



UFF – UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA

BRUNA MAIA IMBUZEIRO

**CARACTERIZAÇÃO DE ELETROFACIES E QUIMIOFACIES
EM SOLEIRAS DE DIABÁSIO DA BACIA DO PARNAÍBA**

ORIENTADOR
PROF. Ph.D. ANTONIO FERNANDO MENEZES FREIRE

COORIENTADOR
B.Sc. FILIPE VIDAL CUNHA SANTA ROSA SOARES DE OLIVEIRA

Niterói, RJ

2021

BRUNA MAIA IMBUZEIRO

**CARACTERIZAÇÃO DE ELETROFACIES E QUIMIOFACIES
EM SOLEIRAS DE DIABÁSIO DA BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Graduação em Geofísica do Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

ORIENTADOR

PROF. Ph.D. ANTONIO FERNANDO MENEZES FREIRE

COORIENTADOR

B.Sc. FILIPE VIDAL CUNHA SANTA ROSA SOARES DE OLIVEIRA

Niterói,

2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

I32c Imbuzeiro, Bruna Maia
Caracterização de eletrofacies e quimiofacies em soleiras de diabásio da Bacia do Parnaíba / Bruna Maia Imbuzeiro ; Antonio Fernando Menezes Freire, orientador ; Filipe Vidal Cunha Santa Rosa Soares Oliveira, coorientador. Niterói, 2021. 99 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica)- Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Niterói, 2021.

1. Intrusões magmáticas. 2. Fluorescência de Raios-X. 3. Perfilagem geofísica de poço. 4. Bacia do Parnaíba. 5. Produção intelectual. I. Freire, Antonio Fernando Menezes, orientador. II. Oliveira, Filipe Vidal Cunha Santa Rosa Soares, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -

BRUNA MAIA IMBUZEIRO

**CARACTERIZAÇÃO DE ELETROFACIES E QUIMIOFACIES
EM SOLEIRAS DE DIABÁSIO DA BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Graduação em Geofísica do Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Aprovado em 17/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ph.D. Antonio Fernando Menezes Freire (Orientador - GGO/DOT - UFF)

B.Sc. Filipe Vidal Cunha Santa Rosa Soares de Oliveira (Coorientador – DOT/UFF)

M.Sc. Máira Cordeiro do Carmo (DOT/UFF)

M.Sc. Sofia Alves Fornero (Petrobras)

Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva (GGO/DOT - UFF)

Niterói, 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por abençoar o meu caminho e me permitir chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Lucia e Ricardo, e a minha irmã, Patrícia, pelo incessante suporte e incentivo, por acreditarem em mim e principalmente pelo amor incondicional que sempre me foi dado. Obrigada por tudo que fizeram e fazem por mim. Gostaria de agradecer também ao meu afilhado, Miguel, que mesmo sem saber, me deu força em vários momentos, ao demonstrar de maneira tão inocente e pura seu amor por mim. Ao meu cunhado, Sione, muito obrigada pela preocupação que sempre teve comigo e pelo seu bom humor, especialmente no momento de tensão da apresentação.

Agradeço imensamente por ter tido a oportunidade de ser orientada pelo Prof. Dr. Antonio Fernando Menezes Freire e pelo B. Sc. Filipe Vidal Cunha Santa Rosa Soares De Oliveira, que me proporcionaram tantos ensinamentos e contribuíram para minha evolução acadêmica e pessoal. Muito obrigada por terem conduzido este trabalho com tanta paciência e dedicação.

Aos membros da banca examinadora, Maíra Cordeiro do Carmo, Sofia Alves Fornero e Prof. Cleverson Guizan Silva, pelos comentários e avaliações que tanto enriqueceram este trabalho.

Aos atuais e antigos integrantes do projeto Parnaíba, especialmente à Lídia, Luanne, Murilo e Guilherme, por me deixarem compartilhar minha ansiedade e por estarem sempre dispostos a me ajudar. Agradeço também à Luiza por ter gerado dados fundamentais para este trabalho.

A Universidade Federal Fluminense por sua estrutura e recursos que me proporcionaram um ensino de qualidade. Também agradeço aos funcionários e servidores por se empenharem tanto para que a instituição de ensino funcione com excelência e por tornarem o ambiente acadêmico ainda mais acolhedor.

Aos meus amigos de vida, por sempre estarem comigo, torcerem por mim e por fazerem os momentos estressantes serem mais leves.

Ao meu namorado, João Vitor, por ter me aturado e ouvido pacientemente todos os meus desabafos, pelo apoio emocional ao longo desses anos e por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a Parnaíba Gás Natural pela doação das amostras de calha à UFF e ao BDEP/ANP por ter cedido os dados de poço, possibilitando a realização deste trabalho.

Agradeço a K2 Sistemas pelas licenças acadêmicas do *software* Trace usado para a interpretação dos dados.

Por último, deixo meu respeito e agradecimento a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória acadêmica, por toda a dedicação e empenho para nos transmitir tanto conhecimento.

RESUMO

As intrusões magmáticas têm sido apontadas como eventos fundamentais para o fornecimento de calor para a geração de gás nas bacias paleozoicas brasileiras. A Bacia do Parnaíba possui rochas magmáticas, identificadas como soleiras e diques de diabásio, que refletem os eventos de desagregação do Supercontinente Pangea e a conseqüente formação do Oceano Atlântico. Esses registros magmáticos correspondem às Formações Mosquito e Sardinha, datadas do Eojurássico e do Eocretáceo, respectivamente. Correlações feitas a partir de análises químicas, utilizando Fluorescência de Raio X (XRF), perfis geofísicos de Raio Gama (GR), Densidade (RHOB/RHOZ) e Fator Fotoelétrico (PEFZ), além da descrição detalhada de amostras de calha, mostraram-se eficazes para entender as características físico-químicas e as variações mineralógicas desses corpos ígneos. Esse estudo permitiu reconhecer, nas curvas de GR, corpos ígneos tabulares, sejam eles concordantes ou não com a rocha encaixante (soleiras ou diques), com o padrão “barriguda” quando ocorrem em corpos espessos ou “caixote” quando tem pouca espessura, ambas já atestadas em estudos anteriores. Para isso, foram utilizados dados de quatro poços: 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 4-OGX-49-MA e 3-PGN-5-MA, perfurados no Parque dos Gaviões, principal área produtora de gás da Bacia do Parnaíba. Observa-se uma variação composicional de acordo com a espessura dos corpos ígneos, que corresponde às feições vistas no perfil de Raios Gama. Dessa forma, os corpos ígneos mais espessos apresentam variações nos perfis ao longo de sua seção, assim como variações nos valores de Titânio, Alumínio, Potássio, Magnésio, Ferro, Cálcio, Rubídio, Níquel e Cromo, evidenciando uma grande variação textural e mineralógica, permitindo a caracterização das soleiras de diabásio com feição “barriguda” em eletrofacies e quimiofacies distintas. Foram identificadas quatro quimiofacies, que determinaram uma maior concentração de minerais magnesianos na base e de minerais mais félsicos no topo, evidenciando uma provável ordem de cristalização, conforme proposto na Série de Bowen. Essas quimiofacies evidenciam o caráter intrusivo dessas rochas, no qual ocorreu um resfriamento lento e gradual.

Palavras-chave: Formação Mosquito; Formação Sardinha; Bacia do Parnaíba; Perfilagem de poço; Amostras de calha; Fluorescência de Raio X.

ABSTRACT

Magmatic intrusions have been pointed out as fundamental events for the heat supply for gas generation in the Brazilian Paleozoic basins. The Parnaíba Basin presents in its domain magmatic rocks, identified as diabase sills and dikes, which reflect the disaggregation events of the Pangea Supercontinent and the consequent formation of the Atlantic Ocean. These magmatic records correspond to the Mosquito and Sardinha Formations, dated to the Eojurassic and Eocretaceous, respectively. Correlations made from chemical analyses, using X-Ray Fluorescence (XRF), Gamma Ray (GR), Density (RHOB/RHOZ) and Photoelectric Factor (PEFZ) well-logs, as well as detailed description of cutting samples, proved to be efficient in understanding the physical-chemical characteristics and mineralogical variations of these igneous bodies. This study allowed us to recognize, in the GR curves, tabular igneous bodies, either concordant or not with the surrounding rock (sills or dikes), with the shape "*barriguda*" when they occur in thick bodies or "*caixote*" for thin bodies, both already attested in previous studies. To this end, were used data from four wells: 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 4-OGX-49-MA and 3-PGN-5-MA, drilled in Parque dos Gaviões, the main gas producing area in the Parnaíba Basin. A compositional variation is observed according to the thickness of the igneous bodies, which corresponds to the features seen in the Gamma Ray well-log. Thus, the thicker igneous bodies present variations in the well-logs along their section, as well as variations in Titanium, Aluminum, Potassium, Magnesium, Iron, Calcium, Rubidium, Nickel and Chromium values, evidencing a great textural and mineralogical variation, allowing the characterization of diabase sills with "*barriguda*" shape in distinct electro- and chemical-facies. Four chemicalfacies were identified, which determined a higher concentration of magnesian minerals at the base and more felsic minerals at the top of the sill, evidencing a probable crystallization sequence, as proposed in Bowen's Series. These chemicalfacies show the intrusive character of these rocks, in which a slow and gradual cooling occurred.

Keywords: Mosquito Formation; Sardinha Formation; Parnaíba Basin; Wireline logs; Cutting samples; X-Ray Fluorescence.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	GEOLOGIA REGIONAL.....	11
2.1	Evolução tectono-sedimentar.....	12
2.2	Estruturas Tectônicas	13
2.3	Estratigrafia.....	15
2.3.1	Sequência Siluriana	17
2.3.2	Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera	17
2.3.3	Sequência Neocarbonífera-Eotriássica.....	19
2.3.4	Sequência Jurássica	20
2.3.5	Sequência Cretácea	20
2.4	Rochas ígneas da Bacia do Parnaíba.....	21
2.4.1	Formação Mosquito	23
2.4.2	Formação Sardinha	24
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
3.1	Amostra de calha	25
3.2	Fluorescência de Raio-X (XRF)	26
3.2.1	Excitação dos elementos químicos.....	27
3.2.2	Dispersão e detecção dos Raios-X.....	28
3.3	Rochas Ígneas	28
3.3.1	Plagioclásio.....	29
3.3.2	Piroxênio.....	30
3.3.3	Anfibólio.....	32
3.3.4	Olivina.....	33
3.3.5	Óxidos e outros minerais acessórios	34

3.4 Perfis Geofísicos.....	35
3.4.1 Raio Gama.....	35
3.4.2 Densidade.....	36
3.4.3 Fator Fotoelétrico.....	37
3.4.4 Identificação de rochas ígneas usando perfis geofísicos.....	37
3.4.5 Feição de Igneabilidade.....	39
3.5 Série de Bowen.....	40
4 MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1 Descrição de amostras de calha.....	43
4.2 Fluorescência de Raio-X (XRF)	45
4.3 Controle de qualidade dos dados de XRF	49
4.4 Tratamento e integração dos dados	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1 Perfis de poço.....	50
5.2 Descrição de amostra de calha.....	58
5.3 Fluorescência de Raios-X (XRF)	63
6 CONCLUSÃO	67
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
APENDICE A – Descrição do poço 4-OGX-49-MA	77
APENDICE B – Descrição do poço 1-OGX-101-MA	88

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização e principais limites tectônicos da Bacia do Parnaíba. Fonte: Sumário Geológico, ANP, 13ª Rodada (2015).	11
Figura 2: Seção geológica esquemática da Bacia do Parnaíba. Fonte: Ouro Preto Óleo e Gás (2016).	12
Figura 3: Estruturas do Ciclo Brasileiro de compartimentação no Paleozóico (segundo Fortes, 1978). Fonte: Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís, Geologia Regional – CPRM.	13
Figura 4: Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba (Vaz et al., 2007). Fonte: Sumário Geológico, ANP, 13ª Rodada (2015).....	16
Figura 5: Representação dos plays da Bacia do Parnaíba na área do Parque dos Gaviões associados aos principais sistemas petrolíferos. Fonte: Calonio, 2020 apud Abelha (2013) in Sumário Geológico, ANP (2015), R13.	23
Figura 6: Local de coleta das amostras de calha na peneira de lama. Fonte: material de aula do Professor Joaquim Ribeiro Wanderley Filho.....	26
Figura 7: Ilustração da excitação dos níveis eletrônicos internos, com a consequente emissão de raios-X e sua notação correspondente. Fonte: Tavares <i>et al.</i> , 2015.....	27
Figura 8: Esquema de excitação e detecção de raios-X utilizado pelos equipamentos de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia. Fonte: Parreira, 2006.	28
Figura 9: Campos de composições dos feldspatos. Fonte: Deer <i>et al.</i> , 1966 <i>apud</i> Sial & McReath, 1984).	29
Figura 10: Composição e nomenclatura dos piroxênios com Ca, Fe ²⁺ e Mg. Fonte: (Ulbrich & Andrade, 2003).	30
Figura 11: Estrutura cristalina ortorrômbica e monoclinica. Fonte: Nascimento & Machado, 2018.....	31
Figura 12: Perfil elétrico de dois poços com intrusivas ígneas identificadas; (a) exemplo de feição típica de soleira na Bacia do Parnaíba., caracterizando o padrão “barriguda”; (b) exemplo de feição típica de dique na Bacia do Paraná, onde o perfil de GR forma o padrão do tipo “caixote”. Fonte: Modificado de Trosdtorf Junior et al., 2014.	38

Figura 13: Perfis de Fator Fotoelétrico e Densidade usados para a obtenção da Feição de Igneabilidade, indicada pela hachura vermelha. Fonte: Oliveira et al., 2018.....	40
Figura 14: Esquema ilustrativo da série de Bowen. Fonte: Modificado de Johnson et al., 2017.....	41
Figura 15: Mapa de localização dos poços utilizados para o estudo das rochas ígneas. Os shapefiles utilizados foram obtidos nos sites do IBGE e da ANP.	43
Figura 16: (A) Sacos de pano contendo amostras de calha (B) Calha de alumínio com amostras lavadas para a descrição.....	44
Figura 17: Estereoscópio – Stemi 508, utilizado para descrição das amostras de calha.	44
Figura 18: Imagem do Software SedLog utilizado para descrição das amostras de calha, correspondente à descrição do poço 1-OGX-101-MA, no intervalo 1413/1434 m.	45
Figura 19: (A) Filtro de papel utilizado para o escoamento da água das amostras (B) Estufa utilizada para retirar a umidade das amostras.	46
Figura 20: (A) Gral de Ágata utilizado para macerar as amostras, (B) Ímã de neodímio.	47
Figura 21: Capsulas de plástico utilizados para as análises químicas de XRF. A base do recipiente é o contato entre a amostra e o leitor do equipamento.....	48
Figura 22: Foto do equipamento de Fluorescência de Raio-X utilizado para leitura química elementar das amostras de calha.	48
Figura 23: Espectro lido e tabela de elementos químicos identificados na amostra de calha do poço 4-OGX-49-MA na profundidade de 1623 m gerados pelo equipamento de XRF utilizado.	49
Figura 24: Identificação dos corpos ígneos e correlação entre os poços 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 3-PGN-5-MA e 4-OGX-49MA. Fonte: Autora.	51
Figura 25: Comportamento dos perfis de GR, RHOZ e PEFZ nos corpos ígneos de feição “caixote” do poço 1-OGX-110-MA.	51
Figura 26: Gráfico que relaciona a espessura do corpo ígneo com a feição observada no perfil de Raio Gama nos poços 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 3-PGN-5-MA e 4-OGX-49-MA.....	53

Figura 27: Crossplot das eletrofacies identificadas no poço 1-OGX-101-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.	56
Figura 28: Crossplot das eletrofacies identificadas no poço 3-PGN-5-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto. ..	56
Figura 29: Crossplot das eletrofacies identificadas no poço 4-OGX-49-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.	57
Figura 30: Crossplot das eletrofacies identificadas no poço 1-OGX-110-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.	57
Figura 31: Perfis geofísicos do poço 4-OGX-49-MA, mostrando que os valores de RHOZ abaixo de 2,5 g/cm ³ estão associados a zonas arrombamento/fratura, marcados pelo aumento dos valores no Perfil Caliper.	58
Figura 32: Fotos das amostras de calha correspondentes à soleira de diabásio do poço 1-OGX-101-MA e suas respectivas profundidades. (A) Topo da soleira, rica em plagioclásio e piroxênio/anfibólio, com alguma ocorrência de olivina; (B) Zona da “barriga”, com mineralogia semelhante ao topo; (C) Zona de alta densidade com presença de óxidos; (D) Zona com mineralogia básica e rica em olivina; (E) Porção basal da soleira, rica em plagioclásio e olivina. Legenda: Px/Anf: Piroxênio/Anfibólio; Pg: Plagioclásio; Oli: Olivina; FrMe: Fragmento metálico; Mag: magnetita.	59
Figura 33: Fotos das amostras de calha correspondentes à soleira de diabásio do poço 4-OGX-49-MA e suas respectivas profundidades. (A) Topo da soleira, rica em plagioclásio e piroxênio/anfibólio, com alguma ocorrência de olivina; (B) Zona da “barriga”, com mineralogia semelhante ao topo; (C) Zona de alta densidade com presença de óxidos; (D) Zona com mineralogia básica e rica em olivina; (E) Porção basal da soleira, rica em plagioclásio, piroxênio/anfibólio e olivina. Legenda: Px/Anf: Piroxênio/Anfibólio; Pg: Plagioclásio; Oli: Olivina; Mag: magnetita.	60
Figura 34: Calcita de tampão de combate à perda de circulação encontrada na amostra de calha do poço 1-OGX-101-MA, profundidade 1491 m. Legenda: Cal: Calcita.	62

- Figura 35:** Foto de fragmento metálico oriundo da perfuração do poço encontrada na amostra de calha do poço 1-OGX-101-MA, profundidade 1476 m.....63
- Figura 36:** Divisão das quimiofacies com base no comportamento dos elementos químicos ao longo da soleira de diabásio no poço 1-OGX-101-MA. Em verde, a zona com poucas variações químicas, rica em plagioclásio e piroxênio; em amarelo, a zona de cristalização dos elementos incompatíveis; em azul, a região contendo óxidos; e, em cinza, a zona basal, rica em olivina.....65
- Figura 37:** Divisão das quimiofacies com base no comportamento dos elementos químicos ao longo da soleira de diabásio no poço 4-OGX-49-MA. Em verde, a zona com poucas variações químicas, rica em plagioclásio e piroxênio; em amarelo, a zona de cristalização dos elementos incompatíveis; em azul, a região contendo óxidos; e, em cinza, a zona basal, rica em olivina.....65
- Figura 38:** Divisão das quimiofacies com base no comportamento dos elementos químicos ao longo da soleira de diabásio no poço 3-PGN-5-MA. Em verde, a zona com poucas variações químicas, rica em plagioclásio e piroxênio; em amarelo, a zona de cristalização dos elementos incompatíveis; em azul, a região contendo óxidos; e, em cinza, a zona basal, rica em olivina.....66

Índice de Tabelas

Tabela 1: Substituições iônicas nos piroxênios. Fonte: Sial & McReath, 1984.....	32
Tabela 2: Substituições iônicas nos anfibólios. Fonte: Sial & McReath, 1984.....	33
Tabela 3: Resumo dos corpos ígneos identificados nos poços 3-PGN-5-MA, 1-OGX-101-MA, 4-OGX-49-MA e 1-OGX-110-MA.	52
Tabela 4: Resumo estatístico dos valores dos perfis geofísicos nos poços 3-PGN-5-MA, 1-OGX-101-MA, 4-OGX-49-MA e 1-OGX-110-MA.	54

1 INTRODUÇÃO

A exploração de hidrocarbonetos nas bacias paleozoicas brasileiras está intimamente relacionada às intrusões e extrusões magmáticas, apontadas por Thomaz Filho *et al.* (2008) como possíveis aspectos favoráveis aos processos de geração, migração e acumulação de óleo e gás. A Bacia do Parnaíba é marcada pela ocorrência de dois episódios de magmatismo máfico, que geraram uma grande variedade de corpos ígneos intrusivos em sua seção sedimentar, evidenciados na forma de diques e soleiras divididos em Fm. Mosquito e Fm. Sardinha (Aguiar, 1971; Trosdorf Junior *et al.*, 2014).

A Bacia do Parnaíba ainda é considerada uma bacia terrestre de Nova Fronteira, e vem acumulando sucessos exploratórios, apresentando grande potencial para a descoberta de gás natural (Calonio, 2020). Um dos alvos exploratórios mais comuns da bacia está relacionado ao trapeamento provocado pelas soleiras, caracterizado pela formação de altos estruturais capeados por camadas de diabásio, que podem desempenhar papel de rocha selante (Trosdorf Junior *et al.*, 2014). As rochas geradoras da bacia também foram fortemente influenciadas pelas intrusões tardias das rochas ígneas, cujo contato formou um sistema petrolífero atípico na Bacia do Parnaíba, sendo responsável pelo incremento térmico necessário para a entrada na janela de geração de gás (Rodrigues 1995; Trosdorf Junior *et al.*, 2014).

Avanços no entendimento da relação dos corpos ígneos com o sistema petrolífero da bacia contribuíram para o desenvolvimento de estudos acerca da composição química, geometria e mecanismo das intrusões. Assim, Trosdorf Junior *et al.* (2014) utilizaram perfis elétricos de poço aberto para identificar corpos ígneos da Bacia do Parnaíba, que apresentam comportamento característico e variável ao longo das soleiras. Para auxiliar no entendimento dessas variações, este trabalho faz uso da Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (XRF), uma técnica analítica semi-quantitativa utilizada para determinar a composição química elementar de diversos tipos de materiais, em amostras de calha de quatro poços exploratórios, situados na área do Parque dos Gaviões, na Bacia do Parnaíba.

Nesse sentido, será apresentada detalhadamente a metodologia utilizada e os resultados obtidos, que permitiram compreender as particularidades químicas, físicas e geológicas ao longo das soleiras de diabásio, auxiliando na correlação entre poços

e, assim, possibilitando maior precisão nas interpretações. Espera-se que, através desses métodos, este trabalho enriqueça as pesquisas acerca das intrusões, podendo ser replicada em outros poços da bacia e em corpos ígneos de características semelhantes.

2 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Parnaíba foi sedimentada durante a Era Paleozoica e é classificada como intracontinental cratônica (Vaz *et al.* 2007), ocupando uma área de mais de 600 mil km² do Nordeste brasileiro, abrangendo os estados de Piauí, Maranhão, Ceará, Tocantins, Pará e Bahia (Vaz *et al.* 2007). Essa apresenta 3500 m de espessura da coluna sedimentar, em seu depocentro (Vaz *et al.* 2007), limitando-se ao Norte pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, separando-a das Bacias do São Luís e Barreirinhas; a Noroeste pelo Arco de Tocantins, separando-a da Bacia de Marajó; e a Sudeste faz fronteira com a Bacia do São Francisco, onde é limitada pelo Arco de São Francisco (Vetorazzi, 2012), mostrados na Figura 1.

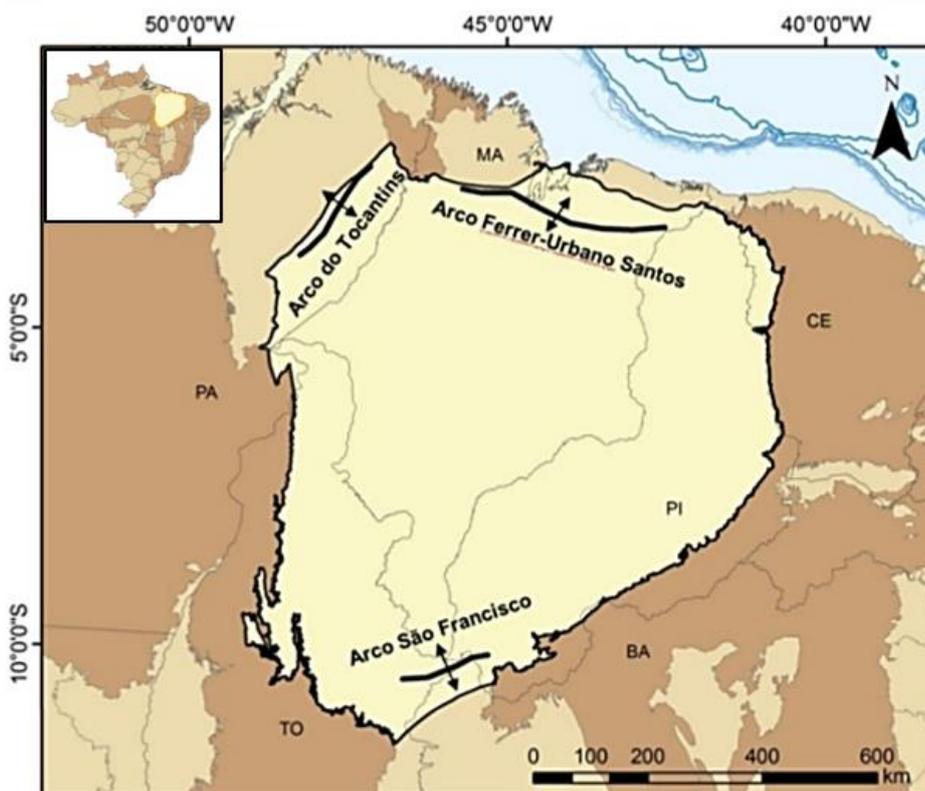


Figura 1: Mapa de localização e principais limites tectônicos da Bacia do Parnaíba. Fonte: Sumário Geológico, ANP, 13ª Rodada (2015).

2.1 Evolução tectono-sedimentar

Essa bacia desenvolveu-se durante a fase de estabilização da Plataforma Sul-Americana, posicionando-se sobre um embasamento constituído por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, com idades entre o Eon Arqueano e o Período Ordoviciano (Vaz *et al.* 2007). Porém, predominam rochas formadas entre o final do Proterozóico e o início do Paleozóico, que corresponde ao período de consolidação dessa plataforma (Vaz *et al.* 2007).

A subsidência inicial que originou a Bacia do Parnaíba esteve relacionada aos eventos deformacionais orogênicos do Ciclo Brasileiro, após a colisão entre as plataformas Amazônica e Brasileira (Caputo, 1984; Vaz *et al.*, 2007). Ainda na fase final do Ciclo Brasileiro, a contração da litosfera, devido ao seu resfriamento e descompressão, favoreceu a reativação de extensos blocos de falhas normais e fraturas, que até o Eocarbonífero controlaram o eixo deposicional da bacia (Figueiredo & Raja Gabaglia, 1986; Cunha, 1986). Segundo Vaz *et al.*, 2007, a partir do Siluriano a evolução da bacia seguiu para uma fase de sinéclise flexural, definindo sua forma ovalada e reorientando seu depocentro para a parte central (Figura 2).

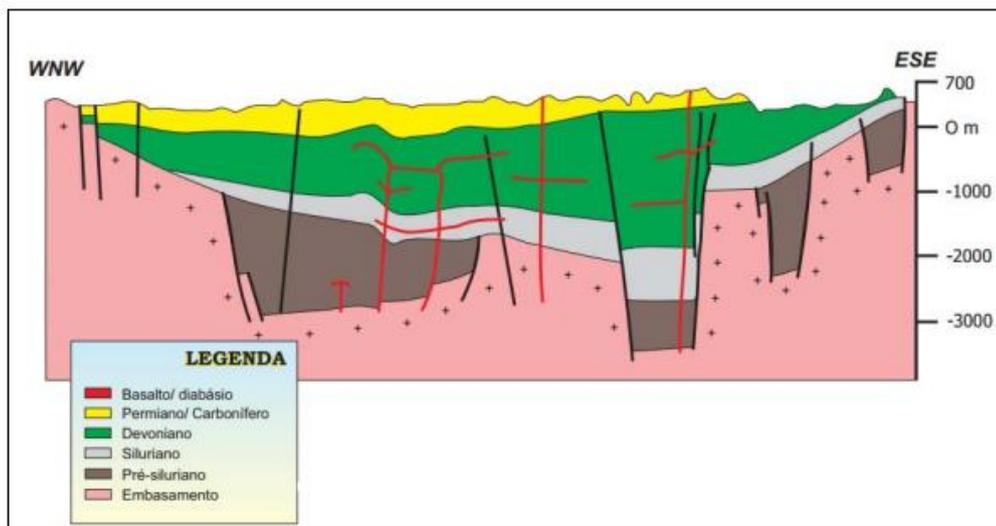


Figura 2: Seção geológica esquemática da Bacia do Parnaíba. Fonte: Ouro Preto Óleo e Gás (2016).

Além da subsidência causada por estiramento litosférico, a evolução sedimentar da bacia foi afetada pela variação da curva do nível do mar, marcada por episódios de regressão e transgressão (Almeida & Carneiro, 2004). As respostas no registro sedimentar teriam contribuições de ascensões epirogênicas, como

consequência das orogêneses ocorridas na borda ativa meridional do Gondwana, adjacente à plataforma. Esses movimentos tectônicos influenciaram as regressões marinhas que, conforme evoluíam, deixavam o topo dos sedimentos expostos e erodidos, dando origem aos hiatos deposicionais nas bacias intracratônicas (Miall, 1984; Almeida & Carneiro, 2004).

Ainda, fazem parte do desenvolvimento da Bacia do Parnaíba duas fases de magmatismo ocorridas durante o ciclo Mesozóico, representadas por derrames e intrusões de rochas ígneas básicas, sendo rochas de ambientes distensionais, resultado da separação dos supercontinentes Pangea e Gondwana (Góes & Feijó, 1994). Segundo Arce *et al.* (2017), esse magmatismo foi canalizado em parte ao longo de fraturas preexistentes no embasamento da bacia, relacionadas ao desenvolvimento do rifte atlântico.

