



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARACTERIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE GRAFITA NOS PARAGNAISSES E QUARTZITOS DA PORÇÃO NORDESTE DO CRÁTON SÃO FRANCISCO, SUL DO ESTADO DE SERGIPE

DOUGLAS FERREIRA DOS SANTOS

São Cristóvão-SE

2018

DOUGLAS FERREIRA DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE GRAFITA NOS
PARAGNAISSES E QUARTZITOS DA PORÇÃO NORDESTE DO
CRÁTON SÃO FRANCISCO, SUL DO ESTADO DE SERGIPE**

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz

Co-orientadora: Profa. Msc. Leidiane Cerqueira de Carvalho de Liz

BANCA EXAMINADORA

- A) Prof. Msc. Paulo Henrique Prado Estefano
- B) Geol. Alysson Felipe Bezerra Lobo
- C) Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz

Monografia apresentada como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Geologia da Universidade Federal de Sergipe, submetida à Banca Examinadora.

São Cristóvão-SE

Março de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, em especial aos meus pais Janilsa Ferreira e Ailton Bispo dos Santos, pelo apoio e paciência, e a todos que me estimularam e acreditaram em minha competência durante esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo, a Deus, por guiar meus passos e por ter me concedido forças diárias, principalmente nos mais difíceis, pra concluir mais esta etapa rigorosa de minha vida. Graças a ele, tenho fé, perseverança e sabedoria pra lutar e continuar acreditando em meus sonhos e objetivos.

A minha mãe Janilsa Ferreira, por ser minha guerreira batalhadora e pessoa mais importante de minha vida. A meu pai Ailton Bispo, por sempre estar a meu lado e apoiando minhas decisões, sem você tudo seria diferente. A meu irmão Hueide Ferreira, pelas orações. A minha avó Dona Zélia, pela maior calma do mundo. Pessoas essas, usadas como minha maior referência. AMO VOCÊS! A todos meus familiares, pela preocupação com meu futuro. A meus amigos, pelo carinho, apoio e paciência durante minha graduação. Em especial a galera do banquinho, do depósito IDEAL e da academia. Bem que vocês sofreram com meus estresses! Kkkkkkk !!!!!

Agradeço a meu orientador Prof. Dr. Joaquim Daniel, pelos ensinamentos, sugestões e pela oportunidade concebida em me ajudar a escrever esta monografia. Muito obrigado por tudo ROBOCOP!

A todos os professores do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe, que contribuíram para a minha formação acadêmica. Em especial a Profa. Dra. Aracy Senra, pela confiança em me apresentar e coordenar meu projeto de iniciação científica. Obrigado a todos!

Agradeço também aos grupos da disciplina de Campo V, por me ceder algumas amostras de rocha e relatórios para que eu pudesse traçar minha rota em campo, sem falar da aprendizagem e amizade que fiz durante as longas e cansativas caminhadas nos dias de campo. Fica difícil não citar os nomes de Rafael “Pitbull”, André “Black Metal”, Saul “Poodlezinho” e Victor “Frouxo”, companheiros nas dormidas no famoso “QUARTO DO PÂNICO”, ôôôôô cheirinho agradável. Agradeço também aos colegas de universidade Alysson “Xandinho” e Bruno Luiz por de certa forma me ajudar em alguns tópicos desse TCC. Valeu galera!

Por fim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado nessa jornada, a todos que me apoiaram e contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal. Sem vocês nada seria. MUITO OBRIGADO!!!!!!

EPÍGRAFE

Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas tu não serás atingido. Nenhum mal te sucederá, nem praga alguma chegará a tua tenda. Porque aos seus anjos dará ordem ao teu respeito, para te guardarem em todos os teus caminhos.

Salmo 91

RESUMO

O estudo de ocorrências de grafita no nordeste do Cráton São Francisco permitiu identificar corpos de paragnaisses e quartzitos mineralizados em grafita inseridos no Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB) e no Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR). Estudos petrográficos demonstraram que o paragnaisse é representado por um hiperstênio-cordierita-grafita-granada gnaisse formado pelo metamorfismo de alto grau, na fácies granulito, imposto a um protólito sedimentar. E, no entanto, que os quartzitos correspondem à grafita-K-feldspato-cordierita quartzitos, que foram formados pelo metamorfismo de alto grau de uma rocha sedimentar rica em quartzo, entre as fácies anfibolito e granulito. As condições de metamorfismo de alto grau, identificadas nas rochas estudadas, são consideradas ideais para a formação de grafitas tipo *Flake*, que apresentam os melhores valores de mercado. Estudos geoquímicos sugeriram que os protólitos dos paragnaisses podem ter sido folhelhos provenientes de rochas ígneas máficas em ambientes relacionados com subducção, enquanto que os quartzitos derivaram de arenitos quartzosos provenientes de rochas graníticas também em ambiente relacionado com subducção. Em ambos os casos a grafita constata que houve disponibilidade de matéria orgânica durante a sedimentação dos protólitos. Com base na caracterização petrográfica das grafitas, foi possível observar que a grafita dos paragnaisses variam dos tipos *flakes* finos a *flakes* extragrandes, com predomínio de *flakes* grandes, enquanto que a grafita dos quartzitos é classificada como *flakes* extragrandes. O estudo da grafita em ambas as rochas mostram que estas foram originadas a partir de processos mineralizadores singenéticos, formadas a partir da transformação, *in situ*, da matéria orgânica primária em grafita através do metamorfismo regional.

Palavras-chave: GRANULITO; GRAFITIZAÇÃO; DEPÓSITO SINGENÉTICO

ABSTRACT

The study of graphite occurrences in the northeast of the São Francisco Craton allowed the identification of graphite mineralized paragneisses and quartzite bodies inserted in the Esplanada-Boquim Granulitic Complex and the Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas Migmatite-Gneiss Complex. Petrographic studies showed that the paragneiss is represented by hypersthene-cordierite-graphite-garnet gneiss, formed by high grade metamorphism, in granulite facies, imposed on a sedimentary protolith. However, quartzites correspond to graphite-K-feldspar-cordierite quartzites, which were formed by the high-grade metamorphism of a quartz rich sedimentary rock, between amphibolite and granulite facies. The high-grade metamorphism conditions identified in the studied rocks are considered ideal for the Flake type formation, which present the best market values. Geochemical studies have suggested that the paragneiss' protholiths may have been shales formed by intemperism of mafic igneous rocks generated in subduction - related environments, while quartzites derived from quartz sandstones from granitic rocks also in a subduction - related environment. In both cases the graphite confirms that there was availability of organic matter during the sedimentation of the protoliths. Based on the petrographic characterization of the graphites, it was possible to observe that the graphite of the paragneiss vary from the fine flakes to the extra large flakes, with a predominance of large flakes, while the graphite of the quartzites is classified as extra large flakes. Both rocks show that they originated from syngenetic mineralizing processes, formed from the transformation of primary organic matter into graphite through regional metamorphism.

Keywords: *GRANULITE; GRAPHITIZATION; SYNGENETIC DEPOSIT.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral.....	14
1.2	Objetivo Específico.....	14
1.3	Localização e Vias de Acessos	14
2	METODOLOGIA	16
2.1	1ª Etapa: Compilação Bibliográfica.....	16
2.2	2ª Etapa: Trabalho de Campo	16
2.3	3ª Etapa: Petrografia	17
2.4	4ª Etapa: Análises Químicas	18
2.5	5ª Etapa: Integração de Dados	18
2.6	6ª Etapa: Redação do Trabalho	18
3	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	19
3.1	Grafita	19
3.1.1	Grafita em Flocos Cristalinos (<i>flake</i>)	20
3.1.2	Grafita em Veios Cristalinos	21
3.1.3	Grafita Amorfa	21
3.2	Mineralizações de Grafita	21
3.2.1	Depósitos Singenéticos.....	21
3.2.2	Depósitos Epigenéticos	22
3.3	Gênese da Grafita.....	23
3.3.1	Grafita de Origem Metamórfica	23
3.3.2	Grafita em Veio ou “ <i>lump</i> ”	23
3.3.3	Depósitos Residuais.....	24
3.4	Importância e Uso da Grafita.....	24
3.5	Principais Países Onde a Grafita é Encontrada.....	25
3.6	Situação da Grafita no Brasil	30

3.6.1	Província Gráfica de Pedra Azul, Minas Gerais.....	30
3.6.2	Província Gráfica de Itapeçerica, Minas Gerais	31
3.6.3	Província gráfica de Salto da Divisa, Minas Gerais.....	32
3.6.4	Província Gráfica de Almenara, Minas Gerais.....	32
4	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	33
4.1	Cráton São Francisco (CSF)	34
4.1.1	Bloco Gavião	35
4.1.2	Bloco Jequié	35
4.1.3	Bloco Serrinha	36
4.1.4	Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá	36
4.2	Cinturão Salvador-Esplanada	37
4.2.1	Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR)	39
4.2.2	Complexo Gnáissico-Migmatítico Costa Atlântica (CGMCA).....	39
4.2.3	Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB)	40
4.2.4	Diques de Arauá	41
4.3	Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS) no Estado de Sergipe	41
4.4	Formações Superficiais.....	42
5	GEOLOGIA LOCAL.....	43
6	ANÁLISE PETROGRÁFICA	46
7	ANÁLISES QUÍMICAS.....	54
7.1	Elementos Maiores e Traços.....	54
7.2	Elementos Terras Raras (ETR) e Diagrama Multielementar.....	58
7.3	Resultados Analíticos de Carbono Gráfico.....	60
8	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	64
9	BIBLIOGRAFIA.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização e acesso à área de estudo.....	15
Figura 2 - Representação esquemática da distribuição dos diferentes tipos de grafita	19
Figura 3: Províncias Estruturais do Brasil (modificado de Almeida <i>et al.</i> , 1977).	34
Figura 4: Mapa esquemático da geologia do Cráton do São Francisco mostrando seus limites e a distribuição das principais unidades litoestratigráficas. (Modificado de Alkmim <i>et al.</i> , 1993, <i>Apud</i> Souza 2009).....	37
Figura 5: Compartimentação tectono-estratigráfica do Estado de Sergipe (Santos <i>et al.</i> , 2001).....	42
Figura 6 - Mapa geológico da área de estudo destacando os pontos que foram coletados as amostras para suas respectivas análises. Notar que os paragneisses (PRC-029 e 032) estão inseridos como lentes no Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB), enquanto que os quartzitos (PRC-043, 046, 067, 070, 071 e 072) estão inseridos como lentes no Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR)..	44
Figura 7 - Grafita-hiperstênio-granada-cordierita gnáisse com badamento gnáissico bem marcado.	45
Figura 8 – Amostra de cordierita-grafita quartzito evidenciando as lamelas idioblásticas a subidioblásticas de grafita (Grf).	46
Figura 9 – Fotomicrografia de paragnaisse (amostra PRC-029), destacando os cristais de granada (Grn), cordierita pinitizada (Pnt), grafita (Grf) e apatita (Apt). A e B) Detalhe de cordierita pinitizada associada com granada e grafita (A- luz natural; B – luz polarizada); C) Cristais lamelares de grafita preenchendo os espaços entre cordierita pinitizada e granada (luz natural); D) Detalhe de inclusões de apatita em cristal de quartzo (luz natural).....	49
Figura 10 - Fotomicrografia de paragnaisse (amostra PRC-029), destacando os cristais de granada (Grn), cordierita pinitizada (Pnt), grafita (Grf), hiperstênio (Opx) e cordierita (Crd). A e B) Detalhe da associação granada, cordierita, grafita e hiperstênio em banda máfica (A- luz natural; B – luz polarizada); B e C) Detalhe de inclusões xenoblásticas de cordierita em cristal de granada (C- luz natural; D – luz polarizada).....	50
Figura 11 - Fotomicrografia de quartzito (amostra PRC-067) evidenciando cristais de pinita (Pnt), grafita (Grf) e quartzo (Qtz). A e B) Detalhe de grafita preenchendo as fraturas no quartzito (A- luz natural; B – luz polarizada); B e C) Detalhe cordierita pinitizada formando finos agregados de muscovita+clorita, além de grão de quartzo com textura granoblástica interlobada e serrilhada (C- luz natural; D – luz polarizada).	52

Figura 12 - Fotomicrografia de quartzito da amostra PRC-071, evidenciando cristais de grafita (Grf) e quartzo (Qtz). A e B) Cristais de grafita preenchendo fraturas irregulares no quartzito (A- luz natural; B – luz polarizada); C) Detalhe de cristais de grafita envolvendo grão de quartzo (luz natural); D) Detalhe de grafita disseminada em quartzito (luz natural).	53
Figura 13 - Diagramas binários de variação (Harker) dos elementos maiores das amostras dos paragneisses.	56
Figura 14 - Diagrama $\text{FeO} + \text{MgO}$ versus $\text{K}_2\text{O} / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ (modificado de Taylor & McLennan (1985) e Pettijohn <i>et al.</i> , (1987)).	56
Figura 15 – Diagrama de classificação química $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ versus $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ de Herron (1988).	57
Figura 16 - Diagrama de funções discriminantes com elementos maiores para proveniência sedimentar em arcósio e folhelhos. As funções discriminantes são: Discriminante Função 1 = $(-1,773 \text{ TiO}_2) + (0,607 \text{ Al}_2\text{O}_3) + (0,760 \text{ Fe}_2\text{O}_3) + (-1,500 \text{ MgO}) + (0,616 \text{ CaO}) + (0,509 \text{ Na}_2\text{O}) + (-1,224 \text{ K}_2\text{O}) + (-9,090)$; Discriminante Função 2 = $(0,445 \text{ TiO}_2) + (0,070 \text{ Al}_2\text{O}_3) + (-0,250 \text{ Fe}_2\text{O}_3) + (-1,142 \text{ MgO}) + (0,438 \text{ CaO}) + (1,475 \text{ Na}_2\text{O}) + (-1,426 \text{ K}_2\text{O}) + (-6,861)$. (Baiyegunhi <i>et al.</i> , 2017).	57
Figura 17 - Diagrama de discriminação tectônica (Pearce, 1982).	58
Figura 18 - Diagrama de ETR normalizado pelo condrito C1 de Boynton (1984).	59
Figura 19 - Diagrama multielementar normalizado pelo MORB de Pearce (1983).	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Divisões das amostras para análises laboratoriais e descrições microscópicas.....	17
Tabela 2 - Diferentes tipos de flakes, com suas respectivas purezas e tamanhos (Scogings, 2015).....	20
Tabela 3 - Principais campos de aplicação da grafita (natural e sintética).....	25
Tabela 4 - Principais países na produção mundial do minério da grafita.....	29
Tabela 5- Reservas de grafita das principais províncias exploradas no Brasil.....	30
Tabela 6 – Composição modal de amostra de paragnaisse (amostra PRC-029)	50
Tabela 7 - Composição modal das amostras de quartzito (amostras PRC-067 e PRC-071)....	53
Tabela 8 - Análise química para elementos maiores em percentual de peso	61
Tabela 9 - Análise química para elementos traços em ppm.	61
Tabela 10 - Análise química para Elementos Terras Raras em ppm.....	63
Tabela 11 – Análise química para Carbono grafítico das amostras dos paragnaises e quartzitos.	63

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de Conclusão de Curso enfatizou no estudo das rochas paragneisses e quartzíticas do Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB) e do Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR), ambos no município de Riachão de Dantas-SE. Esses complexos, por sua vez, representam duas das unidades geológicas do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB), pertencentes à margem nordeste do Cráton São Francisco (Oliveira, 2014). Essas rochas supracrustais de idade Arqueana-Paleoproterozóica sofreram metamorfismo de fácies granulito e consequentemente, algumas passaram por um processo de mineralização da grafita.

De modo geral, as grafitas são formadas por processos singenéticos (transformação, *in situ*, da matéria orgânica primária em grafita através do metamorfismo regional ou de contato) ou por processos epigenéticos (fluidos de C-O-H, que se tornaram saturados em grafita a partir do metamorfismo de fácies granulito nos metassedimentos rico em orgânicos e em carbono) (Luque *et al.*, 2013).

A grafita é um excelente condutor elétrico e térmico, é resistente às altas temperaturas, pressão, oxidação, apresenta alta durabilidade contra agentes químicos, possui alto ponto de fusão, é ambientalmente “amigável” e não apresenta riscos à saúde e à exploração, o que a torna um minério com inúmeras aplicações industriais, desde o setor de refratário, lubrificantes, fundição, baterias, etc. Isso faz da grafita como sendo um dos principais produtos a serem explorados e produzidos em diversos países, como China, Índia, Brasil, etc.

Neste trabalho, também são apresentados e discutidos as principais características geológicas, petrográficas e geoquímicas das amostras de paragneisses e quartzitos contendo grafita, com o intuito de compreender a gênese e o modelo petrogenético das mesmas, e assim, contribuir para uma melhor interpretação e determinação para os tipos de proveniências que geraram estas rochas, como também, o seu provável ambiente tectônico.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral, investigar as ocorrências de grafita presente em quartzitos e paragneisses do Complexo Esplanada-Boquim no município de Riachão do Dantas, no estado de Sergipe, cujo intuito é de auxiliar no entendimento da gênese das rochas hospedeiras do minério e na geração de um modelo metalogenético preliminar para as ocorrências de grafita.

