerou-se uma tabela (Tabela 2) a fim de quantificar a influência relativa de cada petrofácies nas amostras analisadas. Os valores encontrados foram normalizados, sendo possível a geração de três perfis (Figura 10), posteriormente correlacionados ao perfil litológico e de raio gama do intervalo estudado. Estes

revelaram o predomínio de três petrossequências, que representam a influência de cada petrofácies nas amostras analisadas.

Tabela 2: Influência relativa de cada petrofácies nas amostras analisadas.

Profundidade (m)	Petrofácies			Total	Normalização (%)		
	A	B	C		A	B	C
170,7	13.0	7.0	60.0	80.0	16.3	8.8	75.0
177,2	23.0	19.0	50.0	92.0	25.0	20.7	54.3
186,4	23.6	15.0	51.4	90.0	26.2	16.7	57.1
195,9	25.0	10.0	53.0	88.0	28.4	11.4	60.2
204,8	35.5	4.0	45.0	84.5	42.0	4.7	53.3
213,9	27.7	1.8	57.5	87.0	31.8	2.1	66.1
223,3	35.0	6.0	56.6	97.6	35.9	6.1	58.0
233,0	17.0	2.2	67.0	86.2	19.7	2.6	77.7
242,8	14.9	1.0	74.0	89.9	16.6	1.1	82.3
255,8	4.0	3.0	75.4	82.4	4.9	3.6	91.5
264,3	2.0	14.0	76.0	92.0	2.2	15.2	82.6
273,4	25.0	3.0	69.0	97.0	25.8	3.1	71.1
282,0	9.0	17.0	70.0	96.0	9.4	17.7	72.9

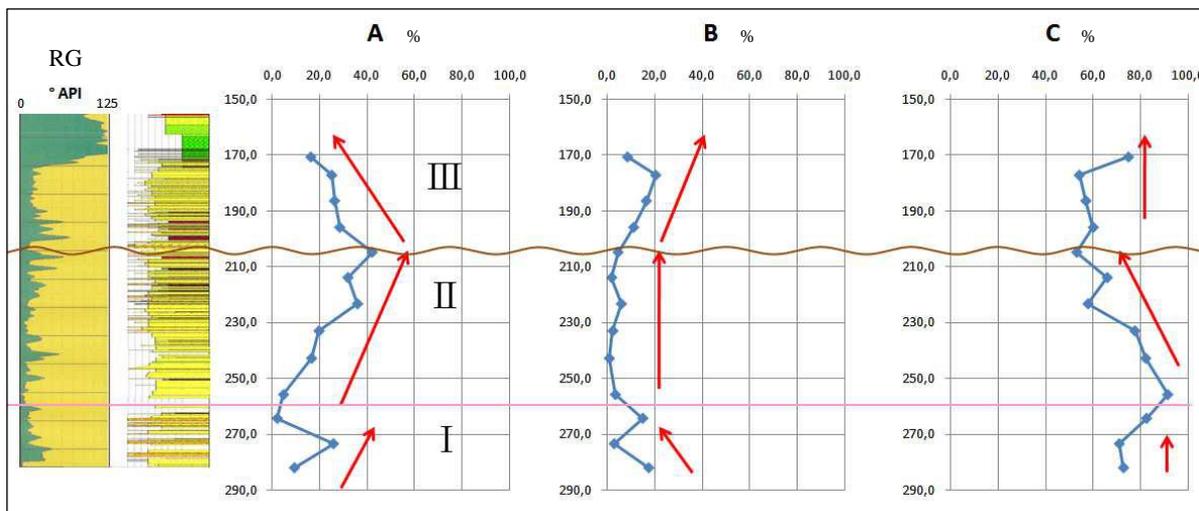


Figura 10: Correlação entre as petrossequências (I, II e III) e os perfis litológicos e de raio gama (RG).

As setas em vermelho indicam a tendência observada nas petrossequências. A petrossequência I é marcada pelo aumento da petrofácies A e diminuição da petrofácies B, enquanto a petrofácies C mantém-se praticamente constante.