2.2 Estruturas Tectônicas

O embasamento da bacia é cortado por três grandes lineamentos: Transbrasiliano, Picos–Santa Inês e Tocantins–Araguaia (Figura 3), além da estrutura conhecida como Arco de Xambioá, localizada no centro da Bacia (Góes & Coimbra, 1996; Ferraz, 2015).

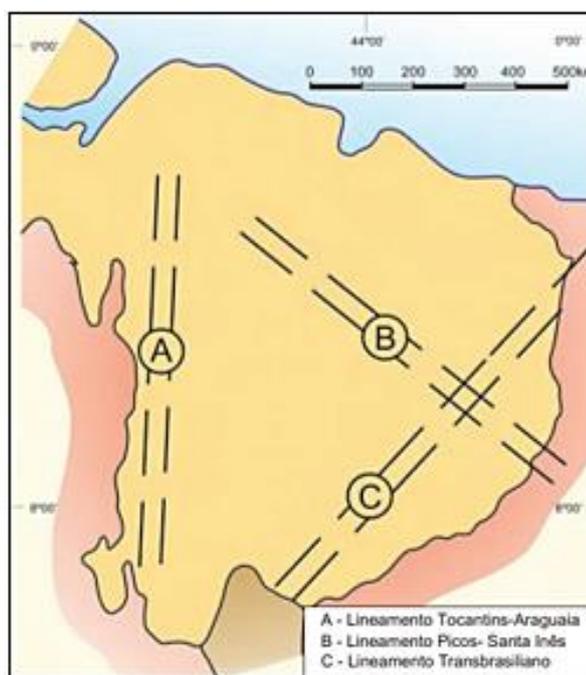


Figura 3: Estruturas do Ciclo Brasileiro de compartimentação no Paleozóico (segundo Fortes, 1978).
Fonte: Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís, Geologia Regional – CPRM.

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) é a zona de falha mais proeminente do território brasileiro e a mais notável estrutura da Bacia do Parnaíba, definida como uma faixa cataclásada com cerca de 2700 km de extensão cruzando o Brasil desde o Ceará até o Mato Grosso do Sul, chegando ao Paraguai e à Argentina (Milani & Zalán, 2000; Schobbenhaus *et al.*, 1975, *apud* Goulart, 2019). Foi classificado por Praxedes (2015) como um sistema *strike-slip* situado entre o Cráton Amazônico e a porção Leste da Plataforma Sul-Americana, sendo composto por vários segmentos de falhas transcorrentes, com alguns setores levemente curvilíneos. Segundo alguns autores, representa a reativação da mega sutura que esteve ativa durante os eventos tectono-magmáticos de formação do supercontinente Gondwana, entre o final do Proterozóico e o início do Paleozoico (Marini *et al.*, 1984; Cordani *et al.*, 2000; Almeida & Carneiro, 2004; Praxedes, 2015).

O LTB é formado por uma série de zonas de cisalhamento dúcteis, que ocorrem ao longo de áreas muito grandes. Provavelmente atinge o fundo da litosfera e o movimento da zona de cisalhamento deve ter começado logo após o fechamento do Oceano Goiano-Faruíano, aproveitando as várias zonas litosféricas fracas formadas durante colisões continentais. Todas as suturas colisionais relacionadas às faixas Brasileiro-Pan Africanas são acomodadas em algumas centenas de quilômetros do lineamento. Na Bacia do Parnaíba, está associado ao principal depocentro de sedimentos do Paleozoico (Cordani *et al.*, 2013 *apud* Nobre, 2019).

O Lineamento Pico-Santa Inês corresponde a uma zona cisalhada existente sob a Província Parnaíba, orientada no sentido NW-SE, praticamente ortogonal ao LTB, com 160 km de extensão e rejeito estimado de 200 a 300 m (Cunha, 1986; Vetorazzi, 2012). Dados disponíveis sugerem que zonas de cisalhamento regionais podem ter desempenhado papel fundamental no alojamento dos corpos magmáticos (Daly *et al.*, 2018). Neste contexto, o Lineamento Picos-Santa Inês coincide com a ocorrência de diques subverticais de direção NW-SE, que se destaca como uma possível zona de alimentação de soleiras (Trosdorf Junior *et al.*, 2014).

Os Lineamento Transbrasiliano e Picos-Santa Inês tiveram um papel importante na evolução da Bacia do Parnaíba desde sua fase inicial, controlando as direções dos eixos deposicionais até o Eocarbonífero e permitindo a ligação da bacia com o mar aberto (VAZ *et al.*, 2007, *apud* Fernandes, 2011).

O Lineamento Tocantins-Araguaia possui orientação N-S, sendo responsável pelos intensos falhamentos na borda Oeste da Bacia do Parnaíba, evidenciando notáveis mudanças nas estruturas das camadas em relação à porção leste e central da bacia (Kegel, 1965). Foi formado no Permiano, quando a Antéclise Tocantins-Araguaia e o Arco Tocantins se elevaram, encerrando as comunicações entre as Bacias Amazonas e Parnaíba (Santos & Carvalho, 2009).

Outro elemento tectônico de destaque é o Arco de Xambioá, de orientação E-W, diretamente associado às intrusões ígneas da Bacia do Parnaíba. Situado no centro da mesma, foi um alto interno durante o Paleozóico (Aguilar, 1971). No Mesozóico, a fragmentação do Pangea formou um sistema de rifts interior que modificou o arcabouço tectônico da bacia, passando a Estrutura de Xambioá a compor um novo eixo deposicional (Hasui *et al.*, 1991). O arqueamento do Alto Rio Parnaíba e do Arco de Xambioá, comportando-se como uma antéclise, propiciou o soerguimento da área central, delimitando uma nova área de subsidência (Góes, 1995).

2.3 Estratigrafia

O preenchimento sedimentar da Bacia do Parnaíba é constituído por uma sequência de rochas sedimentares e ígneas que datam do Paleozoico ao Eocretáceo, divididas estratigraficamente em cinco supersequências denominadas da base para o topo como: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea, delimitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia (Figura 4) (Vaz *et al.*, 2007). Segundo Góes & Feijó (1994), a deposição dessas sequências pode ser correlacionada a ciclos tectônicos de caráter global.

2.3.1 Sequência Siluriana

A primeira supersequência deposicional, a Siluriana, é litoestratigraficamente correspondente ao Grupo Serra Grande e representa um ciclo transgressivo-regressivo completo (Vaz *et al.*, 2007). Posteriormente foi redefinido por Caputo & Lima (1984) *apud* GÓES & FEIJÓ (1994), que a subdividiram em três formações: Ipu, Tianguá e Jaicós. Essa supersequência é assentada discordantemente sobre o embasamento da bacia (Caputo & Lima, 1984).

Sua unidade basal é correspondente à Formação Ipu, composta de arenitos, conglomerados, arenitos conglomeráticos e diamictitos, interpretados como sedimentos depositados em ambientes glacial, glacio-fluvial, leques e frentes deltaicas (Caputo & Lima, 1984).

Na Formação Tianguá, assentam-se folhelhos cinza-escuro, bioturbados, sideríticos e carbonáticos, de arenitos cinza-claro, fino a médio, feldspáticos e de intercalações de siltitos e folhelhos cinza-escuros, bioturbados, depositados em um ambiente marinho raso. Sua deposição é atribuída à primeira máxima transgressão mundial (Góes & Feijó, 1994).

A Formação Jaicós é composta de arenitos cinza grossos, com seixos angulares a subangulares, mal selecionados, friáveis, maciços, com estratificação cruzada lenticular (Caputo, 1984, *apud* Vaz *et al.* 2007). Os mesmos autores classificam diferentes ambientes deposicionais para essa formação: fluvial, marinho raso, costeiro a leque submarino, sistemas fluviais entrelaçados e frente deltaica. A Formação Tianguá representa a superfície de inundação máxima e a Formação Jaicós, o intervalo regressivo dessa sequência.

2.3.2 Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera

Essa sequência é correspondente ao Grupo Canindé, composta pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. Essa seção encontra-se separada da sequência Siluriana por uma discordância erosional relacionada a uma ampla regressão mundial (Caputo & Lima, 1984), atribuída aos reflexos da Orogenia Caledoniana.

A Formação Itaim é descrita por Caputo & Lima (1984) como camadas de arenito e folhelhos bioturbados, siltitos com intercalações de arenitos de granulação

fina a média, sendo comum também a ocorrência de folhelhos sideríticos com camadas contendo siderita oolítica, hematita e clorita. Os ambientes deposicionais são caracterizados por Góes & Feijó (1994) como deltaicos e plataformais, dominados por correntes induzidas por processos de marés e de tempestades.

A Formação Pimenteiras apresenta em sua sedimentação majoritariamente folhelhos cinza escuro a pretos, ricos em matéria orgânica marcados por intercalações de arenitos e siltitos. Seu ambiente deposicional foi identificado como plataforma rasa dominada por tempestade (Vaz *et al.*, 2007), além de representar a ingressão marinha mais importante da Bacia do Parnaíba (Della Fávera, 1990).

A Formação Cabeças marca a transição do regime transgressivo para o regressivo, sendo formada de arenitos cinza-claros a brancos, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltitos, folhelhos e diamicitos (Della Fávera, 1990). Seu ambiente deposicional foi interpretado como nerítico-plataformal dominado por corrente de maré, podendo ocorrer fácies fluvio-estuarinas e eventual influência periglacial (Caputo, 1984; Della Fávera, 1990; Freitas, 1990 *apud* Góes & Feijó, 1994).

A Formação Longá é marcada por uma separação abrupta entre a Formação Cabeças e por uma transição gradacional para a Formação Poti. Essa seção é predominantemente argilosa, sendo descrita da base para o topo por folhelhos cinza-escuros a pretos, em parte arroxeados, homogêneos ou bem laminados e bioturbados, seguidos de arenitos fino a conglomeráticos e siltitos cinza-claros a esbranquiçados (Lima & Leite, 1978, *apud* Vaz *et al.*, 2007; Caputo, 1984). Essa configuração deposicional evidencia um ciclo transgressivo-regressivo. Além disso, um ambiente nerítico plataformal dominado por tempestades foi apontado como ambiente deposicional por Góes & Feijó (1994). Encerrando a deposição da sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, encontra-se a Formação Poti, marcada por um contato superior discordante e erosivo atribuído a uma regressão global, separando-a da Formação Piauí (Vaz *et al.*, 2007). Essa formação é marcada por uma sequência de arenitos cinza-esbranquiçados, médios, com lâminas dispersas de siltito cinza-claros e folhelhos com eventuais níveis de carvão (Lima & Leite, 1978, *apud* Vaz *et al.*, 2007). Os ambientes deposicionais relacionados a essa formação foram classificados como depósitos deltaicos e planícies de maré eventualmente influenciadas por tempestades (Góes & Feijó, 1994).

2.3.3 Sequência Neocarbonífera-Eotriássica

Litoestratigraficamente correspondente ao Grupo Balsas, essa sequência deposicional é dividida nas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba, onde a deposição é atribuída a soerguimentos locais da bacia (Caputo, 1984; Vaz *et al.*, 2007).

A Formação Piauí foi depositada em um período que ocorreram diversas ingressões do mar. Os sedimentos possuem feições intercaladas, evidenciando transporte por vento e água, depositados em paleoambiente continental litorâneo sob clima árido (Caputo, 1984). Sua litologia é composta de arenito cinza-esbranquiçado de granulometria fina a média, eventualmente conglomerático, folhelho vermelho, calcário e sílex (Lima & Leite, 1978; Góes & Feijó, 1994).

A Formação Pedra de Fogo é caracterizada por uma grande variedade de rochas, sendo elas sílex, calcário oolítico e pisolítico creme a branco, eventualmente estromatolítico, intercalado com arenito fino a médio amarelado, folhelho cinzento, siltito, anidrita e, eventualmente, dolomito (Góes & Feijó, 1994). Ainda segundo os mesmos autores, essas rochas foram depositadas em um ambiente marinho raso a litorâneo com planícies de sabkha, sob ocasional influência de tempestades.

A Formação Motuca apresenta siltitos vermelhos a marrons, arenitos brancos fino a médio, anidrita branca e raramente calcários e foi associada a um paleoambiente continental desértico controlado por um sistema de lagos em condições de aridez (Góes & Feijó, 1994).

A Formação Sambaíba é marcada por arenitos vermelhos a rosa, creme-claro e esbranquiçado, em geral finos a médios, subangulosos a subarredondados (Vaz *et al.*, 2007). Lima & Leite (1978) associaram as estratificações cruzadas encontradas no topo da formação, a um ambiente desértico com contribuição fluvial e incursões marinhas. Esse ambiente provavelmente teve origem na regressão mundial do final do Permiano, que permitiu o surgimento de um amplo deserto (Caputo, 1984). Em algumas porções da bacia, a Formação Sambaíba encontra-se intercalada com os basaltos da porção mais basal da Formação Mosquito (Lima & Leite, 1978).

2.3.4 Sequência Jurássica

Segundo Vaz *et al.* (2007), a Sequência Jurássica teve sua deposição associada à subsidência ocasionada pelo peso das rochas magmáticas da Formação Mosquito. É representada apenas pela Formação Pastos Bons, tendo em vista que a posição estratigráfica da Formação Corda foi reinterpretada por Vaz *et al.*, (2007) e passou a pertencer à Supersequência Cretácea.

Sobreposta discordantemente às rochas magmáticas da Formação Mosquito e à Formação Sambaíba, sua deposição se desenvolveu em paleoambientes de clima árido com influência fluvial (Vaz *et al.*, 2007), marcada exclusivamente por uma sedimentação continental. As rochas que compõem essa formação são divididas em três unidades litológicas: a basal é composta de arenito branco ou com tonalidades esverdeadas, amareladas, fino a médio, grãos subarredondados e, geralmente, apresentam estratificação paralela e raras lentes de calcário; na parte central encontram-se siltitos, folhelhos e argilitos cinza a verdes, comumente intercalados com arenito; e a porção superior é formada de arenitos vermelho e rosa, fino, gradando para siltito, contendo níveis de folhelho (Caputo, 1984).

2.3.5 Sequência Cretácea

A deposição da supersequência Cretácea esteve condicionada a grandes ciclos regressivos-transgressivos e à ruptura do continente Gondwana que gerou fraturas que possibilitaram a geração de um intenso magmatismo na Bacia do Parnaíba, dando origem à Formação Sardinha. É constituída pelas formações Corda, Grajaú, Codó e Itapecuru (Vaz *et al.*, 2007).

A Formação Corda foi depositada em um sistema desértico, evidenciado pela presença de estruturas típicas de dunas eólicas, como estratificações cruzadas, *climbings* transladantes e *ripples*. Sua sedimentação é marcada por arenitos vermelhos, castanho-avermelhados, muito finos, finos e médios, seleção regular a boa, semifriáveis a semicoesos, ricos em óxidos de ferro e zeólitas. Quando ocorrem sobrepostos a basaltos, é abundante a presença de fragmentos dessa rocha como arcabouço. (Vaz *et al.*, 2007).

A Formação Grajaú é composta por arenitos creme-claro e esbranquiçado, creme-amarelado ou variegados, médios e grossos, subangulosos e angulosos, mal selecionados, sendo comum a presença de seixos e de níveis conglomeráticos.

Foi interpretado como um depósito de ambiente marinho raso, fluvio-deltaico e lacustre (Rossetti *et al.*, 2001).

Na Formação Codó encontram-se folhelhos, calcários, siltitos, gipsita, anidrita e arenito, sendo frequentes os níveis de sílex e estromatólito (Vaz *et al.*, 2007). Rossetti *et al.* (2001) interpreta que a Formação Codó foi depositada no mesmo regime paleoambiental da Formação Grajaú: marinho, lacustre e fluvio-deltaico. Já Mendes (2007) identifica um ambiente lacustre fechado, passando para um ambiente lacustre aberto com influência marinha (Mendes, 2007).

A Formação Itapecuru, segundo Vaz *et al.* (2007) engloba arenitos variegados finos, principalmente avermelhados e friáveis, marcados por estratificações cruzadas, podendo ocorrer arenitos conglomeráticos e pelitos. Sua deposição corresponde a ocorrência de seis ciclos deposicionais, associados a sistemas de vales estuarinos incisos e um sistema estuarino-lagunar atingido por ondas de grande escala. Assim, foram observados os seguintes ambientes: canal fluvial, laguna, canal de maré e litorâneo (Rossetti *et al.*, 2001).

As rochas ígneas intrusivas da Formação Mosquito e Sardinha, por não ocuparem uma posição estratigráfica definida, não estão agrupadas em nenhuma supersequência acima citada e serão apresentadas individualmente a seguir.

2.4 Rochas ígneas da Bacia do Parnaíba

Os eventos magmáticos presentes nas bacias sedimentares brasileiras têm mostrado grande importância na origem dos hidrocarbonetos. O magmatismo pode ser responsável pela geração de petróleo, uma vez que atua diretamente no aumento da temperatura da bacia no entorno da intrusão, produzindo o aquecimento necessário para a maturação da matéria orgânica. Ainda, pode exercer papel de rochas reservatório e selante, na ausência de estruturas convencionais, ou formar trapas responsáveis pela acumulação de hidrocarbonetos (Thomaz Filho *et al.*, 2008).

As intrusões da Bacia do Parnaíba associam-se à ocorrência de eventos Mesozoicos fundamentais para a evolução da Plataforma Sul-Americana, marcados por episódios distensionais, remobilização de falhas antigas, surgimento de fraturas e intenso magmatismo. Nesse contexto, os registros ígneos da bacia foram ocasionados pelo rifteamento Jurássico do mega continente Pangea, que

acabou por estabelecer no Brasil um novo estágio tectônico que levaria à abertura do Oceano Atlântico durante o Cretáceo. (Almeida & Carneiro, 2004; Zalán, 2004; Vaz *et al.*, 2007).

Assim sendo, ocorrem rochas ígneas intrusivas (diques e soleiras) e extrusivas de composição básica na bacia, divididas estratigraficamente em duas seções: Formação Mosquito e Formação Sardinha (VAZ *et al.*, 2007; Trosdorf Junior *et al.*, 2014). Segundo Oliveira *et al.*, (2003), essas duas unidades são distintas em: forma de ocorrência em subsuperfície, natureza química e isotópica, idade e localização. Em subsuperfície, os diques e soleiras estão presentes em maior quantidade na Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, ocorrem também na Sequência Siluriana e são muito raros na Neocarbonífera-Eotriássica.

Baseado em interpretações sísmicas, são observadas soleiras em uma grande extensão da bacia, sem uma possível distinção entre Formação Mosquito e Sardinha (Vaz *et al.*, 2007). As soleiras são caracterizadas por preservarem a espessura do pacote sedimentar, tendo em vista que o alojamento desses corpos ocorre pelo soerguimento da seção sobrejacente. Na Bacia do Parnaíba predominam soleiras do tipo “paralela à camada”, que podem variar de 2-5m até 250-300m. Também são frequentes a ocorrência de soleiras na “forma de pires” caracterizadas por apresentar base plana e bordas arqueadas; na forma “planar inclinada” associadas às sinéclise paleozoicas; e na forma “salto de soleira” marcadas pelas intrusões de maior amplitude nos grabens precursores da bacia (Conceição *et al.*, 1993; Oliveira & Mohriak, 2003; Porto, 2013; Pedrosa Junior *et al.*, 2015 *apud* Trosdorf Junior *et al.*, 2014). Os diques são caracterizados por perda de qualidade sísmica, por vezes apresentando-se empilhados com padrão de “v” invertido, marcados pela ausência aparente de seção devido ao contato discordante com as camadas sedimentares. (Trosdorf Junior *et al.*, 2014).

Estudos utilizando dados de reflectância de vitrinite (%Ro) constataram que, na Bacia do Parnaíba, o efeito térmico do magmatismo foi essencial para a maturação da matéria orgânica e conseqüente geração de hidrocarbonetos. Os altos valores de %Ro associados às intrusões evidenciam a ocorrência de um sistema petrolífero não-convencional com potencial exploratório para gás (Fernandes, 2011). Utilizando dados sísmicos e de poço, Miranda *et al.* (2018) separou dois grupos principais de soleiras na porção central da bacia, em que o

mais profundo ocorre nos folhelhos da Formação Pimenteiras e foi fundamental para a geração de gás.

Nesse contexto, a exploração de hidrocarbonetos na Bacia do Parnaíba tem se concentrado no sistema ígneo, uma vez que as soleiras, além de fonte térmica, atuam como selo e trapa no sistema petrolífero da bacia (Araújo, 2015) (Figura 5).

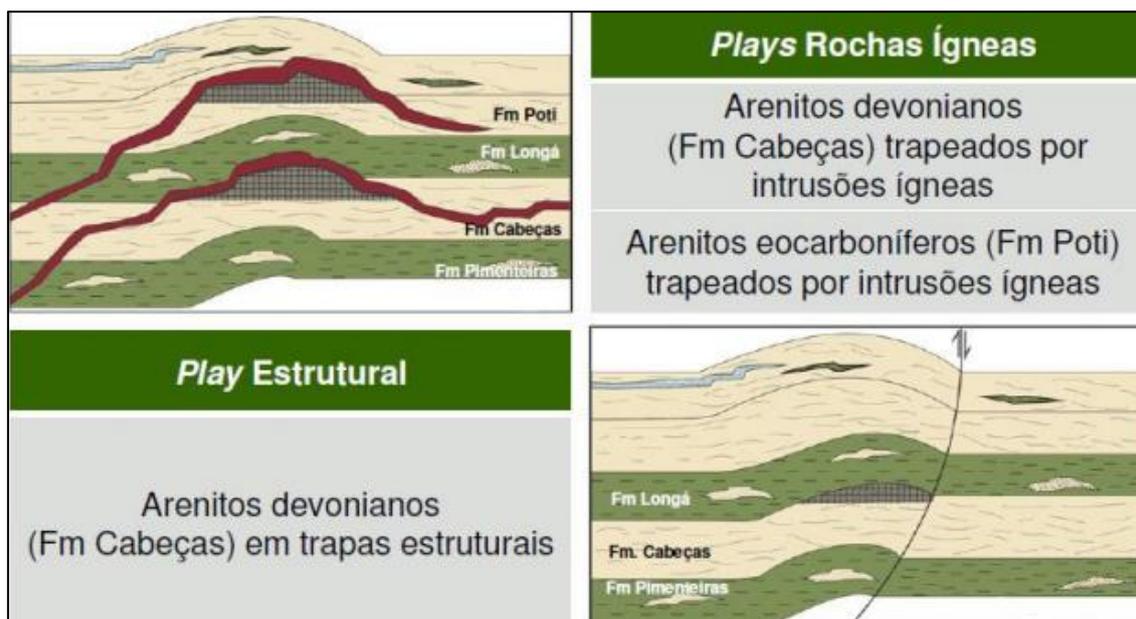


Figura 5: Representação dos plays da Bacia do Parnaíba na área do Parque dos Gaviões associados aos principais sistemas petrolíferos. Fonte: Calonio, 2020 *apud* Abelha (2013) in Sumário Geológico, ANP (2015), R13.

2.4.1 Formação Mosquito

Utilizando resultados de datação K-Ar e Ar-Ar, Oliveira *et al.*, (2003) aponta que a Formação Mosquito representa o evento magmático do Eojurássico (aproximadamente 178 Ma) associado ao tectonismo que ocasionou a ruptura do Pangea e o consequente rifteamento do Atlântico Central, estando inserido na atividade chamada Província Mágica do Atlântico Central (Marzoli *et al.*, 1999; Merle *et al.*, 2011). Para Thomaz Filho *et al.* (2008) e Zalàn (2004), a Formação Mosquito tem correlação com as soleiras de diabásio das bacias do Solimões e Amazonas, relacionadas ao magmatismo Penatecaua.

Formação Mosquito foi o termo proposto por Aguiar (1971) para identificar derrames basálticos com intercalações de arenitos. Seu magmatismo,

caracterizado por grandes derrames e extensas soleiras, aloja-se entre os arenitos das formações Sambaíba e Pastos bons (Vaz *et al.*, 2007).

Suas rochas ocorrem mais frequentemente na porção centro-oeste da Bacia do Parnaíba e consistem de basaltos amigdaloidais, eventualmente intercalados com arenitos vermelhos com leitos de sílex (Góes & Feijó, 1994). Em geral, apresenta uma granulação fina e matriz composta por plagioclásio, piroxênio (augita e pigeonita), óxidos de Fe-Ti (magnetita e ilmenita), vidro vulcânico com vesículas/amígdalas preenchidas com calcita, quartzo e zeólitas. Apatita e pirita ocorrem minoritariamente e os raros feldspatos alcalinos indicam um tardio estágio de cristalização. Evidencia-se ainda a ocorrência de mica branca e anfibólio como minerais secundários, formados após a alteração do plagioclásio e piroxênio, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2018). Estudos geoquímicos feitos por esse mesmo autor indicam que as rochas basálticas da Formação Mosquito são toleíticas de alto e baixo Titânio, que consistem respectivamente em basaltos ricos em olivina/hiperstênio (silicato de magnésio e ferro) e basaltos ricos em quartzo/hiperstênio, ambas apresentando características petrogênicas dos reservatórios de manto enriquecidos.

2.4.2 Formação Sardinha

A Formação Sardinha pertence ao Eocretáceo (aproximadamente 124 Ma) e representa o evento magmático ocorrido durante a fragmentação do Gondwana que culminou na abertura do oceano Atlântico Sul (Oliveira *et al.*, 2003; Vaz *et al.*, 2007), estando inserido na Província Mágica Paraná-Etendeka. Suas rochas são correlatas aos derrames da Formação Serra Geral, na Bacia do Paraná (Thomaz Filho *et al.*, 2004).

Aguiar (1971) associou o termo Formação Sardinha à corpos de basalto preto a roxo, evidenciados por grandes diques e pequenas soleiras. Ocorre mais frequentemente na porção centro-leste da Bacia do Parnaíba e acompanha o eixo NE-SW do Lineamento Transbrasiliano (Chamani & Riccomini, 2015).

Segundo Oliveira *et al.* (2003), as rochas da Formação Sardinha consistem em diabásios porfiríticos esverdeados a cinza e raramente basaltos pretos e afaníticos. São encontrados olivina, augita, plagioclásio, clinopiroxênio e óxidos de Fe-Ti em maior concentração, e vidro vulcânico, diopsita, pigeonita, apatita, pirita e

calcopirita em menor quantidade. Ocorre também anfibólio, epídoto e mica branca. Ainda segundo o mesmo autor, essa formação é dividida em rochas toleíticas de alto-Ti, baixo-Ti e alcalinas (diabásio/gabro rico em olivina ou basalto rico em olivina). Assim como a Formação Mosquito, encontram-se elementos traço e características isotópicas que se associam à reservatórios de manto enriquecido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho apresenta uma correlação entre descrição de amostras de calha, análises químicas em Fluorescência de Raio-X e perfis geofísicos a poço aberto, corridos nos intervalos de diabásios, cujos conceitos teóricos individuais são estruturados a seguir.

3.1 Amostra de calha

As amostras de calha são fragmentos de rocha obtidos pelo trabalho da broca durante a perfuração do poço, chegando à superfície pela circulação do fluido de perfuração (Agência Nacional de Petróleo, 2015). Esse material é obtido de modo que o espaçamento máximo entre as amostras seja de 9 metros, reduzindo para 3 metros nos intervalos de interesse exploratório (Agência Nacional de Petróleo, 2015).

Uma quantidade representativa das amostras é coletada a partir dos fragmentos acumulados na extremidade das peneiras de lama (Figura 6). Essas rochas são peneiradas e passam por uma lavagem com água e secagem de aproximadamente 40°C, com objetivo de eliminar materiais indesejados, garantindo assim uma amostra mais limpa para as análises que serão feitas posteriormente (Misságia, 1996 *apud* Gardioli *et al.*, 2015). Um dos problemas encontrados no processo de lavagem das amostras é que, em excesso, no caso de amostras argilosas, pode prejudicar a estimativa da porcentagem da argila, subestimando-a (Nobre, 2019).

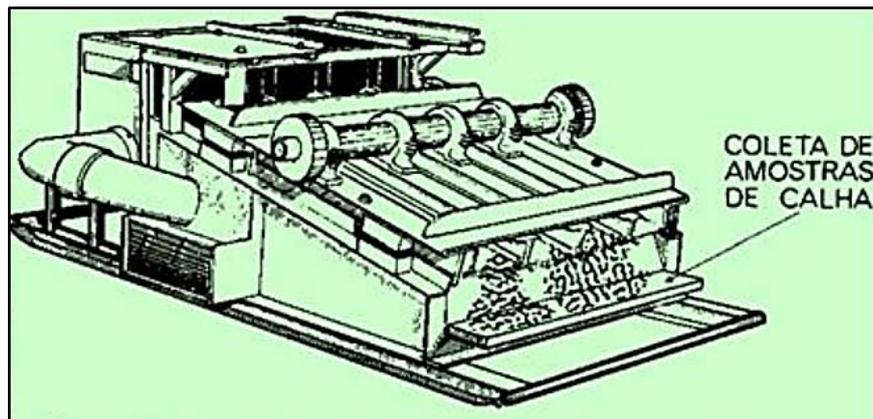


Figura 6: Local de coleta das amostras de calha na peneira de lama. Fonte: material de aula do Professor Joaquim Ribeiro Wanderley Filho.