1.2 Objetivo Específico

Este trabalho contou ainda com alguns objetivos específicos, como mapear ocorrências de grafita nos paragneisses e quartzitos do Complexo Granulítico Esplanada-Boquim e do Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas, ambos pertencentes ao Complexo Esplanada-Boquim, utilizando um mapa de detalhe com escala de 1:20000, além de agrupar dados geológicos, petrográficos e geoquímicos que permitiram caracterizar, determinar os tipos de proveniências e o ambiente tectônico dessas rochas contendo grafita.

1.3 Localização e Vias de Acessos

A área de estudo está localizada no município de Riachão do Dantas, na região sudeste do Estado de Sergipe (Figura 1). A sede do município encontra-se delimitada pelas coordenadas geográficas 37°43'34'' de longitude oeste e 11°04'09'' latitude sul, cuja altitude é de 200 metros. Riachão do Dantas ocupa uma área de 528,4 Km², compreendido principalmente nas Folhas de Simão Dias (SC.24-Z-A-VI) e Boquim (SC.24-Z-C-II), com escala de 1:100.000 (Minter/Sudene, 1973, *apud* Bomfim *et al.*, 2002).

O acesso à área pode ser feito principalmente partindo da capital Aracaju, em direção a Riachão do Dantas pela rodovia federal BR-101, convertendo para a rodovia estadual SE-270, passando por Salgado e Lagarto, e por fim, seguindo a SE-170, até chegar ao município Riachão do Dantas, onde o percurso total é de aproximadamente 107 km (Figura 1).

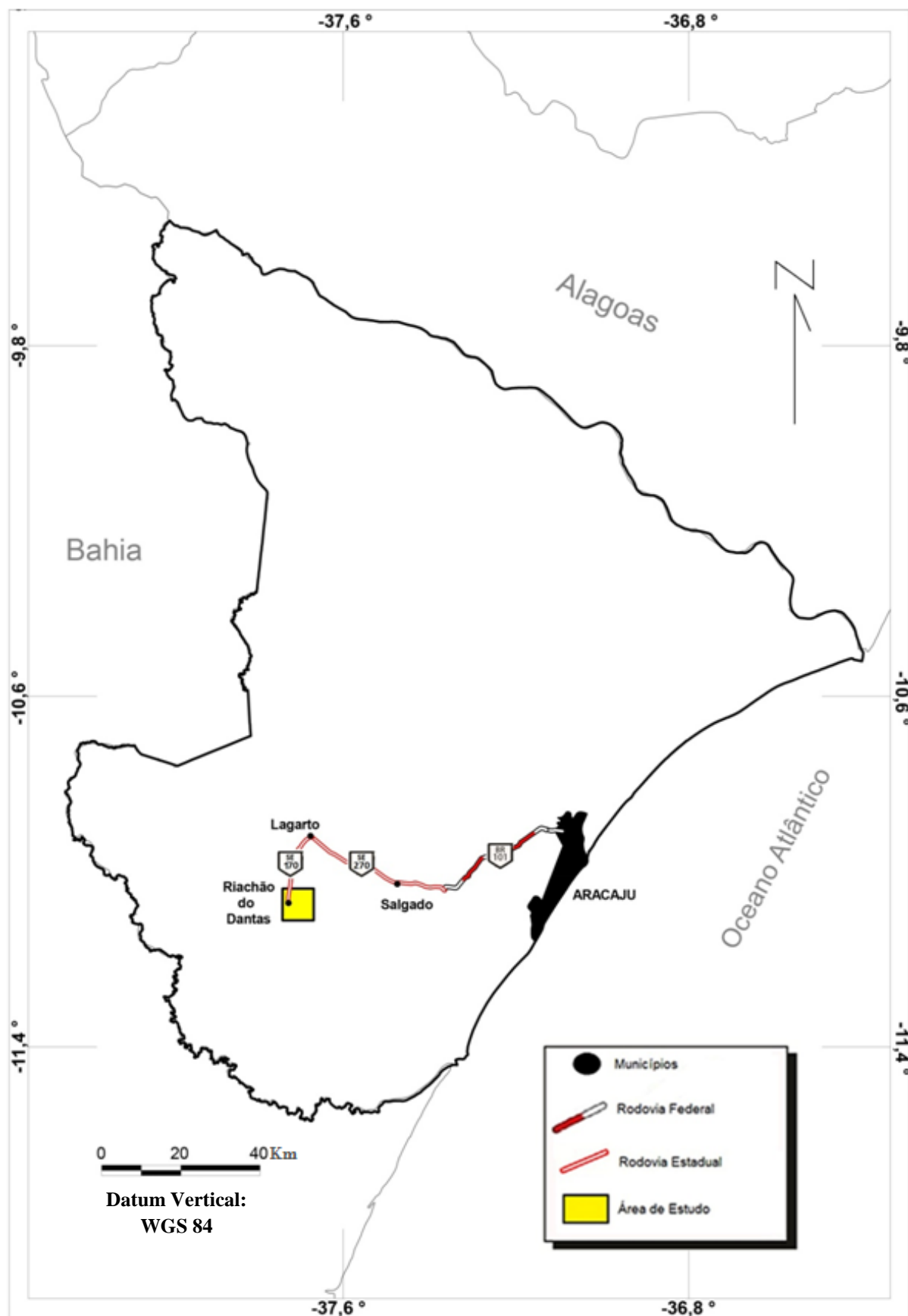


Figura 1 - Mapa de localização e acesso à área de estudo.

2 METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse trabalho envolveu seis etapas distintas: 1ª etapa - Compilação bibliográfica; 2ª etapa - Trabalhos de campo; 3ª etapa - Petrografia; 4ª etapa - Análise geoquímica; 5ª etapa – Integração e interpretação de dados; 6ª etapa - Redação do trabalho.

2.1 1ª Etapa: Compilação Bibliográfica

Nessa etapa foram levantados dados bibliográficos referentes à geologia e a mineralização da grafita, bem como, trabalhos relacionados ao Cráton São Francisco, com ênfase ao segmento a leste denominado Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim.

Em relação à geoquímica, foram consultados trabalhos que abordam a caracterização dos ambientes tectônicos e o tipo de proveniência que geram as paragnaisses e quartzitos, a partir da interpretação de diagramas utilizados para este fim.

2.2 2ª Etapa: Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados no período de 08 a 12 de agosto de 2017, com o objetivo de indentificar e descrever a geologia regional e local da área de estudo. Nessa fase foi utilizado um GPS (*Global Positioning System*) da marca *Garmin*, modelo *GPSmap 62S*, para a aquisição da localização dos afloramentos. Este equipamento foi configurado para disponibilizar as coordenadas em projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), com Datum WGS-84. Para a obtenção das atitudes das rochas foi utilizada uma bússola da marca *Brunton*, modelo *Com-Pro Transit 5008*. Para as descrições macroscópicas das amostras (Tabela 1) foram utilizadas lupas de mão com aumento de 10x. Foi utilizado também, martelo geológico, máquina fotográfica, saco plástico para coletar e guardar as amostras, caderneta de campo e um mapa fotointerpretado com escala 1:20000. Durante a elaboração deste mapa e do mapa de localização da área de estudo, foi utilizado o *software Mapinfo 12.0*, com fonte Atlas SRH (Secretaria de Recursos Hídricos) 2011.

Nessa fase de campo foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Visão geral dos afloramentos, seguido pela identificação do mineral grafita, presente nas rochas paragnaisses e quartzíticas;

- Descrição e coleta de seis amostras compreendidas entre paragneisses e quartzitos para estudos em laboratório. Destas, três amostras foram selecionadas para a confecção de lâmina delgada, e seis amostras para análises químicas (Tabela 1). As seis amostras foram destinadas ao laboratório SGS-Geosol Laboratórios Ltda em Minas Gerais.

Tabela 1 - Divisões das amostras para análises laboratoriais e descrições microscópicas.

AMOSTRAS	ANÁLISES		
	Lâminas Delgada (Microscopia)	Geoquímica	Carbono Grafitico
PRC-029	X	X	X
PRC-032		X	X
PRC-046			X
PRC-067	X	X	X
PRC-070			X
PRC-071	X		X

2.3 3ª Etapa: Petrografia

Nessa etapa, as descrições petrográficas das três lâminas delgadas (Tabela 1) foram realizadas no Laboratório de Petrografia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe. Nessa fase foi utilizado um microscópio eletrônico binocular da marca Olympus, modelo *BX 41 TF*, conectado a um computador, onde este possui o *software Analysis Gelit (2)*, utilizado para realizar a captura das imagens dos minerais presentes nas lâminas. Por fim, foi efetuado a contagem de 200 pontos por lâmina com o intuito de adquirir a composição modal das amostras.

Nessa etapa foram descritos com detalhes a mineralogia, textura, inclusões e alterações em cada lâmina delgada.

2.4 4ª Etapa: Análises Químicas

Nessa etapa, para as análises dos elementos maiores, traços e elementos terras raras (Tabela 1) foi selecionado o pacote ICP95A/IMS95A do laboratório SGS Geosol Laboratórios Ltda, que compreende a análise de 48 elementos químicos com fusão da amostra em metaborato de lítio. As análises foram efetuadas com espectrômetro de massas com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) e espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Já para a análise do elemento carbono grafítico (Tabela1), foi selecionado o pacote CSA05V do laboratório SGS Geosol Laboratórios Ltda, que corresponde à análise do carbono grafítico, cujo tratamento da amostra se dá da seguinte forma: Os carbonatos existentes na amostra são eliminados através de tratamento com ácido clorídrico. O carbono orgânico é convertido em CO₂ através do aquecimento da amostra a 400°C. O carbono remanescente após estes dois procedimentos é reportado como carbono grafítico ou elementar. As determinações de carbono são realizadas pelo método de Combustão/Detecção por infravermelho com o auxílio do equipamento LECO.

Os dados geoquímicos foram processados nos *softwares GCD-Kit 4.1, Microsoft Excel e Microcal Origin 6.0*, que proporcionaram o tratamento estatístico e a construção de diagramas.

2.5 5ª Etapa: Integração de Dados

Nessa etapa foram integrados os dados de campo, petrográficos e geoquímicos e comparados com dados bibliográficos. Dessa forma foi possível classificar, caracterizar e interpretar de forma mais detalhada esses corpos de paragneisses e quartzitos contendo grafita em sua composição mineralógica, no Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas e no Complexo Granulítico Esplanada-Boquim, situados no município de Riachão do Dantas em Sergipe.

2.6 6ª Etapa: Redação do Trabalho

Nessa etapa foi redigido o Trabalho de Conclusão de Curso que reúne todos os dados obtidos em campo, petrografia e geoquímica, bem como as classificações, interpretações e comparações com dados bibliográficos.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Grafita

O nome do mineral “grafita” é uma palavra de origem grega, “*gráphein*”, que significa escrita (Pereira *et al.*, 2007). A grafita é uma das três formas alotrópicas do carbono, os outros dois são o diamante (natural) e o fullereno (artificial).

A grafita apresenta cor cinza chumbo a preto, brilho metálico à submetálico, hábito maciço ou lamelar, clivagem basal perfeita, dureza em Mohs de 1 a 2, e densidade específica de 2,20 a 2,30 g/cm³. É um mineral flexível, mas não elástico, e apresenta um traço preto. Sua fórmula química é o carbono (C) e cristaliza-se no sistema hexagonal bipiramidal com simetria rômica. Seus cristais são tabulares, de contorno hexagonal e plano basal bem desenvolvido (Kalyoncu, 2000).

A grafita natural, oriunda de metamorfismo do carbono orgânico ou de rocha carbonatada, no que concerne o grau de cristalinidade e da forma de ocorrência, que pode ser classificada em três formas distintas: grafita amorfa (60-85% de C), grafita em flocos cristalinos (“*flake*”) (80-97% de C) e grafita em veios cristalinos (“*lump*”) (> 90% de C) (Figura 2). Os diferentes tipos de grafita podem ser encontrados em rochas metamórficas como xisto, gnaisses e mármore. A classificação e qualidade da grafita pode variar de acordo com o teor de carbono, tamanho das partículas e tipos de impurezas (Lobato, 2009).

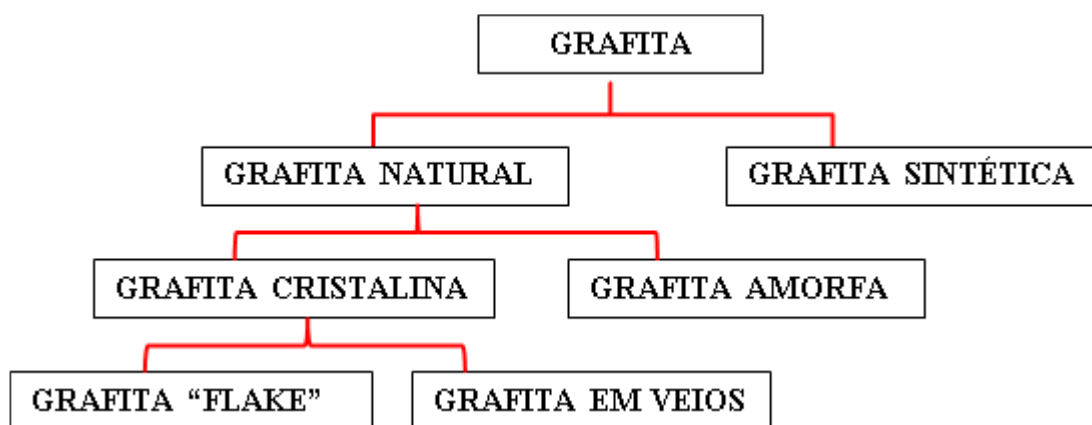


Figura 2 - Representação esquemática da distribuição dos diferentes tipos de grafita.

A grafita natural possui a sua equivalente comercial que é a grafita sintética. Segundo Pereira *et al.* (2007), a grafita sintética (um resíduo da destilação de petróleo contendo cerca de 95% de carbono) foi obtida a partir do coque do petróleo e do carvão vegetal, com a finalidade de reduzir impactos ambientais e custos de produção. A grafita sintética se tornou importante mundialmente por apresentar utilidades semelhantes à grafita natural.

3.1.1 Grafita em Flocos Cristalinos (*flake*)

O termo “*flake*” é utilizado em referência ao hábito em forma de palheta ou lamela. Este tipo de grafita é formada em ambientes geológicos típicos de metamorfismo de contato ou metamorfismo regional, em depósitos de calcário ou sedimentos com presença de material orgânico. As grafitas tipo “*flake*” podem ocorrer homoganeamente em todo o corpo do minério ou concentrados em lentes, na forma de pacotes. Isso faz com que a grafita tipo *flake*, seja considerada a forma natural mais pura, além de apresentar excelente condutividade elétrica e térmica (Lobato, 2009).

Nas mineralizações de grafitas é comum a ocorrência de impurezas (minerais), provenientes das rochas metassedimentares, tais como: quartzo, feldspato, mica, anfíbólio e granada. Todas essas impurezas podem ser facilmente removidas, desde que não seja necessária uma moagem muito fina do minério (Lobato, 2009). A tabela 2 é uma compilação do trabalho de Scogings (2015) que mostra com detalhe os diferentes tipos de *flakes*, com suas respectivas purezas e tamanhos.

Tabela 2 - Diferentes tipos de flakes, com suas respectivas purezas e tamanhos.

Micrômetro (μm)	Tamanho da Malha (<i>Mesh</i>)	Pureza	Terminologia do Mercado
>300	+48	90 a 97%	Flake extragrande ou "JUMBO"
180 a 300	- 48 a +80	90 a 97%	Flake Grande
150 a 180	- 80 a +100	90 a 97%	Flake Médio
75 a 150	- 100 a +200	90 a 97%	Flake Pequeno
<75	- 200	80 a 85%	Flake Fino / Amorfo

Scogings, 2015.

3.1.2 Grafita em Veios Cristalinos

A grafita pode ocorrer também em veios hidrotermais, associada a quartzo, biotita, feldspatos, turmalina, apatita, pirita e titanita. Nestes veios, a grafita se cristaliza a partir de carbono hidrotermal derivado das rochas adjacentes, introduzido durante o metamorfismo regional (Belém, 2006). Segundo Lobato (2009), a grafita em veio cristalino também é conhecida como grafita *lump* ou grafita altamente cristalina. Nestes, as mineralizações podem ser encontradas acumuladas em pacotes ao longo de contatos intrusivos entre pegmatitos e calcários. Este tipo de mineralização apresenta uma morfologia acicular com cristais orientados perpendicularmente à rocha encaixante. Depósitos deste tipo são encontrados em quantidades expressivas na Sirilanka, Ásia Meridional.

3.1.3 Grafita Amorfa

A grafita amorfa é formada por metamorfismo de contato e regional, podendo ser formada também pelo metamorfismo termal do carvão. Sua aparência amorfa resulta do baixo índice de cristalização em partículas muito pequenas, onde estas são visíveis apenas ao microscópio. A origem da grafita microcristalina se deve ao metamorfismo de baixo grau sobre seqüências sedimentares carbonosas. Este tipo de grafita apresenta uma cor preta e é macia ao tato, com teor de carbono que varia entre 60-85%. Os depósitos economicamente viáveis requerem um teor mínimo de carbono de 8%. Desta forma, pode-se dizer que a grafita amorfa é menos pura que a grafita do tipo *flake* (Lobato, 2009).