A petrossequência II também evidencia o aumento da influência da petrofácies A, porém a petrofácies C apresenta expressiva diminuição.

Por fim, na petrossequência III observa-se a redução da petrofácies A e leve aumento da petrofácies B, enquanto a petrofácies C segue uma tendência uniforme.

Utilizou-se a correlação entre as curvas e o perfil litológico e de raio gama a fim de explicar o significado estratigráfico das superfícies limítrofes entre as petrossequências.

A superfície inferior, que delimita as petrossequências I e II (profundidade 256,0 m), não apresenta uma resposta estratigráfica específica, indicando apenas que houve uma mudança na área fonte de sedimentos. Entretanto a superfície superior (profundidade 205,0 m), que delimita as petrossequências II e III, apresenta um significado estratigráfico claro. Observa-se no perfil litológico que esta superfície ocorre exatamente na base de um pacote de quase dois metros de conglomerado, evidenciando uma brusca mudança da área fonte de sedimentos, portanto sendo interpretada como uma superfície de discordância. A mudança na proveniência dos sedimentos provavelmente ocorreu devido a um soerguimento tectônico que expôs as rochas à erosão.

No perfil de raio gama (RG) os picos observados no intervalo analisado representam, na maioria das vezes, camadas argilosas, porém no intervalo basal entre 255,0 m a 282,0 m os picos retratam pacotes arenáceos, provavelmente, arcossianos.

Relacionando os dados de diagênese com as petrossequências observa-se que a petrossequência II sofreu um processo de dissolução intenso, principalmente na amostra localizada imediatamente abaixo do pacote de conglomerados. Esse processo provavelmente decorreu da exposição mencionada anteriormente e ação de água meteórica.

Relacionando as rochas do embasamento com as fontes observa-se que a fonte de origem metamórfica é caracterizada, predominantemente, por metassedimentos como micaxisto, quartzito e meta-arcósio. Já a fonte de origem sedimentar, provavelmente é oriunda das unidades sedimentares como a Formação Riachão ou o Grupo Jaibáras. Por fim, a fonte plutônica pode estar relacionada às intrusões graníticas que ocorrem na área.

5 EVOLUÇÃO DIAGENÉTICA

Os estágios diagenéticos definidos por Choquette & Pray (1970) estão associados a alterações em condições de soterramento progressivo, desde raso (eodiagênese), onde predominam condições do ambiente deposicional, até profundo (mesodiagênese) predominando aumento substancial da temperatura, pressão e mudança na composição química da água intersticial. Além desses estágios, esses autores denominaram telodiagênese à retomada de condições superficiais dos sedimentos anteriormente soterrados através de processos de soerguimento tectônico.

Para a avaliação da evolução diagenética das amostras analisadas foram caracterizados os seguintes elementos: cimentação; compactação física e química; dissolução; e substituição por argilominerais.

Os tipos de cimento observados, em ordem de abundância, são: óxido de ferro, caulinita e sílica. O cimento de óxido de ferro (Fotomicrografia 1 – Estampa C) ocorre preenchendo tanto os poros intergranulares como os intragranulares e também bordejando os grãos de quartzo. O cimento de caulinita (Fotomicrografia 2 – Estampa C) preenche apenas os poros intergranulares, provavelmente gerada pela dissolução dos grãos de feldspato. Por fim, o cimento de sílica, raramente observado, é sintaxial e ocorre envolvendo os grãos de quartzo.

A compactação física pode ser caracterizada pela presença de grãos de muscovita deformados e rompidos (Fotomicrografia 3 – Estampa C) e pelos tipos de contatos entre os grãos. Observa-se de uma forma geral, grãos de muscovita com deformação variando de fraca a moderada e contatos entre grãos de pontuais a côncavo-convexos. Raramente são observados grãos com contatos suturados e grãos de muscovita com elevado grão de deformação. Já a compactação química raramente ocorre sendo caracterizada pela presença de contatos suturados entre grãos de quartzo e reprecipitação do material dissolvido como cimento sintaxial.