A análise desse material permite o reconhecimento de diferentes tipos litológicos, do conteúdo fóssilífero, do potencial gerador e de indícios de hidrocarbonetos, auxiliando na caracterização das formações do poço, bem como suas espessuras e seus respectivos contatos (Júnior *et al.*, 2018; Nobre, 2019).

Tendo em vista algumas circunstâncias inerentes à perfuração do poço, como: intenso contato do material com o fluido e com os equipamentos de perfuração, e ocorrência de materiais desabados (desmoronamento) de camadas anteriormente perfuradas, as amostras podem ser contaminadas e, com isso, deixar de representar exatamente as profundidades referidas. Os desmoronamentos ocorrem a depender da profundidade, do tempo de perfuração, das variáveis hidrodinâmicas ocasionadas pelas propriedades tixotrópicas e pressão de bombeio do fluido de perfuração (Nery, 2004). Para obter o tempo de retorno, utilizado para obter as profundidades corretas das amostras, é necessário calcular o tempo gasto pela lama no trajeto fundo do poço-superfície e acrescentar ao mesmo 10% a 20% do seu valor, segundo Nobre (2019).

3.2 Fluorescência de Raio-X (XRF)

A Fluorescência de Raio-X (XRF) é uma técnica analítica não destrutiva utilizada para determinar a composição química de uma ampla variedade de amostras, incluindo sólidos, líquidos, pastas e pós soltos. A espectrometria de XRF utilizada neste trabalho é baseada no princípio de dispersão de energia, que afirma que os átomos individuais absorvem um feixe de raio X e emitem uma abundância

relativa de fótons característicos de cada elemento químico (Wirth *et al.*, 2009; Weltje & Tjallingii, 2008 *apud* Oyedotun, 2018), o que permite identificá-los e determinar suas concentrações.

Segundo Nascimento Filho (1999), o método de análise por fluorescência de raio X consiste em três etapas: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios X.

3.2.1 Excitação dos elementos químicos

Quando os raios X, ondas de alta energia e baixo comprimento, são emitidos, os elétrons das camadas mais internas (K e L) são excitados e, para evitar a instabilidade dos átomos, os elétrons dos níveis mais externos realizam um salto quântico para ocupar os orbitais vazios criados (Figura 7). Cada transição eletrônica constitui uma liberação de energia emitida na forma de fóton, devido à diminuição da energia de ligação do orbital eletrônico interno em comparação com o externo (Nascimento Filho, 1999; Wirth *et al.*, 2009). Para provocar a emissão do elétron é necessário ceder ao átomo uma energia maior que a sua energia de ligação. Devido às transições eletrônicas distintas, diferentes elementos químicos emitem espectros característicos. Sendo assim, a análise elementar por XRF mede a intensidade dos fótons de raio X característicos emitidos por cada elemento químico constituinte das amostras.

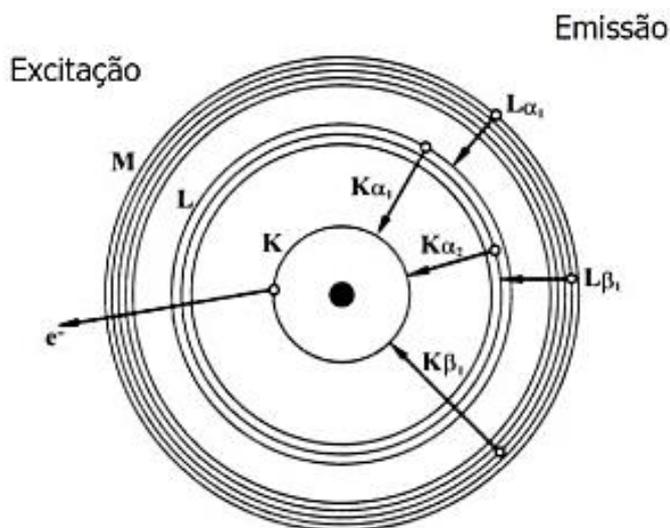


Figura 7: Ilustração da excitação dos níveis eletrônicos internos, com a consequente emissão de raios-X e sua notação correspondente. Fonte: Tavares *et al.*, 2015.

3.2.2 Dispersão e detecção dos Raios-X

Nos espectrômetros de fluorescência de raio-X por dispersão de energia (EDXRF), a ampola de raios-X que atua como fonte irradia uma amostra diretamente, enquanto a fluorescência proveniente da amostra é medida por um detector de energia dispersiva, que separa os diferentes espectros de radiação. A intensidade da energia característica emitida pelos componentes da amostra está relacionada com a concentração de cada elemento presente na amostra (Alexandre & Bueno, 2006 *apud* Santos *et al.*, 2013). A figura 8 mostra o esquema de excitação e detecção de raios-X.

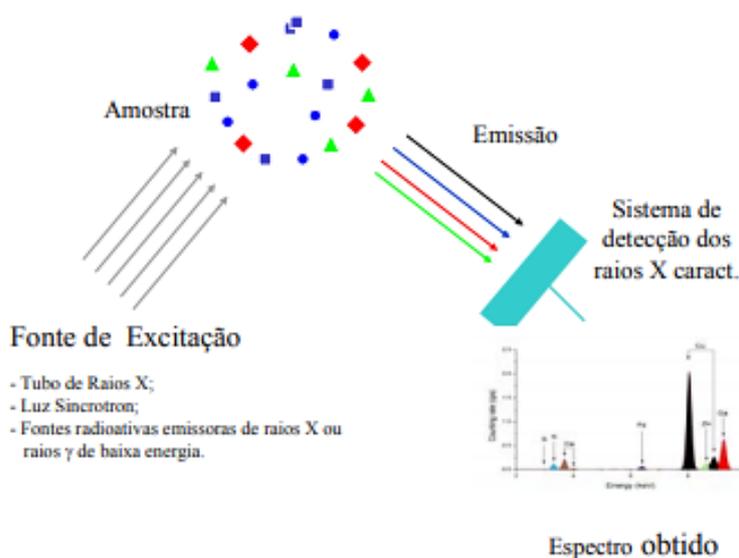


Figura 8: Esquema de excitação e detecção de raios-X utilizado pelos equipamentos de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia. Fonte: Parreira, 2006.

3.3 Rochas Ígneas

Os diabásios, também conhecidos como doleritos, são rochas hipabissais (formadas em baixas profundidades) de mesma composição química e mineralógica dos basaltos, com granulação um pouco mais grossa, devido ao maior tempo de resfriamento do magma. Os diabásios ocorrem frequentemente em forma de diques e soleiras (*sill*). O diabásio se forma quando o magma de composição basáltica é injetado em fraturas, podendo variar de alguns centímetros até muitos metros de espessura (Gonçalves, 2010), ocorrendo também em porções mais internas de derrames vulcânicos espessos.

Os diabásios se classificam como máficas (entre 35 e 90% de minerais máficos), básicas (45-52% de SiO_2) e faneríticas, com granulação fina a média. São

compostas essencialmente por plagioclásio cálcico e clinopiroxênios, principalmente augita. Pode apresentar como minerais acessórios ortopiroxênios, olivina, cromita, titanita, ilmenita, apatita (Gill, 2010).

A composição mineral das rochas e seus elementos químicos podem fornecer informações sobre as condições físico-químicas vigentes durante a cristalização dos magmas (Sial & McReath, 1984). Nesse sentido, são apresentadas as propriedades dos principais minerais envolvidos na gênese e evolução dos diabásios.

3.3.1 Plagioclásio

Os plagioclásios, pertencentes ao grupo dos feldspatos, apresentam composição química rica em cálcio ou em sódio, desde a anortita até a albita, respectivamente (Figura 11). Os membros mais cálcicos se apresentam em rochas máficas e ultrabásicas, enquanto os mais sódicos estão presentes nas rochas félsicas. Esses minerais apresentam duas séries estruturais: a de alta temperatura, onde a solução é contínua, e a de baixa temperatura, onde ocorrem descontinuidades estruturais. O resultado principal dessas descontinuidades é o intercrescimento de dois feldspatos cujas composições são ricas em cálcio, de um lado, e em sódio por outro (Sial & McReath, 1984).

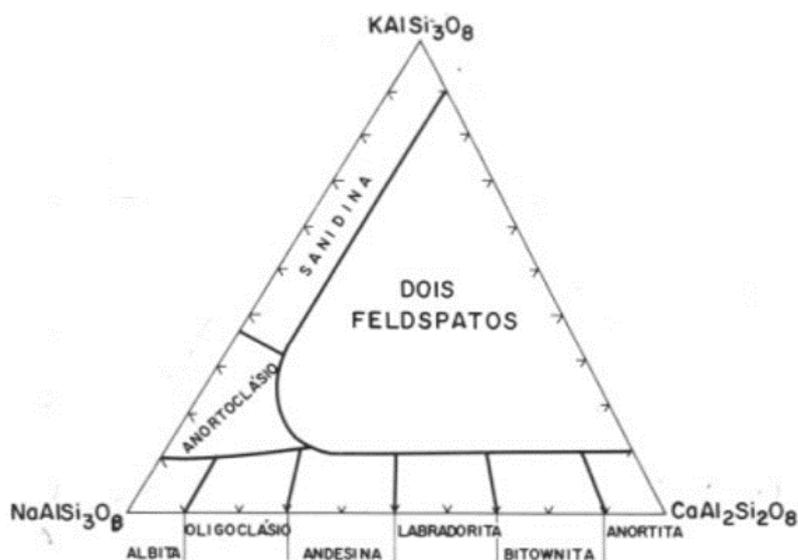


Figura 9: Campos de composições dos feldspatos. Fonte: Deer *et al.*, 1966 *apud* Sial & McReath, 1984).

Quimicamente, nos plagioclásios ocorre a substituição acoplada do Ca e Al pelo Na e Si, respectivamente. As estruturas dos feldspatos admitem a incorporação de ferro (Fe^{3+}), a depender da concentração deste componente no magma, de estrôncio e de európio como elementos traço. Por outro lado, íons grandes como o rubídio não são aceitos pelo retículo, e acabam sendo encontrados apenas nos feldspatos alcalinos (Sial & McReath, 1984).

3.3.2 Piroxênio

Os piroxênios são minerais ferromagnesianos mais abundantes nas rochas ígneas, divididos em subgrupos, sendo os ricos em ferro e magnésio, a pigeonita, e os ricos em cálcio, a augita, os de ocorrência mais frequente nas rochas magmáticas, desde as félsicas até as ultramáficas (Ulbrich & Andrade, 2003) (Figura 12). O diagrama da figura 12 pode ser separado em dois segmentos, designados como C2 e P2₁. O primeiro representa os piroxênios com alto teor de cálcio, sempre monoclinicos e o segundo são os piroxênios pobres em cálcio, tanto ortorrômbicos quanto monoclinicos.

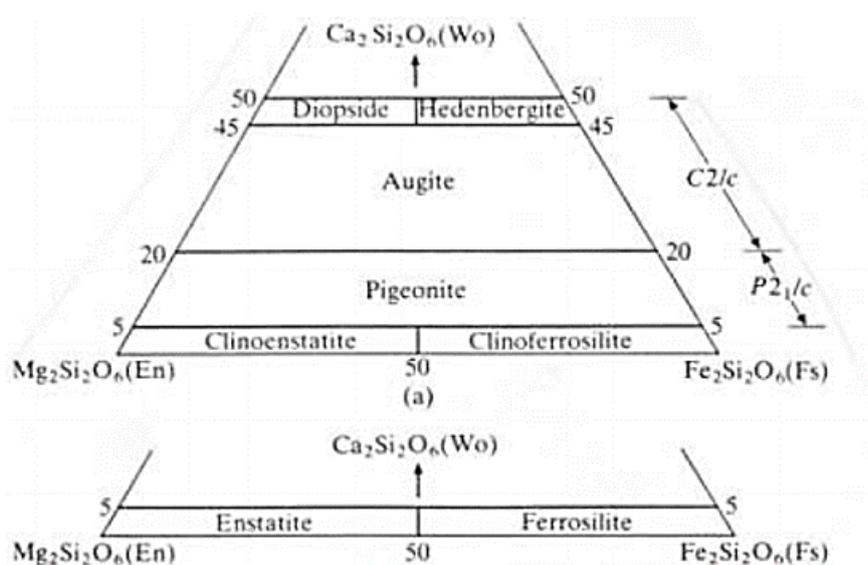


Figura 10: Composição e nomenclatura dos piroxênios com Ca, Fe^{2+} e Mg. Fonte: (Ulbrich & Andrade, 2003).

Os ortopiroxênio e os clinopiroxênios são os minerais da família dos piroxênios que se cristalizam nos sistemas ortorrômbico e monoclinico, respectivamente (Figura 13).

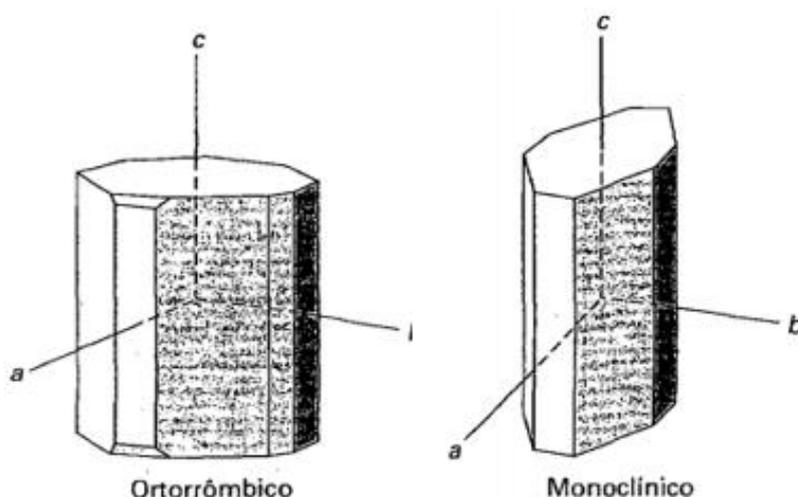


Figura 11: Estrutura cristalina ortorrômbica e monoclinica. Fonte: Nascimento & Machado, 2018.

A estrutura dos piroxênios permite a entrada de titânio a depender da temperatura de cristalização. Esses minerais, dentre os poucos silicatos abundantes, são os que podem aceitar íons altamente carregados, como Zr^{4+} , mas não permitem a entrada de íons com raio atômico superior a 1,0-1,2 Å (íon de potássio, por exemplo). Nos piroxênios, pode ocorrer a substituição de Si^{4+} por Al^{3+} , que possui influência sobre a entrada de Titânio. O manganês, cromo e ferro também se incorporam ao retículo dos piroxênios (Sial & McReath, 1984). A tabela 1 mostra as substituições iônicas que podem ocorrer nos piroxênios.

Tabela 1: Substituições iônicas nos piroxênios. Fonte: Sial & McReath, 1984.

	M VIII	M VI	M IV	S	Nome dos Membros	Ocorrências Ígneas
Pobre em cálcio	Pouco Ca	Mg, Fe ²⁺ (Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , Al Ni, Mn)	Si (Al)	O	Enstatita (Mg)-(orto) ferrosilita (Fe) (Vide Fig. 1.4.5)	Variedades magnesianas (com Ni e Cr) – rochas ultramáficas e máficas. Hiperstênio bastante difundido. Variedades ferrí- feras raras, ocorrendo em rochas silicosas. Ferrosilita, desconhecida.
	Pouco Ca	Idem	Si (Al, Ti ⁴⁺)	M	Pigeonita-ferropigeonita	Rochas toleíticas. Preservada em rochas volcânicas; representada por pseudomor- fos produzidos por exsolução, em rochas plutônicas.
	Ca (Na)	Mg, Fe ²⁺ (Fe ³⁺ , Cr ³⁺ Al, Ni, Mn)	Si (Al)	M	Diopsídio ou endiopsídio (Mg) – hedenbergita (Fe) Diopsídio com Cr; cromodis- diopsídio	Diopsídio raro, apenas em algumas varie- dades ultramáficas ou máficas. Cromo- diopsídio ou endiopsídio, em inclusões ultramáficas. Salta em basaltos alcalinos ou calco-alcalinos, onde é aluminosa.
Rico em cálcio		Mg, Fe ²⁺ (Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , Al Ti ⁴⁺ , Ni, Mn)	Si (Al, Ti ⁴⁺ , Fe ³⁺)	M	Augita (Mg)-Ferroaugita (Fe) Augita com Ti ⁴⁺ O titano au- gita. Variedades com bastante Na = aegirina-augita. Com Ca reduzido, augita e ferroaugita sub-cálcicas.	Variedades magnesianas, componentes importantes de muitas rochas máficas e ultramáficas. Ferríferas, de algumas ro- chas félsicas. Titanaugita, aegirina-augi- ta, em rochas alcalinas. Variedades sub- cálcicas, especialmente nas matrizes de rochas volcânicas.
	Na (Ca)	Fe ³⁺ (Mg, Fe ²⁺ Cr ³⁺ + Al ³⁺ , Ti ⁴⁺)	Si (Al)	M	Aegirina ou acmita	Rochas alcalinas e peralcalinas, especial- mente sienitos, granitos e riolitos peral- calinos.

Frequentemente os piroxênios sofrem alterações após sua cristalização devido a reações com os líquidos ao seu redor, dentre elas estão a produção de anfibólio a partir da hidratação e a produção de clorita (Sial & McReath, 1984).

3.3.3 Anfibólio

Os anfibólios apresentam semelhanças estruturais, químicas e físicas com os piroxênios. Ambos são formados pelos mesmos cátions e admitem grande variedade de substituições catiônicas semelhantes (Ulbrich & Andrade, 2003) (Tabela 2). O fator adicional é a capacidade dos anfibólios de aceitarem íons muito grandes, como o potássio (Sial & McReath, 1984).

Tabela 2: Substituições iônicas nos anfibólios. Fonte: Sial & McReath, 1984.

Discriminação	A	MvIII	MvI	MIV
Pargasita (Mg) - hastingsita (Mg, Fe ²⁺) – ferrohastingsita (Fe ²⁺)	(Na, K) ₁	(Ca, Na) ₂	(Mg ou Fe ²⁺) ₄ (Al ou Fe ³⁺) ₁	Si _{6-6,5} Al _{2-1,5}
Hornblenda comum	(Na, K) _{0,5}	Ca ₂	(Mg ou Fe ²⁺) ₄ (Al, Fe ³⁺ , Ti) ₁	Si _{6,5-7} Al _{1,5-1}
Kaersutita	(Na, K) ₁	Na _{0,5} Ca _{1,5}	(Mg ou Fe ²⁺) ₄ (Ti ⁴⁺ , Fe ³⁺) ₁	Si ₆ Al ₂
Riebeckita	K _{0,5}	(Na, Ca) _{1,5}	(Mg ou Fe ²⁺) ₃ Fe ₁ ³⁺	Si ₈
Cummingtonita (Mg) – grunerita (Fe ²⁺)	–	(Mg ou Fe ²⁺) ₂	(Mg ou Fe ²⁺) ₅	Si _{7,5-8} Al _{0,5-0}

A formação de anfibólios requer concentrações mais elevadas de água, como ocorre nos estágios finais da cristalização dos magmas, não sendo raros os piroxênios substituídos por anfibólios em rochas ígneas, quando cristalizadas em subsuperfície (Ulbrich & Andrade, 2003). Em sistemas hidrotermais, os anfibólios frequentemente se alteram para clorita, que libera cálcio, sódio e potássio, além de ser uma fonte em potencial de titânio, formadores de óxidos como ilmenita (Sial & McReath, 1984).

3.3.4 Olivina

As olivinas – (Fe,Mg)SiO₄ -, primeiros minerais ferromagnesianos a se cristalizarem, são ricas em ferro ou em magnésio, havendo de modo geral, menos de 10% por peso de outros componentes. Podem ocorrer substituições envolvendo íons divalentes (Cr²⁺, Ni²⁺), podendo ocorrer ainda raramente a substituição do Si⁴⁺ pelo Al³⁺ nos locais tetraédricos (Sial & McReath, 1984).

A olivina magnesiânica (forsterita) está muitas vezes associada a outros minerais que cristalizam durante os primeiros estágios do fracionamento magmático, como piroxênio e anfibólio (Sial & McReath, 1984; Sperandio *et al.*, 2020). No estado sólido, a olivina magnesiânica pode reagir na presença de plagioclásio cálcico, produzindo ortopiroxênio e óxidos, e na presença de água, pode produzir anfibólio, piroxênio e ortopiroxênio. Estes minerais formam um intercrescimento ao redor da olivina, onde está em contato com o plagioclásio, dando origem a uma coroa de reação (Sial & McReath, 1984).

As olivinas são extremamente sujeitas a alterações pós cristalização, produzindo clorita, iddingsita, anfibólio, piroxênio entre outros, a partir da oxidação do ferro, da hidratação e de pressões e temperaturas adequadas (Sial & McReath, 1984).

3.3.5 Óxidos e outros minerais acessórios

A magnetita (Fe_3O_4) é um óxido muito comum, de extrema importância nas rochas ígneas máficas e não máficas. É o mineral mais magnético conhecido e ocorre como um mineral acessório de distribuição bastante ampla, podendo conter Titânio, Manganês, Magnésio, Zinco, Níquel, Alumínio, Cromo e Vanádio. Seus grãos podem formar octaedros, rombododecaedros, dodecaedros trapezoidais e muitos outros. Esses óxidos podem sofrer alterações para limonita, titanomagnetita e pirita (MinMicro, UFRGS).

A cromita (FeCr_2O_4) é um mineral bastante difundido em rochas máficas e ultramáfica. Sua composição varia conforme sua fórmula química, em que o ferro é substituído por magnésio e, da mesma forma, o cromo pode ser substituído por ferro e alumínio. Podem ocorrer ainda na estrutura desse mineral óxidos de titânio, zinco, níquel, manganês, vanádio e cobalto, embora em teores muito reduzidos (Caxito & Dias, 2018).

A titanita, silicato de titânio e cálcio (CaTiSiO_5), é um mineral acessório de muitos tipos de rochas ígneas e se associa aos minerais de quartzo, feldspatos, micas e anfibólios. Além dos seus elementos principais, pode apresentar pequenas quantidades de alumínio, ferro, magnésio, manganês, zircônio e terras raras, conferindo-lhe certa radioatividade

A ilmenita (FeTiO_3) é um mineral composto de ferro e titânio, considerada pura com os valores em torno de 53% de TiO_2 e 47% de FeO , podendo conter, de acordo com Baltar *et al.*, (2005), pequenas quantidades de magnésio, zinco ou manganês.

A apatita é o principal fosfato encontrado nas rochas ígneas, apresentando fórmula química $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$. O cálcio pode ser substituído por manganês, ferro, estrôncio e membros do grupo terras raras (Sial & McReath, 1984).

O quartzo é um mineral de sílica (SiO_2) e representa uma das classes de minerais mais abundantes nas rochas ígneas, principalmente nas félsicas e

intermediárias (Sial & McReath, 1984). Esses minerais possuem grande estabilidade, que vai desde pressões e temperaturas baixas até elevadas. O quartzo é extremamente resistente, dificilmente sofrendo grandes modificações posteriores à sua cristalização em rochas ígneas (Sial & McReath, 1984).

Segundo Sial & McReath (1984), os minerais de sílica e olivina magnésiana são incompatíveis em equilíbrio, ou seja, a olivina torna-se totalmente instável na presença de quartzo. A incompatibilidade termodinâmica entre esses minerais é devida à fusão incongruente.

3.4 Perfis Geofísicos

Os perfis geofísicos são representações gráficas entre as profundidades e as características petrofísicas das formações rochosas, medidas através do deslocamento de sensores dentro de um poço. A perfilagem pode ocorrer em um ambiente pós perfuração (WL), onde as informações são transmitidas por cabos elétricos ou durante a perfuração (LWD), onde os dados são transmitidos por pulsos que se propagam até a superfície através do fluido de perfuração no interior da coluna (Craveiro, 2013; Bates & Jackson, 1980 *apud* Calonio, 2020).

Atualmente existe uma grande variedade de perfis de poços, utilizados para auxiliar no conhecimento das propriedades petrofísicas e geológicas do poço, tais como: litologia, porosidade, permeabilidade, saturação de fluidos, argilosidade, entre outras. Também são utilizados na obtenção de informações relativas aos fluidos contidos nas formações geológicas, na identificação de zonas produtivas de hidrocarbonetos, na distinção do tipo de hidrocarbonetos e na estimativa das suas reservas (Craveiro, 2013). Uma outra utilização dos perfis geofísicos de poços, a qual está diretamente relacionada ao foco deste trabalho, refere-se à individualização de diques e soleiras a partir do comportamento das curvas de Raio Gama e Densidade, proposto por Trosdtorf Junior *et al.*, (2014).

3.4.1 Raio Gama

O Perfil de Raio Gama (GR) é uma ferramenta geofísica responsável pela medição da radioatividade natural emitida pelos minerais presentes nas formações. Praticamente toda a emissão natural de raios gama encontrada nas rochas ígneas,

metamórficas e sedimentares é emitida pelo isótopo radioativo de potássio (K^{40}) e pelos elementos radioativos da série urânio (U^{238}) - tório (Th^{232}) (Rosa, 2006).

O urânio e o tório decaem para isótopos de chumbo estáveis, enquanto que um isótopo de potássio decai em argônio. Os elementos-filho das séries radioativas naturais emitem raios gama de energia específica (comprimento de onda, frequência ou cor) e a frequência de ocorrência de cada energia de decaimento é diferente, o que os caracterizam quantitativamente e qualitativamente (Nobre, 2019).

As rochas ígneas apresentam variações quanto aos teores de potássio, urânio e tório, sendo o mais abundante dos três elementos o potássio, o qual é encontrado em feldspatos alcalinos e micas. Urânio e tório quando presentes em rochas ígneas, estão principalmente associados a minerais moderadamente radioativos, ou ocorrem nos interstícios de minerais ou inclusões fluídas. Assim, teores de isótopos radioativos em rochas ácidas são maiores do que em rochas ultrabásicas (Saunders, 1976 *apud* Souza, 1998).

Dessa forma, o objetivo principal desse perfil é a distinção entre as camadas geológicas com alta e baixa emissão de radioatividade, investigando assim, o grau de diferenciação no contexto de suítes ígneas e os potenciais reservatórios em rochas sedimentares.

3.4.2 Densidade

O Perfil de Densidade (RHOB;RHOZ) mede a resposta da formação à uma radiação emitida contra ela. O princípio de funcionamento da ferramenta de detecção de densidade se baseia na emissão de raios gama artificiais, por meio de uma fonte radioativa de Césio (Cs^{137}), que colidem com os elétrons presentes na formação, pelo Efeito Compton. Após inúmeras colisões e consequentes perdas de energia, os raios gama retornam para a ferramenta e são contados por detectores localizados no corpo da mesma (Rosa, 2006).

Segundo Nery (2004), o Efeito Compton está diretamente relacionado ao número de elétrons presentes na Formação, que por sua vez responde diretamente à densidade da Formação e inversamente à sua porosidade. Dessa forma, devido

às baixas porosidades das rochas ígneas intrusivas, espera-se que essas apresentem altos valores de densidade.

3.4.3 Fator Fotoelétrico

Esse perfil mede o fator fotoelétrico de uma formação geológica através do Efeito Fotoelétrico, que ocorre quando a matéria é exposta a uma radiação eletromagnética de frequência alta (Craveiro, 2013; Calonio, 2020). Segundo Nery (2004), o Efeito Fotoelétrico ocorre quando os fótons de menor energia interagem com os elétrons orbitais e cedem toda a sua energia para os mesmos, até que o fóton é totalmente absorvido e o elétron se transforma em um fotoelétron livre. O Efeito Fotoelétrico fornece um valor (barn/elétron) que está relacionado ao número atômico do material analisado, através dos raios gama de menor energia, remanescentes do espalhamento Compton (Ellis & Singer, 2008 *apud* Oliveira *et al.*, 2018).

O Perfil Fotoelétrico (PEFZ) é sensível à composição química das rochas, atribuindo altos valores de PEFZ para altas densidades. Em um gráfico, picos isolados de índices fotoelétricos podem estar associados à deposição de metais pesados (Glover, 2014 *apud* Calonio, 2020; Alves, 2017 *apud* Calonio, 2020) ou baritina contida no fluido de perfuração preenchendo cavidades, como por exemplo zonas fraturadas ou cavernas em zonas carstificadas em carbonatos (Inanc *et al.*, 2011).

3.4.4 Identificação de rochas ígneas usando perfis geofísicos

Uma grande variedade de ferramentas é utilizada para a identificação e caracterização de diques e soleiras, incluindo os perfis geofísicos elétricos. Segundo Trosdorf Junior *et al.*, (2014), a presença de corpos ígneos intrusivos na seção sedimentar da Bacia do Parnaíba apresenta assinatura característica nos mais variados perfis elétricos. A correta caracterização destes corpos traz informações e dados que possibilitam, por exemplo, a distinção entre soleiras e diques.

O perfil de Raio Gama é um dos mais utilizados para a identificação de corpos ígneos na coluna sedimentar das bacias. As soleiras, na Bacia do Parnaíba, são caracterizadas por um aumento na curva de GR no terço superior da intrusão.

Ainda em estudo, esta variação de raios Gama poderia indicar a ocorrência de um resfriamento mais lento em seu interior, que seria consequência da rápida cristalização nas bordas da intrusão, quando comparada com a percolação ascendente dos voláteis. Trosdtorf Junior *et al.*, (2014), fazendo uso da terminologia fornecida por Martins (1991) chamou informalmente esse padrão de feição “barriguda”. Ainda, dados litogeoquímicos indicam um enriquecimento de tório e urânio no terço superior das soleiras, mesmo padrão observado nas curvas de GR espectrais (Trosdtorf Junior *et al.*, 2014). Os corpos ígneos menos espessos, identificados pela feição conhecida como “caixote”, são caracterizados por valores constantes na curva de GR, o que pode ser interpretado como um evento de rápida cristalização, como diques (Figura 9) (Trosdtorf Junior *et al.*, 2014).