3.2 Mineralizações de Grafita

Segundo Pasteris (1999), existem dois tipos de mineralizações de grafita, denominadas como depósitos singenéticos e depósitos epigenéticos. Os depósitos singenéticos recebem este nome, pois são gerados juntamente com a formação da rocha hospedeira, durante o metamorfismo. Enquanto que os depósitos epigenéticos são gerados após a formação das rochas hospedeiras.

3.2.1. Depósitos Singenéticos

Os depósitos de grafita singenéticos resultam da transformação, *in situ*, da matéria orgânica primária em grafita, através do metamorfismo regional e/ou metamorfismo de

contato, cujo processo é chamado de grafitização. A depender do grau metamórfico da rocha hospedeira, são formadas nesse tipo de depósito a grafita do tipo *flake* e amorfa, cujo minério apresenta-se estruturado como tabular, lenticular ou irregular. A grafita do tipo *flake* geralmente ocorre em gnaisses de alto grau, quartzitos ou rochas de fácies granulito. Contudo, nesses depósitos a grafita pode variar bastante com a quantidade de impurezas minerais, com variações de 80 a 97% de carbono (Gautneb & Tveten, 2000).

Os depósitos singenéticos de grafita *flake* também podem ser observados em depósitos de carvão e de antracita (carbono quase puro, com pouco vestígio de material vegetal original), cujos processos de formação mostraram ser altamente complexo. Segundo Gautneb & Tveten (2000), depósitos de carvão são geralmente de baixa qualidade e produzem produtos de baixo custo.

3.2.2 Depósitos Epigenéticos

Segundo Luque *et al.* (2013), os depósitos epigenéticos de grafita são resultados de fluidos ricos em C-O-H, que se tornaram saturados e se cristalizaram na forma de grafita. A saturação nos fluidos se dá por fontes de carbono proveniente do metamorfismo de fácies granulito nos metassedimentos ricos em materiais orgânicos e, ou por reações de descarbonatação. O transporte dessas fontes de carbono ocorre principalmente por fluidos ricos em CO₂, que posteriormente se precipita como grafita por arrefecimento (queda de temperatura), remoção de água através de reações de desidratação ou por redução de fluido rico em CO₂, quando passa por rochas com teores relativamente de baixo O₂. Já em corpos ígneos, o carbono é derivado de material crustal rico em matéria orgânica, cuja formação dos fluidos se dá pela fusão desses materiais. O transporte do carbono nos corpos ígneos ocorre através de CO₂ e CO₄, que posteriormente se precipita como grafita por resfriamento e, ou por reações de hidratação, afetando assim, as rochas hospedeiras.

Segundo Gautneb & Tveten (2000), os depósitos de grafita epigenéticos são formados por reações de íons como:

- $C + H_2O = CO + H_2 \rightarrow$ formação da grafita através de materiais carbonosos ou por concentrações pré-existentes de grafita, pela conversão do carbono em CO (reação com vapor d'água).

- $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow$ formação da grafita se dá através da precipitação do carbono por reações de Boudouard (reação entre o gás carbônico e o carbono com produção de monóxido de carbono).

Os processos epigenéticos podem formar grafitas do tipo *lump* (Gautneb & Tveten, 2000).

3.3 Gênese da Grafita

Segundo Evans (1993), a gênese da grafita está associada as rochas de origem metamórficas, em depósitos de veios e depósitos residuais.

3.3.1 Grafita de Origem Metamórfica

A grafita de origem metamórfica resulta da transformação do carbono em grafita (grafitização), quando a matéria orgânica presente nos sedimentos sofre metamorfismo regional e/ou de contato, e é submetida às condições necessárias para a formação da grafita. A grafitização depende principalmente da matéria orgânica, temperatura e pressão atuantes durante o metamorfismo. No caso de depósitos originados a partir de metamorfismo regional, a grafita pode ser formada desde a transição de fácies xisto verde-anfibolito (ca. 480° C) até a fácies granulito (> 800° C). A grafita fina e microcristalina (*dust*) são formadas em rochas de baixo grau metamórfico (e.g., filito), enquanto que a grafita lamelar (*flake*) ocorre em rochas formadas a partir da fácies anfibolito intermediária (ca. 650° C) (Evans, 1993).

Os depósitos de grafita originados a partir do metamorfismo de contato, podem ser formados a partir de intrusões ígneas em rochas carbonáticas, com produção de grafita do tipo *flake*. Este é o caso do depósito de Jennestad, Vesterålen, Norte da Noruega. Outro exemplo é o depósito de carvão no México, que produz grafita do tipo amorfa, quando intrusões ígneas metamorfizaram os carvões desse depósito.

3.3.2 Grafita em Veio ou “*lump*”

Os melhores exemplos de depósito *lump*, são encontrados no sudoeste do Sri Lanka, cujas rochas Pré-Cambrianas sofreram metamorfismo de fácies granulito (Katz, 1897). A gênese desse tipo de depósito tem sido uma questão de debate nos últimos séculos. Segundo Katz (1987), estudos nos minérios de Bogala, Sri Lanka, sugeriram que os fluidos ricos em dióxido de carbono (CO₂), proveniente do metamorfismo de rochas de fácies granulito,

tornaram-se suficientemente concentrado para produzir fraturas hidráulicas e consequentemente a precipitação da grafita.

Luque *et al.* (2013), após uma investigação da grafita em veio nas rochas silimanitas gnáissicas no depósito de New Hampshire, no Sri Lanka, postulou que o carbono foi mobilizado como CO₂ e CH₄ (metano), durante reações metamórficas de desvolatilização, e consequentemente transportado em fluidos aquoso para locais de precipitações através das fraturas hidráulicas.

3.3.3 Depósitos Residuais

Devido a sua natureza não-reativa, a grafita pode ocorrer em função do enriquecimento residual, no qual ela pode ser concentrada em depósitos formados pelo intemperismo de gnaisses grafíticos e xistos (Evans, 1993). Um exemplo ocorre no Distrito de Manampotsy, na porção leste da República de Madagascar, cuja grafita do tipo *flake* é distribuída através de um resíduo solto de caulim e mica. A zona viável para exploração nesse depósito é de cerca de 3 a 30 m de espessura e possui teor de 3 a 10% de grafita. Depósitos similares são encontrados no norte da Província de Shanxi, na China.

3.4 Importância e Uso da Grafita

A grafita é um excelente minério para inúmeras aplicações industriais no setor de refratário, lubrificante e fundição. Este mineral é um excelente condutor elétrico e térmico, é resistente às altas temperaturas, pressão, oxidação, apresenta alta durabilidade contra agentes químicos, possui alto ponto de fusão, não apresenta danos ao meio ambiente, nem riscos a saúde humana (Lobato, 2009).

Segundo Kalyoncu (2000), a grafita é usada pelas indústrias na fabricação de tijolos e peças refratárias, em cadinhos (recipiente em forma de pote, resistente a altas temperaturas e com características refratárias), pelas as indústrias de aço, em latão e bronze, em lubrificantes sólidos ou a base de óleo e água, em tintas para proteção de estruturas de ferro e aço, em revestimento de fricção e células a combustíveis, em revestimento de fundição, catodos de baterias alcalinas, escovas de motores elétricos, peças automotivas, eletrodos de lâmpadas elétricas de arco voltaico e equipamentos esportivos. Uma das aplicações mais importantes da grafita é na utilização do lápis e da lapiseira, cuja mistura de argila muito fina com grafita, forma o grafite do lápis, com diversos graus de dureza.

A grafita é utilizada também como moderador nos reatores atômicos e como uma substância adequada para a produção de componentes de foguetes. A mistura de grafita natural e sintética é usada em revestimentos de freio, porém a grafita sintética oferece uma alternativa promissora para o futuro na produção de veículos híbridos e elétricos (Kalyoncu, 2000). A Tabela 3 mostra os principais campos de aplicação da grafita (natural e sintética).

Tabela 3 - Principais campos de aplicação da grafita (natural e sintética).

APLICAÇÃO	Flake Cristalino	Amofo	Lump	Sintético
Baterias	X		X	X
Aditivos de carbono		X		X
Panelas de carbono	X			
Escovas de carbono	X	X		X
Catalisadores	X			
Tecidos e fibras				X
Coberturas	X	X		
Cadinhos	X	X		
Eletrodos				X
Retardantes de fogo	X			
Materiais de fricção	X	X		X
Células de combustível	X			X
Moldes	X	X		
Lubrificantes	X	X	X	X
Tintas		X		
Lápis	X	X		
Plásticos e resinas	X			
Metalurgia do pó	X		X	
Refratários	X	X		
Retortas	X			
Ladles (colher)	X	X		

Pereira (2007).

3.5 Principais Países Onde a Grafita é Encontrada

As primeiras minas de grafita foram descobertas em 1400 na Bavaria, Alemanha. Posteriormente, em 1504, descobriram uma mina em Cuberland, na Inglaterra. A descoberta dessas minas, fez com que o químico Karl Wilhelm Scheele, no final do século XVIII, comprovasse cientificamente, que a grafita era formada por carbono. Mas, foi a partir do

surgimento do lápis, em 1644, na Alemanha, que a grafita se tornou um minério de grande valor no cenário mundial.

Atualmente, com o avanço da tecnologia industrial e conseqüentemente, com o grande uso da grafita para diversos fins econômicos, este minério se tornou um dos principais produtos a serem explorados e produzidos em diversos países. Os países produtores da grafita natural ou sintética, segundo Crossley (2000) são: China, Índia, Sri Lanka, Coreia e Rússia, no continente asiático; Brasil e México, na América Latina; Estados Unidos e Canadá, na América do Norte; Madagascar, Moçambique, Tanzânia, Zimbábue e África do Sul, no continente africano; Áustria, República Checa, Alemanha, Noruega, Suécia, Suíça, Ucrânia na Europa e Austrália na Oceania. A seguir serão discutidos alguns dos principais países produtores da grafita.

China

Segundo Feytis (2010), a China é o maior consumidor e produtor mundial da grafita do tipo *flake* e amorfa, totalizando uma produção de 800 mil toneladas em 2009, o que representa mais de 70% da produção mundial. Com esses dados a China lidera o *ranking* no processamento e exportação da grafita. Os principais depósitos, explorados pela empresa *Qingdao Everest Carbon Co. Ltda*, são Heilongjiang, Shandong e Províncias de Shanxi.

Índia

Segundo Feytis (2010), a Índia é a segunda maior produtora mundial da grafita depois da China, totalizando uma produção de 140 mil toneladas em 2009, o que representa cerca de 12,4% da produção mundial. Os principais depósitos explorados pela empresa *Agrawal Graphite Industries* são Temrimal, Dudkamal, Beharamunda, Deharmunda e Gandabhali. Todos estes depósitos estão localizados perto da vila de Checherbeng, no distrito de Belpara, Estado de Orissa, no oeste da Índia.

Apesar de sua grande produção, a Índia apresenta preocupações com a exploração da grafita. A primeira delas é concorrência com a grafita chinesa e a segunda é o retardamento dos projetos de mineração pelo governo indiano, com a justificativa de impactos ambientais gerados pelas minas.

Sri Lanka

Nos sedimentos Arqueanos metamorfeizados, localizados na porção sudoeste do Sri Lanka, encontra-se o maior depósito de grafita em veio ou *lump* do mundo. A grafita formada pelo metamorfismo de carbonatos impuros encontram-se disseminados em gnaisses, enquanto a grafita secundária em veio preenche fendas, fissuras, foliações e planos de juntas. Acredita-se que o depósito da grafita em veio foi formado pela assimilação de calcário e dolomitos nos magmas charnokíticos. O teor de grafita nessas minas atinge 97 a 98% de carbono (Lobato, 2009).

Rússia

Segundo Lobato (2009), na Rússia existem inúmeros depósitos de todos os tipos de grafita. Grafitas do tipo amorfa, contendo 87 a 94% de carbono, aparecem nas camadas de carvão termalmente metamorfizada na Bacia de Carvão de Tungusk, oeste de Irkutsk; grafitas do tipo *flake* aparecem na Ucrânia; na parte ocidental de Irkutsk são encontrados depósitos de grafita do tipo *flake* formada por metamorfismo de contato, onde se encontram disseminados no nefelina-sienito; na mina de Alibert, na região de Krasnaya Polyana norte de Cáucaso ocorrem pequenos depósitos de grafita do tipo *lump*.

Coreia

A Coreia é considerada um grande produtor mundial da grafita natural, extraindo e beneficiando grafitas tanto do tipo amorfo como do tipo *flake*. No entanto, 96% dessa produção são grafitas amorfas, contendo baixo teor de carbono. Os depósitos são formados pelo metamorfismo de contato nas camadas de carvão e também por metamorfismo nos argilitos grafíticos (Lobato, 2009).

Brasil

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial da grafita, depois da China e Índia, totalizando uma produção de 77 mil toneladas em 2009, o que representa cerca de 6,8% da produção mundial. Em se tratando de reservas de grafita natural do tipo *flake*, o Brasil ocupa o segundo lugar no cenário mundial, com um total de 34,8% (Feytis, 2010).

Segundo Lobato (2009), as principais reservas de grafita economicamente explorável estão localizadas nos Estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia. No estado de Minas Gerais, a Nacional de Grafita Ltda (NGL), maior produtor de grafita no Brasil, extrai e beneficia os

flakes nas minas dos municípios de Pedra Azul, Salto da Divisa e Itapeçerica. A Extrativa Metalúrgica S/A, extrai e beneficia a grafita nos depósitos do município de Maiquinique, na Bahia. Já a empresa Grafita MG, explora a grafita nos municípios de Serra Azul e Mateus Leme, em Minas Gerais.

México

No México, as duas regiões produtoras de grafita estão situadas nos Estados de Sonora e Oaxaca. A grafita de Sonora está associada com camadas de carvão do Triássico Superior, que foram metamorfizadas por diques graníticos. Os depósitos de grafita são homogêneos e do tipo amorfa, contendo aproximadamente 80% de carbono. Estudos revelam que as camadas de carvão intercaladas com arenitos, foram dobradas e posteriormente intrudidas por granitos, originando assim mineralizações de grafita (Lobato, 2009).

Estados Unidos da América (EUA)

Segundo Kalyoncu (2000), a grafita extraída nos Estados Unidos foi interrompida desde 1990, quando a *United Minerals Co.* suspendeu as operações de mineração na mina de Montana. Contudo, mais de 60.800 toneladas de grafita natural foi importada da China, Canadá, Brasil, México e Madagascar. Mas no ano de 2000, os Estado Unidos produziram 290 mil toneladas de grafita sintética.

Canadá

O Canadá é o quinto maior produtor mundial da grafita natural do tipo *flake*, ficando atrás da China, Índia, Brasil e Coreia do Norte e antes da Noruega e México. Em 2009, totalizaram uma produção de 27 mil toneladas, o que representa cerca de 2,4% da produção mundial (Feytis, 2010).

A principal jazida que produz grafita natural do tipo *flake*, explorada pela *Stratmin Graphite Inc.*, está localizada em Lac des Îles, Quebec. Estes *flakes*, por sua vez, apresentam teor de 90 a 98% de carbono, possuem alta anisotropia, compressibilidade e condutividade (Crossley, 2000).

Madagascar

Madagascar é o principal produtor de grafita da África, totalizando uma produção de 5 mil toneladas em 2009. Os principais depósitos explorados pela empresa *Société Minière de*

la Grande Ile (SMGI), são Antsirakambo, Marovintsy e Ambalafotaka, localizados nas regiões de Toamasina e Vatomandry, leste de Madagascar (Feytis, 2010).

Segundo Crossley (2000), os depósitos de Madagascar se destacam por apresentar *flakes* geralmente grande e de boa qualidade, sendo que muitos desses depósitos aumentaram sua pureza por aprestar resistência ao intemperismo e a lixiviação. Esta grafita é originada de xistos e gnaisses micáceos que sofreram metamorfismo e intemperização. Contudo, o minério bruto atinge de 3 a 10% de grafita (Lobato, 2009).

Zimbábue

Segundo Feytis (2010), atualmente o Zimbábue, além de Madagascar, é outro país produtor de grafita na África, cuja produção em 2009 foi de 3.000 toneladas, extraída e beneficiada por uma empresa alemã na mina de Lynx.

Os principais países na produção mundial do minério de grafita, de 2011 a 2016 em 1.000 toneladas métricas, podem ser definidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais países na produção mundial do minério da grafita.

PRODUÇÃO EM MIL TONELADAS MÉTRICAS						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
China	800	800	750	780	780	780
Índia	150	160	170	170	170	170
Brasil	73	110	95	80	80	80
Turquia	10	5	5	29	32	32
Coréia do Norte	30	30	30	30	30	30
México	7	8	7	22	22	22
Canadá	25	25	20	30	30	21
Rússia	—	—	14	15	15	15
Madagascar	4	4	4	5	5	8
Noruega	2	2	2	8	8	8
Zimbábue	—	6	4	7	7	7
Ucrânia	6	6	6	5	5	5
Sri Lanka	4	4	4	4	4	4
Outros Países	7	2	1	1	1	1

<<https://www.statista.com/statistics/267366/world-graphite-production/>>.