Os processos de dissolução atuam nas amostras analisadas geralmente como, dissolução em grão de feldspato e raramente como dissolução em grãos de quartzo. A dissolução nos grãos de feldspato ocorre preferencialmente ao longo de seus planos de clivagem (Fotomicrografia 5 e 6 – Estampa C) gerando poros alargados podendo ser observados em sua borda filmes de argila (Fotomicrografia 4 – Estampa C), resultante da alteração do feldspato ou, em menor quantidade, resquícios do grão que foi dissolvido. Os grãos ocorrem parcial a totalmente dissolvidos. Já a dissolução dos grãos de quartzo ocorre de forma parcial

podendo ser observado resquícios do grão original. Esse processo gera porosidade secundária embora esta não seja tão expressiva quanto à porosidade oriunda da dissolução do feldspato.

Por último, o processo de substituição atua nos grãos de muscovita e raramente nos grãos de feldspato, dando origem a caulinita (Fotomicrografia 7 – Estampa C). São observados graus variáveis substituição desde baixo a alto. Esse processo ocorre nos grãos de muscovita gerando abertura em forma de leque (Fotomicrografia 8 – Estampa C) em suas extremidades, redução da birrefringência e no estágio mais evoluído substituição completa por caulinita. Já os grãos de feldspato apresentam-se totalmente substituídos por caulinita preservando a forma do grão original.

Os elementos diagenéticos observados ocorrem em todas as petrossequências, porém com intensidade distintas; sendo assim, será caracterizada a evolução diagenética de cada uma destas além da identificação dos estágios diagenéticos.

A petrossequência I é caracterizada pelo elevado grau de compactação física evidenciado pela intensa deformação dos grãos de muscovita (Fotomicrografia 3 – Estampa C), o mesmo ocorre com a compactação química quando comparado as outras petrossequências. A dissolução dos grãos do arcabouço ocorre provavelmente nos grãos de feldspato, que se apresentam completamente dissolvidos, e raramente nos grãos de quartzo, dando origem a porosidade secundária que ocorre pontualmente. O processo de substituição tem grande expressividade, porém não supera a petrossequência III. Portanto, esta petrossequência evidencia elementos característicos do estágio mesodiagenético, como a compactação dos grãos.

A petrossequência II é caracterizada pelo elevado grau de dissolução dos grãos de feldspato, identificados a partir de critérios como borda de argila e resquício do grão, onde predomina a porosidade intergranular alargada (secundária). Tanto a compactação física quanto a compactação química não são tão expressivas, assim como o processo de substituição. Portanto, a presença desses elementos e da superfície discordante sugere ação predominante de um estágio telodiagenético. Este estágio é exclusivo desta petrossequência.

A petrossequência III é caracterizada pelo retrabalhamento dos sedimentos por organismos (Fotomicrografia 9 – Estampa C), e dissolução parcial dos grãos de feldspato. Quanto à compactação física e química, observa-se um aumento gradual em direção a base da petrossequência. Portanto, os processos diagenéticos identificados ocorreram desde o estágio eodiagenético, caracterizado pela presença de bioturbação no intervalo superior do poço, até a mesodiagênese, evidenciado pelo aumento do grau de compactação.

Estampa C – Evolução diagenética

Fotomicrografia 1 – Observar a precipitação de óxido de ferro preenchendo os poros intergranulares. Nicol descruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Fotomicrografia 2 – Cimento de caulinita oriundo da dissolução do feldspato. Nicol cruzado (Amostra 13, profundidade 282,0 m).

Fotomicrografia 3 – Grão de muscovita compactado (lado esquerdo) e contato entre os grãos de quartzo suturados (centro). Nicol cruzado (Amostra 13, profundidade 282,0 m).