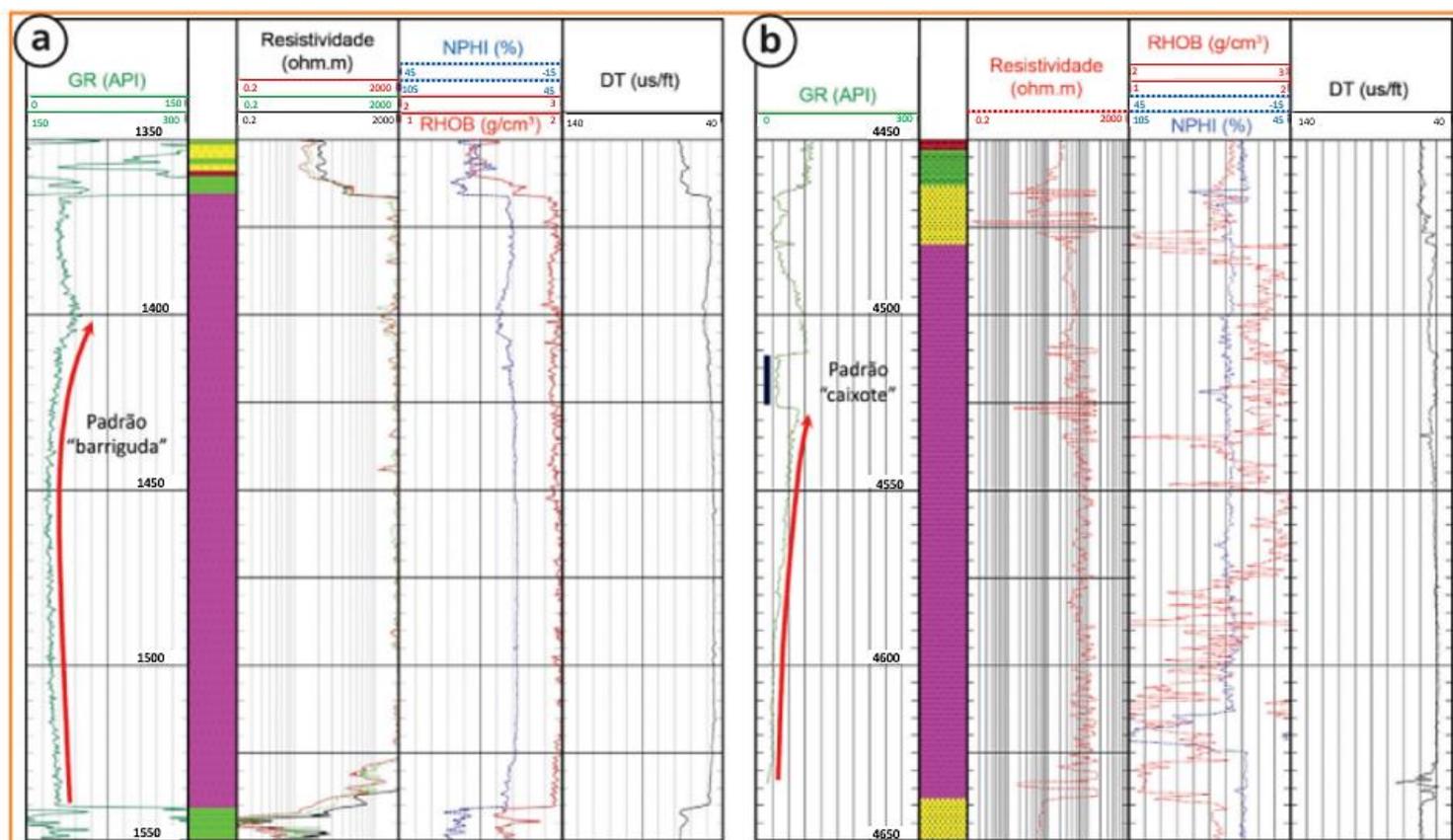


Figura 12: Perfil elétrico de dois poços com intrusivas ígneas identificadas; (a) exemplo de feição típica de soleira na Bacia do Parnaíba., caracterizando o padrão “barriguda”; (b) exemplo de feição típica de dique na Bacia do Paraná, onde o perfil de GR forma o padrão do tipo “caixote”. Fonte: Modificado de Trosdtorf Junior *et al.*, 2014.

As curvas de densidade apresentam valores médios elevados para as rochas ígneas intrusivas, apesar das soleiras com zona de diferenciação

magmática apresentarem setores com diferentes densidades de matriz. Valores de densidade abaixo do esperado para rochas ígneas podem estar relacionados à fratura e/ou desmoronamento do poço, enquanto valores mais altos que os esperados podem indicar presença de sulfetos, como a pirita (Trosdtorf Junior *et al.*, 2014).

3.4.5 Feição de Igneabilidade

Em alguns poços, os perfis de GR não são suficientes para caracterizar com segurança a presença ou o correto posicionamento de uma rocha ígnea. Para mitigar esse problema é utilizada a Feição de Igneabilidade, proposta por Oliveira *et al.*, 2018, criada a partir das curvas de Densidade e Fator Fotoelétrico.

No mesmo *track* são colocados o perfil de Densidade, aumentando seus valores para direita (2-3), e o perfil de Fator Fotoelétrico (12-2), aumentando seus valores para a esquerda. Nos trechos onde o PEFZ fica à esquerda do RHOB/RHOZ, são regiões com forte indício de rocha ígnea ou anidrita (Figura 10) (Oliveira *et al.*, 2018).

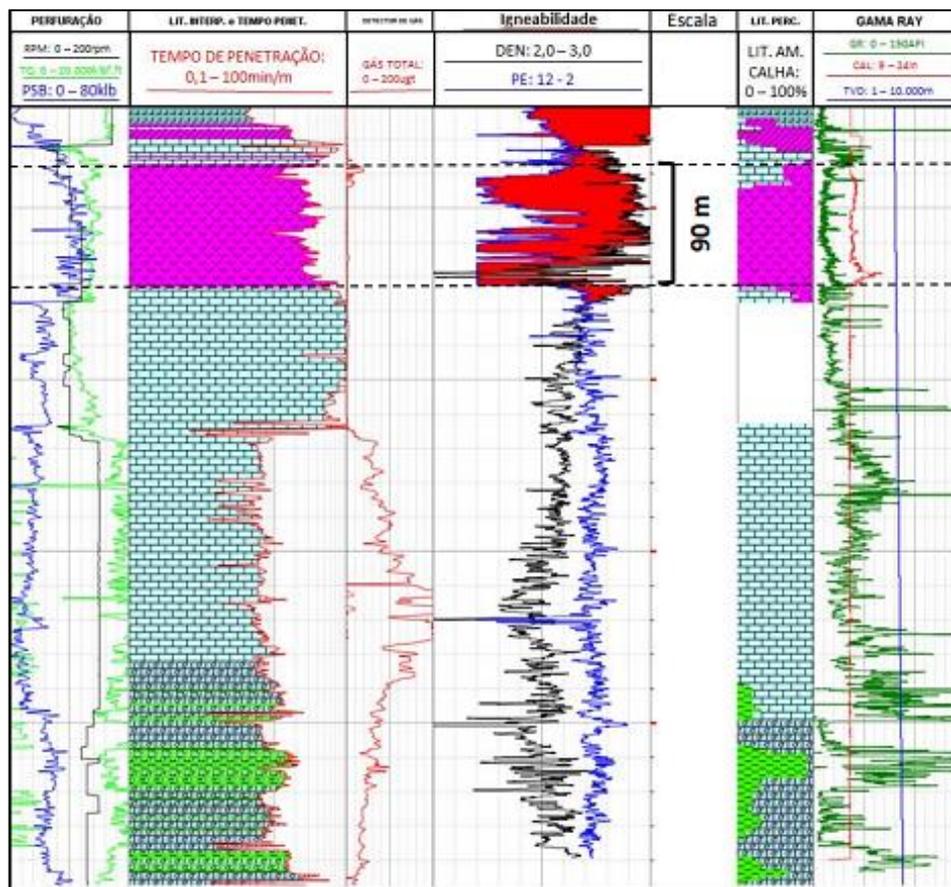


Figura 13: Perfis de Fator Fotoelétrico e Densidade usados para a obtenção da Feição de Igneabilidade, indicada pela hachura vermelha. Fonte: Oliveira *et al.*, 2018.

Em zonas contendo carbonatos que sofreram metamorfismo de contato, os valores de PEFZ caem com relação aos valores de rochas ígneas, mas os valores de RHOB/RHOZ permanecem constantes, a ponto da curva de PEFZ ainda se manter à esquerda, provocando uma falsa Feição de Igneabilidade (Oliveira *et al.*, 2018).

3.5 Série de Bowen

O magma, após sua geração, se aloja na crosta terrestre onde inicia-se um processo lento e contínuo de resfriamento e cristalização dos minerais. A Série de Bowen (Figura 14) descreve a temperatura na qual os minerais cristalizam, quando resfriados ou derretem, quando aquecidos. A extremidade inferior da escala de temperatura, onde todos os minerais se cristalizam em rocha sólida, é de aproximadamente 700 °C e a extremidade superior da faixa, onde todos os minerais

coexistem em um estado fundido, é de aproximadamente 1.250 °C (Johnson *et al.*, 2017).

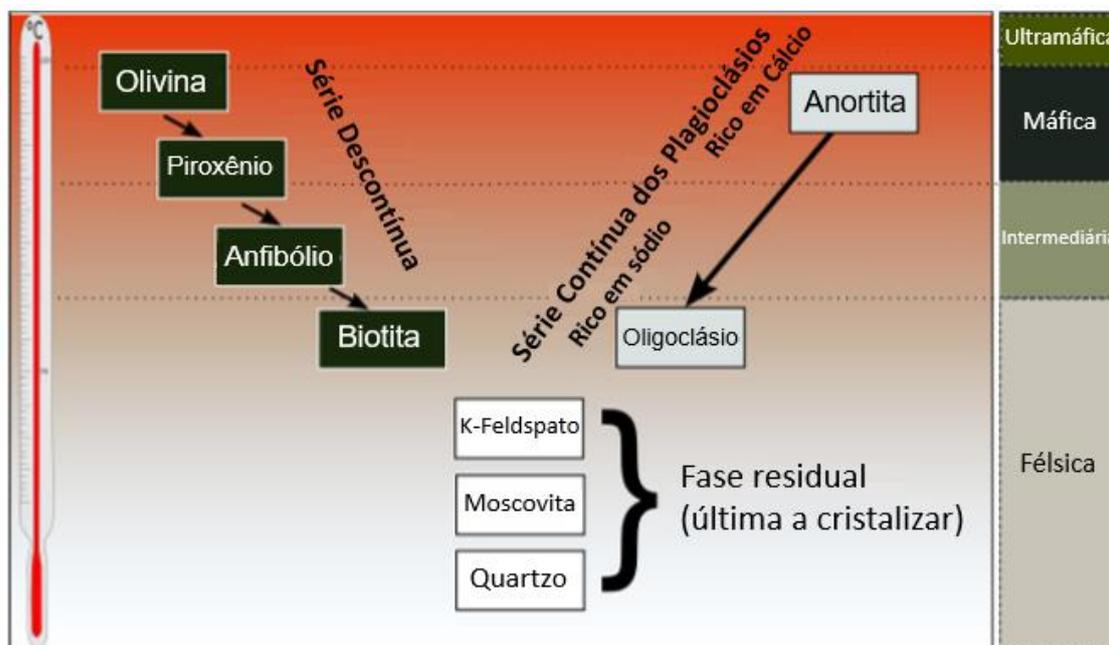


Figura 14: Esquema ilustrativo da série de Bowen. Fonte: Modificado de Johnson *et al.*, 2017.

Os primeiros cristais de alta temperatura tendem a reagir com o líquido para formar outros minerais em temperaturas mais baixas. A Série de Bowen apresenta duas séries distintas: as descontínuas, composta da temperatura mais alta para a mais baixa por: olivina, piroxênio (ortopiroxênio e clinopiroxênio), anfibólio e biotita, e a série e reações contínuas, representada por: plagioclásio rico em cálcio (anortita) em alta temperatura e plagioclásio rico em sódio (Oligoclásio) em baixa temperatura (Britannica, 2017).

A série descontínua é composta pelos minerais ferromagnesianos e o mineral formado inicialmente é convertido em um cristal mais estável. Após a cristalização da olivina, o magma se enriquece em sílica e com seu resfriamento atinge a temperatura de cristalização do piroxênio. Com o contínuo arrefecimento do magma, atinge-se a temperatura de cristalização do anfibólio e, com a contínua diminuição da temperatura, o mineral a se formar é a biotita. Terminada a cristalização da biotita, o magma não possui mais ferro nem magnésio, logo, os minerais formados a partir desse nível não apresentam mais estes elementos químicos. As fases que se cristalizam primeiro são os minerais comuns que

compõem o basalto ou gabro, seguido dos minerais de andesito ou diorito e consecutivamente cristalizam os constituintes essenciais do riolito ou granito (Britannica, 2017).

Na série de reação contínua os minerais formados não têm sua estrutura interna alterada, sendo assim, é formada unicamente por plagioclásios, compostos quimicamente por alumínio, silício e quantidades variáveis de cálcio e sódio. O primeiro plagioclásio a cristalizar é a anortita, rica em cálcio, e conforme a temperatura do magma diminui, a quantidade de plagioclásio sódico aumenta. Quando as duas séries de reações convergem a uma temperatura baixa, cristalizam os feldspatos potássicos, moscovitas e quartzos (Britannica, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de calha utilizadas neste estudo foram doadas à Universidade Federal Fluminense pela Parnaíba Gás Natural (PGN), atual Eneva S/A, e pertencem à 4 poços exploratórios, sendo eles: 1-OGX-110-MA, 1-OGX-101-MA, 4-OGX-49-MA e 3-PGN-MA, localizados em campos produtores de gás que compõem a área do Parque dos Gaviões (Figura 15). Os perfis de poço fazem parte do pacote de dados disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

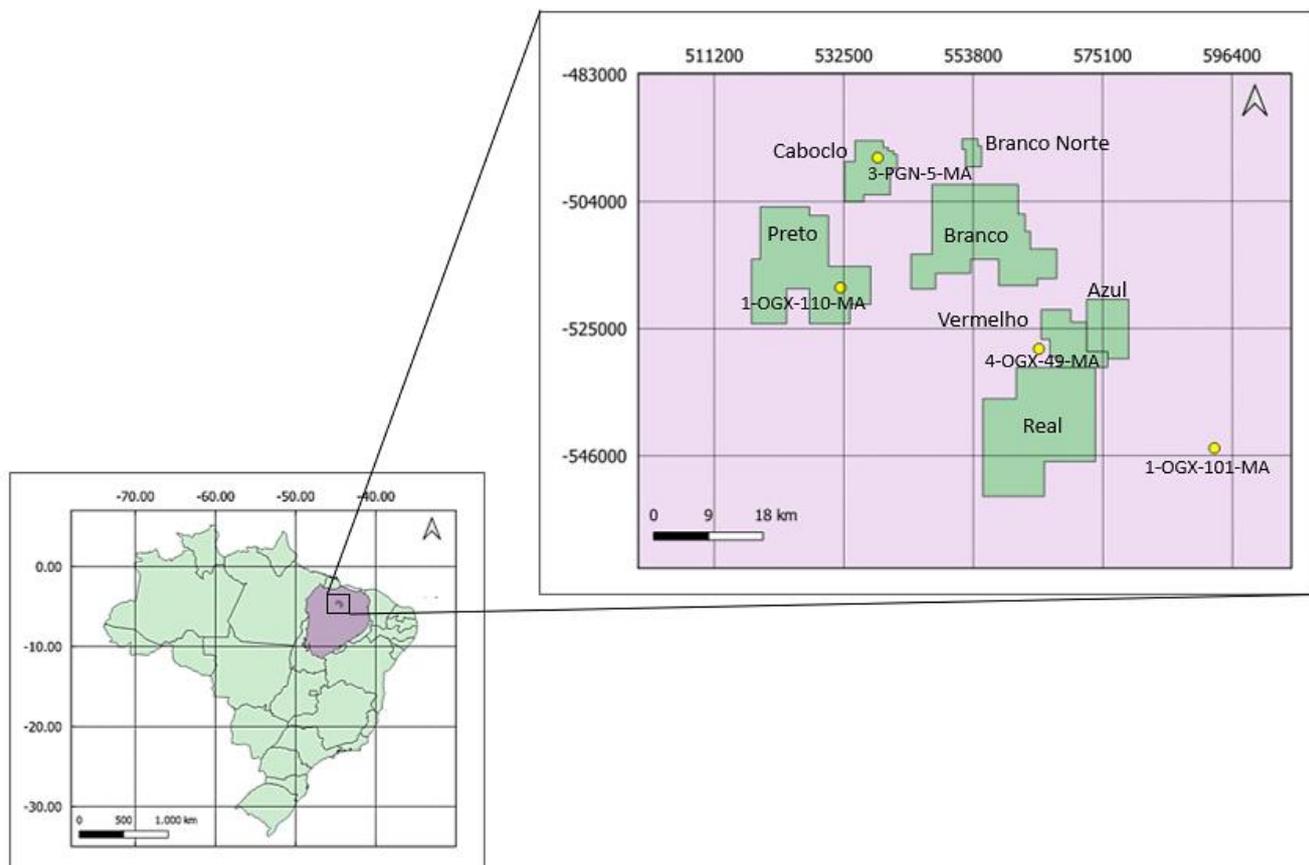


Figura 15: Mapa de localização dos poços utilizados para o estudo das rochas ígneas. Os *shapefiles* utilizados foram obtidos nos sites do IBGE e da ANP.

Este estudo foi realizado nos intervalos correspondentes às intrusões ígneas, onde as amostras foram coletadas em intervalos de 3 em 3 metros, por representarem uma área de interesse exploratório devido à importância das intrusões ígneas para o sistema petrolífero.

4.1 Descrição de amostras de calha

Antes de iniciar essa etapa, uma alíquota de aproximadamente 20g das amostras, é separada em uma calha de alumínio (Figura16) onde é feita a lavagem, a fim de retirar o excesso de contaminantes que possam prejudicar o processo de descrição.

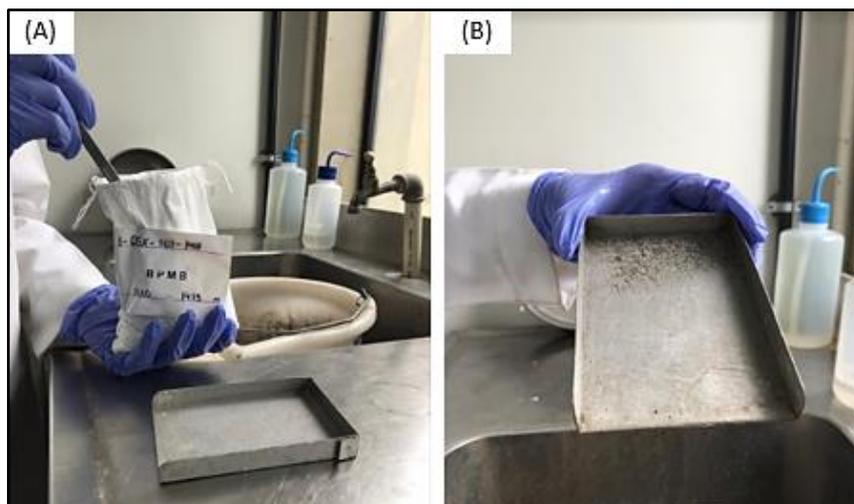


Figura 16: (A) Sacos de pano contendo amostras de calha (B) Calha de alumínio com amostras lavadas para a descrição.

Foram descritas todas as amostras de calha dos poços 1-OGX-101-MA e 4-OGX-49-MA correspondentes às intrusões ígneas de feição “barriguda”, totalizando cerca de 118 amostras. A descrição foi feita no Estereomicroscópio Binocular - *Stemi 508* (Figura 17), que permite identificar características específicas de cada intervalo. As análises das rochas ígneas foram realizadas a partir da descrição dos seguintes parâmetros: cor, composição, estrutura, granulometria, coesão e mineralogia.



Figura 17: Estereoscópio – *Stemi 508*, utilizado para descrição das amostras de calha.

Essa primeira etapa de descrição permitiu que os resultados finais tivessem contribuição de informações diretamente da formação geológica que, associados aos perfis geofísicos e ao comportamento químico elementar de cada amostra, foi fundamental para entender a variação mineralógica ao longo dos corpos ígneos. Os dados da descrição foram organizados e plotados no *software* gratuito SedLog, mostrado na figura 18. As fotos das amostras de calha apresentadas na seção de resultados e discussões foram tiradas pela câmera do estereoscópio utilizado nas descrições.

1-OGX-101-MA				
SCALE (m)	FORMATION	LITHOLOGY	NOTES	OBS
1413			DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(30%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos - ARN, HIA/BCO, FNO/MED/GRO, ARD/SAR, R, QTZ/CAO, DSG/CMP, DRO	Fluido de perfuração
1416			DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(80%), RAR CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos - ARN, HIA/BCO, MFN/FBO, ARD, B, QTZ, DSG, DRO	Fluido de perfuração, fragmento de broca
1419			DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(40%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - TRC ARN, HIA, MFN/FNO, ARD, DSG, DRO	Fluido de perfuração, fragmento de broca
1422			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(40%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - TRC ARN, HIA, MFN/FNO, SAR, DSG, DRO	Fluido de perfuração
1425			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?), ALT plagioclásio esverdeado	Fluido de perfuração
1428			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(40%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - RAR ARN, HIA, FNO, ANG, DSG, DRO	Fluido de perfuração, plástico
1431			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?), TRC mineral verde amarronzado (clorita?)	
			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(60%)/FEL(40%), CBN, ANG, MLE, aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral verde amarronzado (clorita?), bolha nas fraturas da rochas - RAR ARN, HIA, FNO/MED, SNG, B, DSG, DRO	

Figura 18: Imagem do Software SedLog utilizado para descrição das amostras de calha, correspondente à descrição do poço 1-OGX-101-MA, no intervalo 1413/1434 m.

4.2 Fluorescência de Raio-X (XRF)

A segunda etapa do trabalho consiste nas análises que visam determinar a composição química elementar das amostras de calha. Para esse processo, uma porção, de aproximadamente 30g, das amostras é separada em uma peneira de 0,065 micrômetros, onde é feita a lavagem. A fim de evitar contaminantes que possam prejudicar as análises químicas, as amostras são lavadas com Detertec (detergente neutro) diluído a 5%. As amostras limpas são colocadas em filtros de

papel poroso e encaminhadas para a estufa à temperatura de 40° C, garantindo que não reste nenhuma umidade (Figura 19).

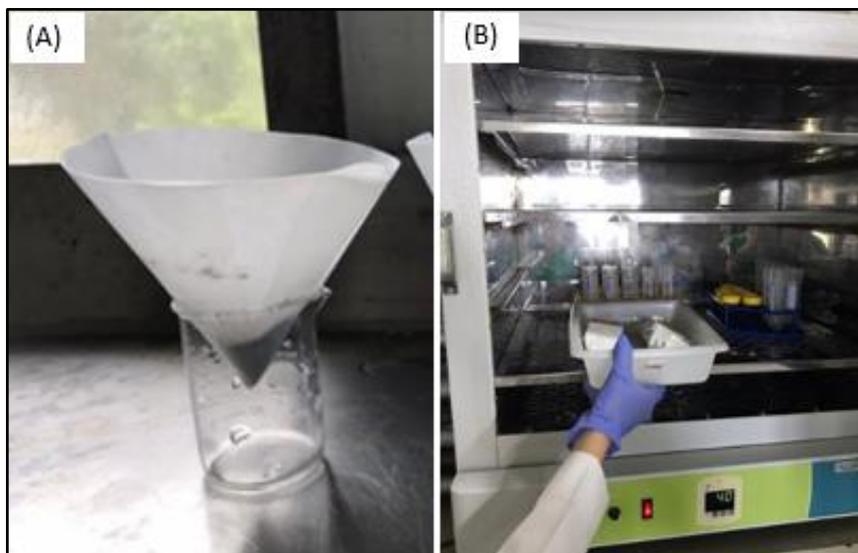


Figura 19: (A) Filtro de papel utilizado para o escoamento da água das amostras (B) Estufa utilizada para retirar a umidade das amostras.

O procedimento utilizado no XRF foi o método do pó solto, em que cada amostra dos poços 1-OGX-49-MA e 1-OGX-101-MA destinada à leitura foi macerada utilizando um gral de Ágata, objetivando homogeneizar e diminuir o tamanho dos grãos, e submetida à ação de um ímã de neodímio (Figura 20) afim de retirar as limalhas metálicas oriundas da perfuração do poço, que podem influenciar na fidelidade dos dados obtidos. A metodologia aplicada no preparo das amostras do poço 3-PGN-5-MA se limitou a macerar as amostras, sem fazer uso do ímã de neodímio. Os dados geoquímicos do poço 3-PGN-5-MA foram obtidos pela pesquisadora Luiza Ribeiro, integrante do Projeto “Identificação de Superfícies Estratigráficas com base nas Razões de Carbono e Nitrogênio e seus Isótopos Estáveis”, sendo realizado na Bacia do Parnaíba.

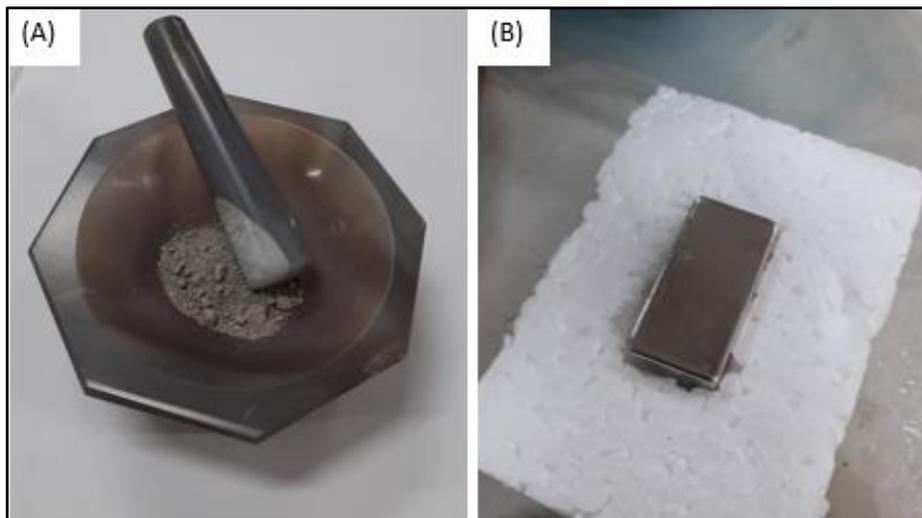


Figura 20: (A) Gral de Ágata utilizado para macerar as amostras, (B) Ímã de neodímio.

As amostras prontas foram colocadas de maneira uniforme em cápsulas de plástico (Figura 21), onde foram levemente comprimidas para evitar que as partículas se soltem durante a análise, e então foram encaminhadas para o equipamento de Fluorescência de Raio-X EPSILON 1 da Malvern Panalytical (Figura 22), que utiliza a dispersão de energia para determinar a composição química de cada intervalo lido. Esse equipamento pode analisar elementos químicos desde o sódio (Na), de número atômico igual a 11, até o amerício (Am), de número atômico igual a 95, representados por porcentagem de peso no caso de elementos representativos maiores e menores, ou ppm no caso de elementos traço. Ainda, faz uso de uma ampola de raios X com ânodo de Ag (prata) e janela fina e um gerador de 50 Kv para a excitação dos elementos. O aparelho foi configurado no modo *Omnian* para leituras a partir do método pó solto com análises de 10 minutos.



Figura 21: Capsulas de plástico utilizados para as análises químicas de XRF. A base do recipiente é o contato entre a amostra e o leitor do equipamento.



Figura 22: Foto do equipamento de Fluorescência de Raio-X utilizado para leitura química elementar das amostras de calha.

Ao final de cada leitura é feita a análise do espectro lido, com o objetivo de identificar possíveis elementos presentes nas amostras que não foram detectados pelo equipamento. Com isso, é gerada uma tabela com os elementos químicos lidos

e suas concentrações, ilustrada na Figura 23, correspondente à profundidade de 1623 m do poço 4-OGX-49-MA.