3.6 Situação da Grafita no Brasil

As principais reservas exploráveis da grafita no Brasil estão situadas nos Estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia. Outros depósitos também são conhecidos nos Estados de Goiás, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Pernambuco, porém, nenhuma ocorrência é explorada até o momento no sul do Brasil (Carvalho *et al.*, 2014). Os municípios de maior produção desse minério são Pedra Azul, Salto da Divisa e Itapeçerica em Minas Gerais e Maiquinique, na Bahia. A Tabela 5 mostra as reservas conhecidas de grafita no Brasil.

Tabela 5- Reservas de grafita das principais províncias exploradas no Brasil.

RESERVAS (Milhões de Toneladas)				
Províncias	Medidas	Indicadas	Inferidas	Somas
Itapeçerica	2,72	0,00	0,02	2,74
Pedra Azul	80,60	19,06	3,30	102,96
Salto da Divisa	232,60	79,97	8,66	321,23
Almenara/Jordânia	8,97	2,27	0,00	11,24
SOMAS	324,89	101,30	11,98	438,17
Total Geral Med + Ind + Inf = 438,17 milhões de toneladas				

Carvalho *et al.* 2014.

3.6.1 Província Grafítica de Pedra Azul, Minas Gerais

A província grafítica de Pedra Azul localiza-se na região do Complexo Jequitinhonha, sudoeste do povoado Araçagi, no município de Pedra Azul, nordeste do estado de Minas Gerais. Em produção desde 1972, é considerada a maior planta de grafita, 100% brasileira, em operação no mundo (Carvalho *et al.*, 2014).

Segundo Lobato (2009), os depósitos de grafita no Complexo Jequitinhonha, foram formados quando as variações de fácies arenosas e pelíticas ricas em matéria orgânica, sofreram metamorfismo regional durante o evento Brasileiro (Neoproterozóico) na Faixa Araçuaí.

Os depósitos da província grafítica de Pedra Azul estão associados à Unidade Xistosa. Essas jazidas estão encaixadas tectonicamente no Complexo Jequitinhonha, através de zonas

de cisalhamento dúctil, principalmente oblíquas, de alto ângulo de mergulho e com direções predominantemente de ENE a E-W. As mineralizações da grafita encontram-se atribuídas as rochas kinzigitos desse complexo, onde também estão presentes rochas metassedimentares grafitosas como sillimanita-grafita xistos, grafita-quartzo xistos, quartzitos grafitosos, granada-muscovita-biotita xistos e quartzitos. Os minerais (plagioclásio, microclina, quartzo, sillimanita, grafita, moscovita e biotita) presentes nessas rochas associadas a indicadores de fusão parcial, comprovam que a região sofreu metamorfismo de fácies anfibolito, no início da zona de anatexia entre 600°C a 700°C e pressão de 4kbars (Lobato, 2009).

As jazidas na região de Pedra Azul possuem grafitas do tipo *flake*, onde estudos revalam que no plano de clivagem basal a grafita encontra-se estirada, assumindo formas losangulares. Já no corte perpendicular à clivagem basal, os *flakes* apresentam ter uma forma lamelar. Quanto ao tamanho médio dos cristais da grafita, apresentam-se geralmente menores que 1 mm (*flakes* finos), que acompanhado com uma baixa porcentagem de carbono, resulta em baixa qualidade (Lobato, 2009).

3.6.2 Província Grafítica de Itapecerica, Minas Gerais

A província grafítica de Itapecerica localiza-se no município de Itapecerica, estado de Minas Gerais. Segundo Teixeira *et al.* (2017), esta província foi formada durante o consumo da litosfera oceânica pela Orogenia Minas, ao longo da margem continental Neorqueana do Cráton São Francisco, por volta de 2 Ga. Estudos geocronológicos em zircão detrítico da sequência supracrustal de Itapecerica, revelam que a bacia Itapecerica foi preenchida por material proveniente da erosão dos ortognaisses e granitoides produzidos durante a Orogenia Minas e por materiais de fonte arqueana.

A sequência supracrustal de Itapecerica é composta por rochas metassedimentares granulitizadas (Kondalitos), estas, por sua vez, foram formadas através de materiais carbonáticos primários presentes nos sedimentos, que sofreram metamorfismo de alto grau.

Segundo Teixeira *et al.* (2017), os depósitos da província grafítica de Itapecerica estão associados à Suíte Kondalítica, esta suíte é composta por granulitos aluminosos derivados de protolitos sedimentares com granada e sillimanita, podendo ou não conter espinélio, cordierita e grafita. As mineralizações da grafita encontram-se atribuídas a rochas Kondalíticas, quando estas foram dobradas e submetidas a metamorfismo de fácies granulito, durante processos de subducção e colisão.

A jazida de Itapecerica hospeda o segundo maior depósito de grafita tipo *flake* do Brasil. Esse minério é explorado pela Nacional de Grafite nas minas Tejuco Preto, Bambuí e Cafofo, desde 1939 (Teixeira *et al.*, 2017).

3.6.3 Província grafítica de Salto da Divisa, Minas Gerais

A Província grafítica de Salto da Divisa localiza-se na região do Complexo Jequitinhonha, no município de Salto da Divisa, estado de Minas Gerais.

O contexto geológico da província Salto da Divisa é semelhante à província de Pedra Azul, pois ambos estão situados na região do Complexo Jequitinhonha em Minas Gerais.

Os depósitos da província grafítica de Salto da Divisa estão associados à Suíte Kinzigítica. Essas jazidas estão encaixadas tectonicamente no Complexo Jequitinhonha, através de zonas de cisalhamento dúctil, orientadas segundo a foliação regional, que varia de NW-SE a E-W. As grafitas encontram-se mineralizadas e hospedadas em paragnaisses como sillimanita-grafita gnaisses, grafita xistos, grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaisses (kinzigitos), cordierita-granada-biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses, granulito cálcio-silicático e quartzitos. Estudos indicam que essas rochas tenham se formado pelo metamorfismo de transição entre as fácies anfibolitos e granulitos com intensa anatexia entre 700 a 800°C e pressão de 4kb (Lobato, 2009).

3.6.4 Província Grafítica de Almenara, Minas Gerais

A província grafítica de Almenara localiza-se na região do Complexo Jequitinhonha, no município de Almenara, estado de Minas Gerais.

Segundo Lobato (2009), os depósitos grafíticos da província de Almenara apresentam-se disseminados em rochas gnáissicas de composição kinzigítica do Complexo Jequitinhonha, cujo protólito desses gnaisses são sedimentos pelíticos marinhos, arcósias e grauvacas, depositados na bacia Araçuá durante o Neoproterozóico.

As reservas de Almenara estão associadas a Suíte Kinzigítica, cuja grafita encontra-se mineralizada e hospedada em paragnaisses como grafita gnaiss, quartzito, rocha cálcio-silicática e piroxênio hornblendito, todas elas migmatizadas. Os minerais (biotita, granada, cordierita, sillimanita e grafita) presentes nessas rochas associado ao evento deformacional responsável pela criação da foliação principal e dobramento da mesma, indicam que a região

sofreu metamorfismo de transição entre as fácies anfibolito e granulito com intensa anatexia (Lobato, 2009).

As jazidas na região de Almenara possuem grafita do tipo *flake*, com tamanho dos cristais variando de médio a grosso. A morfologia microscópica desses cristais assume formas tabulares ou, às vezes, apresentam ter uma aparência esfarrapada (Lobato, 2009).

4 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Segundo Almeida *et al.* (1977), o estado de Sergipe localizado no nordeste do Brasil, foi dividido em três grandes províncias estruturais brasileiras: (1) a Província do São Francisco, representada pelo Cráton São Francisco; (2) a Província Borborema, representada pela Feixa de Dobramentos Sergipana; e a Província Costeira e a Margem Continental, que incluem as bacias sedimentares mesosóicas (Sergipe e Tucano) e suas extensões submersas que se prolongam à Plataforma Continental, bem como as coberturas sedimentares de idades terciárias e quaternárias (Figura 3).

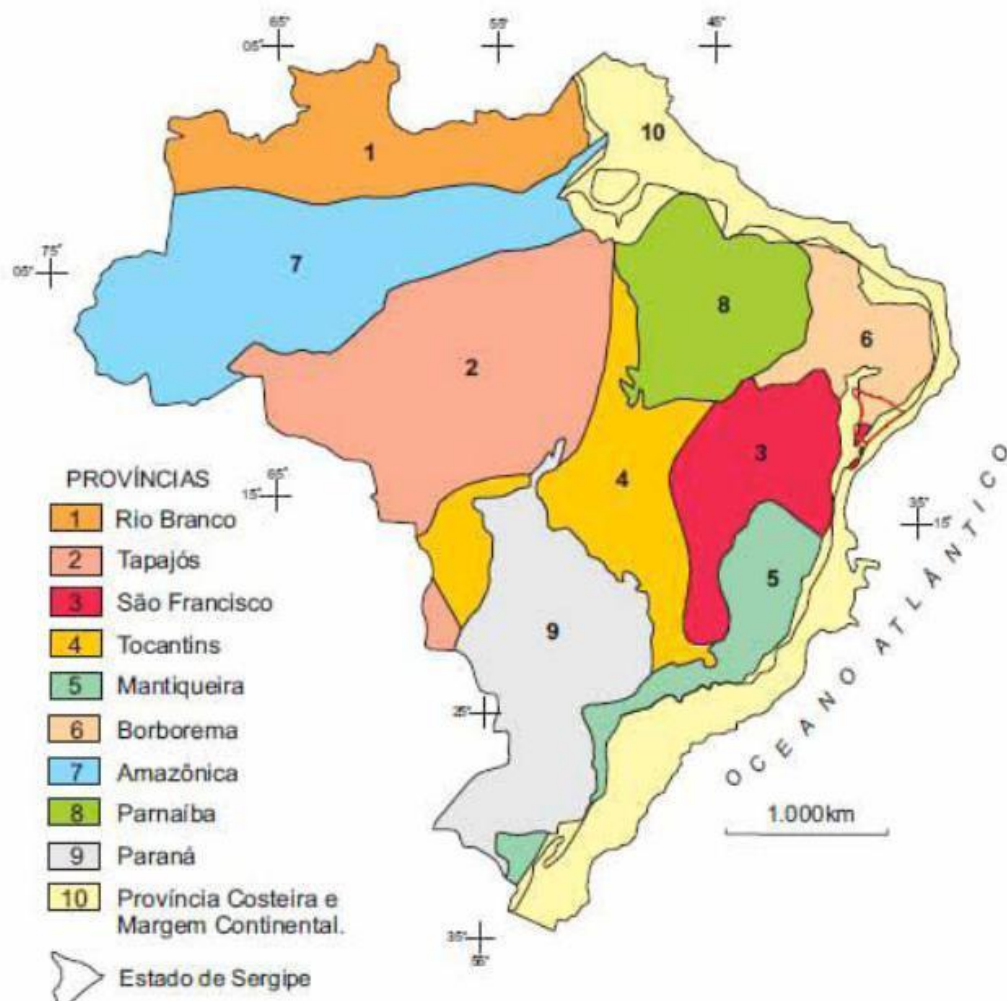


Figura 3: Províncias Estruturais do Brasil (modificado de Almeida *et al.*, 1977).

4.1 Cráton São Francisco (CSF)

O Cráton São Francisco, definido por Almeida (1977) é uma unidade geotectônica de idade Arqueana-Paleoproterozóica, cuja consolidação ocorreu no final da Orogenia Transamazônica (2,2-1,88 Ga), com limites estruturados no final da Orogenia Brasileira (650-550 Ma) por colisões que deram origem a suas faixas de dobramentos marginais (Almeida *et al.*, 2000). Essa unidade tectônica está quase totalmente inserida no território bahiano, além de se estender aos estados de Sergipe, Pernambuco, Minas Gerais e Goiás. Seus limites são definidos pelos Orógenos Riacho do Pontal, a norte; Brasília, a sul e oeste; Rio Preto, a noroeste; Faixa de Dobramentos Sergipana, a nordeste e Faixa Araçuaí, a sudeste (Almeida 1977, 1981) (Figura 6).

Segundo Delgado *et al.* (2003), o embasamento do CSF é composto por suítes metaplutônicas, sequências metavulcano-sedimentares, *greenstone belts* além de cinturões granulíticos arqueanos e paleoproterozóicos. Barbosa & Sabaté (2002, 2004) determinaram que o CSF está dividido em quatro segmentos crustais: (i) Bloco Gavião, (ii) Bloco Jequié, (iii) Bloco Serrinha e (iv) Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá. Segundo esses autores, as rochas que constituem esses blocos possuem idades superiores a 1,8 Ga e podem ser identificados nesse contexto diferentes grupos de plútons com idades e químicas distintas.

De acordo com Barbosa & Sabaté (2003) as colisões no Paleoproterozóico envolvendo esses segmentos crustais arqueanos (blocos) deram origem ao Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá, ao Lineamento Contendas-Jacobina (Sabaté *et al.* 1990) e ao Cinturão Salvador-Esplanada (Barbosa, 1997). Os mesmos autores afirmam que a movimentação dos quatro blocos ocorreu no sentido NW-SE, sendo comprovadas por zonas de cisalhamento regionais reversas de baixo ângulo e zonas transcorrentes tardias.

Levando em consideração que esses blocos são remanescentes dessa grande colisão e que registram uma complexa história metamórfica e deformacional, seguida de diferentes fases, abaixo serão descritas as principais características que especificam essas unidades.

4.1.1 Bloco Gavião

O bloco Gavião é composto de uma associação de ortognaisses, leptinitos e anfibolitos, de sequências supracrustais, equilibradas na fácies xisto-verde, além de associações tonalíticas, trondhjemiticas e granodioríticas da fácies anfibolito. Granitos e granodioritos dessa região possuem idades Rb-Sr em torno de 2.9-2.8 Ga. Em algumas áreas próximas as sequências supracrustais, os gnaisses apresentam componentes ortoderivados e paraderivados (Oliveira *et al.*, 1990).

4.1.2 Bloco Jequié

O bloco Jequié está limitado a oeste pelo bloco Gavião e a leste pelo Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá. Segundo os autores Cordani (1973); Wilson (1989); Marinho (1991), este bloco consiste de rochas plutônicas enderbíticas-charnockíticas e sequências vulcanossedimentares, todas da fácies granulito com origem a partir da fusão parcial de protocrosta oceânica arqueana.

4.1.3 Bloco Serrinha

O bloco Serrinha é uma associação de ortognaisses graníticos-granodioríticos e tonalíticos que variam entre 3,1 e 2,8 Ga, e de rochas supracrustais vulcano-sedimentares caracterizadas por uma paragênese metamórfica da fácies xisto-verde (Oliveira *et al.*, 1990).

4.1.4 Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá

O Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá é composto por quatro grupos de tonalitos/trondhjemitos, sendo três com idade arqueana, em torno de 2,6 Ga, e um de idade paleoproterozóica, com aproximadamente 2,1 Ga. Barbosa & Sabaté (2003) relatam a ocorrência de monzonitos shoshoníticos de 2,4 Ga além de monzodioritos. Teixeira (1997) relata que esse segmento do cráton também é composto por charnockitos de 2,6 Ga e faixas supracrustais. Todos os litotipos foram reequilibrados na fácies granulito após o ciclo tectônico Paleoproterozóico (Barbosa & Sabaté, 2002, 2004).

O Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá em sua parte norte configura-se dividido em dois segmentos: (i) Um abrangendo termos mais a oeste, que foi denominado de Cinturão Móvel Salvador-Curaçá de acordo com Santos & Souza (1983); (ii) Outro abrangendo porções mais a leste e definido por Barbosa & Dominguez (1996) como Faixa Salvador-Esplanada (FSE). Já Oliveira (2014) denominou essa faixa de Cinturão Salvador-Esplanada (CSE). Neste trabalho será dada maior ênfase a este cinturão, já que a área estudada faz parte desta unidade.