Fotomicrografia 4 – Dissolução do grão de feldspato evidenciado pela presença de borda de argila e resquício do grão. Nicol descruzado (Amostra 5, profundidade 204,8 m).

Fotomicrografia 5 – Grão de microlina dissolvido, originado porosidade intragranular. Nicol cruzado (Amostra 2, profundidade 177,2 m).

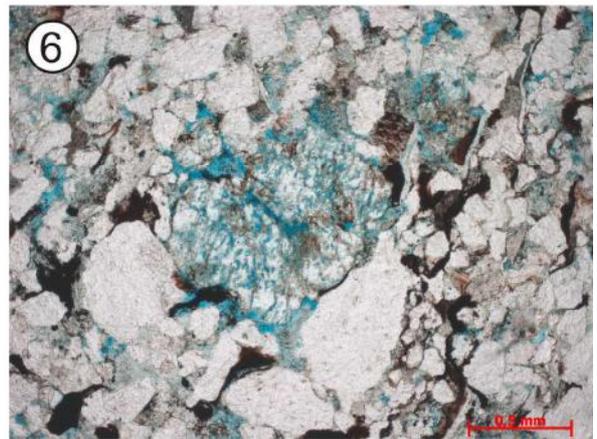
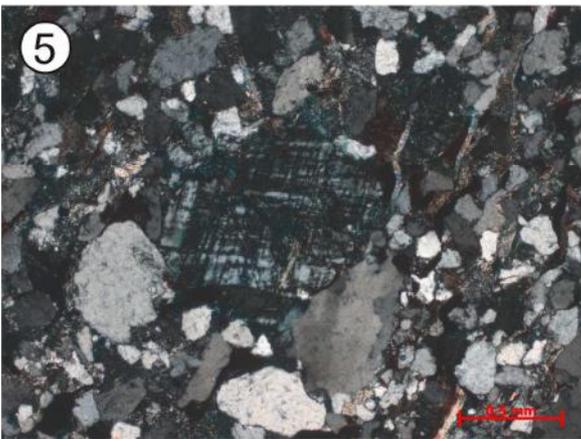
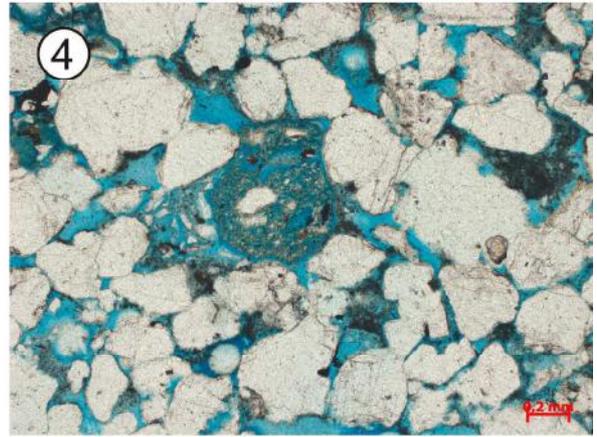
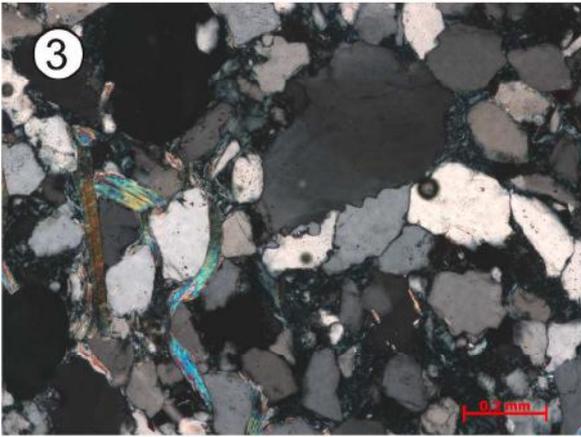
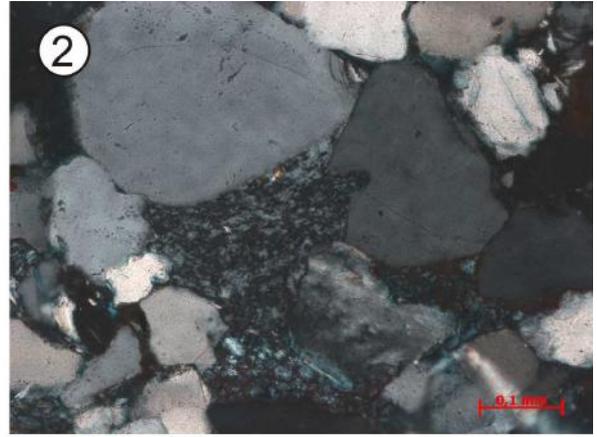
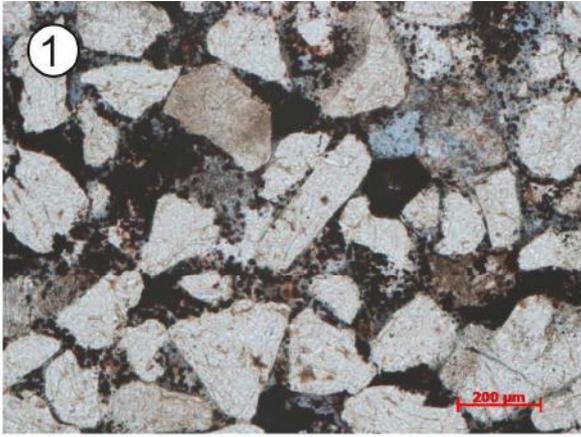
Fotomicrografia 6 - Grão de microlina dissolvido, originado porosidade intragranular. Nicol descruzado (Amostra 2, profundidade 177,2 m).