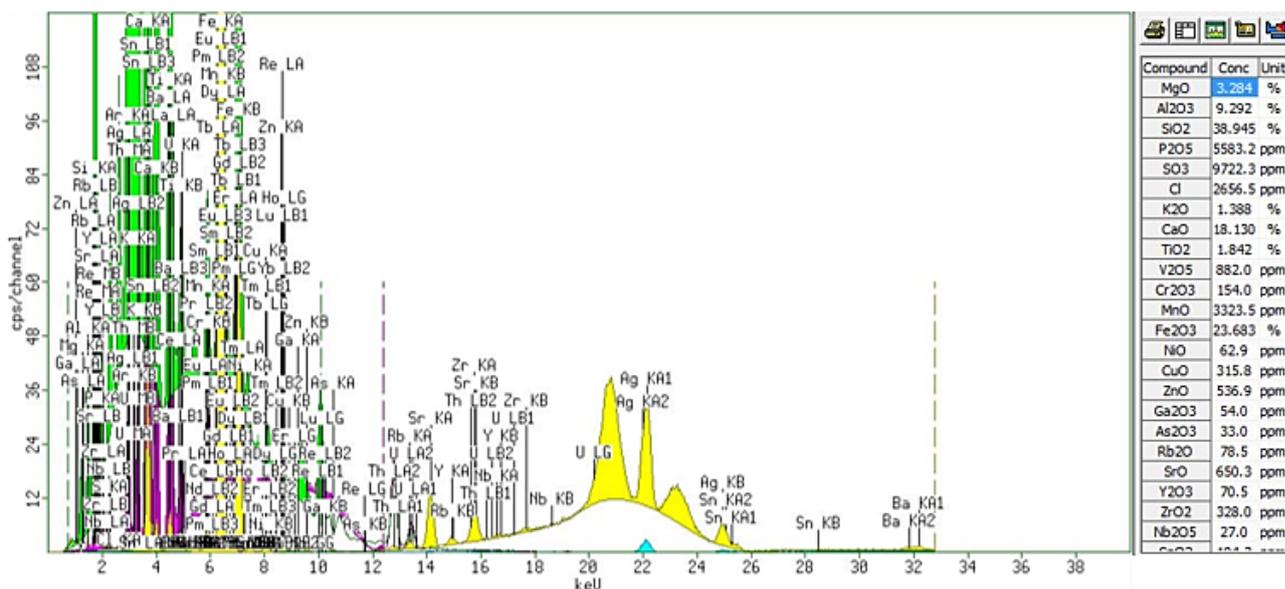


Figura 23: Espectro lido e tabela de elementos químicos identificados na amostra de calha do poço 4-OGX-49-MA na profundidade de 1623 m gerados pelo equipamento de XRF utilizado.

4.3 Controle de qualidade dos dados de XRF

Foram realizadas como controle de qualidade dos dados, análises de amostras contendo calcita pura, para avaliar a calibração do equipamento. Ainda, com o objetivo de manter a qualidade dos resultados obtidos, é necessária a verificação do modelo de calibração e do equipamento. Nesse sentido, são realizadas análises em duplicatas, sob as mesmas condições de leitura, a cada 10 amostras, a fim de controlar estatisticamente o processo e saber se os desvios ocorrem dentro dos limites aceitáveis, representados por até 10% de erro.

4.4 Tratamento e integração dos dados

Após a obtenção de todos os dados desejados, iniciou-se o processo de tratamento dos mesmos. Os resultados das análises químicas das rochas no XRF são apresentados na forma de óxidos, como peso percentual em % ou ppm. Para este trabalho, utilizou-se o Excel para converter os resultados obtidos, de óxido para elemento químico, com o objetivo de facilitar a visualização e a interpretação das curvas. Em seguida, utilizando esse mesmo programa foram realizados cálculos de razões, gráficos de dispersão e resultados estatísticos dos dados.

Ainda, a fim de permitir a correlação entre as soleiras de diabásio de diferentes poços, as profundidades foram colocadas em cota, a partir da fórmula a seguir:

$$\textit{Profundidade em Cota} = \textit{MR} - \textit{Profundidade Medida}$$

Onde MR é o valor da Mesa Rotativa, obtido no Perfil Composto de cada poço.

Com os valores devidamente convertidos, as curvas dos elementos químicos geradas pelas análises de XRF foram blocadas de 3 em 3 metros, visto que as leituras foram feitas em amostras representativas de intervalos a cada 3 metros e integradas aos perfis geofísicos de poço no *software* Trace K2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados e discussões decorrentes da interpretação dos perfis geofísicos de poço, descrição de amostras de calha e da análise da variação química elementar ao longo das soleiras de diabásio. Dessa forma, serão mostrados gráficos, detalhes das amostras de calha e as interpretações baseadas nessa metodologia, ou seja, separação dos corpos ígneos, identificação de eletrofacies e quimiofacies distintas ao longo das soleiras e correlação entre poços.

5.1 Perfis de poço

No presente trabalho, todos os corpos ígneos dos poços 3-PGN-5-MA, 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA e 4-OGX-49-MA foram identificados a partir dos perfis de Raio Gama e da Feição de Igneabilidade, sendo definidas 12 intrusões com espessuras entre 2,0 m e 185,3 m, que apresentam feição “caixote” ou feição “barriguda”, sendo essa última o comportamento mais característico das intrusões mais espessas (Tabela 1). A posição estratigráfica desses corpos e a proximidade relativa entre os poços permitiram uma correlação entre eles, sugerindo que as feições “barriguda” observadas nos quatro poços sejam indicativas de uma única soleira (Figura 24). Em seguida, a Figura 25 mostra um zoom das intrusões de feição “caixote” do poço 1-OGX-110-MA, permitindo observar com mais detalhe como os perfis de Raios Gama, Densidade e Fator Fotoelétrico se comportam nesses corpos.

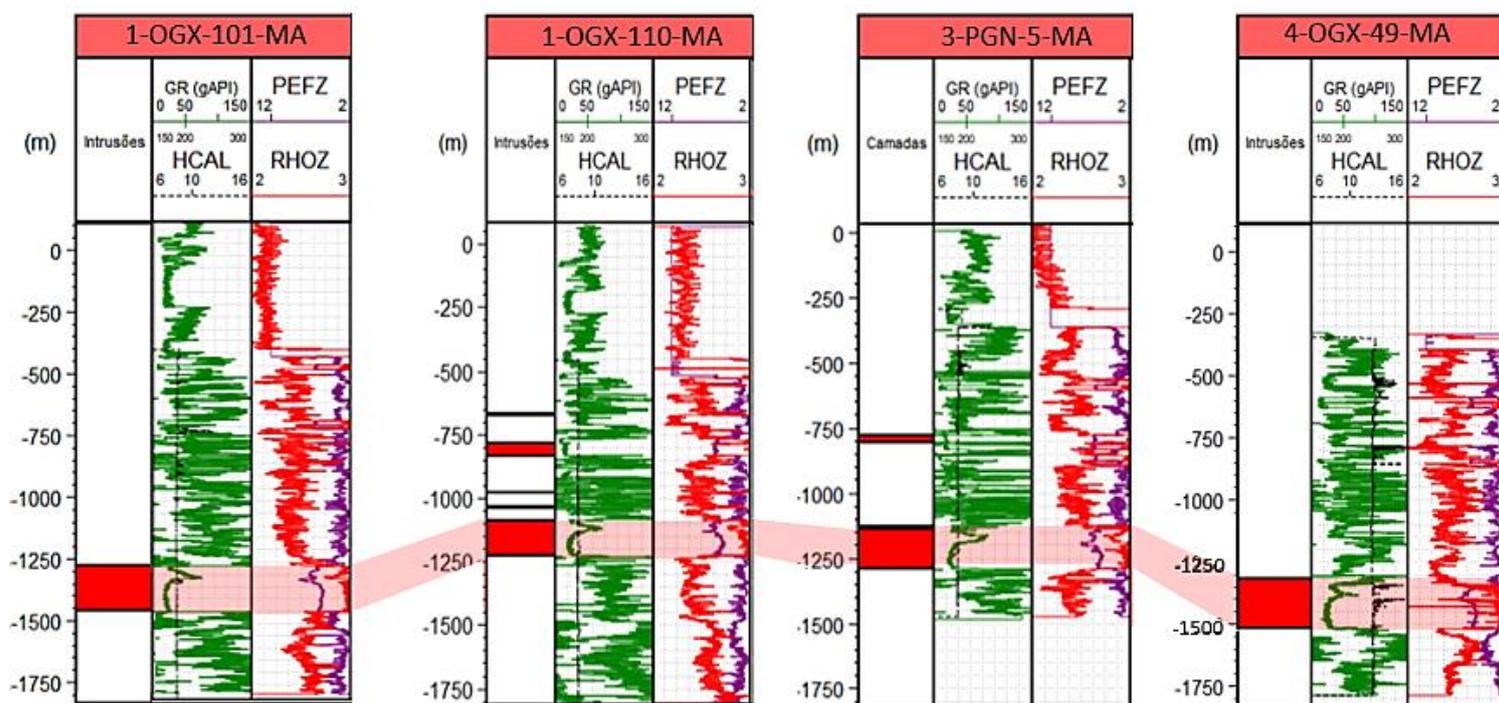


Figura 24: Identificação dos corpos ígneos e correlação entre os poços 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 3-PGN-5-MA e 4-OGX-49MA. Fonte: Autora.

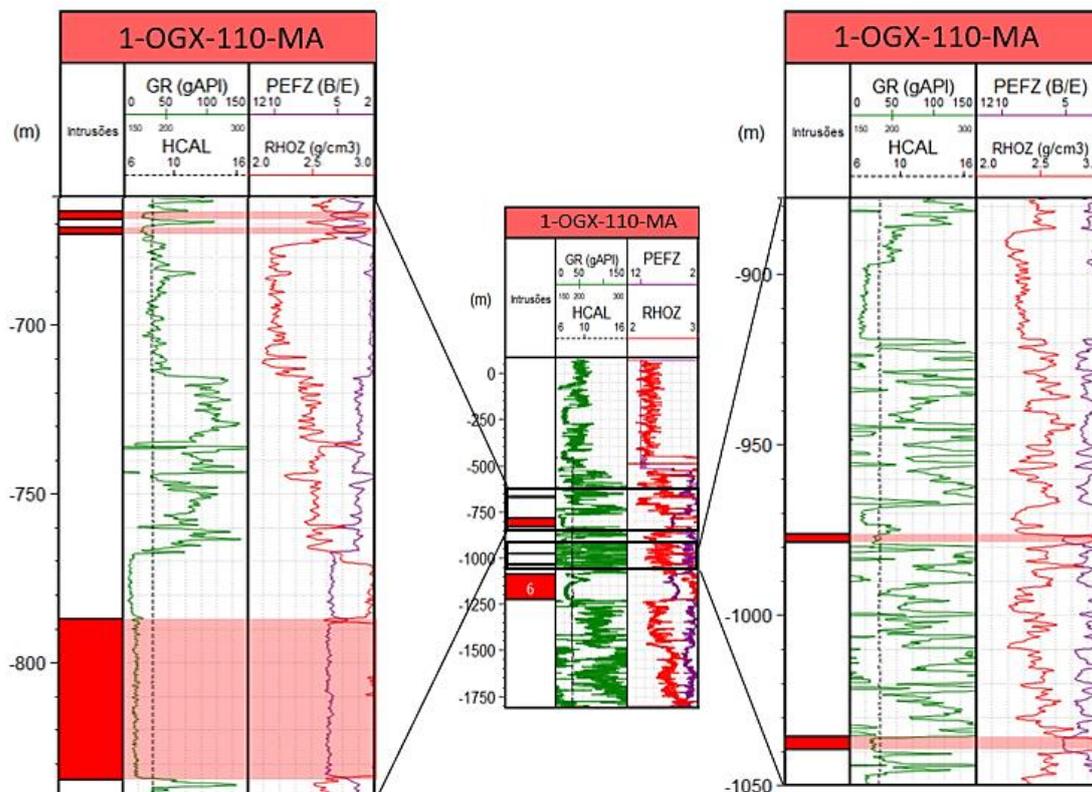


Figura 25: Comportamento dos perfis de GR, RHOZ e PEFZ nos corpos ígneos de feição "caixote" do poço 1-OGX-110-MA.

Tabela 3: Resumo dos corpos ígneos identificados nos poços 3-PGN-5-MA, 1-OGX-101-MA, 4-OGX-49-MA e 1-OGX-110-MA.

Corpos ígneos identificados				
Poço	Topo	Base	Espessura	Feição segundo Trosdtorf Jr. <i>et al.</i> , 2007
3-PGN-5-MA	-780.7	-806.6	25.9	Caixote
3-PGN-5-MA	-816.6	-836.4	19.8	Caixote
3-PGN-5-MA	-1125.5	-1128.6	3.0	Caixote
3-PGN-5-MA	-1135.6	-1292.7	157.1	Barriguda
1-OGX-101-MA	-1291.4	-1476.8	185.3	Barriguda
4-OGX-49-MA	-1343.7	-1520.3	176.6	Barriguda
1-OGX-110-MA	-666.3	-668.7	2.4	Caixote
1-OGX-110-MA	-671.1	-673.1	2.0	Caixote
1-OGX-110-MA	-787.0	-834.8	47.8	Caixote
1-OGX-110-MA	-976.2	-978.7	2.4	Caixote
1-OGX-110-MA	-1035.8	-1039.5	3.7	Caixote
1-OGX-110-MA	-1089.3	-1228.5	139.1	Barriguda

Com esses dados, foi possível observar uma relação entre a espessura das intrusões e as feições apresentadas no perfil de GR, sendo a feição “caixote” associada a corpos mais finos e a “barriguda” a corpos mais espessos (Figura 25). Além disso, foi percebido um padrão em que as intrusões mais profundas estão associadas à feição “barriguda”, enquanto as mais rasas correspondem à feição “caixote”.

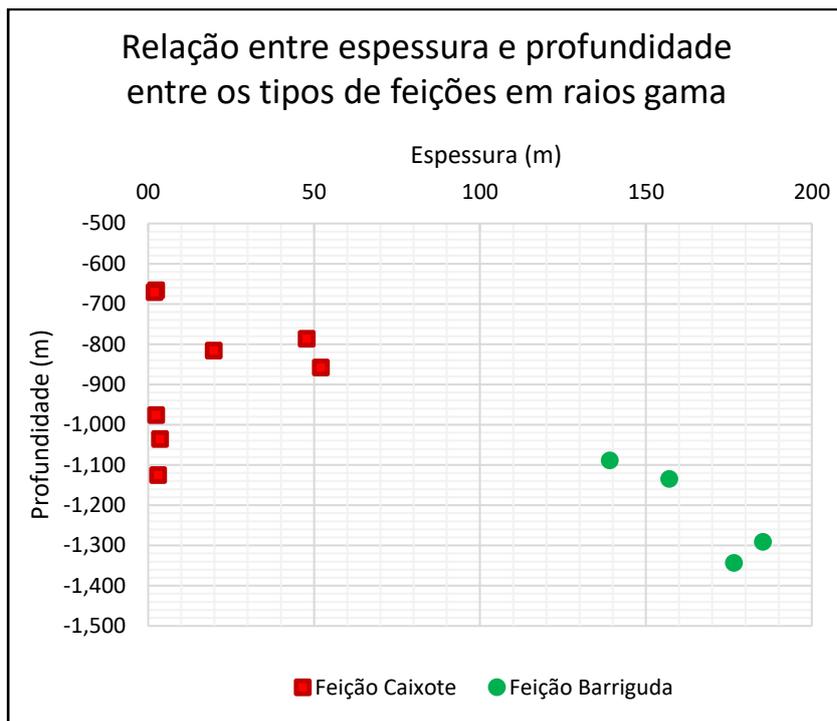


Figura 26: Gráfico que relaciona a espessura do corpo ígneo com a feição observada no perfil de Raio Gama nos poços 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 3-PGN-5-MA e 4-OGX-49-MA.

Os resultados estatísticos obtidos a partir dos perfis geofísicos dos poços estudados são apresentados na tabela 2, com os valores máximo, mínimo, média e mediana. Dessa forma, foi possível visualizar a diferença entre as feições “caixote” e “barriguda” e observar como as mesmas feições se comportam de forma semelhante em poços distintos.

Tabela 4: Resumo estatístico dos valores dos perfis geofísicos nos poços 3-PGN-5-MA, 1-OGX-101-MA, 4-OGX-49-MA e 1-OGX-110-MA.

3-PGN-5-MA

	Caixote				Barriguda			
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Espessura	16,26	19,82	3,05	25,91	157,12	157,12	157,12	157,12
Raio Gama	20,57	19,88	15,56	32,57	39,16	31,29	22,19	85,47
Densidade	3,02	3,03	2,63	3,09	2,94	2,95	2,55	3,09
Fator Fotoelétrico	5,53	5,53	3,32	7,25	5,35	5,25	2,43	6,97

1-OGX-101-MA

	Caixote				Barriguda			
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Espessura	-	-	-	-	185,32	185,32	185,32	185,32
Raio Gama	-	-	-	-	29,33	24,02	15,78	76,50
Densidade	-	-	-	-	2,96	2,97	2,73	3,09
Fator Fotoelétrico	-	-	-	-	5,22	5,01	4,49	7,18

4-OGX-49-MA

	Caixote				Barriguda			
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Espessura	-	-	-	-	176,63	176,63	176,63	176,63
Raio Gama	-	-	-	-	32,09	29,13	15,29	74,52
Densidade	-	-	-	-	2,92	2,92	2,03	3,10
Fator Fotoelétrico	-	-	-	-	5,23	5,06	2,24	7,16

1-OGX-110-MA

	Caixote				Barriguda			
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Espessura	11,67	2,44	1,98	47,85	139,14	139,14	139,14	139,14
Raio Gama	18,30	16,65	11,24	34,65	32,26	27,08	17,28	74,24
Densidade	3,00	3,03	2,53	3,10	2,95	2,96	2,76	3,06
Fator Fotoelétrico	5,39	5,51	2,55	5,89	5,18	5,08	3,97	6,88

A análise dos valores de GR dos quatro poços mostrou que as rochas ígneas com feição “caixote” apresentam baixos valores de raios gama, entre o mínimo de 11 gAPI e o máximo de 34 gAPI, com valores médios em torno de 19 gAPI. Por outro lado, os corpos com feição “barriguda” apresentam valores de GR um pouco mais elevados, entre 15 e 85 gAPI e média em torno de 32 gAPI.

As curvas de densidade apresentam valores médios altos, de 2,92 a 3,0 g/cm³. As feições “caixote” apresentam densidade relativamente mais elevada, quando comparada com às “barrigudas”.

Adicionalmente, foram confeccionados *crossplots* de GR x Densidade permitindo a identificação de 3 eletrofacies distintas nos corpos ígneos com feição “barriguda” dos poços 1-OGX-101-MA, 3-PGN-5-MA, 4-OGX-49-MA e 1-OGX-110-MA (Figuras 26, 27, 28 e 29). Para os quatro poços foram individualizadas duas seções com valores de GR de aproximadamente 15 a 40 gAPI e valores de RHOZ entre 2,85 e 3,05 g/cm³ (denominada zona padrão), outra com valores mais elevados de raios gama, de 40 a 85 gAPI (denominada zona da barriga) e, por fim, outra com maior densidade, em torno de 2,97 a 3,11 g/cm³ (denominada zona de alta densidade)

O comportamento dos perfis e o padrão característico dos *crossplots* evidencia a semelhança entre os quatro poços estudados, sendo possível observar que, no terço superior de todas as intrusões, onde ocorre o intervalo da “barriga”, os valores de GR aumentam e os de RHOZ diminuem. Logo abaixo, nas zonas de “alta densidade” os valores da curva de RHOZ se apresentam mais elevados, apesar dos valores semelhantes de GR. No restante do poço, os valores dos perfis se mantêm praticamente constantes, com GR médio de 35 gAPI e densidade média de 2,94 g/cm³. Valores defasados de RHOZ, abaixo de 2,5g/cm³, como encontrados nos intervalos 1460/1465 m, 1518/520 m e na profundidade de 1546 m do poço 4-OGX-49-MA, estão associados a zonas de fraturas e/ou arrombamento, confirmado pelo perfil Caliper (Figura 30).

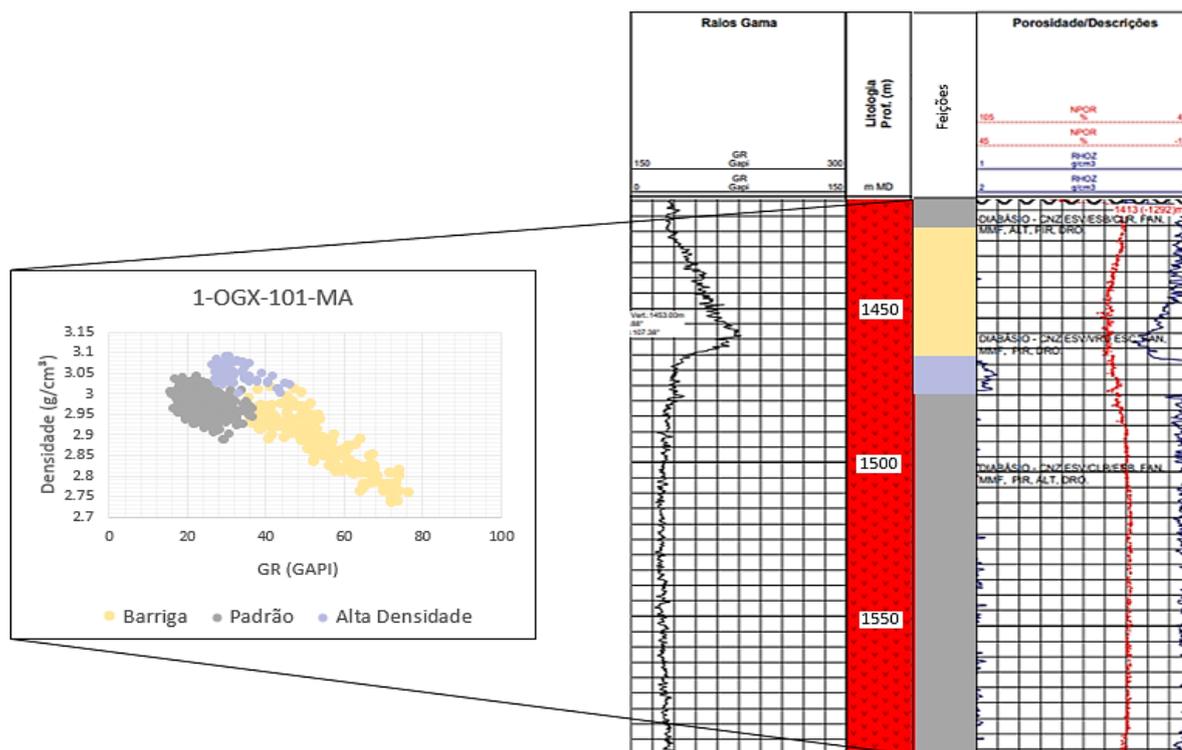


Figura 27: Crossplot das eletrofácies identificadas no poço 1-OGX-101-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.

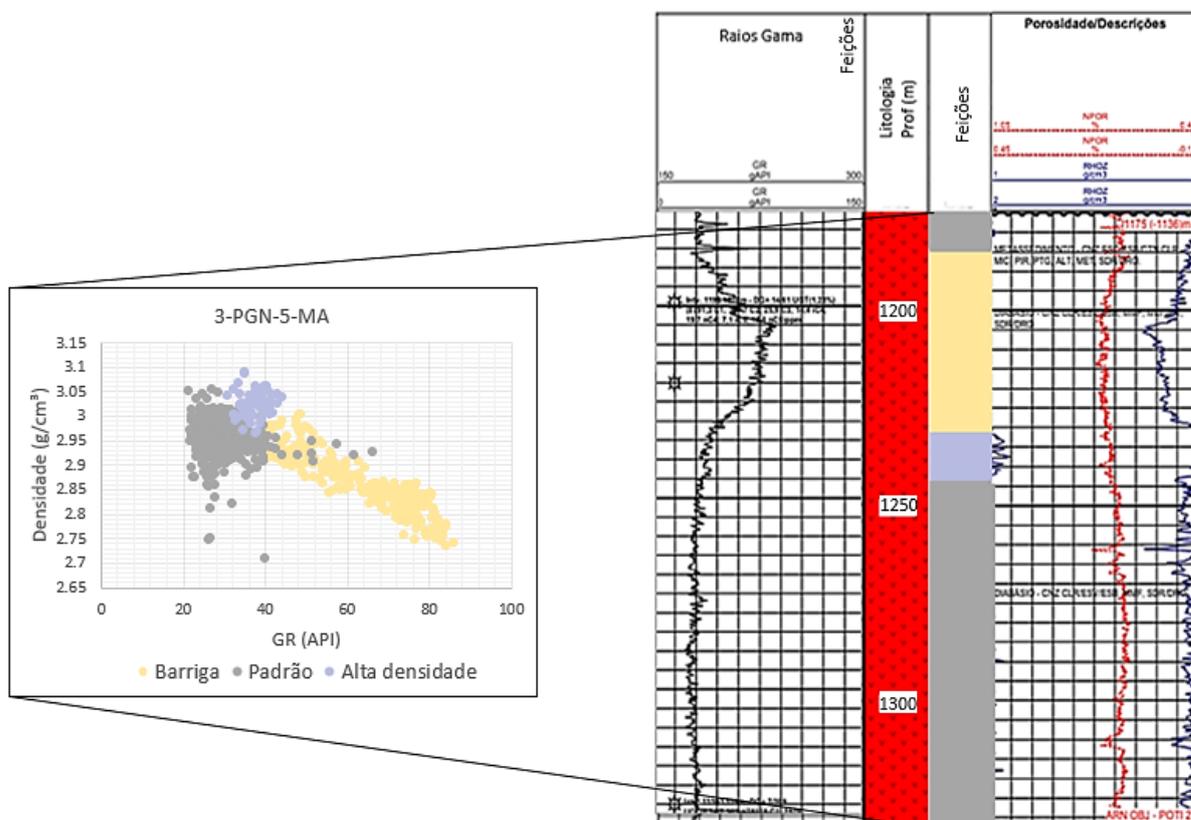


Figura 28: Crossplot das eletrofácies identificadas no poço 3-PGN-5-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.

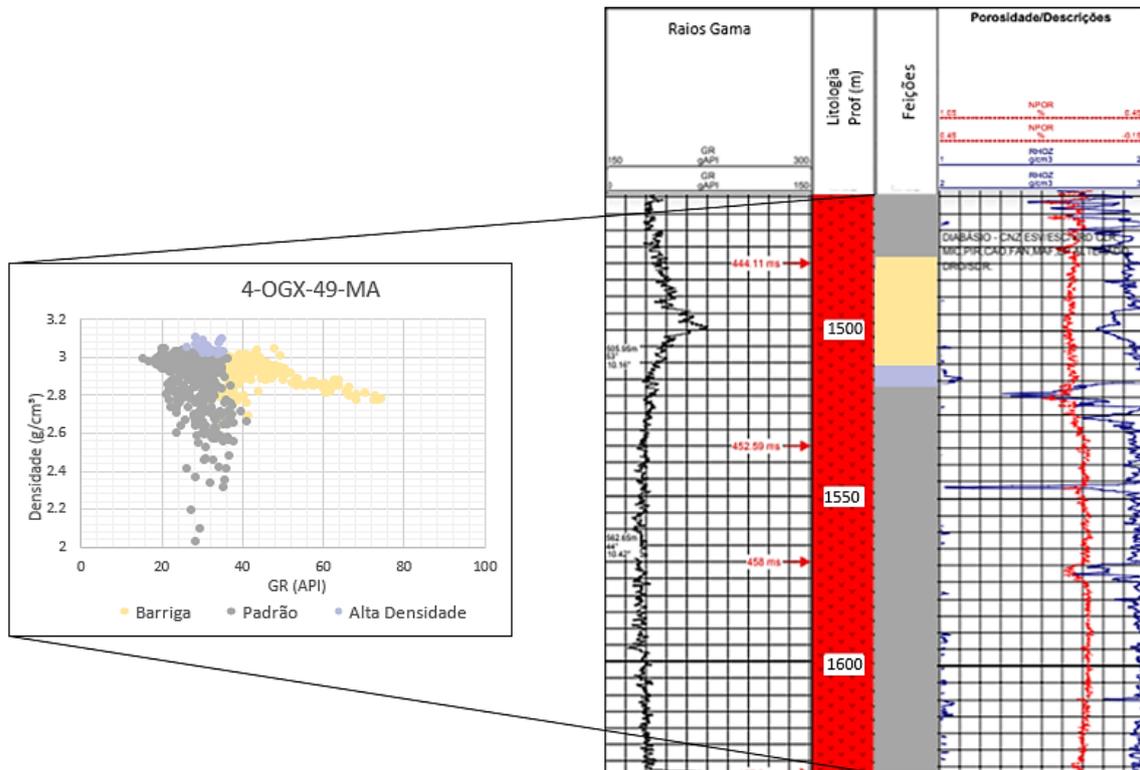


Figura 29: Crossplot das eletrofácies identificadas no poço 4-OGX-49-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.

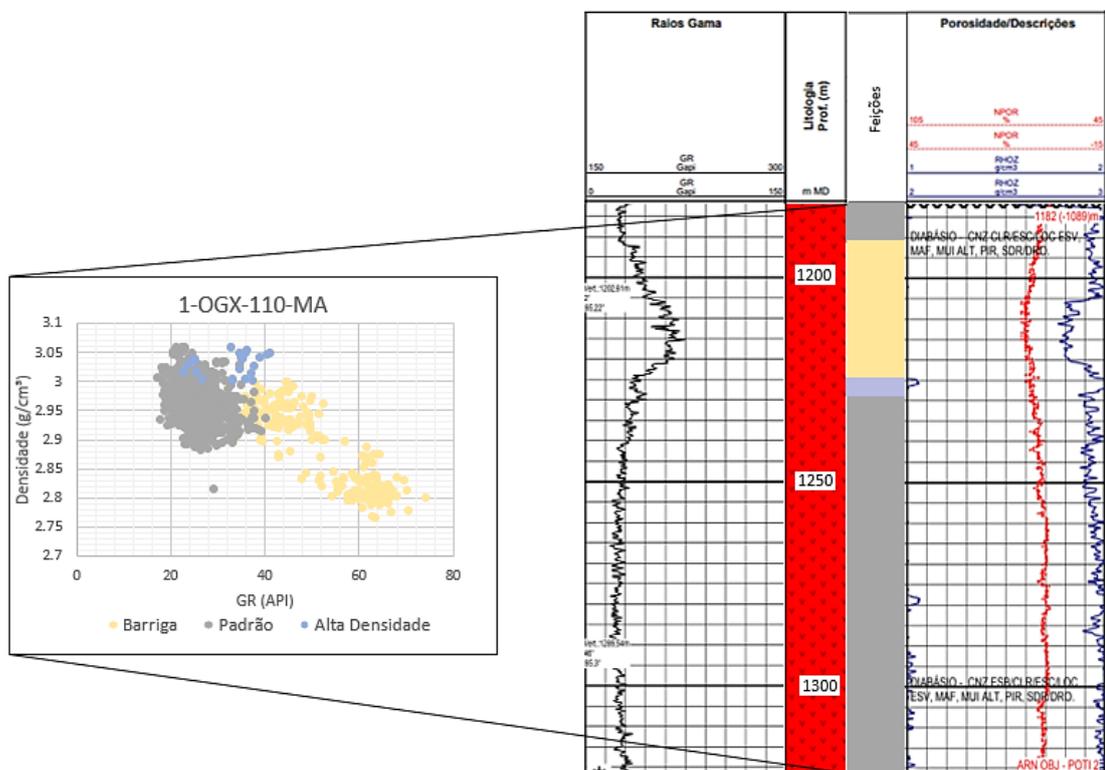


Figura 30: Crossplot das eletrofácies identificadas no poço 1-OGX-110-MA. Os perfis de Raios Gama e Densidade e o perfil litológico foram retirados do Perfil Composto.