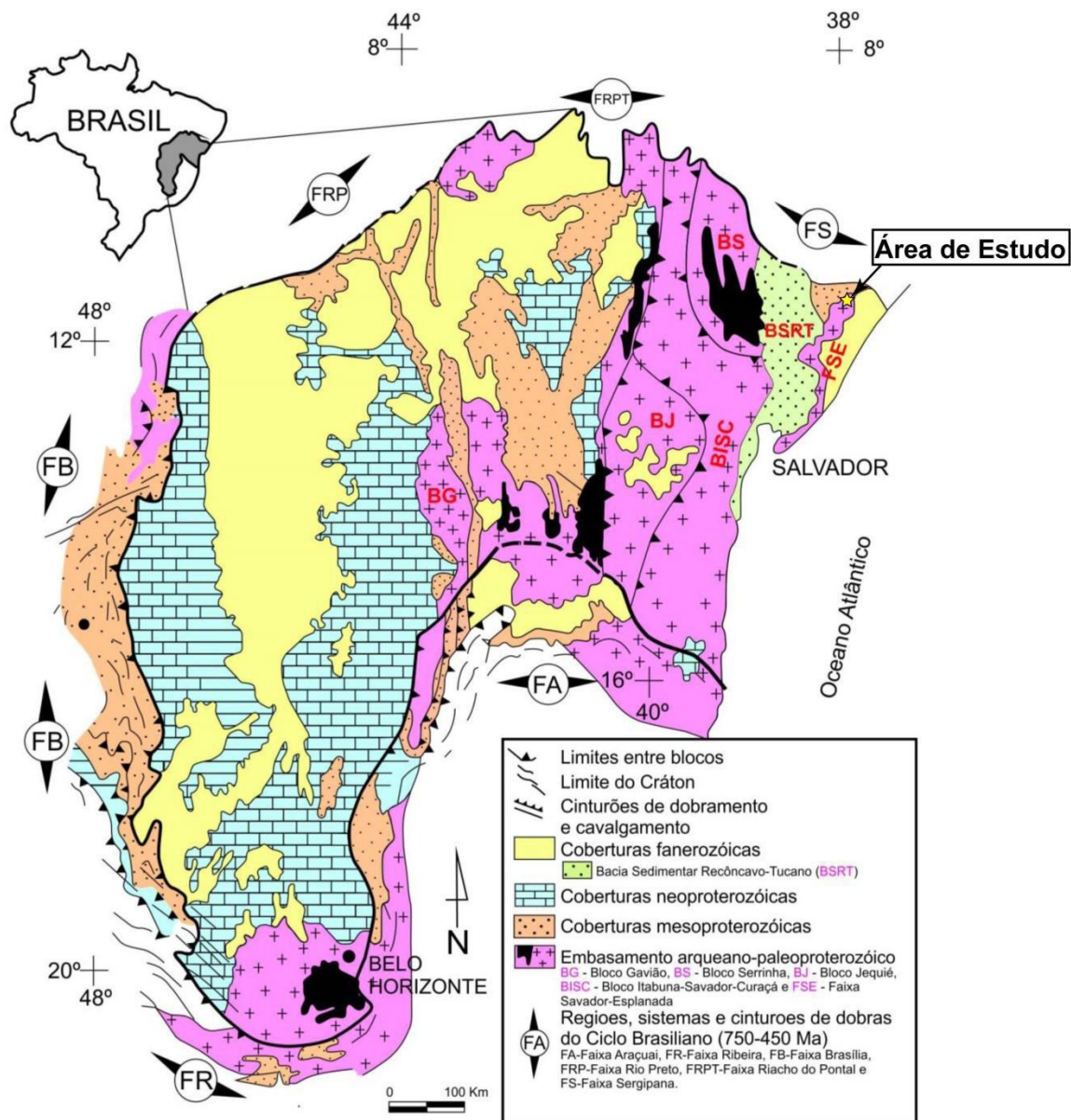


Figura 4: Mapa esquemático da geologia do Cráton do São Francisco mostrando seus limites e a distribuição das principais unidades litoestratigráficas. (Modificado de Alkmim *et al.*, 1993, *Apud* Souza 2009).

4.2 Cinturão Salvador-Esplanada

O Cinturão Salvador-Esplanada (CSE) representa a porção mais oriental do Cráton São Francisco (CSF) e mantém um alinhamento, cuja orientação geral é N045°, com a Bacia do Recôncavo-Tucano, segundo Barbosa & Dominguez (1996) (Figura 4). Esta faixa estende-se da cidade de Salvador na Bahia até a região norte da cidade de Boquim em Sergipe onde, encontra-se encoberto por sedimentos do Grupo Estância e do Grupo Barreiras (Delgado *et*

al., 2003). Oliveira (2014) denominou esse cinturão que vai do território baiano ao sergipano como Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB).

Segundo Oliveira *et al.* (1990), dois eventos de deformações registrados no Cinturão Móvel Salvador-Esplanada são atribuídas ao Ciclo Transamazônico: um tangencial em condições de metamorfismo granulítico; e o segundo, de cinemática transcorrente sinistral, que ocasionou o retrometamorfismo às fácies anfibolito e até xisto-verde, detectado localmente na porção baiana do Cinturão.

De acordo com Oliveira Junior (1990), o CSE em Sergipe é definido pelas rochas dos Complexos Gnáissico-Migmatítico e Complexo Granulítico, e na Bahia é dividido em dois domínios estruturais, denominados Zona de Cisalhamento Aporá-Itamira e Suíte Granitóide Teotônio Pela Porco, na porção ocidental e Zona Salvador-Conde na porção oriental. Segundo o mesmo autor, em Sergipe o embasamento definido pelos Complexos Migmatítico e Granulítico é caracterizado por ocorrências de biotitas gnaisses migmatíticos deformados, sendo observados encraves de anfibolitos, granitóides aluminosos e alcalinos, ortognaisses migmatíticos granodioríticos metatexíticos bandados a diatexíticos nebulíticos, biotita ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, *augen* gnaisses graníticos além de diques máficos.

Segundo Santos *et al.* (1998), ao elaborarem o mapa geológico de Sergipe, descreveram mais uma unidade geológica, ficando definida da seguinte maneira: (i) Complexo Gnáissico-Migmatítico (APg); (ii) Complexo Granulítico (APgl); (iii) Diques de Arauá. Os referidos autores subdividiram o Complexo Gnáissico-Migmatítico em cinco unidades litológicas com características distintas, sendo definidas por APg1, APg2, APg3, APg4 e APg5. Oliveira (2014) aborda uma nomenclatura diferenciada para essas unidades e de forma mais simplificada estabelece que os termos APg1, APg3 e APg4 propostos por Santos *et al.* (1998) seja representada como uma grande unidade denominada de Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR). A unidade APg2 ficou definida por este autor como Complexo Gnáissico-Migmatítico Costa Atlântica (CGMCA). O Complexo Granulítico (APgl) passou a ser chamado de Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB), que inclui também a unidade APg5. No presente trabalho foram mantidas as nomenclaturas propostas por Oliveira (2014).

4.2.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR)

Segundo Oliveira (2014), o CGMRIR compreende o setor meridional de Sergipe, tendo os limites identificados próximos às cidades de Rio Real na Bahia e Riachão do Dantas em Sergipe. Santos *et al.* (1998) define que essa unidade está limitada a oeste com sedimentos neoproterozóicos da Formação Palmares (Faixa Sergipana) e a leste, limita-se através de falhas e zonas de cisalhamento com o Complexo Granulítico. Também, descrevem ocorrência de biotita ortognaisses de composição granodiorítica-granítica, por vezes tonalíticas. Oliveira (2014) relata que na porção mais setentrional predomina a composição granítica concordando com porções mais homogêneas e também descreve a percepção de fenocristais de feldspato deformados e estirados com desenvolvimento de textura *augen*. Já Santos *et al.* (1998) relata que são comuns evidências de processos de migmatização em diversos estágios de fusão parcial, sendo observados desde metatexitos bandados até diatexitos com presenças de estruturas tipo *schlieren* e nebulítica. Oliveira (2014) ressalta que estas evoluíram e tornaram-se massas de granitóides de anatexia com dimensões variadas. O mesmo autor menciona que em escala microscópica o processo de fusão parcial fica evidenciado pela ocorrência de microclina intersticial, fracamente peritítica.

Datações U-Pb em zircões estabeleceram idades de cristalização entre 2151-2179 Ma para os mesossomas e de 2.073 ± 6 Ma para os leucossomas. Esta última idade é interpretada como sendo a idade do pico do metamorfismo dessas rochas (Oliveira, 2014).

4.2.2 Complexo Gnáissico-Migmatítico Costa Atlântica (CGMCA)

Segundo Santos *et al.* (1998), essa unidade é representada por uma associação ortognaissica ácido-básica, evidenciando processo de migmatização e de invasão por granitoides tardios. O mesmo autor comenta que a unidade ocorre de forma discreta em Sergipe por estar coberta por sedimentos do Grupo Barreiras. Oliveira (2014) comenta que essa unidade tem sua margem delimitada a oeste-nordeste por uma falha de direção SW-NE, a nordeste da cidade de Esplanada (BA) com certa proximidade com a cidade de Umbaúba (SE). A unidade CGMCA prolonga-se para leste em direção ao litoral, sendo novamente observado nas proximidades da cidade do Conde, em território baiano.

Foram descritos por Santos *et al.* (1998) ocorrências de rochas gabróicas anfibolitizadas associadas com ortognaisses félsicos tonalitos-granodioritos. Oliveira (2014)

comenta que núcleos enderbíticos, charnoenderbíticos e charnokíticos são evidenciados na região a leste da cidade de Jandaíra (BA).

4.2.3 Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB)

Segundo Oliveira (2014), o Complexo Granulítico Esplanada-Boquim ocupa uma área em forma de cunha que se expande para o norte, desde a cidade de Esplanada (BA) até a porção norte do município de Boquim e Riachão de Dantas (SE). Esse complexo está inserido regionalmente entre duas faixas gnáissicas-migmatíticas, limitado por falhas e zonas de cisalhamentos, a leste, com o Complexo Gnáissico-Migmatítico Costa Atlântica (CGMCA) e a oeste, com o Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR), já na parte norte, nas imediações do município de Lagarto (SE), limita-se com as formações metassedimentares do Grupo Estância, pertencente à Faixa de Dobramento Sergipana.

Segundo Santos *et al.* (1988) e Marinho (1991), o CGEB é representado por uma sequência bimodal ácido-básica de alto grau metamórfico, cuja fácies é granulítica. Esse complexo é composto por rochas dos tipos ortognaisses enderbíticos, charnoenderbíticos e charnockíticos, gabronoritos foliados, granulitos alumino-magnesianos (kinzigitos), lentes quartzíticas e diques de composição dacíticos/riolíticos porfiríticos. Santos e Marinho também descobriram na área, a presença de níveis leucossomáticos quartzo-feldspáticos contendo hiperstênio, com isso concluíram que a região sofreu metamorfismo de fácies granulito. Já Silva Filho *et al.* (1977), identificou nesse mesmo local níveis de biotita gnaisses, com vestígios de migmatização, associados aos ortognaisses, que logo concluíram que as rochas de fácies anfibolito resultaram do metamorfismo dos ortognaisses granulíticos regionais.

Oliveira (2014) apresenta uma subdivisão nesse complexo e estabelece as seguintes unidades: granulitos charnoenderbíticos (Ch-Ed); granulito enderbíticos 1 (Ed1); granulito enderbítico 2 (Ed2); e monzo-charnockíticos (MCh). Segundo este autor essas rochas são metaluminosas a levemente peraluminosas, cálcio-alcalinas de baixo (Ed1 e Ed2), médio (Ch-Ed) e alto potássio (MCh), e ocupam o campo de arcos vulcânicos no diagrama de discriminação de ambiente tectônico de Pearce (1984).

Segundo Santos *et al.* (1998), o CGEB apresenta uma foliação com direção predominante N-S, enquanto que na região onde é registrada ocorrência dos Diques de Arauá, estas rochas apresentam uma reorientação para direções WNW-ESE.

Oliveira (2014) realizou datações U-Pb em zircões no granulito enderbítico 2 e no granulito monzo-charnockítico, que definiram idades de cristalização de 2.582 ± 11 Ma e 2.473 ± 13 Ma, respectivamente. Uma população de zircões metamórficos foi datada do granulito monzo-charnockítico, e forneceu a idade de 2.087 ± 14 Ma, que foi interpretada como sendo a idade do pico do metamorfismo dessas rochas (Oliveira, 2014).

4.2.4 Diques de Arauá

As rochas que constituem esses corpos intrusivos apresentam características que as definem como ácidas a intermediárias possuindo termos básicos subordinados. Trata-se de rochas de composições riolíticas e dacíticas como forma predominante, contudo foram pesquisados em trabalhos anteriores ocorrências de traquitos e andesitos por Fontes (2011) e Passos (2012) respectivamente. Os diques estão inseridos nas rochas do Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB) e do Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR), sendo evidenciados por apresentarem dimensões distintas.

4.3 Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS) no Estado de Sergipe

A FDS é uma faixa orogênica triangular de direção WNW-ESE, situada na parte sul da Província Borborema, na região Nordeste do Brasil, entre o maciço Pernambuco-Alagoas (PE-AL) e o Cráton São Francisco. Sua origem é atribuída à colisão entre o PE-AL, localizado a norte, e o CSF, localizado a sul, durante a Orogênese Brasileira, no Neoproterozóico (Brito Neves *et al.*, 1977). Segundo Bueno *et al.* (2008) o clímax dessa colisão foi por volta de 570 a 590 Ma.

Santos *et al.* (1988) e Davison & Santos (1989) compartimentaram a FDS no estado de Sergipe em seis domínios geológicos distintos (Figura 5). Esses domínios são delimitados por discontinuidades estruturais e por feições distintas, os quais são nomeados de sul para norte como: Estância (D'el Rey Silva, 1995), Vaza Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé.

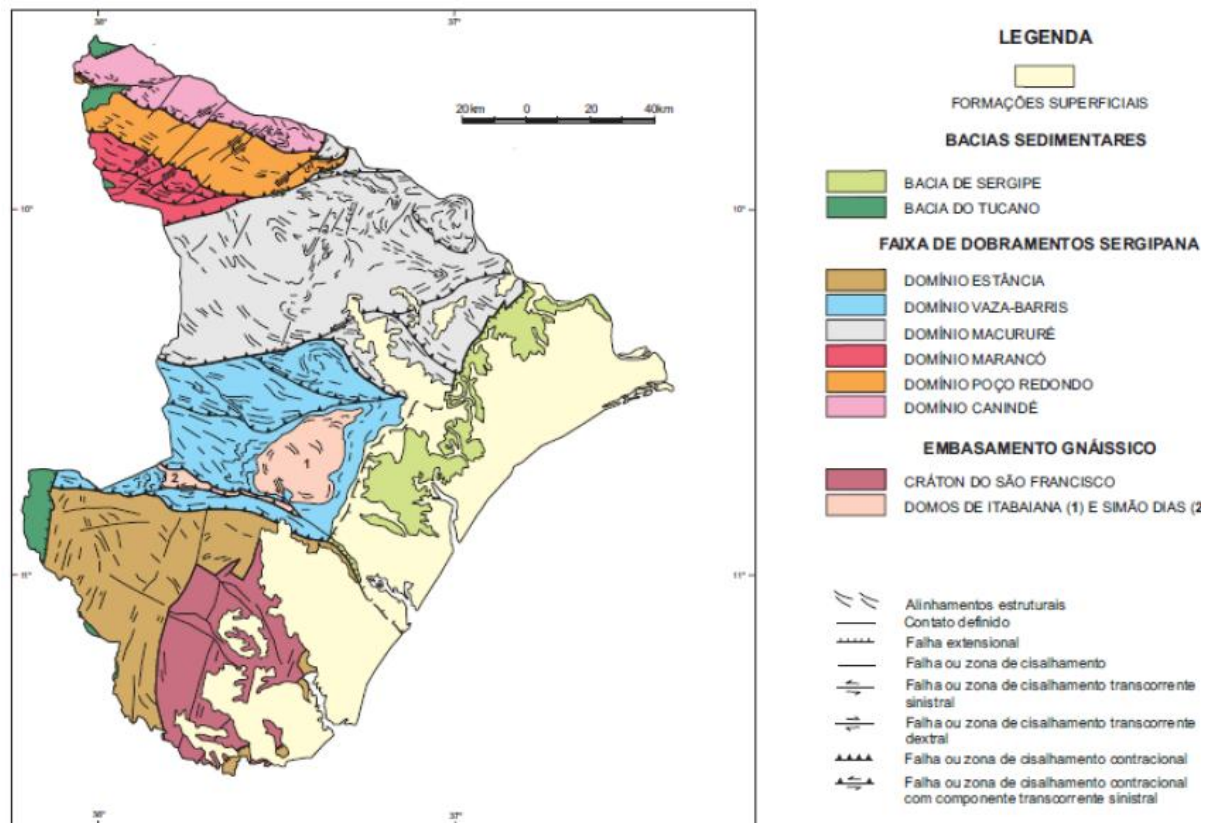


Figura 5: Compartimentação tectono-estratigráfica do Estado de Sergipe (Santos *et al.*, 2001).

4.4 Formações Superficiais

Segundo Santos *et al.* (1988), as formações superficiais (Figura 5) são representadas por sedimentos e que estão relacionadas às coberturas terciário-quaternárias, ocorrendo na costa leste do estado de Sergipe. Estes autores relatam que esses depósitos são correlativos de duas fases de avanço e regresso do mar (pediplanação) que ocorreram durante o Cenozoico, por toda faixa leste do Brasil. São tipicamente constituídas por sedimentos terrígenos mal consolidados (arenoso), apresentando coloração variada e níveis de estratificações irregulares, além de ocorrer em forma de tabuleiros e apresentando uma topografia aplainada por grandes extensões da região. Esse grupo é ausente de registros de fosséis e seus sedimentos, segundo Oliveira (2014), se destacam por recobrirem em grande parte do Cinturão Salvador-Esplanada.

5 GEOLOGIA LOCAL

Na área estudada, ocorrências de grafita são observadas em paragnaisses e quartzitos que estão distribuídos em três corpos, sendo dois corpos de quartzito e um de paragnaisse (Figura 6). O quartzito ocorre como corpos alongados na direção norte-sul, com comprimentos variando de 1 a 3,7 km e espessuras de 500m até 1,3 km, ambos estão inseridos como lentes no Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR). O paragnaisse forma um corpo alongado na direção norte-sul, onde ocorre na forma de lentes decamétricas em contatos por falhas com os granulitos do Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB).