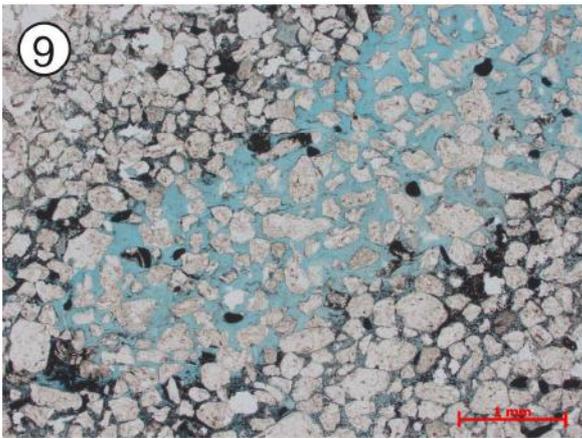
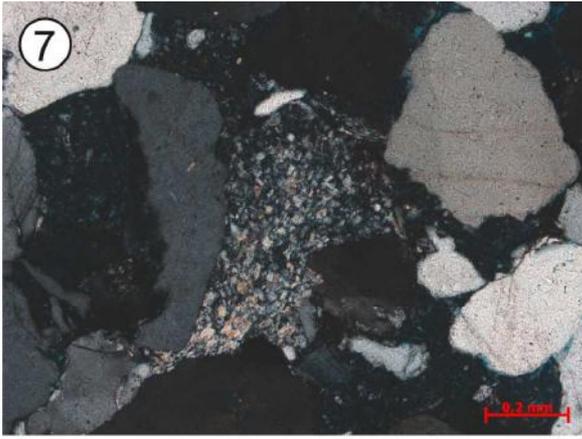
Fotomicrografia 7 - Processo de substituição em muscovita dando origem a caulinita. Nicol cruzado (Amostra 5, profundidade 204,8 m).

Fotomicrografia 8 – Grão de muscovita sofrendo processo de caulinitização evidenciando a feição característica em forma de leque. Nicol cruzado (Amostra 11, profundidade 264,3 m).

Fotomicrografia 9 – Bioturbação em forma de tubo evidenciada pela boa porosidade. Nicol descruzado (Amostra 1, profundidade 170,7 m).