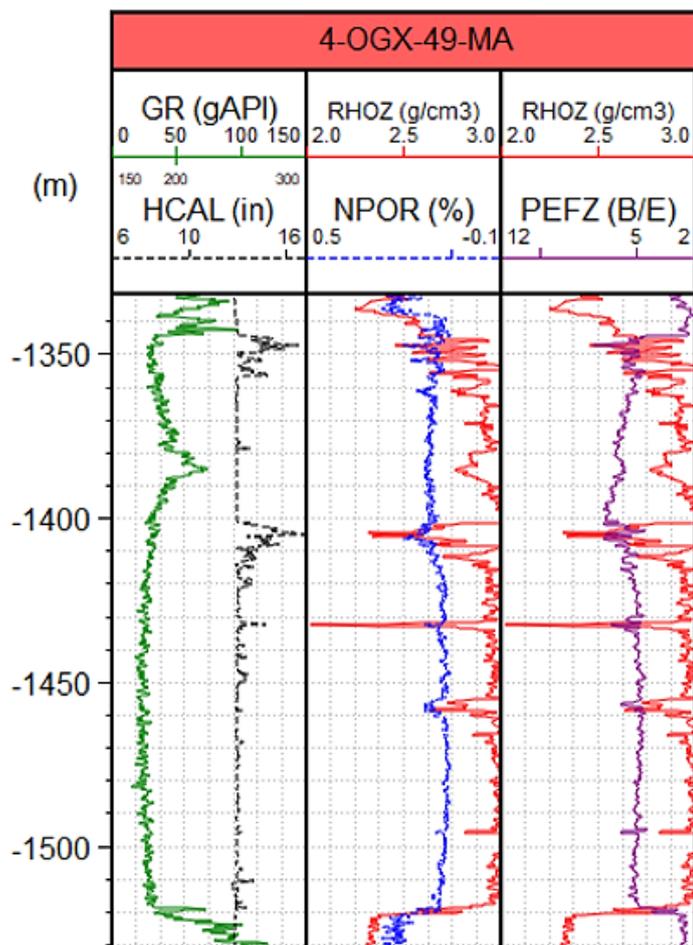


Figura 31: Perfis geofísicos do poço 4-OGX-49-MA, mostrando que os valores de RHOZ abaixo de 2,5 g/cm³ estão associados a zonas arrombamento/fratura, marcados pelo aumento dos valores no Perfil Caliper.

5.2 Descrição de amostra de calha

Foram descritas as amostras de calha dos poços 1-OGX-101-MA e 4-OGX-49-MA nos intervalos referentes às soleiras de diabásio de feição “barriguda”, com o objetivo de identificar suas características e variações mineralógicas. As figuras 31 e 32 mostram uma sequência de fotos de intervalos específicos de cada poço, sendo selecionadas amostras representativas do topo, da zona de maior GR, de maior RHOZ e da base da soleira.

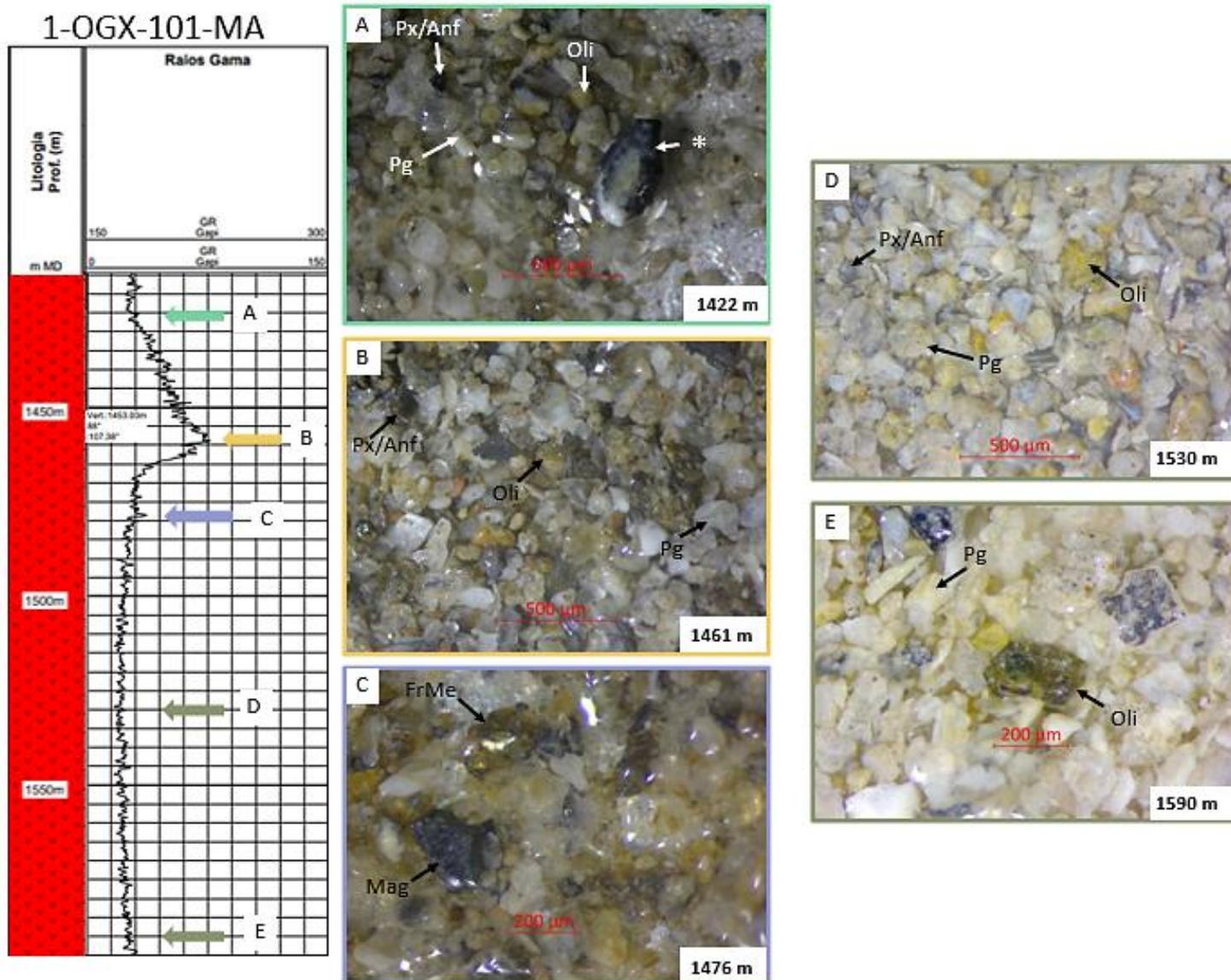
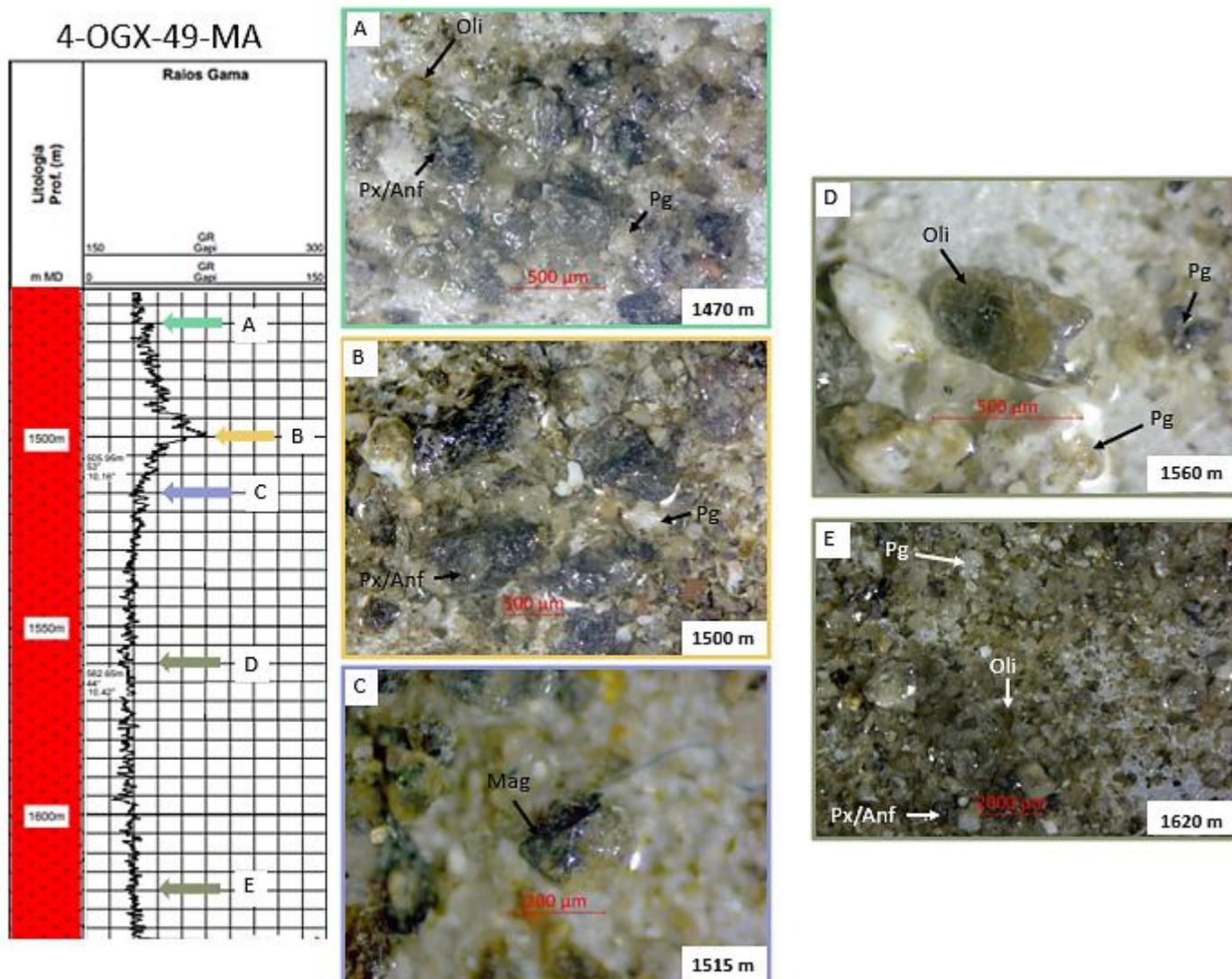


Figura 32: Fotos das amostras de calha correspondentes à soleira de diabásio do poço 1-OGX-101-MA e suas respectivas profundidades. (A) Topo da soleira, rica em plagioclásio e piroxênio/anfibólio, com alguma ocorrência de olivina; (B) Zona da “barriga”, com mineralogia semelhante ao topo; (C) Zona de alta densidade com presença de óxidos; (D) Zona com mineralogia básica e rica em olivina; (E) Porção basal da soleira, rica em plagioclásio e olivina. Legenda: Px/Anf: Piroxênio/Anfibólio; Pg: Plagioclásio; Oli: Olivina; FrMe: Fragmento metálico; Mag: magnetita.



Na parte superior, estendendo-se para toda a soleira dos poços 1-OGX-101-MA e 4-OGX-49-MA, foram observados cristais caracterizados por grãos subédricos e brilho vítreo, separados em máficos (coloração escura) e félsicos (claros), interpretados como piroxênio/anfibólio e plagioclásio, respectivamente. Nessa zona, pontualmente, também foram encontrados cristais tabulares, quando não quebrados, subédricos e esverdeados, algumas vezes desagregados e outras acoplados aos fragmentos máficos, interpretados como olivina (Figura 31A e 32A). Os fragmentos de coloração hialina identificados em muitas calhas ao longo da soleira também foram interpretados como plagioclásio, visto que foi possível

identificar características típicas desse mineral, como cristais tabulares e clivagem. Nessa região da soleira, as calhas do poço 1-OGX-101-MA são compostas aproximadamente de 60% a 70% de plagioclásio e 30% a 40% de piroxênio/anfibólio.

Na zona da “barriga” dos poços 1-OGX-101-MA e 4-OGX-49-MA não foram constatadas grandes variações mineralógicas, sendo observados fragmentos com as mesmas características do topo da soleira (Figuras 31B e 32B).

Na região abaixo da “barriga”, onde ocorre aumento da densidade, além da mineralogia básica de plagioclásio e piroxênio/anfibólio foram encontrados diversos óxidos, em sua maioria pequenos, da ordem de 100-200 μm . Esses fragmentos, encontrados em ambos os poços, apresentam brilho vítreo e predominantemente forma cristalina, com raros cristais subédricos, aparentemente octaédricos interpretados como magnetita (Figuras 31C e 32C).

Na metade inferior da soleira dos poços, adicionalmente aos plagioclásios e piroxênios/anfibólitos foi observado um aumento gradual de cristais de coloração verde a verde amarelado, também interpretados como olivina, chegando a representar cerca de 30% dos fragmentos nas calhas. Esses minerais podem ser vistos em abundância nos intervalos 1524/1593 m do poço 1-OGX-101-MA e 1599/1626m do 4-OGX-49-MA.

Dessa forma, as descrições de ambos os poços permitiram a identificação das mesmas variações mineralógicas ao longo das soleiras de feição “barriguda”, determinadas por 3 intervalos específicos, de acordo com suas características majoritárias: topo da soleira até a zona da “barriga”, rica em plagioclásio, piroxênio/anfibólio e com presença de cristais pontuais de olivina; porção abaixo da “barriga”, com características semelhantes e presença adicional de óxidos, onde são observados os altos valores de densidade; e região abaixo da zona de alta densidade até a parte basal da soleira, com abundância de olivina.

Adicionalmente, comparando as características dos dois poços descritos, foi possível observar diferenças na composição, coesão e tamanho dos grãos de diabásio. No poço 1-OGX-101-MA predominam minerais félsicos, de coesão mole, e cristais mais finos, com tamanho médio da ordem de 100 μm . Já no poço 4-OGX-49-MA foram identificados minerais máficos em maior concentração, duros e com cristais de aproximadamente 400 μm . As características referentes ao tamanho dos

grãos estão associadas ao tamanho no qual os cristais foram moídos, podendo, assim, ser indicativo da geologia ou apenas ocasionado pela broca durante a perfuração.

No intervalo 1488/1503 m do poço 1-OGX-101-MA foi observada uma grande quantidade de calcita euédrica, referente ao tampão de combate à perda de circulação, durante a perfuração, chegando a atingir 50% dos fragmentos totais da calha na profundidade 1491 m (Figura 33).

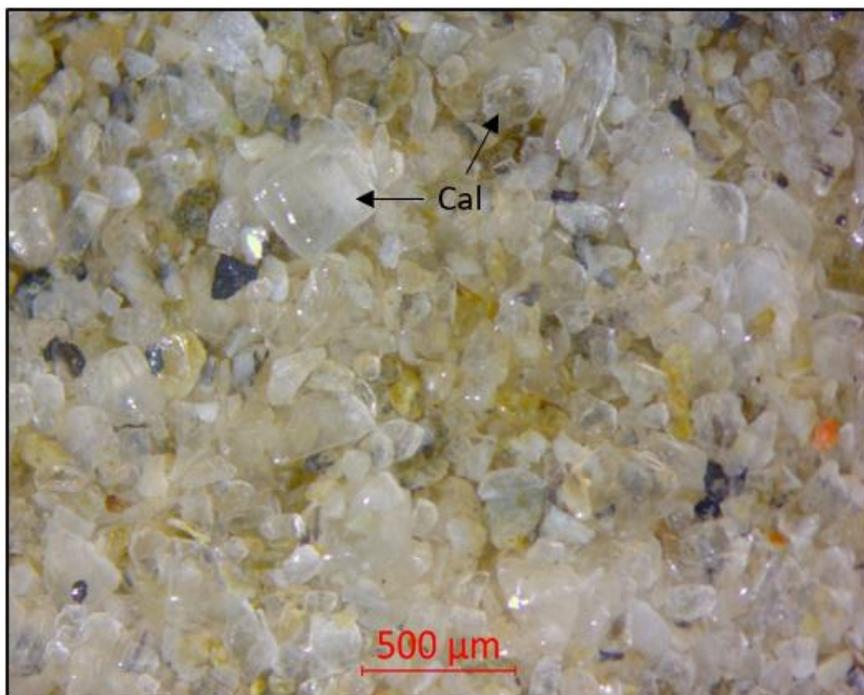


Figura 34: Calcita de tampão de combate à perda de circulação encontrada na amostra de calha do poço 1-OGX-101-MA, profundidade 1491 m. Legenda: Cal: Calcita.

Por fim, em muitas calhas ao longo das soleiras foram encontrados fragmentos metálicos, de coloração dourada, oriundos da perfuração dos poços, possivelmente associados aos fragmentos de broca, de tubos do revestimento e/ou de tubos de perfuração (Figura 34).

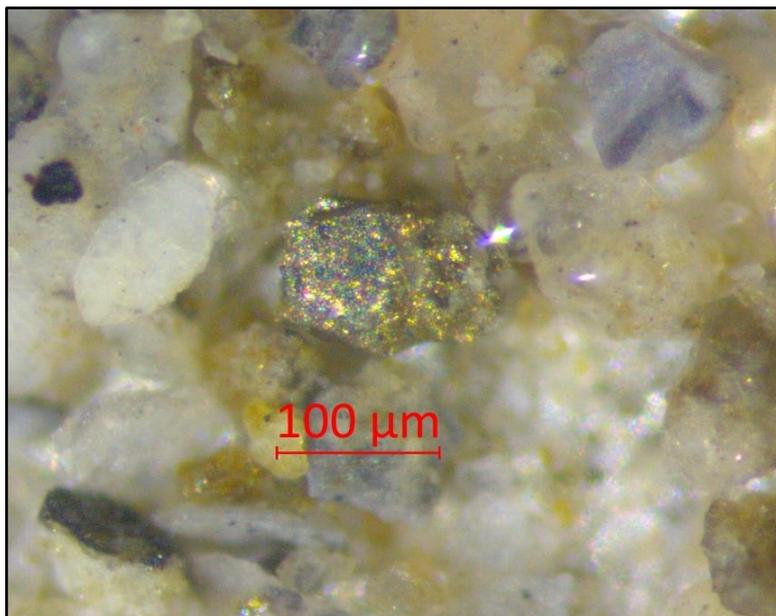


Figura 35: Foto de fragmento metálico oriundo da perfuração do poço encontrada na amostra de calha do poço 1-OGX-101-MA, profundidade 1476 m.

5.3 Fluorescência de Raios-X (XRF)

Outra interpretação a respeito das soleiras de diabásio foi embasada no comportamento geoquímico, obtido através das análises de XRF, nas amostras de calha dos poços 1-OGX-101-MA, 3-PGN-5-MA e 4-OGX-49-MA. Foram plotadas as curvas dos elementos químicos mais significativos encontrados nos diabásios e nos minerais observados em calha. Assim, foi possível separar os corpos ígneos com feição “barriguda” em quatro quimiofacies distintas, demarcadas pelas cores verde, amarelo, roxo e cinza, igualmente identificadas nos três poços analisados (Figuras 35, 36 e 37).

Cinza: Rica em Magnésio (Mg), provavelmente associada ao aumento de olivina magnesiana na base das soleiras, conforme preconizado na Série de Bowen, no qual os minerais que possuem maior ponto de fusão são cristalizados em um primeiro momento, submergindo no restante do magma que ainda está no estado pastoso. O aumento dos valores de Cromo (Cr) e Níquel (Ni) nessa mesma porção ocorre, possivelmente, devido à ocorrência de variedades magnesianas, enriquecidas pelos íons divalentes Cr^{2+} e Ni^{2+} em substituição ao Mg^{2+} nas olivinas. Os altos valores de Cálcio (Ca) indicam um provável incremento de plagioclásio cálcico, corroborado pelo aumento dos valores de Alumínio (Al). Em contrapartida,

Marsh (2015) sugere que o aumento desses elementos em soleiras de diabásio pode estar relacionado à presença de ortopiroxênio ou olivina, esta última observada em calha. Sendo essa diferenciação magmática possível de acontecer nas soleiras em duas situações: a primeira seria quando a soleira, durante o seu início de cristalização, recebe um novo aporte magmático, e a segunda seria no caso deste magma já se alocar com presença de fenocristais (Marsh, 2015).

Roxa: Essa região, marcada por altos valores de RHOZ, é caracterizada por uma maior concentração de Ferro (Fe) e Titânio (Ti), sugerindo a ocorrência de óxidos ricos nesses elementos, como por exemplo, magnetita (vista em calha) e ilmenita.

Amarela: Na “barriga”, onde aumenta o GR e diminui a densidade, é observada uma zona de cristalização dos elementos incompatíveis, marcada pelo aumento dos valores de Potássio (K), Rubídio (Rb), Fósforo (P), Ítrio (Y) e Zircônio (Zr). Segundo Sial & McReath (1984), K e Rb sugerem a presença de anti-perfitas nos plagioclásios mais sódicos, enquanto o P indica ocorrência de apatitas. Quando associado ao aumento de Y podem denotar a existência de xenotímio. O Zr está ligado à presença de Zircão, sugerindo, junto com o aumento dos valores de Silício (Si), uma zona de diferenciação magmática, provavelmente cristalizados em uma fase final de resfriamento. A menor concentração de Mg e Ca estão possivelmente ligados à presença de plagioclásios mais sódicos em detrimento aos plagioclásios mais cálcicos e aos minerais máficos, ambos vistos em maior concentração nas outras regiões da soleira.

Verde: No topo da soleira, os valores moderados de todos os elementos indicam uma zona sem muita variação mineralógica, associada aos plagioclásios e piroxênios/anfibólios.

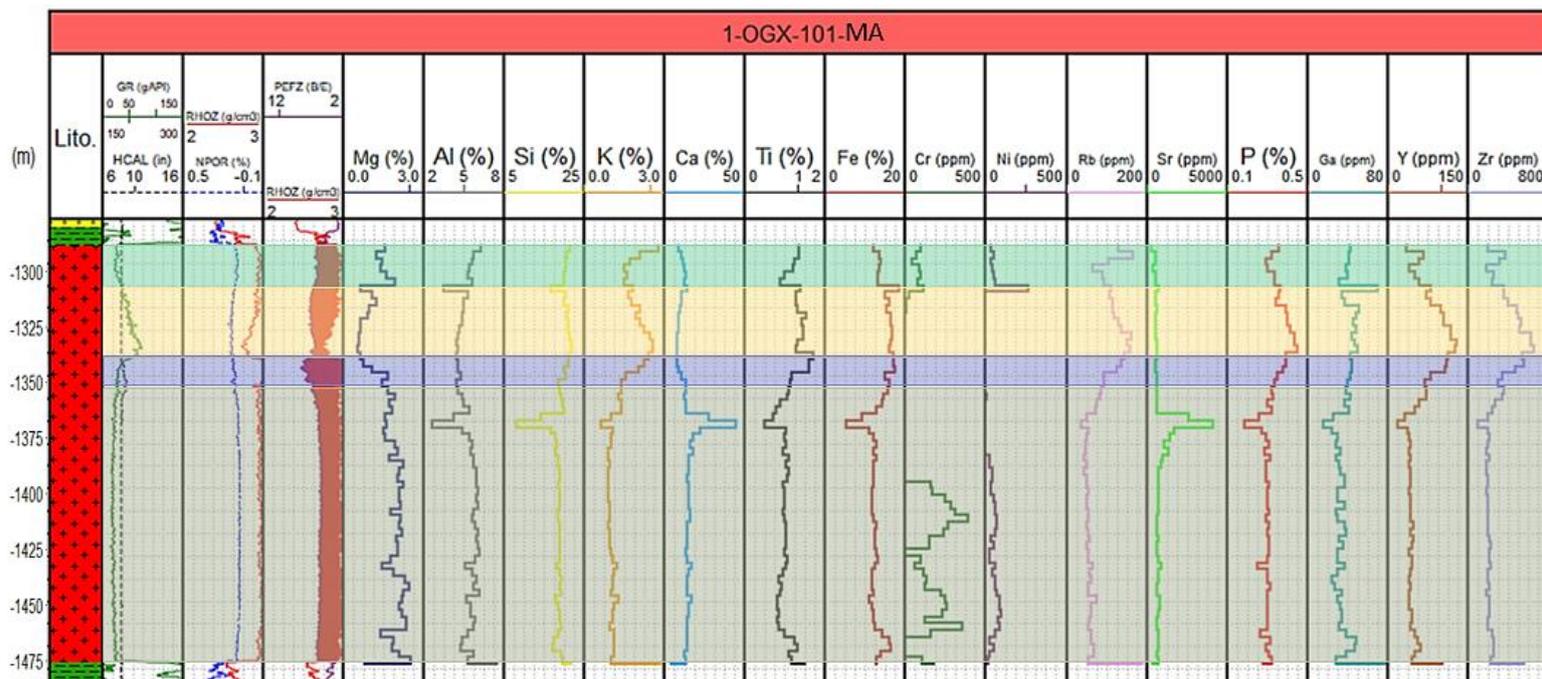


Figura 36: Divisão das quimiofacies com base no comportamento dos elementos químicos ao longo da soleira de diabásio no poço 1-OGX-101-MA. Em verde, a zona com poucas variações químicas, rica em plagioclásio e piroxênio; em amarelo, a zona de cristalização dos elementos incompatíveis; em azul, a região contendo óxidos; e, em cinza, a zona basal, rica em olivina.

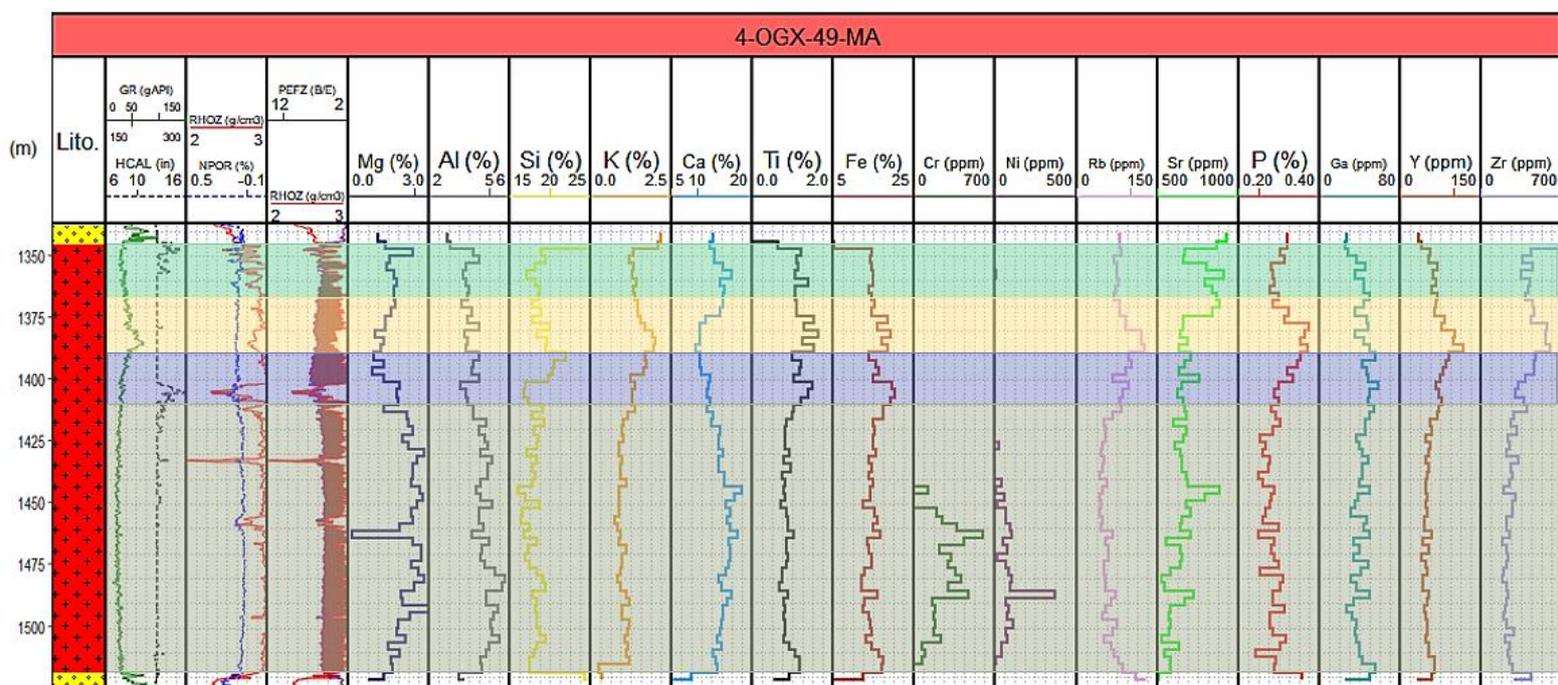


Figura 37: Divisão das quimiofacies com base no comportamento dos elementos químicos ao longo da soleira de diabásio no poço 4-OGX-49-MA. Em verde, a zona com poucas variações químicas, rica em plagioclásio e piroxênio; em amarelo, a zona de cristalização dos elementos incompatíveis; em azul, a região contendo óxidos; e, em cinza, a zona basal, rica em olivina.