Na área de estudo, percebe-se que o paragnaisse está situado no baixo topográfico do CGEB, enquanto que os quartzitos formam encontrados nos altos topográficos do CGMRIR. Estas relações geomorfológicas devem-se, possivelmente, pelas diferenças de resistências ao intemperismo, sendo que o quartzito é mais resistente ao intemperismo devido aos altos conteúdos de quartzo, enquanto que o paragnaisse oferece menos resistência devido a uma mineralogia mais susceptível, com conteúdos inferiores de quartzo.

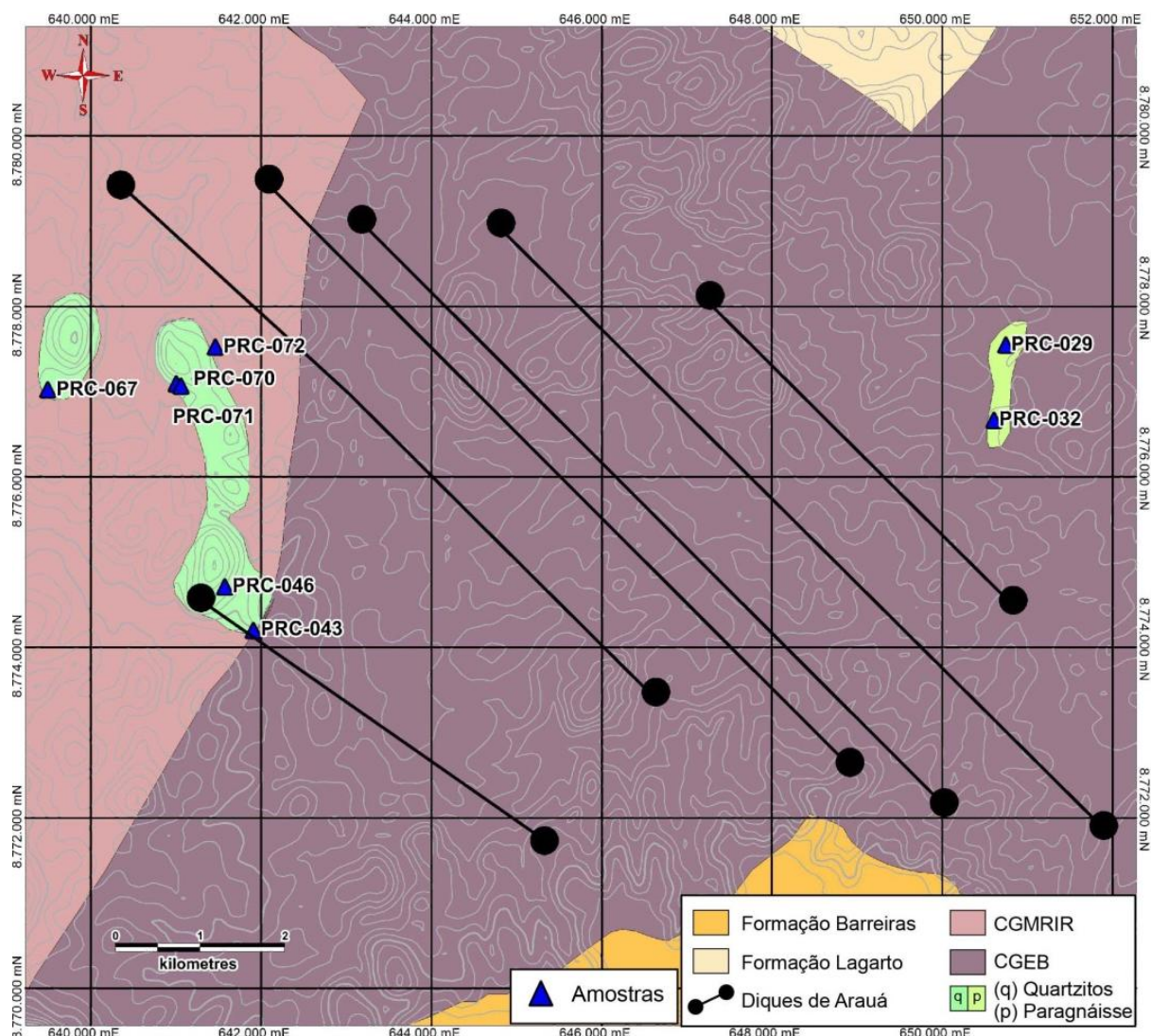


Figura 6 - Mapa geológico da área de estudo destacando os pontos que foram coletados as amostras para suas respectivas análises. Notar que os paragnâisses (PRC-029 e 032) estão inseridos como lentes no Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB), enquanto que os quartzitos (PRC-043, 046, 067, 070, 071 e 072) estão inseridos como lentes no Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR).

As lentes de paragnâisse afloram na forma de lajedos, com bandamento gnáissico segundo a direção N45E, e mergulhos $\sim 35^\circ$ para SE, que por vezes estão milonitizados gerando foliações miloníticas de baixo ângulo com direção N10-15E. Em amostra de mão (Figura 7), o paragnâisse possui coloração bege e apresenta um bandamento gnáissico contínuo, definido por bandas félsicas com 1 a 6 mm de espessura, constituídas por quartzo ($\sim 30\%$), K-feldspato ($\sim 30\%$), granada ($\sim 20\%$) e cordierita pinitizada ($\sim 20\%$), que são intercaladas com bandas máficas de 0,1 a 2 cm de espessura, constituídas por piroxênio (hiperstênio) ($\sim 20\%$), granada ($\sim 20\%$), cordierita pinitizada ($\sim 20\%$), K-feldspato ($\sim 15\%$), quartzo (15%) e grafita ($\sim 10\%$). No geral a rocha apresenta uma granulometria que varia de fina a grossa, onde porfiroblastos de granada se destacam com formas xenoblásticas e

dimensões que variam de 1 a 3 mm. Os grãos de quartzo, K-feldspato e cordierita pinitizada ocorrem agrupados com textura granoblástica e dimensões <0,5mm. Os cristais de grafita ocorrem restritos as bandas máficas, onde apresentam-se como cristais lamelares disseminados, com formas subdioblásticas a xenoblásticas, e dimensões que variam de 0,1 a 1mm. Com base na mineralogia e estrutura, essa rocha pode ser classificada como grafita-hiperstênio-granada-cordierita gnáisse. A mineralogia aluminosa, composta por granada e cordierita, sugere um protólito sedimentar, enquanto que cordierita e o hiperstênio indicam condições de alto grau de metamorfismo, fácies granulito.

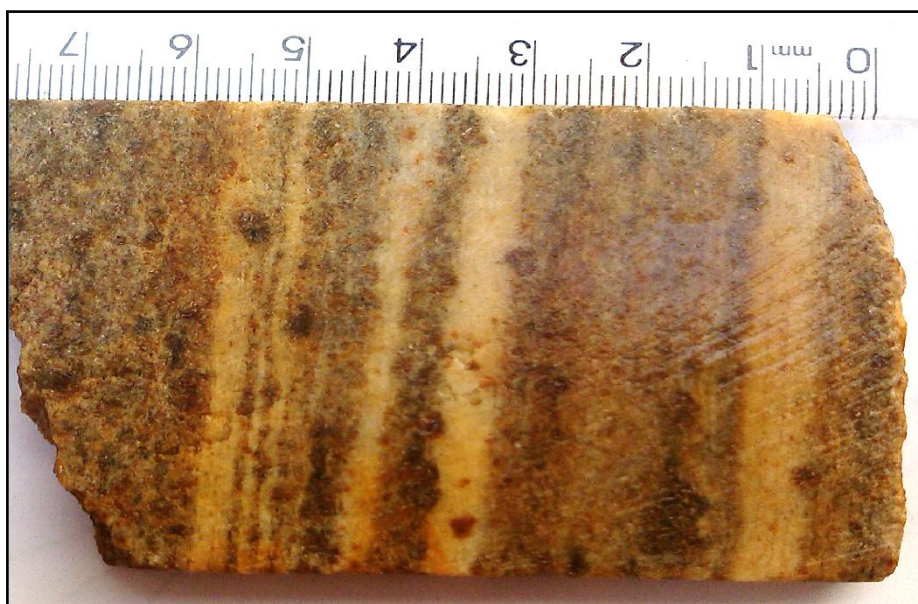


Figura 7 - Grafita-hiperstênio-granada-cordierita gnáisse com badamento gnáissico bem marcado.

Os quartzitos afloram na forma de blocos rolados, onde não foi possível obter medidas estruturais. Em amostra de mão, a rocha possui coloração cinza clara a escura, com estruturas granofélsicas a levemente anisotrópicas com granulometrias que variam de fina a grossa. Quando apresenta estrutura granofélsica, a rocha é constituída quase que exclusivamente por quartzo, com localizados grãos de K-feldspato, que conferem uma textura predominantemente granoblástica para a rocha. Nos espécimes anisotrópicos (Figura 8), a rocha apresenta altos conteúdos de quartzo (~70%), além de K-feldspato (10 – 20%), cordierita pinitizada (5 – 10%) e grafita (5 – 10%). Nestes a foliação é marcada pela textura lepidoblástica, que é definida pela orientação das lamelas de grafita. O quartzo e o K-feldspato formam agregados granoblásticos compostos por cristais subdioblásticos a xenoblásticos, com dimensões que variam de 0,1 a 2 mm. A cordierita ocorre pinitizada e sempre está associada com a grafita, com formas xenoblásticas e dimensões inferiores a 1mm. Os cristais de grafita ocorrem disseminados, como lamelas idioblásticas a subdioblásticas, com dimensões que variam de

0,4 a 2 mm. Com base na mineralogia e estrutura, as rochas podem ser classificadas como quartzitos e cordierita-grafita quartzitos. A mineralogia composta por altos conteúdos de quartzo, por vezes associado com cordierita, sugere um protólito sedimentar, e indicam condições de alto grau de metamorfismo, entre o fácies anfibolito e granulito.



Figura 8 – Amostra de cordierita-grafita quartzito evidenciando as lamelas idioblásticas a subidioblásticas de grafita (Grf).

6 ANÁLISE PETROGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado a petrografia das rochas portadoras de grafita. Estes dados foram obtidos da descrição microscópica de 01 lâmina do paragnaisse (amostra PRC-029) e 2 lâminas dos quartzitos (amostras PRC-067 e PRC-071).

Esta petrografia foi efetuada com o intuito de identificar as paragêneses metamórficas e suas variações texturais, para compreender as condições metamórficas que foram submetidas às rochas, buscando o entendimento da gênese das ocorrências de grafita. Adicionalmente, foi efetuada a descrição detalhada dos cristais de grafita para identificar as dimensões, grau de pureza e formas dos grãos, buscando verificar a qualidade do minério.

Sob análise microscópica, o paragnaisse apresenta uma anisotropia marcada pelas orientações dos cristais de hiperstênio e grafita. Esta rocha apresenta granulometria que varia de fina a grossa, com texturas porfiroblásticas, marcada por granada, nematoblástica definida pela orientação dos grãos de hiperstênio e lepidoblástica determinada pela orientação da grafita. A mineralogia da rocha é definida por quartzo, K-feldspato, granada, grafita, hiperstênio, cordierita e apatita (Tabela 6). Processos de alteração da cordierita são marcados pela presença de pinita de coloração amarelada.

Os cristais de **quartzo** são xenoblásticos, apresentando dimensões que variam de 0,009 a 1,25 mm, com predomínio dos cristais de 0,9 mm. Observa-se que, por vezes, o quartzo associa-se com o K-feldspato formando bandas milimétricas, que são marcadas pela textura granoblástica. Apresentam contatos curvos e irregulares com os cristais de hiperstênio, granada, K-feldspato, grafita e cordierita pinitizada. A textura poiquiloblástica é observada pela presença de inclusões de apatita nesta fase mineral (Figura 9D).

Os cristais de **granada** (Figura 9A, B e C) apresentam cor cinza pálido, são xenoblásticos e apresentam dimensões que variam de 0,1 a 2,8 mm, com predomínio dos cristais de 0,4 mm. Observa-se que as granadas apresentam textura poiquiloblástica definida por inclusões de quartzo e cordierita. Esta fase mineral apresenta contatos irregulares com os cristais de hiperstênio, grafita e cordierita pinitizada, e contatos curvos e, por vezes, retos com os cristais de quartzo e K-feldspato. Comumente, este mineral encontra-se bastante fraturado, onde algumas destas fraturas são preenchidas pela grafita ou pela pinita.

Os cristais de **grafita** (Figura 9A e C) apresentam cor preta, por vezes, marrom escuro, são subdioblásticos a xenoblásticos e dimensões que variam de 0,04 a 0,8 mm, com predomínio dos cristais de 0,2 mm. Os cristais ocorrem disseminados nas bandas máficas sempre em associação com hiperstênio, cordierita e granada. Estes cristais são límpidos, isentos de inclusões e ocorrem com contatos retos, subcurvos ou irregulares com os cristais de quartzo, K-feldspato, granada, hiperstênio e cordierita pinitizada. A textura lepidoblástica é evidenciada pela orientação dos cristais de grafita.

Os cristais de **cordierita** apresentam cor amarelo pálido, com pleocroísmo (luz polarizada) variando de azul pálido a cinza claro. Estes são xenoblásticos e apresentam tamanhos que variam de 0,06 a 0,4 mm, com predomínio dos cristais de 0,1 mm. Os cristais

mais preservados ocorrem como inclusões em granada (Figura 10C e D) e hiperstênio, enquanto que os cristais disseminados apresentam-se pinitizados. A pinita (Figura 9A, B e C) é formada por agregados muito finos de clorita+muscovita, e apresentam cor variando de amarelo pálido a laranja, com pleocroísmo variando de amarelo escuro a marrom.

Os cristais de **hiperstênio** (Figura 10A e B) apresentam cor amarelada, com pleocroísmo (luz polarizada) variando de azul, roxo e marrom, são xenoblásticos a subdioblásticos, com dimensões que variam de 0,08 a 0,8 mm, com predomínio dos cristais de 0,4 mm. Observa-se cristais de hiperstênio orientados que definem a textura nematoblástica. Estes grãos apresentam contatos curvos, subcurvos, retos e irregulares com os cristais de quartzo, K-feldspato, granada e grafita. Percebe-se em alguns cristais de hiperstênio fraturas e inclusões de cordierita e grafita.

Os cristais de **K-feldspato** são xenoblásticos, apresentando tamanhos que variam de 0,02 a 1,15 mm, com predomínio de 0,3 mm. Os cristais apresentam contatos curvos, subcurvos e irregulares com os cristais de hiperstênio, granada, quartzo e grafita. Observa-se também, que alguns cristais encontram-se fraturados e com inclusões de apatita.

Os cristais de **apatita** são idioblásticos a subdioblásticos, com dimensões variando de 0,04 a 0,09 mm, com predomínio dos cristais de 0,04 mm. Esta fase mineral ocorre inclusa em alguns cristais de quartzo (Figura 9D) e K-feldspato.

Com base nos dados da petrografia, a rocha pode ser classificada como: hiperstênio-cordierita-grafita-granada gnáisse. A petrografia corrobora com a descrição macroscópica e sugere que a rocha é produto do metamorfismo de alto grau, fácies granulito, de uma rocha sedimentar.