Estampa C





6 CONCLUSÕES

Através da descrição petrográfica das amostras estudadas foi possível classificá-las como subarcósios, na grande maioria, e quartzo-arenitos com apenas uma amostra tendendo ao campo dos sublitarenitos. Estas correspondem a rochas depositadas em “interior cratônico”, com apenas duas amostras anômalas. A partir da observação dos fragmentos líticos e alguns minerais específicos como muscovita, foram identificadas fontes metamórficas, sedimentares e possivelmente ígneas plutônicas.

A análise de agrupamento permitiu a identificação estatística de três petrofácies, denominadas A, B e C. Cada petrofácies representa um grupo de elementos intimamente relacionados. Entretanto foi observado que as três petrofácies ocorrem em todas as amostras analisadas, sendo, portanto, necessária a quantificação da ocorrência dessas em cada amostra. A fim de solucionar esse problema foi realizada uma análise de petrossequências.

Foram identificadas três petrossequências distintas limitadas por duas superfícies representando dois momentos de brusca variação de área fonte de sedimentos. A superfície inferior não apresentou um significado estratigráfico específico, enquanto a superfície superior caracteriza uma superfície de discordância.

Por último, aspectos diagenéticos observados nas amostras estudadas evidenciam a ocorrência de três estágios de diagênese para as rochas do Grupo Serra Grande. O estágio eodiagenético predomina no intervalo superior do poço enquanto o mesodiagenético ocorre ao longo de todo o poço. O estágio telodiagenético, evidenciado pelo elevado grau de dissolução logo abaixo da superfície de discordância, é exclusivo a petrossequência II.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em < <http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/index.html>> Acessado em 18 de junho de 2010.

BASU, A.; YOUNG, S.W.; SUTTNER, L. J.; JAMES, W.C.; MACK, G.H. Re-evolution of the Use of Ondulatory Extinction and Polycrystallinity in detrital Quartz for Provenance Interpretation. **Journal of Sedimentary Petrology**, 45 (4): 873-882, 1975.

BEARD, D.C. & WEYL, P.K. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 57: 349-369, 1973.

BIZZI, L.A. *et al.* 2002. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas-Sig. Brasília, CPRM. 4 CD-ROM.

BOGGS, S. Jr. **Petrology of Sedimentary Rocks**. New York: Macmillan Publ. Co., p.707, 1992.

CAMPBELL, D.F.; ALMEIDA, L.A.; SILVA, S.O. Relatório preliminar sobre a geologia da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, **Conselho Nacional do Petróleo**, p.160, 1949. (Boletim, n.1).

CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of Northern basins of Brazil**. 1984. 583f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, California University, Santa Barbara.

CAPUTO, M.V. & LIMA, E.C. Estratigrafia idade e correlação do Grupo Serra Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, v.2, p.740-759.

CAROZZI, A.V.; FALKENHEIN, F.U.H.; CARNEIRO, R.G.; ESTEVES, F.R.; CONTREIRAS, C.J.A. Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, **PETROBRAS**, p.48, 1975. (Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo, 7).

CASTER, K.E. Excursão geológica do Estado do Piauí. *Min. e Met.* Rio de Janeiro, 12 (69): 126-127, 1948.

CHOQUETTE, P.W. & PRAY, L. Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. **American Association of Petroleum Geologists**, 54: 207-250, 1970.

CUNHA, F.M.B. **Evolução paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. 1986. 107f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DENCK, T. **Gearquitectura deposicional e correlação estratigráfica de corpos de arenito da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da bacia do Parnaíba**. 2009.

Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências. Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CRUZ, F.E.G. **Petrologia dos arenitos da Formação Furnas na região de Ponta Grossa-Paraná**. 1987. 96f. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DIGER/SEGEX.

DICKINSON, W.R. Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, 40 (2): 695-707, 1970.