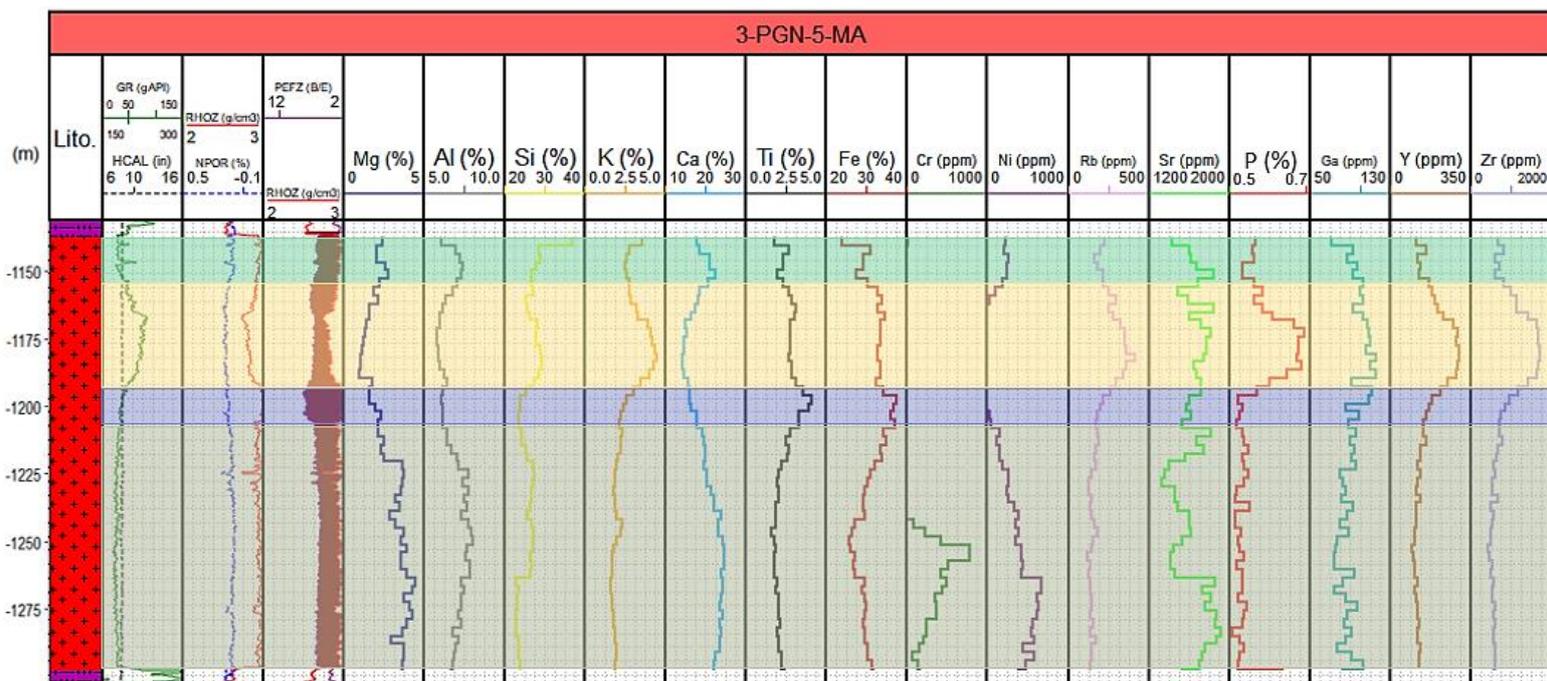


Figura 38: Divisão das quimiofacies com base no comportamento dos elementos químicos ao longo da soleira de diabásio no poço 3-PGN-5-MA. Em verde, a zona com poucas variações químicas, rica em plagioclásio e piroxênio; em amarelo, a zona de cristalização dos elementos incompatíveis; em azul, a região contendo óxidos; e, em cinza, a zona basal, rica em olivina.

Apesar da semelhança no comportamento das curvas nos três poços, são observadas no 3-PGN-5-MA concentrações normalmente mais altas de diversos elementos, principalmente de Fe e Ti. Isso ocorre, possivelmente, devido à diferença de metodologia aplicada no preparo das amostras desse poço, que não foram submetidas à ação do ímã de neodímio, como feito nos poços 1-OGX-101-MA e 4-OGX-49-MA. Dessa forma, no 3-PGN-5-MA é possível identificar os óxidos da região de alta densidade de forma mais notória, mas como consequência, os dados dos elementos metálicos, como Fe, Ti, Cr e Ni podem não ser totalmente representativos da mineralogia do poço, tendo seus valores afetados também pelo material metálico proveniente de perfuração.

6 CONCLUSÃO

Dados de medições geoquímicas atrelados aos perfis geofísicos e à descrição de amostras de calha dos poços 1-OGX-101-MA, 1-OGX-110-MA, 3-PGN-5-MA e 4-OGX-49-MA, perfurados no Parque dos Gaviões, Bacia do Parnaíba, permitiram a identificação das intrusões ígneas e a caracterização das mesmas, baseado nas diferenças composicionais ao longo das soleiras de diabásio mais espessas, classificando-as em eletrofacies e quimiofacies correlacionáveis.

Foi possível analisar que os perfis geofísicos de Raios Gama e Densidade apresentam variações ao longo das soleiras de diabásio estudadas, classificadas com base nessas características em feição “barriguda” e “caixote”. Com isso, foi observado que o comportamento dessas curvas é a resposta à uma variação mineralógica e composicional ao longo das intrusões, provavelmente relacionada à série de cristalização de Bowen. Foram identificadas quatro quimiofacies, que determinaram uma maior concentração de minerais magnesianos na base e de minerais mais félsicos no topo, evidenciando uma provável ordem de cristalização, conforme proposto na Série de Bowen. Essas quimiofacies evidenciam o caráter intrusivo dessas rochas, no qual ocorreu um resfriamento lento e gradual.

Dessa forma, a feição “caixote”, marcada por valores constantes nos perfis de GR e RHOZ, se apresenta quando não há evidência de diferenciação magmática. Já na zona “barriguda”, determinada por valores maiores de GR e menores de RHOZ, apresentam acúmulo de elementos incompatíveis, K, P, Rb, Y e Zr, caracterizando uma zona de diferenciação magmática.

Para todas os poços com feições “barrigudas” analisadas, os dados geoquímicos apontam aumento de olivina na base das soleiras culminando em um aumento de Mg, Cr e Ni, e presença de óxidos na porção de alta densidade abaixo da “barriga”, marcada por um aumento de Fe e Ti. Além disso, dados dos perfis geofísicos de GR e RHOZ se mostraram eficazes para separar as soleiras de feição “barriguda” em diferentes eletrofacies, caracterizadas por três zonas com propriedades físicas distintas.

Este trabalho expõe uma metodologia que permitiu a obtenção, a interpretação e a integração de diversos dados, contribuindo para o melhor entendimento das heterogeneidades associadas às características físicas e geoquímicas ao longo das soleiras de diabásio de feição “barriguda”. Dessa forma,

recomenda-se utilizar essa metodologia e as variações observadas ao longo dessas soleiras, em outros poços da bacia e em outras regiões de domínio semelhante, para compreender o princípio por trás das variações semelhantes ao longo das mais diversas intrusões ígneas e favorecer à correlação entre poços.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G. A. **Revisão geológica da bacia paleozoica do Maranhão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. v. 3, p.113-122.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. **Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p.44-58.

ARAÚJO, D. B. **Sumário Geológico e Setores em Oferta: Bacia do Parnaíba**. Superintendência de Definição de Blocos, 13ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás, da ANP, Rio de Janeiro, 2015.

ARCE, J. L. CRUZ-FUENTES, D. M., RAMÍREZ-LUNA, A., HERRERA-HUERTA, I. A., & GIRÓN-GARCÍA, P. **Pómez Bosque de Tlalpan, producto de una erupción de gran magnitud en el margen suroeste de la Cuenca de México**. Revista, 2017.

BALTAR, C. A. M. SAMPAIO, J. A., ANDRADE, M. C. **Minerais de Titânio, Rochas e Minerais Industriais**. CETEM, p. 655-676, 2005.

BRITANNICA, T. **Editors of Encyclopaedia. Magma. Encyclopedia Britannica**, 2017.

CALONIO, L. W. **Influência de pirita e argilominerais nos cálculos de saturação da Fm. Poti, Bacia do Parnaíba: um estudo de caso no poço 3-PGN-5-MA**. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 2020.

CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil**. University of California, Tese de Doutorado, Santa Barbara, USA, 1984

CAPUTO, M. V.; Lima, E. C. **Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1984.

CAXITO, F., DIAS, T. G. **Cromo**. Recursos Minerários de Minas Gerais - RMMG -, Belo Horizonte, 2018.

CHAMANI, M. A. C., RICCOMINI, C. **Tectônica sinsedimentar no Siluro-Devoniano da Bacia do Parnaíba, Brasil: o papel de grandes estruturas do embasamento na origem e evolução de bacias intracratônicas.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A. Campos D.A. (eds.). **Tectonic Evolution of South America.** Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, 855 p., 2000.

CRAVEIRO, K. D. E. S. Well Logging Analysis – **Análise de diagrfias em poços na Bacia do Rio Grande do Norte.** Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Geológica e de Minas, Técnico Lisboa, 2013.

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

DALY, M. C., FUCK, R. A., JULIÀ, J., MACDONALD, D. I. M. & WATTS A. B. **Cratonic basin formation: a case study of the Parnaiba Basin, Brasil.** Geological Society, London, Special Publications, 2018.

DELLA FÁVERA, J. C. **Tempestitos da Bacia do Parnaíba.** Tese Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

FERNANDES, R.F. **Estudo da evolução termomecânica da Bacia do Parnaíba.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

FERRAZ, N. C., **Análise estratigráfica da sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil.** Dissertação de Mestrado UFRN-Natal, 2015.

FIGUEIREDO, A. M. F., RAJA GABAGLIA, G. P. **Sistema Classificatório aplicado às bacias sedimentares brasileiras,** 1986.

GARDIOLI, H. F. G., CATRO-JUNIOR, J. D., GOMES, T. G., CARLETTI, E. Z. B., **Integração De Dados “Geológicos, Geoquímicos E Geofísicos” Utilizada Na**

Prospecção De Hidrocarbonetos. Rev. AMBIENTE ACADÊMICO - ISSN 2447-7273, vol.1, nº 2, 2015.

GILL, R., **Igneous rocks and processes – A practical guide.** Department of Earth Sciences Royal Holloway University of London, 2010.

GÓES, A. M. **A Formação Poti (carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GÓES, A. M. O.; COIMBRA, A. M. **Bacias sedimentares da província sedimentar do meio-norte do Brasil,** 1996.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. **Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro,** v. 8, n. 1, 1994.

GONÇALVES, L. B., **Sistema inteligente de classificação de imagens de rochas macroscópicas para a indústria de petróleo e gás.** Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2010.

GOULART, J. P. M., **Caracterização de chaminés de gás nas bacias do Parnaíba, Paraná e Tacutu: uma nova ferramenta exploratória,** 2019.

HASUI, Y. & HARALYI, N. L. E. **Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba.** Geociências, 10, p.57-77, 1991.

INANC, F. et al. **Characterization of LWD Nuclear Tools for CsK Format and Drilling Fluid Environments,** 2011.

JOHNSON, C., AFFOLTER, M. D., INKENBRANDT, P., MOSHER, C., **An Introduction to Geology.** Salt Lake Community College, 2017.

JÚNIOR, A. P. C., SOUZA, J. R.; OLIVEIRA, M. H. R., MARTINS, R. A. **Descrição de amostras de calha do poço 7-clb-1-rn perfurado pela empresa partex brasil no campo colibri, bacia potiguar/RN.** Anais III CONEPETRO... Campina Grande: Realize Editora, 2018.

Kegel. **Lineament-tektonik in nordwest-brasilien. Geologische undschau.** 54(2): 1235-1260, 1965.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: integração geológico – metalogenética.** Relatório final da etapa III. Recife: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1978.

MARINI, O. J., FUCK, R. A., DARDENNE, M. A., DANNI, J. C. M. **Província Tocantins: setores central e sudeste.** In: ALMEIDA, F. F. M. & HASSUI, Y. coord. o pré-cambriano do Brasil, São Paulo, p. 205-264, 1984.

MARSH, B. D., **The encyclopedia of Volcanoes.** Department of Earth & Planetary Sciences, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA, p. 185-201, 2015.

MARZOLLI, A., RENNE, P.R., PICIRILLO, E.M., ERNESTO, M., BELLINI, G., Min, A. **Extensive 200-Million-year-old continental flood basalts of the Central Atlantic Magmatic Province,** 1999.

MENDES, M.S. **Análise estratigráfica do intervalo formacional Grajaú–Codó (Aptiano) da bacia do Parnaíba, NE do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MERLE, R. *et al.* **40Ar/39Ar ages and Sr–Nd–Pb–Os geochemistry of CAMP tholeiites from Western Maranhão basin (NE Brazil),** 2011.

MIALL, A. D. **Principles of Sedimentary Basin Analysis.** New York Inc., Springer-Verlag, 1984.

MILANI, E.; BRANDÃO, J.; ZALÁN, P.; GAMBOA, L. **Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas.** Brazilian Journal of Geophysics, SciELO Brasil, 2000.

MIRANDA, F.S., VETTORAZZI, A.L. *et al.*, **Atypical igneous-sedimentary Petroleum systems of the Parnaíba Basin, Brazil: seismic, well logs and cores.** In: Daly M.C., Fuck R.A., Julià J., Macdonald D.I.M. & Watts A.B. (eds) Cratonic

Basin Formation: A Case Study of the Parnaíba Basin of Brazil. Geological Society, London, Special Publications, 472, 2018

NASCIMENTO FILHO, V. F., **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia (ed-xrf) e por reflexão total (TXRF)**. Departamento de Ciências Exatas/ESALQ Lab. de Instrumentação Nuclear/CENA, 1999.

NASCIMENTO, R., MACHADO, J., **Matéria cristalina: minerais, cristais e sistemas cristalinos**. Belém, PA, 2018.

NERY, G. G., **Perfilagem Geofísica em Poço Aberto, Fundamentos básicos com ênfase em petróleo**. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

NOBRE, J. A., **Interpretação paleodeposicional das formações Poti e Cabeças com base em dados gamaespectrais, obtidos em amostras de calha de poços da área do Parque dos Gaviões, Bacia do Parnaíba**. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 2019.

OLIVEIRA, A. L., PIMENTEL, M. M., REINHARDT A. F. & DIÓGENES C. O., **Petrology of Jurassic and Cretaceous basaltic formations from the Parnaíba Basin, NE Brazil: correlations and associations with large igneous provinces**. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

OLIVEIRA, D.C. & MOHRIAK, W. U. **Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil**. Marine and Petroleum Geology, p. 351-383, 2003.

OLIVEIRA, F. V. C. S. R. S, GOMES, R. T. M, SILVA, K. M. S. **Identificação de basaltos e diabásios em poços exploratórios de petróleo utilizando perfis de Densidade e Fator Fotoelétrico**. 49º Congresso Brasileiro De Geologia - Petrobrás, Rio De Janeiro, RJ, 2018.

OYEDOTUN, T. D. T., **X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview**. Geology, Ecology and Landscapes, vol. 2, p.148-154, 2018.

PARREIRA, P. S., **Metodologia De EDXRF e Aplicações Com Um Sistema Portátil**. Universidade Estadual de Londrina, CCE, Departamento de Física, Londrina, Brasil, 2006.

PEREIRA, R. M., **Interpretação paleodeposicional da Formação Cabeças a partir de dados gamaespectrais de poços da área do Parque dos Gaviões, Bacia do Parnaíba**. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 2020.

PRAXEDES, I.F. **Lineamento Transbrasiliano, Contribuição Aerogeofísica, Tectônica e Geocronológica no Setor Nordeste da Faixa Brasília**. Dissertação de Mestrado N338 UNB-Brasília, 2015.

RODRIGUES, R. **A Geoquímica Orgânica da Bacia do Parnaíba**. Tese de Doutorado em Geociências - Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

ROSA, H. **Estudo de Caracterização de Eletrofacies por meio de Perfis Geofísicos de Poços e de Amostras de Testemunhos Utilizando Estatística Multivariada**. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas – SP, 2006.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; SANTOS JUNIOR, A. E. **Clima do cretáceo no meio-norte brasileiro**. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, 2001.

SANTOS M.E.C.M. & CARVALHO M.S.S. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Reconstituições Paleobiológicas. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2009.

SANTOS, S. E., GAMA, E. M., FRANÇA, R. S., SOUZA, A. S., MATOS, R. P., **Espectrometria de fluorescência de raios-X na determinação de espécies**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 3413-3432, 2013.

SIAL, A. N., MCREATH, I. **Petrologia Ígnea – Os Fundamentos e as Ferramentas de Estudo**, Salvador, Bahia, 1984.

SOUZA, J. L., **Anomalias Aerogamaespectrométricas (K, U e Th) Da Quadrícula De Araras (Sp) e Suas Relações com Processos Pedogenéticos e Fertilizantes**

Fosfatados. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 1998.

TAVARES, M. M., DANTAS, P. R. S., SILVA, H. S., MORAIS, W. A. **Análise comparativa entre dois métodos de obtenção de sílica e alumina em minério de ferro.** abm week, 45º Redução, 16º Minério de Ferro, 3º Aglomeração, 2015.

THOMAZ FILHO, A., MIZUSAKI, A. M. P., ANTONIOLI, L. **Magmatismo nas Bacias Sedimentares e sua Influência na Geologia do Petróleo.** Revista Brasileira de Geociências, v.38, n.15, p. 128-137, 2008.

TROSDTORF, I. J, MORAIS NETO, J. M., SANTOS, S. F. & PORTELA FILHO, C. V., **Diques e soleiras na Bacia do Parnaíba: geometria e padrões de alojamento.** B. Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 261-287, 2014.

ULBRICH, M. N. C., ANDRADE, F. R. D., **Inossilicatos, Guia geral da teoria, exercícios e atividades práticas.** Departamento de Mineralogia e Geotectônica, São Paulo, 2003.

VAZ P.T., REZENDE V.G.A.M., WANDERLEY FILHO J.R., TRAVASSOS W.A.S. **Bacia do Parnaíba.** Rio de Janeiro, Boletim de Geociências da Petrobras, 2007.

VETORAZZI, A.L.S., **Caracterização Geológica dos Arenitos da Formação Cabeças (Devoniano) Na Borda Leste da Bacia do Parnaíba.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2012.

WIRTH, K., COLLEGE, M., Barth, A. **X-Ray Fluorescence (XRF).** Macalester College and Andy Barth, Indiana University~Purdue University, Indianapolis, 2009.

ZALÁN, P. V. **Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras.** In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, p. 595-612, 2004.

Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis - Resolução ANP Nº 71, DE 31.12.2014 - DOU 2.1., 2015

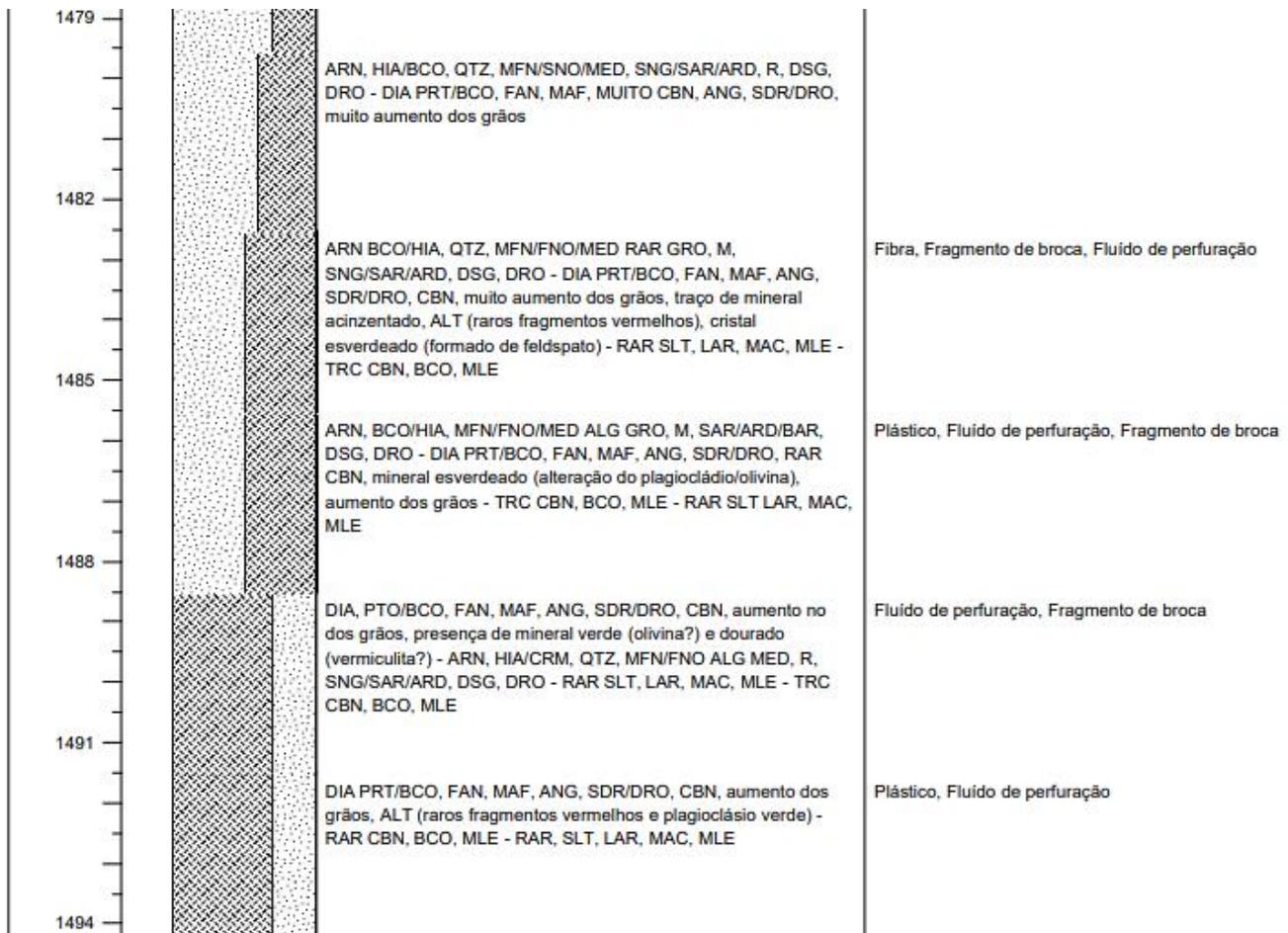
MinMicro, Banco de Dados de Minerais ao Microscópio, UFRGS.

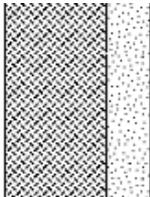
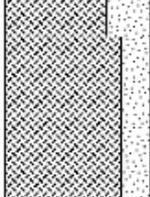
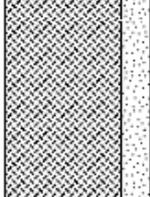
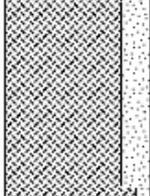
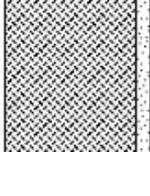
Ouro Preto Óleo e Gás, Perfuração de Poços de Petróleo e Gás Natural nos Blocos Pn-T-137, Pn-T-151 E Pn-T-165, Na Bacia Do Parnaíba, Piauí, 2016.

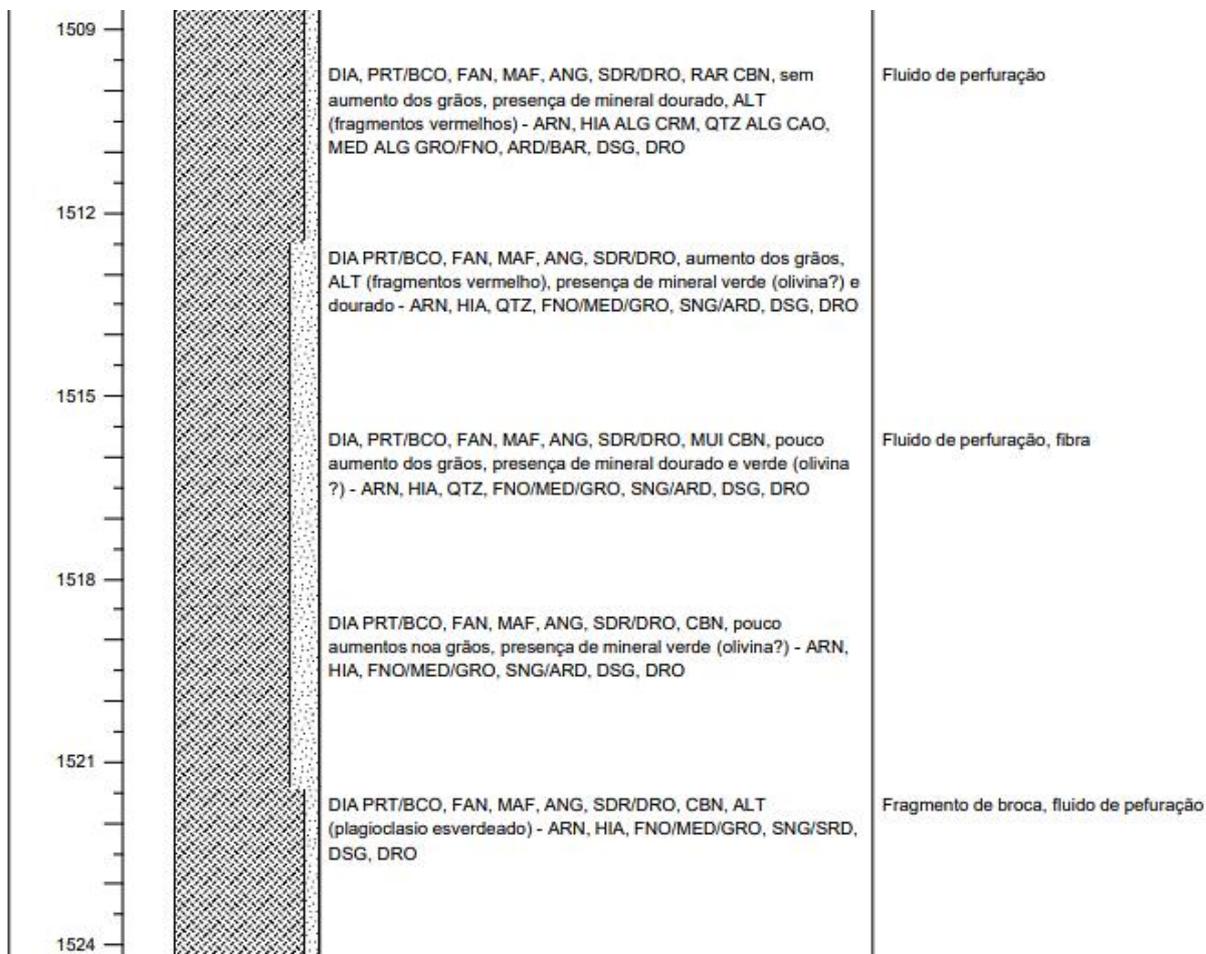
Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís, CPRM, p.10-18.