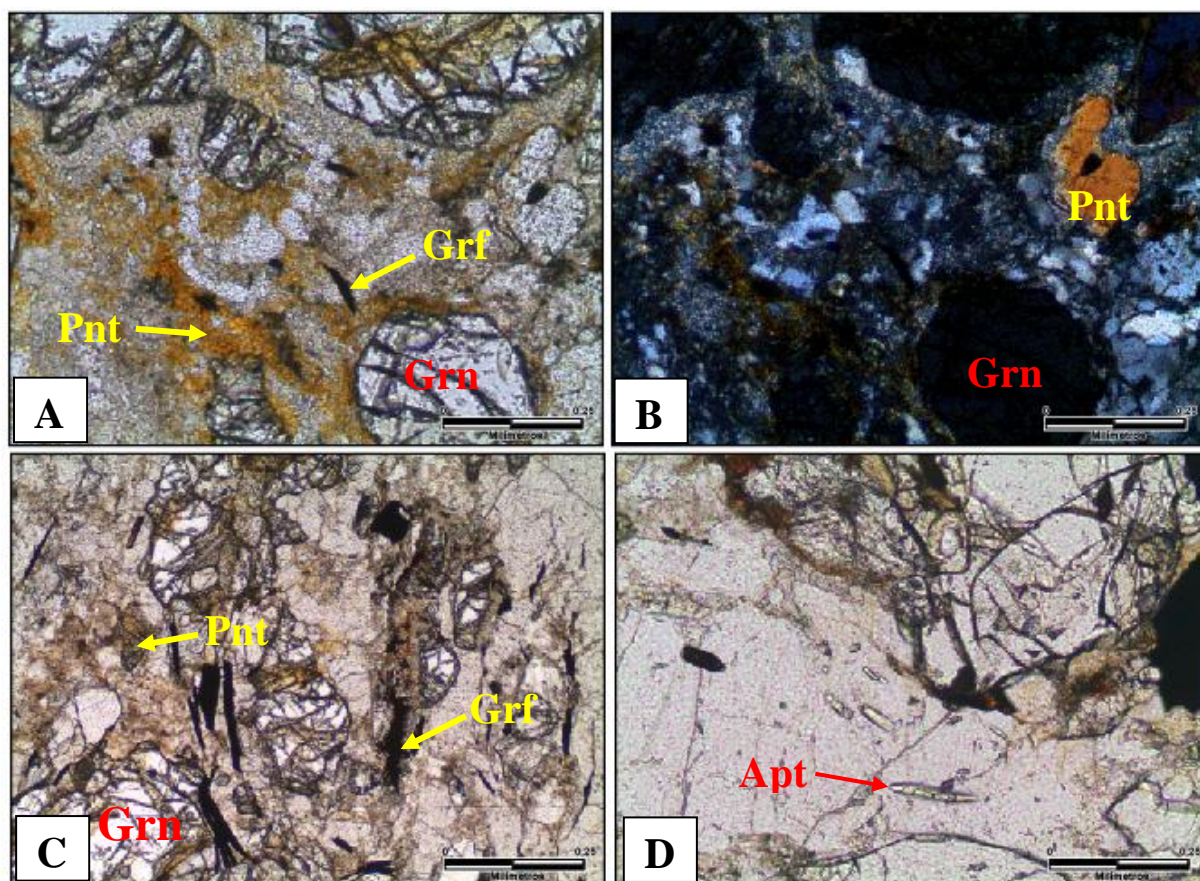


Figura 9 – Fotomicrografia de paragneisse (amostra PRC-029), destacando os cristais de granada (Grn), cordierita pinitizada (Pnt), grafita (Grf) e apatita (Apt). A e B) Detalhe de cordierita pinitizada associada com granada e grafita (A- luz natural; B – luz polarizada); C) Cristais lamelares de grafita preenchendo os espaços entre cordierita pinitizada e granada (luz natural); D) Detalhe de inclusões de apatita em cristal de quartzo (luz natural).

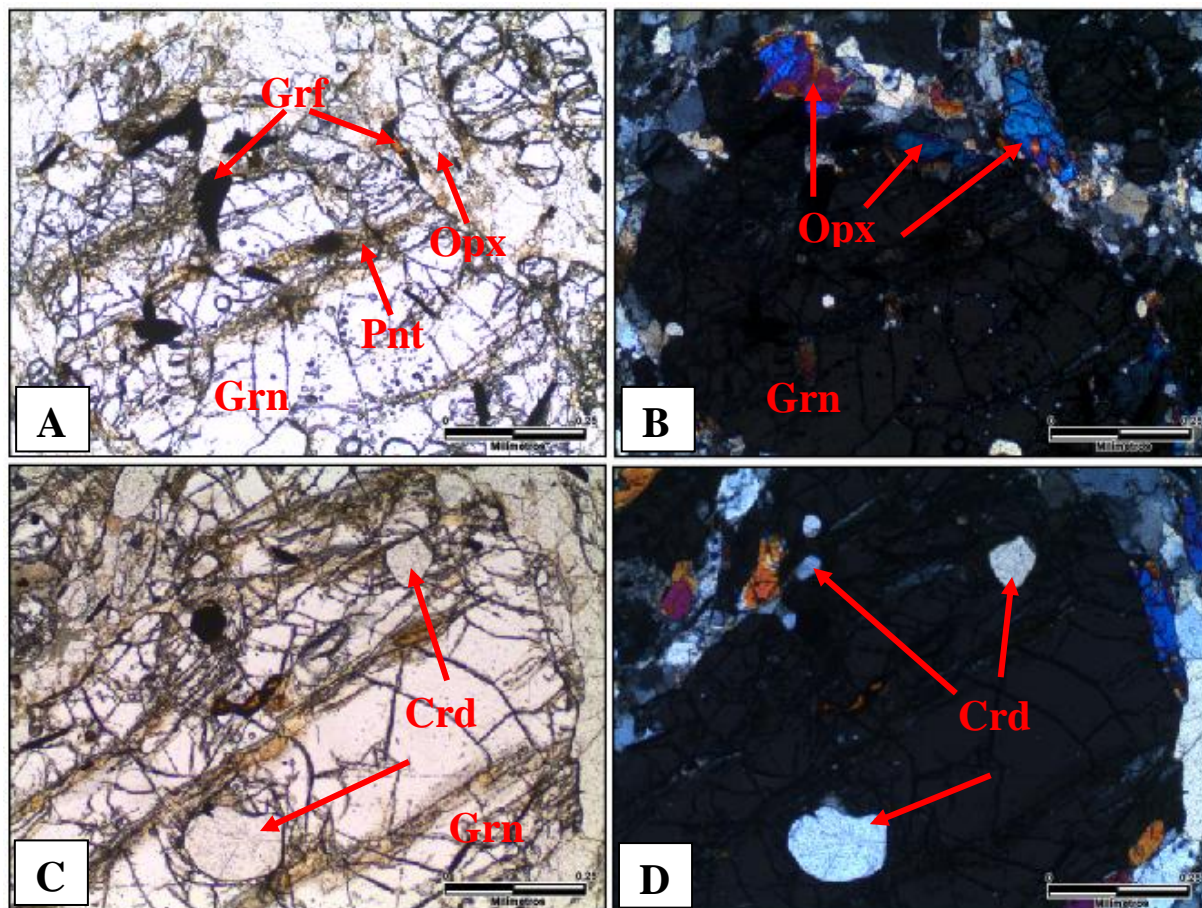


Figura 10 - Fotomicrografia de paragneisse (amostra PRC-029), destacando os cristais de granada (Grn), cordierita pinitizada (Pnt), grafita (Grf), hiperstênio (Opx) e cordierita (Crd). A e B) Detalhe da associação granada, cordierita, grafita e hiperstênio em banda máfica (A- luz natural; B – luz polarizada); B e C) Detalhe de inclusões xenoblásticas de cordierita em cristal de granada (C- luz natural; D – luz polarizada).

Tabela 6 – Composição modal de amostra de paragneisse (amostra PRC-029).

Minerais	% em Volume
Quartzo	25,0
Granada	24,0
Grafita	15,0
Hiperstênio	11,5
Cordierita Pinitizada	13,0
K-Feldspato	10,0
Apatita	1,5

Grafita-K-feldspato-Cordierita Quartzito

As amostras de quartzitos, sob análise petrográfica, apresentaram características muito semelhantes. Estas rochas possuem granulometrias que variam de média a grossa e são determinadas por cristais de quartzo. A textura granoblástica interlobada a serrilhada é a mais evidente nas rochas, sendo definida pelos contatos dos grãos de quartzo (Figura 11). Esta rocha apresenta a seguinte paragênese: quartzo, cordierita pinitizada, K-feldspato, grafita e zircão (Tabela 7).

Os cristais de **quartzo** são xenoblásticos a subidioblásticos, apresentando dimensões que variam de 0,3 a 3,0 mm, com predomínio dos cristais de 0,8 mm. Além de formarem as texturas granoblasticas, esta fase mineral apresenta contatos curvos, irregulares e, por vezes, retos com os cristais de K-feldspato, grafita e pinita. Observou-se, também, que alguns cristais de quartzo encontram-se fraturados, por vezes, estes são preenchidos por grafita e pinita. Destaca-se na maioria dos cristais de quartzo a extinção ondulante, indicando que a rocha sofreu deformações posteriores à recristalização dos grãos (Figura 11).

Os cristais de **cordierita pinitizada** apresentam-se como agregados de muscovita+clorita com colorações variando de amarelo pálido a morrom escuro (Figura 11B e C). Esses agregados são xenoblásticos a subidioblásticos, com dimensões variando de 0,01 a 1,7 mm, com predomínio dos cristais de 0,6 mm. Apresentam contatos curvos, irregulares e por vezes retos com os cristais de quartzo, k-feldspato e grafita.

Os cristais de **K-feldspato** são xenoblásticos a subidioblásticos, apresentando tamanho que variam de 0,5 a 1,7 mm, com predominância de 0,8 mm. Estes cristais apresentam contatos curvos, irregulares e, por vezes, retos com os cristais de quartzo, grafita e pinita. A textura poiquiloblástica ocorre de maneira localizada, definida por inclusões de quartzo e zircão.

Os cristais de **grafita** (Figura 11A e B e Figura 12) apresentam cor preta, por vezes, laranja, e são subidioblásticos a xenoblásticos, com dimensões que variam de 0,3 a 2,6 mm, com predomínio dos cristais de 1,6 mm. A maioria dos cristais apresentam-se na forma de agregados lamelares bem formados, idioblásticos a subidioblásticos, isentos de inclusões, e ocupam espaços entre os cristais de quartzo, K-feldspato e cordierita pinitizada ou preenchem fraturas. Localizadamente é possível observar agregados de lamelas que envolvem parcialmente grãos de quartzo.

Os cristais de **zircão** são subidioblásticos, com tamanho variando de 0,1 a 0,2 mm, com predomínio dos cristais de 0,1 mm. Observou-se que os cristais de zircão ocorrem inclusos em cristais de quartzo.

Com base nos dados da petrografia, as rochas descritas podem ser classificadas como: grafita-K-feldspato-cordierita quartzito e cordierita-grafita-granada gnáisse. A petrografia corrobora com a descrição macroscópica, e sugere que a rocha é produto do metamorfismo de alto grau de uma rocha sedimentar, na fácies anfibolito a granulito.

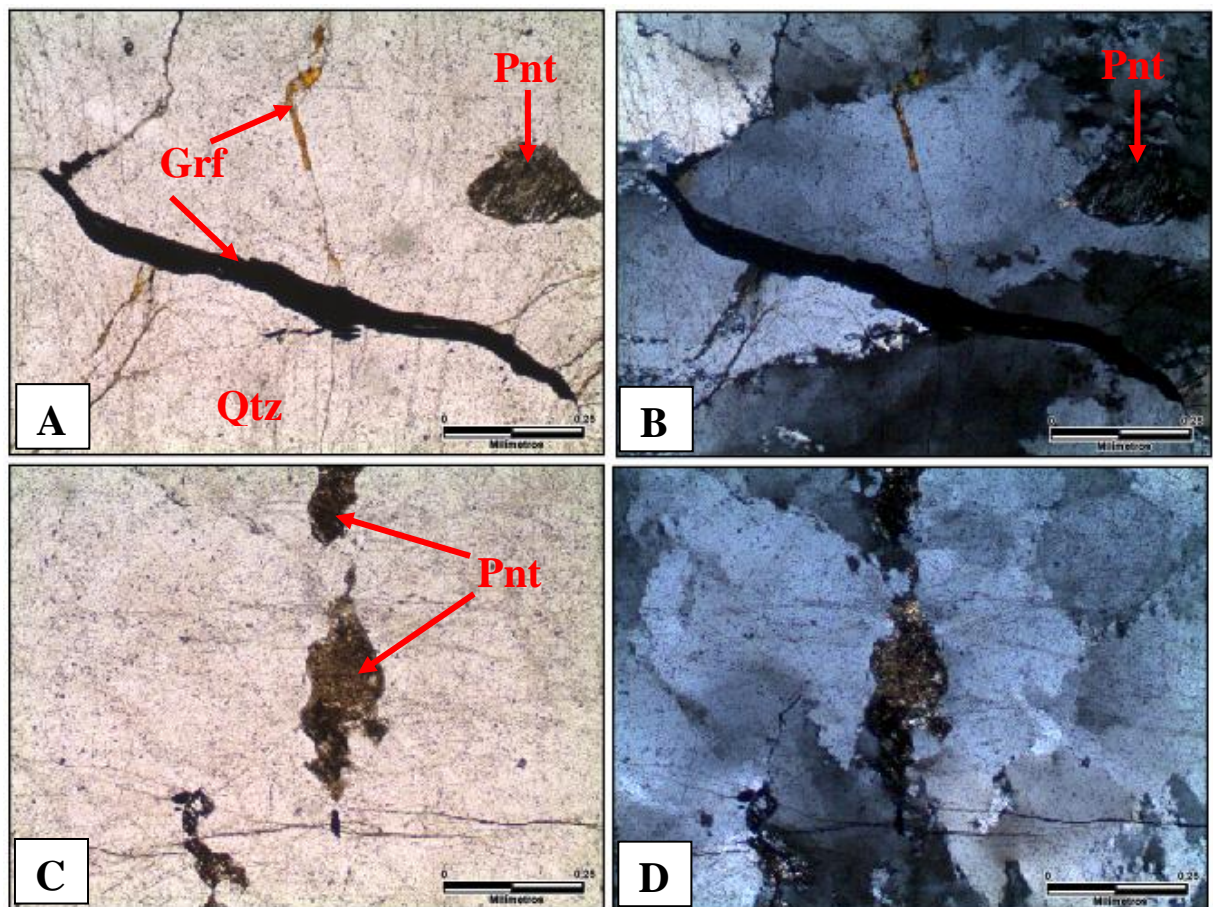


Figura 11 - Fotomicrografia de quartzito (amostra PRC-067) evidenciando cristais de pinita (Pnt), grafita (Grf) e quartzo (Qtz). A e B) Detalhe de grafita preenchendo as fraturas no quartzito (A- luz natural; B – luz polarizada); B e C) Detalhe cordierita pinitizada formando finos agregados de muscovita+clorita, além de grão de quartzo com textura granoblástica interlobada e serrilhada (C- luz natural; D – luz polarizada).

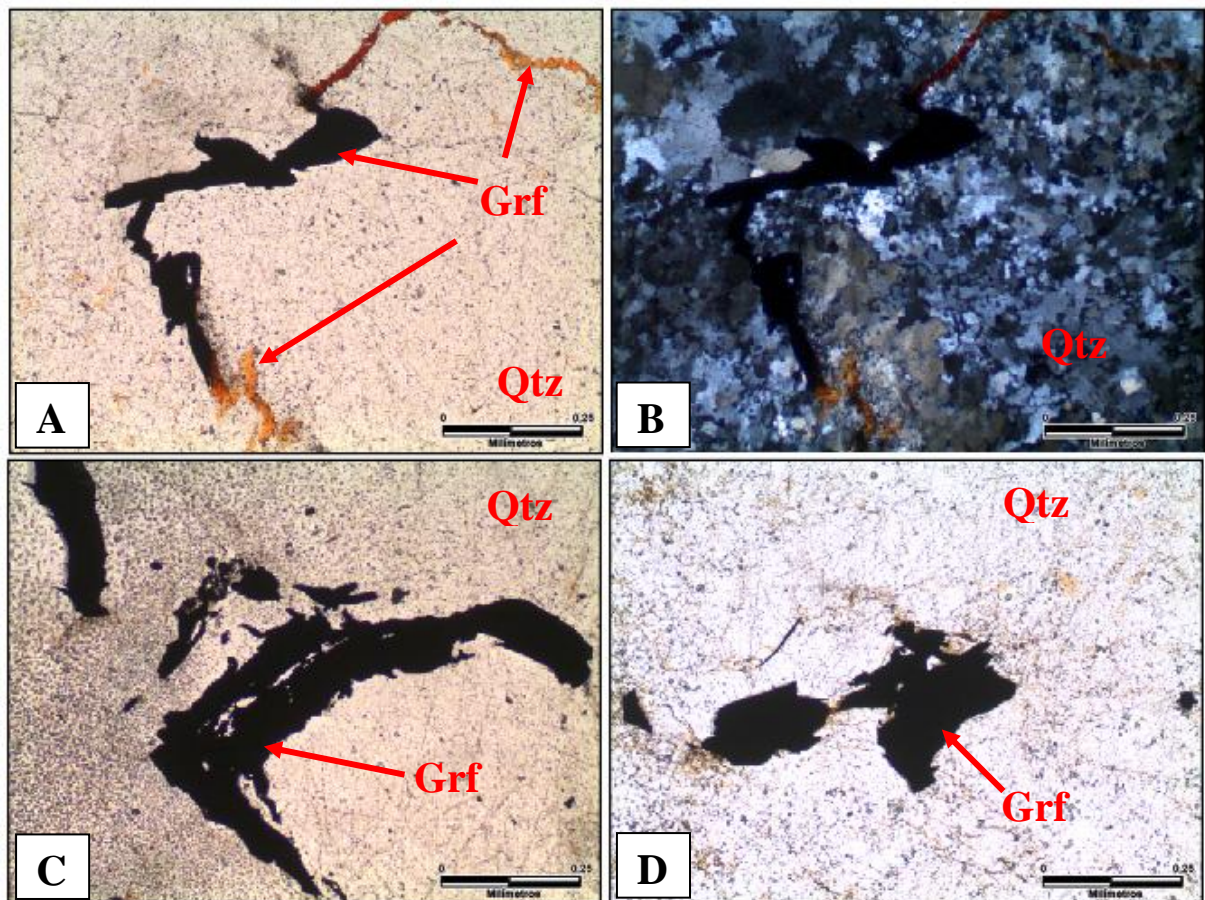


Figura 12 - Fotomicrografia de quartzito da amostra PRC-071, evidenciando cristais de grafita (Grf) e quartzo (Qtz). A e B) Cristais de grafita preenchendo fraturas irregulares no quartzito (A- luz natural; B – luz polarizada); C) Detalhe de cristais de grafita envolvendo grão de quartzo (luz natural); D) Detalhe de grafita disseminada em quartzito (luz natural).