DICKINSON, W.R. & RICH E.I. Petrologic Intervals and Petrofacies in the Great Valley Sequence, Sacramento Valley, California. **Geological Society of American Bulletin**, 83: 3007-3024, 1972.

DICKINSON, W.R.; BEARD, L.S.; BRAKENRIDGR, G.R.; ERJAVEC, J.L.; FERGUSON, R.C.; INMAN, K.F.; KNEPP, R.A.; LINDBERG, F.A.; RYBERG, P.T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. **Geological Society of American Bulletin**, 94: 222-235, 1983a.

FOLK, R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. **Austin: Hemphil publ. Co**, p.184, 1980.

GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 8: 57-67, 1994.

GÓES, A.M.O.; SOUZA, J.M.P.; TEIXEIRA, L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 4: 55-64, 1990.

GRAHN, Y; MELO, J.H.G.; STEEMANS, P. Integrated chitinozoan and miospore zonation of the Serra Grande Group (Silurian-Lower Devonian), Parnaíba Basin, Northeast Brazil. **Revista Espanõla de Micropaleontología**, Madrid, 37 (2):183-204, 2005.

KEGEL, W. **A Formação Jaicós no Piauí**. Ministério da Agricultura, DNPM/Divisão de Geologia e Mineralogia, p.9; 1958.

MCBRIDE E.F. Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In: ZUFFA, G. G. (eds). **Provenance of Arenites**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984, 148: 115-137. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).

MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L.C. Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous coastal basins North Brazil, **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 48: 1476-1512, 1964.

METELO, C. M. S. **Caracterização Estratigráfica do Grupo Serra Grande (Siluriano) na borda Sudoeste da Bacia do Parnaíba**. 1999. 102f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOURA, C.A.V.; PINHEIRO, B.L.S.; NOGUEIRA A.C.R.; GOTAYEB, P.S.S.; GALARZA, M.A. Sedimentary provenance and palaeoenvironment of the Baixo Araguaia Supergroup: constraints on the palaeogeographical evolution of the Araguaia Belt and assembly of West Gondwana. In: PANKHURST, R. J., TROUW, R. A. J., BRITO NEVES, B. B. & DE WIT, M. J. (eds). **West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region**. London: Geological Society, Special Publications, 2008, 294:173-196.

PAIXÃO, M. A. P.; NILSON, A.A. & DANTAS, E. L. The Neoproterozoic Quatipuru ophiolite and the Araguaia fold belt, central-northern Brazil, compared with correlatives in NW Africa. In: PANKHURST, R. J., TROUW, R. A. J., BRITO NEVES, B. B. & DE WIT, M. J. (eds). **West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region**. London: Geological Society, Special Publications, 2008, 294: 297–318.

PLUMMER, F. B.; Price, L. I. & Gomes, F. A. Estados do Maranhão e Piauí (Geologia): Brasil. Rio de Janeiro, **Conselho Nacional do Petróleo**, 87-134, 1948. (Relatório 1946).

POWERS, M.C. A new roundness scale for sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, 23:117-119, 1953.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (eds), 2001. O Cretáceo da bacia de São Luís–Grajáú. Belém, Museu Emílio Goeldi. p.246 (Coleção Friedrich Katzer).

SHANMUGAN, G. Types of porosity in sandstones and their significance in interpreting provenance. In: ZUFFA, G.G. (ed.) **Provenance of Arenites**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984, 148:165-189. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).

SMALL, H. L. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará, Brasil. Rio de Janeiro: **Instituto de obras contra secas**, p.146, 1914. (série I.D., 32).

VAZ . P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; FILHO, J.R.W.; TRAVASSOS,W.A. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 15 (2): 253-263, 2007.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, 30: 377-392, 1922.

YOUNG, C.G.K. **Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano) da bacia do Parnaíba**. 2006. 174f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ZUFFA, G.G. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In: ZUFFA, G.G. (ed.) **Provenance of Arenites**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984, 148:165-189. (NATO ASI series. Series C-Mathematical and physical sciences).