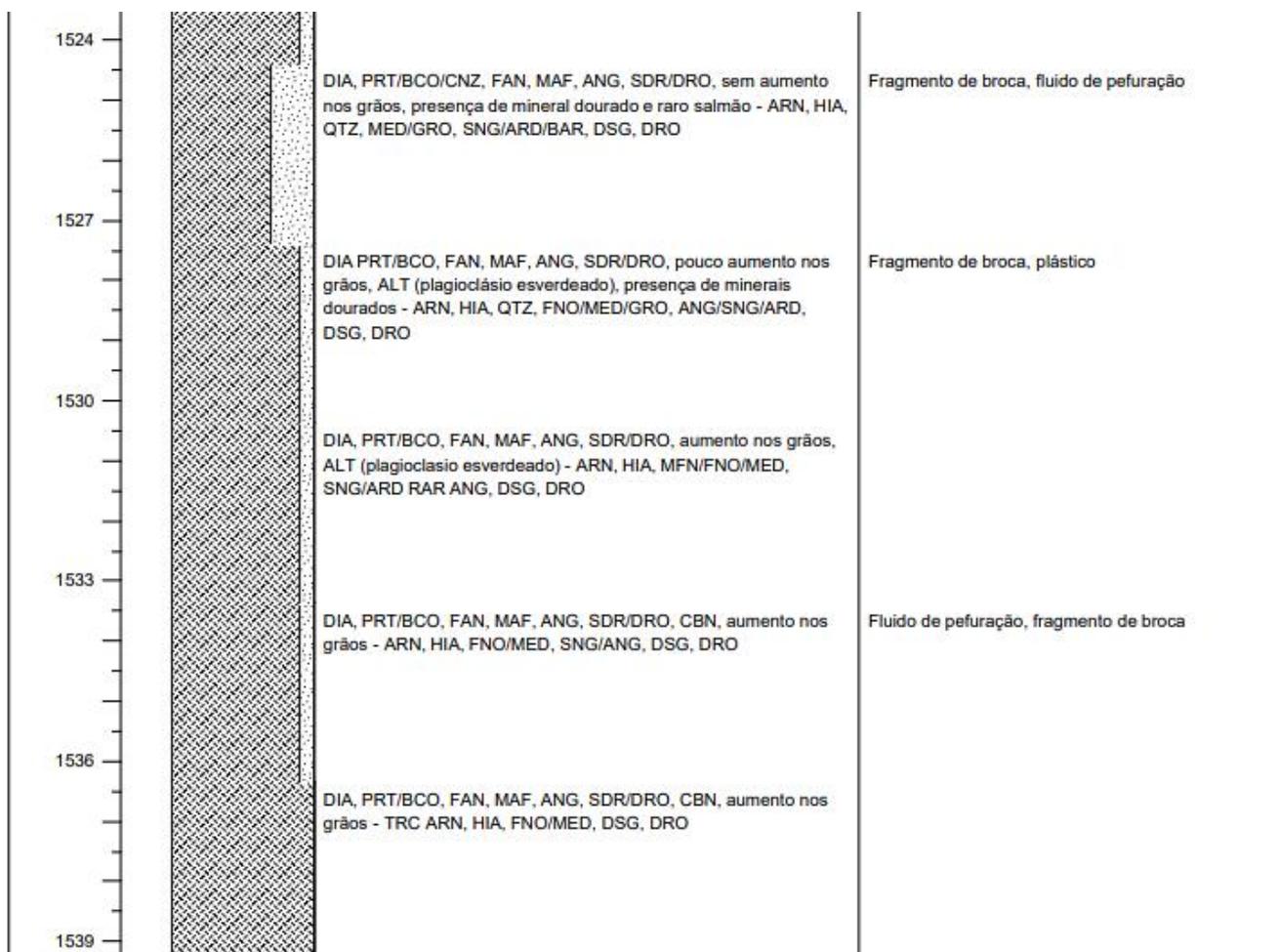
APENDICE A – Descrição do poço 4-OGX-49-MA

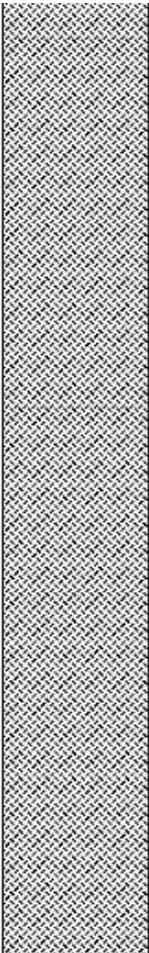
4-OGX-49-MA				
SCALE (m)	FORMATION	LITHOLOGY	NOTES	DESCRIPTION
1464			ARN CNX/HIA, ESB/ESV, CBN, MFN/FNO, SNG/ARD, R, DSG/SFR/CMP, DRO - DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN - TRC FLH, CNZ, MAC, MLE	
1467			ARN, CNZ/HIA, ESB/ESV, CBN, MFN/FNO, ANG/ARD, R, DSG/SFR/CMP, DRO - DIA PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN - TRC FLH, CNZ, ESV, MAC, MLE	
1470			ARN, CRM/CNZ ALG HIA, QTZ ALG CAO, MFN/FNO/MED, SAR/ARD, R, DSG ALG SFR, DRO - DIA PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN, presença de mineral verde (olivina?), aumento dos grãos, ALT (plagioclásio esverdeado) - TRC SLT VRM, MAC, MLE	Fluido de perfuração
1473			ARN, CRM/HIA, ALG CAO, MFN/FNO/MED, ARD, R, DSG ALG SFR, DRO - DIA PRT/BCO, FAN, MAF, ANG SDR/DRO, presença de mineral verde (olivina), aumento dos grãos - TRC SLT LAR, MAC, MLE	Fluido de perfuração
1476			ARN, CRM/BCO/HIA, QTZ ALG CAO, MFN/FNO, SAR/ARD RAR BAR, R, DSG RAR SFR, DRO - DIA PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN, ALT (plagioclásio esverdeado), pouco aumento dos grãos - TRC SLT, LAR, MA, MLE	Fluido de perfuração - fibra - plástico
1479			ARN, BCO/HIA, QTZ ALG CAO, MFN/FNO/MED, SNG/SAR/ARD, R, DSG ALG FRV, DRO - DIA, PTO/BCO, FAN, MAF, POUCO CBN, SNG, SDR/DRO, presença de mineral verde (olivina?), aumento dos grãos - TRC SLT LAR, MAC, MLE	Fluido de perfuração



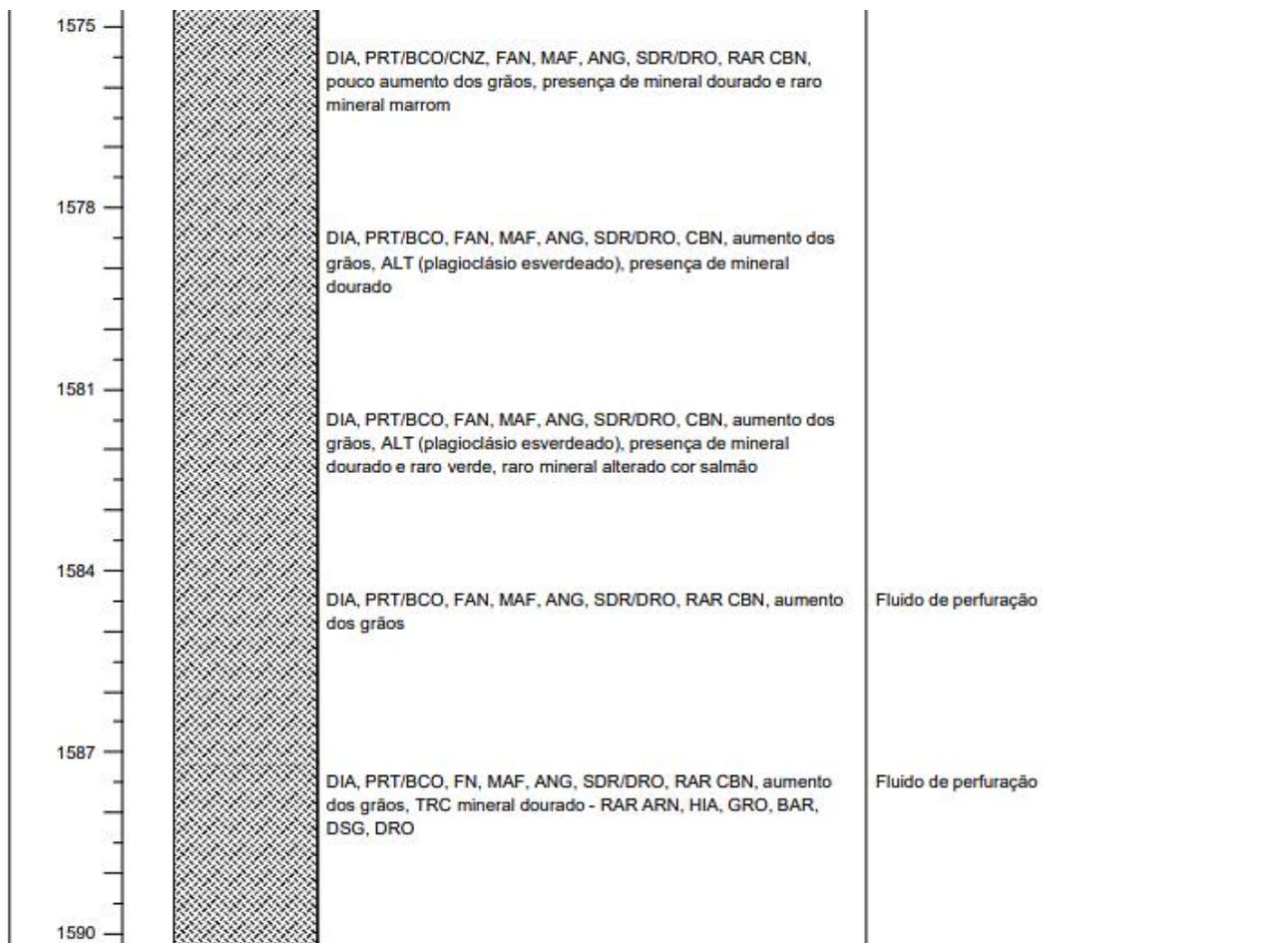
1494		DIA PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN, aumento dos grãos, presença de mineral esverdeado (olivina?) e dourado, ALT (mineral cor salmão) - ARN, HIA ALG CRM, QTZ, CAO, MED/GRO, R, ARD/BAR, SGR RAR SFR, DRO	Fluido de perfuração
1497		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, RAR CBN, ANG, SDR, pouco aumento dos grãos, presença de mineral esverdeado (olivina?), dourado; ALT (mineral cor salmão, plagioclásio esverdeado) - ARN, HIA, QTZ, FNO/MED/GRO, R, SAR/ARD/BAR, DSG, DRO	Fluido de perfuração
1500		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, SNG, SDR/DRO, aumento dos grãos, presença de mineral verde (olivina?) e dourado - ARN, HIA, QTZ, MED/GRO, R, SAR/ARD, DSR, DRO	Fragmento de broca, fibra
1503		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, RAR CBN, aumento dos grãos, presença de mineral verde e dourado, ALT (mineral cor salmão) - ARN HIA, QTZ, MED RAR GRO, SAR/ARD RAR BAR, DSG, DRO	Fibra, fragmento de broca, plástico, fluido de perfuração
1506		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, RAR CBN, aumento dos grãos, presença de mineral marrom - ARN, HIA, QTZ, MED RAR GRO, SAR/ARD, DSG, DRO	Fluido de perfuração
1509			

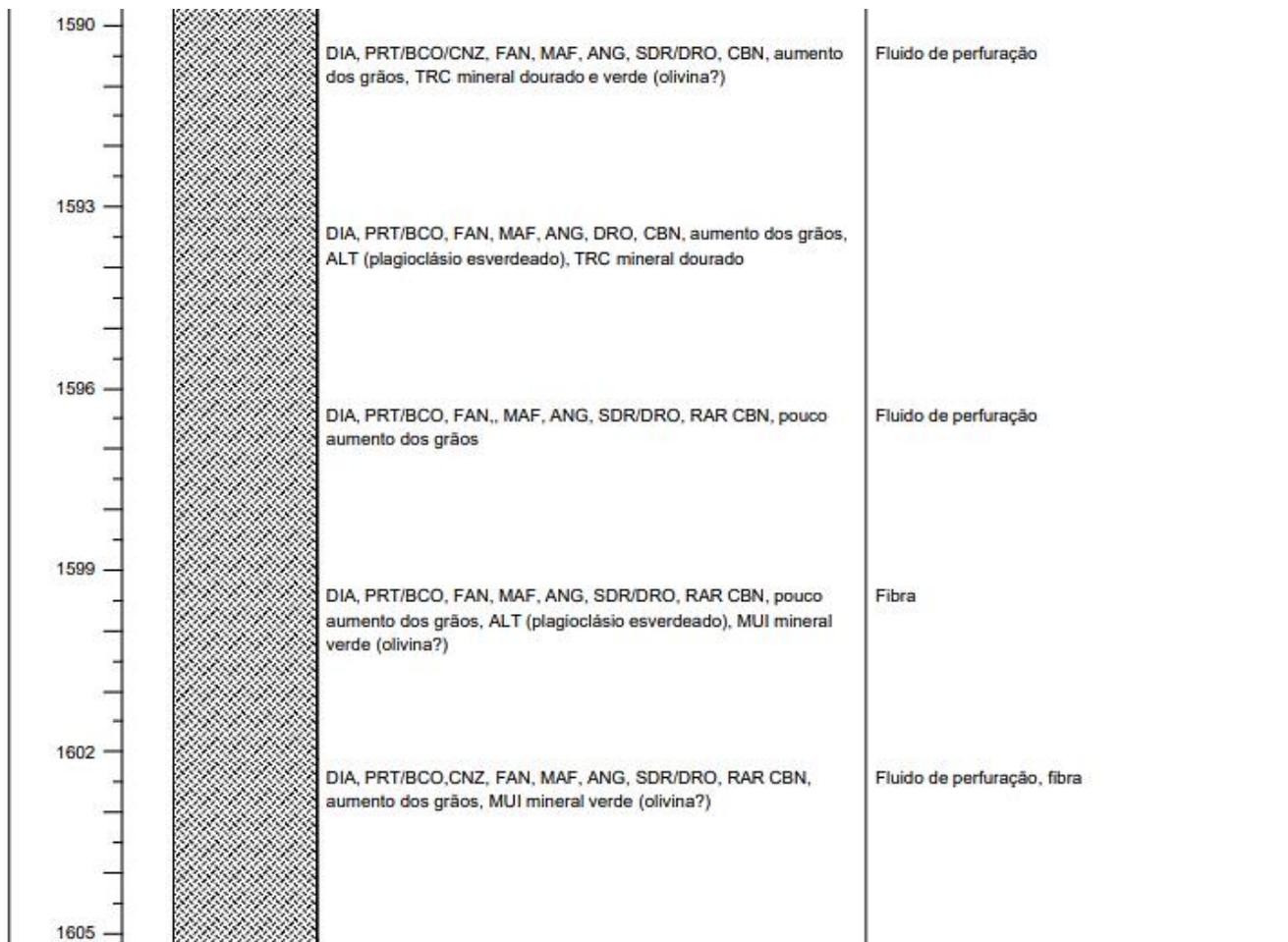


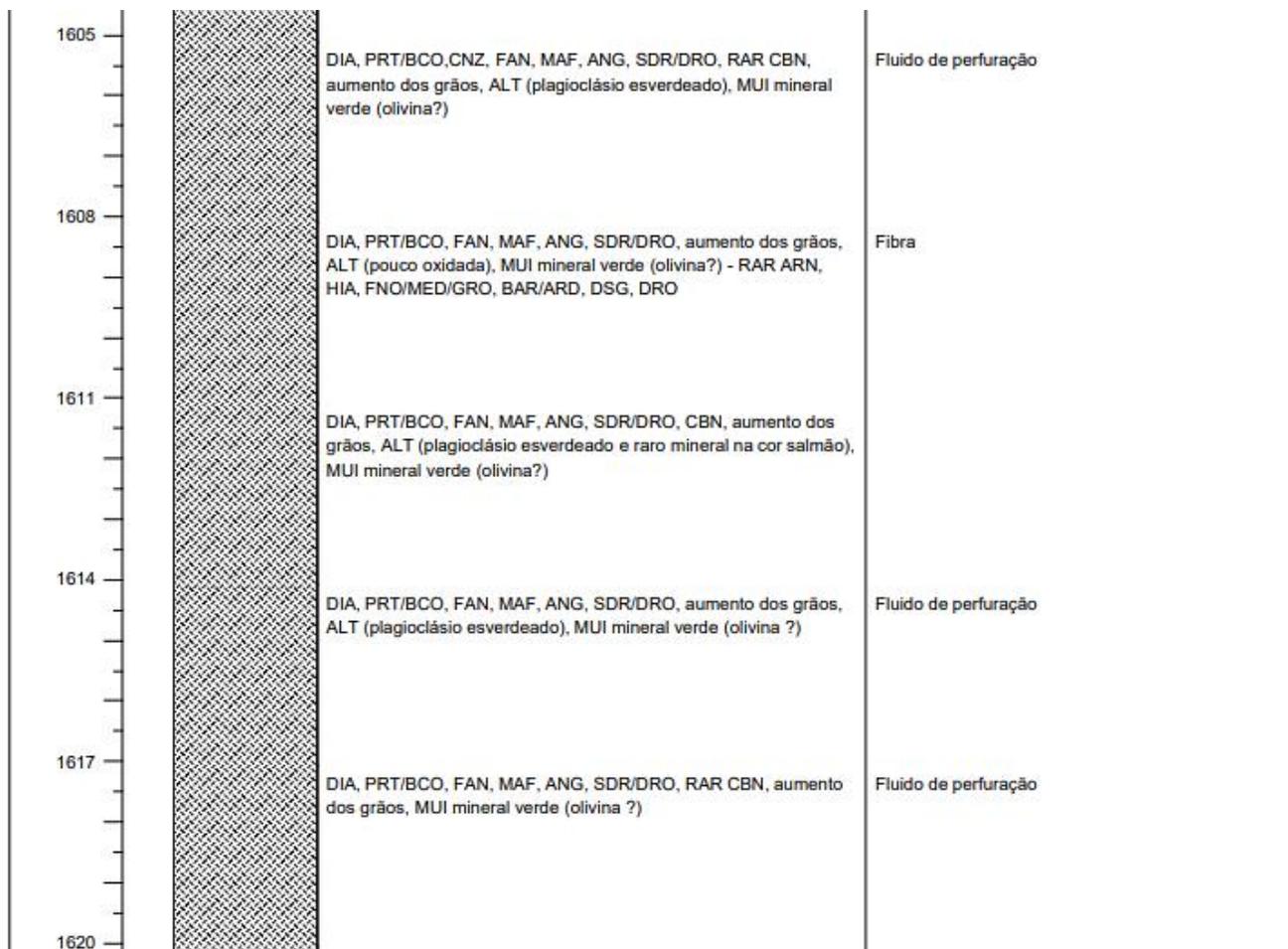


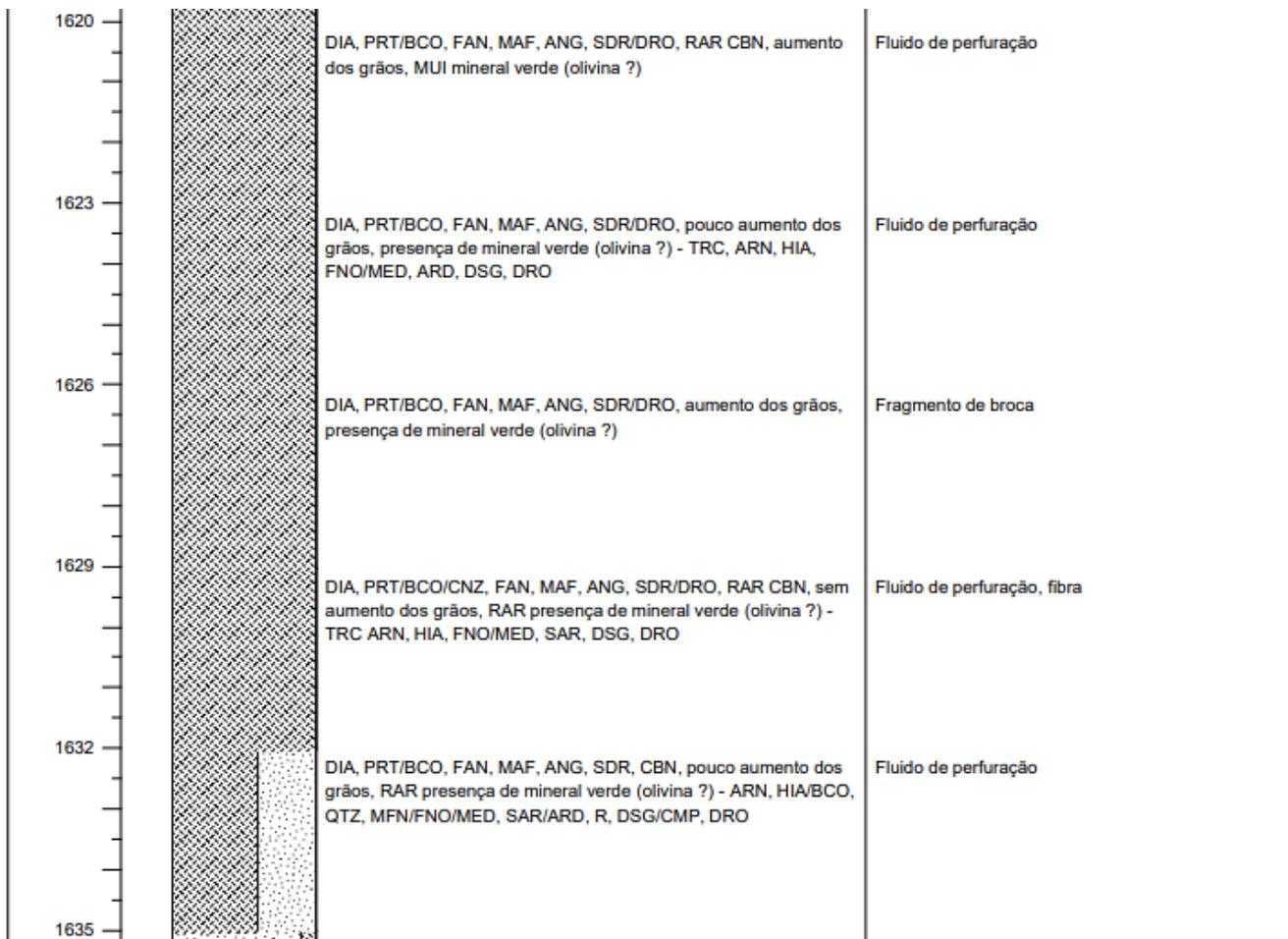
1539		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, RAR CBN, ALT (plagioclásio esverdeado), muitos cristais de esverdeados com clivagem (plagioclásio ?) - TRC ARN, HIA, FNO/MED, DSG, DRO	Fluido de perfuração, fibra, fragmento de broca
1542		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, RAR CBN, presença de mineral dourado - TRC ARN, HIA, FNO/MED, DSG, DRO	Fragmento de broca
1545		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, SDR/DRO, RAR CBN, ALT (plagioclásio esverdeado), presença de minerais dourados - RAR ARN, HIA, MED, DSG, DRO	Plástico, fibra
1548		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, SDR/DRO, RAR CBN, POU ALT (oxidada), presença de mineral esverdeado (olivina ?)	Fluido de perfuração
1551		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, SDR, RAR CBN, pouco aumento dos grãos	Fluido de perfuração, fibra
1554			

1557		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF, CBN, ANG, SDR, aumento nos grãos, presença de mineral verde (olivina?) - RAR ARN, HIA, GRO, ARD, DSG, DRO	Fragmento de broca, fluido de perfuração
1560		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, CBN, ANG, SDR, presença de mineral dourado	
1563		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR, CBN, pouco aumento dos grãos, presença de mineral verde (olivina?)	Fluido de perfuração, fibra, fragmento de broca - piroxênio com clivagem
1566		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN, pouco aumento dos grãos, presença de mineral verde (olivina?)	Fluido de perfuração
1569		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF, ANG, SDR/DRO, CBN, pouco aumento dos grãos, ALT (plagioclásio e piroxênio esverdeados)	Plástico
1572			









APENDICE B – Descrição do poço 1-OGX-101-MA

1-OGX-101-MA				
SCALE (m)	FORMATION	LITHOLOGY	NOTES	OBS
1413			DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(30%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos - ARN, HIA/BCO, FNO/MED/GRO, ARD/SAR, R, QTZ/CAO, DSG/CMP, DRO DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(80%), RAR CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos - ARN, HIA/BCO, MFN/FBO, ARD, B, QTZ, DSG, DRO	Fluido de perfuração Fluido de perfuração, fragmento de broca
1416			DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(40%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - TRC ARN, HIA, MFN/FNO, ARD, DSG, DRO	Fluido de perfuração, fragmento de broca
1419			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(40%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - TRC ARN, HIA, MFN/FNO, SAR, DSG, DRO	Fluido de perfuração
1422			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?), ALT plagioclásio esverdeado	Fluido de perfuração
1425			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(40%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - RAR ARN, HIA, FNO, ANG, DSG, DRO	Fluido de perfuração, plástico
1428			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?), TRC mineral verde amarronzado (clorita?)	
1431			DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(60%)/FEL(40%), CBN, ANG, MLE, aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral verde amarronzado (clorita?), bolha nas fraturas da rochas - RAR ARN, HIA, FNO/MED, SNG, B, DSG, DRO	

1434	DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(70%)/FEL(30%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?), TRC mineral verde amarronzado (clorita?)	
1437	DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(50%)/FEL(50%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral verde amarronzado (clorita?)	
1440	DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(50%)/FEL(50%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral dourado - ARN HIA/BCO, MFN/FNO, ANG, FRV/DSG, DRO	Fluido de perfuração
1443	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(60%)/FEL(40%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	Fluido de perfuração, fragmento de broca
1446	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(70%)/FEL(30%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	Fluido de perfuração, Fragmento de broca
1449	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(70%)/FEL(30%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole, bolhas saindo dos fragmentos de rocha	
1452	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	
1455	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(40%)/FEL(50%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral verde (olivina?)	
1458	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(70%)/FEL(30%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	
1461	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(70%)/FEL(30%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole, bolhas saindo dos fragmentos de rocha	Fragmento de broca
1464	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(80%)/FEL(20%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	Fluido de perfuração, Fragmento de broca

1467	RT/BCO/CNZ, FAN, MAF(80%)/FEL(20%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	
1470	RT/BCO/CNZ, FAN, MAF(50%)/FEL(50%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole	
1473	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(70%)/FEL(30%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral verde (olivina?), minerais metálicos	Fluido de perfuração, plástico
1476	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT cor salmão	Fluido de perfuração, Fragmento de broca
1479	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de Perfuração
1482	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(90%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, RAR mineral esverdeado (olivina?) - 10% calcita (fluido de perfuração)	Fluido de perfuração, Fragmento de broca
1485	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(90%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos - 50% calcita (fluido de perfuração)	Fluido de perfuração
1488	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(80%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?) - 50% calcita (fluido de perfuração)	Fluido de perfuração
1491	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(90%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, TRC mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio - 20% calcita (fluido de perfuração)	Fragmento de broca, Fluido de perfuração
1494	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(80%), CBN, ANG, MLE/SDR, aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?) - 50% calcita (fluido de perfuração)	Fluido de perfuração
1497	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE/SDR, aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?) - 10% calcita do fluido de perfuração	Fluido de perfuração

1500	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?) - 20% calcita do fluido de perfuração	Fluido de perfuração
1503	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?) - TRC calcita fluido de perfuração	Fluido de perfuração
1506	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(80%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?) - 10% calcita do fluido de perfuração	Fluido de perfuração
1509	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(80%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?) - 10% calcita do fluido de perfuração	Fluido de perfuração
1512	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(80%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?) - 10% calcita do fluido de perfuração	Fluido de perfuração
1515	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(TRC)/FEL(90%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?) - TRC calcita do fluido de perfuração	Fluido de perfuração
1518	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(TRC)/FEL(90%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio	Fluido de perfuração
1521	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(TRC)/FEL(90%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?) - TRC calcita fluido de perfuração	Fluido de perfuração, Fragmento de broca
1524	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE/SDR, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio - TRC calcita fluido de perfuração	
1527	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração, Fibra
1530	DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, sem aumento no tamanho dos grãos, 30% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio	Fluido de perfuração

1533		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, sem aumento no tamanho dos grãos, 30% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio	Fluido de perfuração
1536		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio - RAR calcita fluido de perfuração	
1539		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração
1542		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio	Fluido de perfuração
1545		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, pouco aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração, Fragmento de broca
1548		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(50%), CBN, ANG, MLE/SDR, aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?) - RAR calcita (fluido de perfuração)	Fluido de perfuração
1551		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração, Plástico, Fibra
1554		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração
1557		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração, Fibra
1560		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?)	Fluido de perfuração
1563		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(10%)/FEL(70%), CBN, ANG, MLE, sem aumento no tamanho dos grãos, 20% mineral esverdeado (olivina?), RAR ALT plagioclásio, RAR ALT salmão	

1566		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(60%), CBN, ANG, MLE/SDR, pouco aumento no tamanho dos grãos, 10% mineral esverdeado (olivina?), fragmentos cinza	Fluido de perfuração
1569		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, MLE, 20% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole, RAR ALT cor salmão	Plástico, Fluido de perfuração
1572		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(60%), CBN, MLE, 20% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos, RAR ALT cor salmão	Fluido de perfuração
1575		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(50%), CBN, MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole, RAR ALT plagioclásio, RAR calcita (fluido de perfuração)	Fluido de perfuração, fragmento de broca
1578		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(50%), CBN, MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole, RAR ALT cor salmão - TRC ARN, HIA/BCO, QTZ/CAO, FNO/MED, ARD, B, DSG/FRV, DRO	Fluido de perfuração
1581		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(50%), MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos	Plástico, fragmento de broca
1584		DIA, PRT/BCO, FAN, MAF(20%)/FEL(50%), CBN, MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos, TRC mineral marrom mole, RAR ALT plagioclásio, RAR calcita (fluido de perfuração)	
1587		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(50%), CBN, MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos - TRC ARN, HIA, FNO/MED, ARD/SNG, R, DSG, DRO	
1590		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(20%)/FEL(50%), CBN, MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos, RAR ALT plagioclásio - TRC ARN, HIA/BCO, CAO, FNO/MED, ARD/SNG, R, DSG, DRO	Fluido de perfuração
1593		DIA, PRT/BCO/CNZ, FAN, MAF(30%)/FEL(40%), CBN, MLE, 30% mineral verde (olivina?), sem aumento do tamanho dos grãos - TRC ARN, HIA, FNO/MED, ARD/SNG, R, DSG, DRO	Fluido de perfuração