Tabela 7 - Composição modal das amostras de quartzito (amostras PRC-067 e PRC-071).

Minerais	PRC-067	PRC-071
% em Volume		
Quartzo	78,0	76,5
K-Feldspato	7,0	9,0
Cordierita	9,5	8,5
Pinitizada		
Grafita	5,0	5,5
Zircão	0,5	0,5

7 ANÁLISES QUÍMICAS

Neste capítulo serão apresentadas e discutidas as análises químicas para elementos maiores, traços, elementos terras raras (ETR) e carbono grafítico de duas amostras dos paragnaisses (PRC-029 e PRC-032) e uma amostra do quartzito (PRC-067). Adicionalmente foram analisadas para carbono grafítico mais três amostras de quartzito (PRC-046, PRC-070 e PRC-071). Os dados dos elementos maiores, traços, elementos terras raras e carbono grafítico são apresentados nas tabelas

O estudo geoquímico tem como objetivo identificar as características químicas das rochas estudadas, com o intuito de desvendar a proveniência dos protólitos sedimentares, além de identificar características químicas dos ambientes de formação das rochas portadoras de grafita.

7.1 Elementos Maiores e Traços

Os teores de SiO_2 dos paragnaisses variam de 65,7% até 70,9%, enquanto que o quartzito apresentou concentrações superiores ao nível de detecção da análise, com $\text{SiO}_2 > 90\%$. Os paragnaisses são caracterizados por baixos conteúdos de alumínio (14,8 - 17,3%), moderados a altos conteúdos de ferro+magnésio ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} = 8,2\text{-}13,5\%$), baixos conteúdos de $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$ (1,7 - 3,51%), e moderados conteúdos de K_2O (2,1 - 3,0%). Enquanto que o quartzito apresenta baixíssimos teores para todos os elementos maiores, exceto SiO_2 .

Os baixos conteúdos de alumínio dos paragnaisses refletem a relativa abundância dos silicatos peraluminosos, principalmente cordierita e granada, e pode explicar a ausência de sillimanita, conforme discutido por Sengün *et al.* (2006), enquanto que os altos conteúdos de ferro+magnésio refletem a abundância de hiperstênio.

Apesar das poucas amostras analisadas, foram efetuados diagramas bivariante para elementos maiores *versus* SiO_2 (Figura 13). Nos diagramas de elementos maiores é possível observar uma tendência de diminuição dos teores de MgO , CaO , Na_2O e Fe_2O_3 com o aumento de SiO_2 , enquanto que Al_2O_3 e TiO_2 apresentam uma tendência de aumento. O K_2O mantém seus conteúdos, sem modificação significativa com o aumento de SiO_2 . Estas tendências podem ser explicadas por diferentes razões de quartzo, muscovita e argilominerais ricos em ilita nas rochas sedimentares primárias.

Com o intuito de investigar o tipo protólito sedimentar que gerou as rochas estudadas, foi utilizado o diagrama $\text{FeO} + \text{MgO}$ versus $\text{K}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (Figura 14). Neste as amostras dos paragnaisses plotaram próximas do campo do folhelho, enquanto que o quartzito plotou próximo do campo do arcósio. Para verificar estas hipóteses, foi utilizado o diagrama $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ versus $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ de Herron (1988) (Figura 15), neste uma das amostras dos paragnaisses ocupou o campo de folhelhos ricos em ferro, enquanto que a outra plotou no campo dos arenitos ricos em ferro, próximo ao limite com os folhelhos ricos em ferro. Neste diagrama o quartzito ocupou o campo do quartzito arenito.

Para verificar a proveniência dos protólitos sedimentares, foi utilizado o diagrama discriminante com elementos maiores de Baiyegunhi *et al.* (2017) (Figura 16). Neste as amostras do paragnaisse ocuparam os campos entre rocha sedimentar quartzosa e ígnea máfica, enquanto que o quartzito plotou no campo de proveniência por rocha sedimentar quartzosa. A proveniência, a partir de rochas ígneas máficas, dos protólitos sedimentares dos paragnaisses é corroborada pelos conteúdos elevados de Ni (61 – 68ppm) e Cr (200ppm). Com o intuito de identificar o ambiente tectônico de formação da rocha ígnea máfica que serviu de fonte para o protólito sedimentar, foi utilizado o diagrama Zr versus Ti de Pearce (1984). Neste diagrama as amostras do paragnaisse ocuparam o campo de lavas de arco de ilha (Figura 17), sugerindo um ambiente de arco de ilha para a proveniência dos sedimentos protólitos dos paragnaisses.

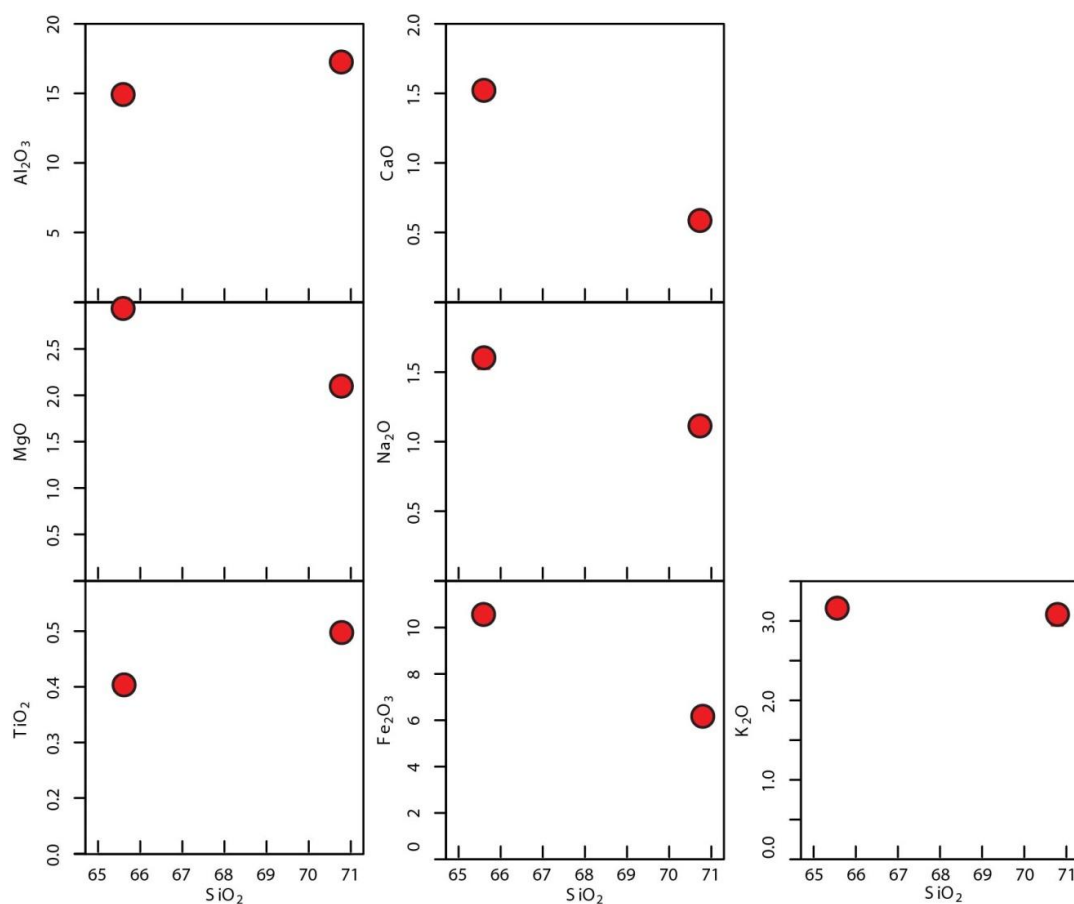


Figura 13 - Diagramas binários de variação (Harker) dos elementos maiores das amostras dos paragnaisses.

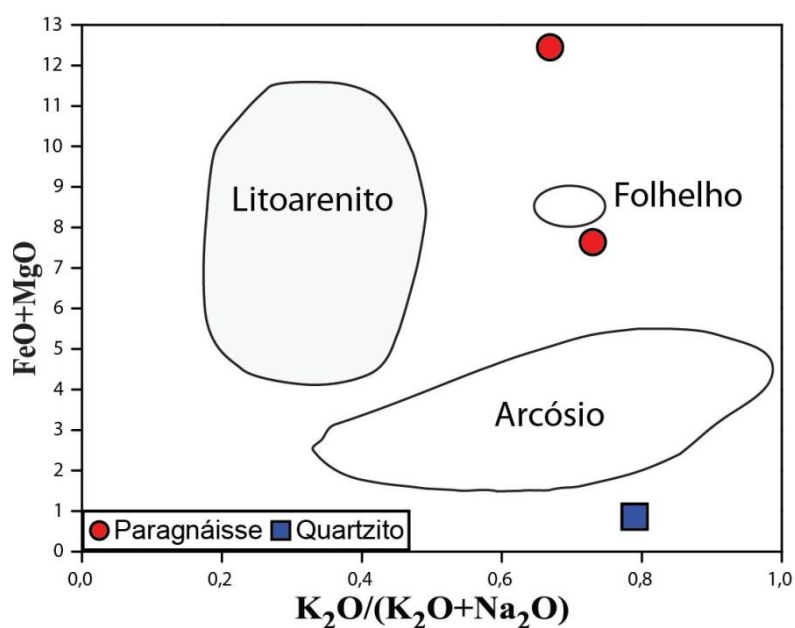


Figura 14 - Diagrama FeO + MgO versus K₂O / (K₂O + Na₂O) (modificado de Taylor & McLennan (1985) e Pettijohn *et al.*, (1987)).

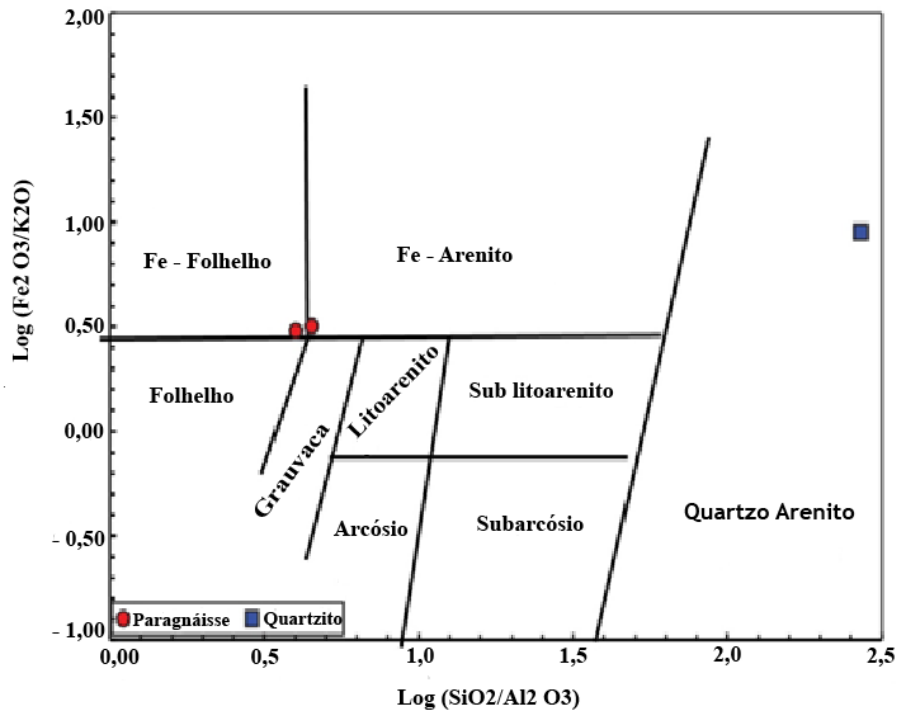


Figura 15 – Diagrama de classificação química $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ versus $\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ de Herron (1988).

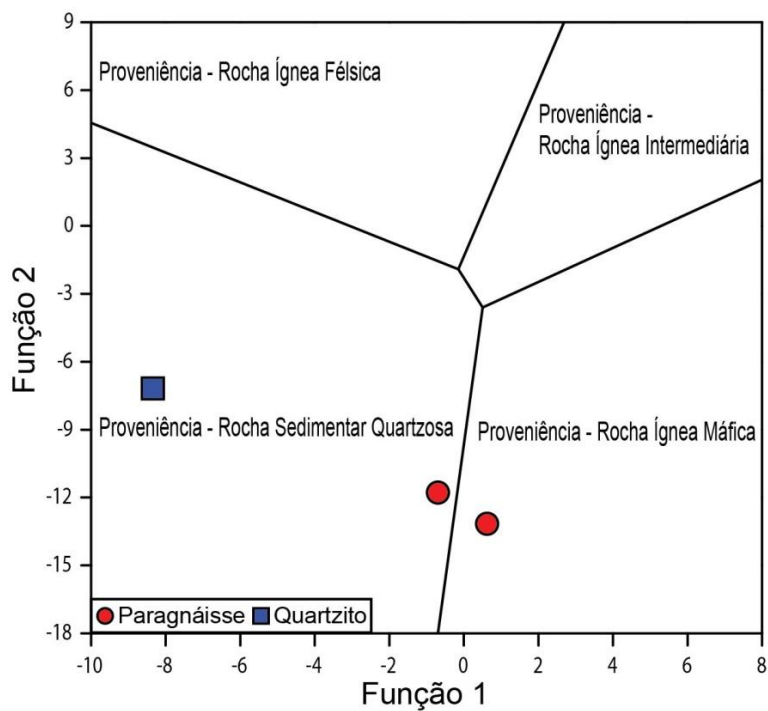


Figura 16 - Diagrama de funções discriminantes com elementos maiores para proveniência sedimentar em arcósio e folhelhos. As funções discriminantes são: Discriminante Função 1 = $(-1,773 \text{ TiO}_2) + (0,607 \text{ Al}_2\text{O}_3) + (0,760 \text{ Fe}_2\text{O}_3) + (-1,500 \text{ MgO}) + (0,616 \text{ CaO}) + (0,509 \text{ Na}_2\text{O}) + (-1,224 \text{ K}_2\text{O}) + (-9,090)$; Discriminante Função 2 = $(0,445 \text{ TiO}_2) + (0,070 \text{ Al}_2\text{O}_3) + (-0,250 \text{ Fe}_2\text{O}_3) + (-1,142 \text{ MgO}) + (0,438 \text{ CaO}) + (1,475 \text{ Na}_2\text{O}) + (-1,426 \text{ K}_2\text{O}) + (-6,861)$. (Baiyegunhi *et al.*, 2017).

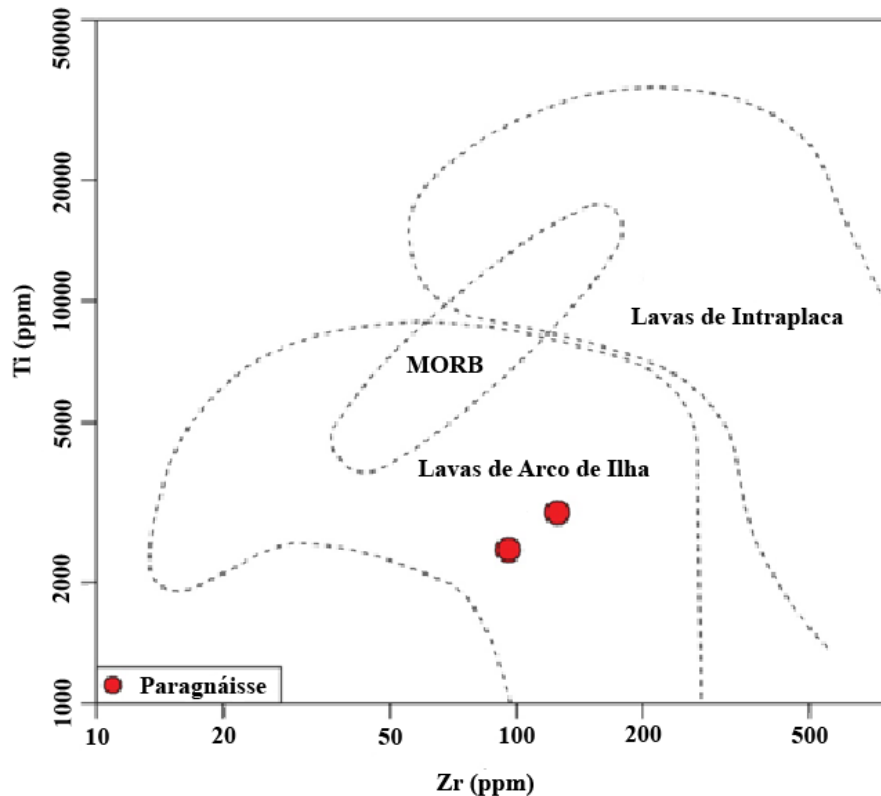


Figura 17 - Diagrama de discriminação tectônica (Pearce, 1984).

7.2 Elementos Terras Raras (ETR) e Diagrama Multielementar

Os padrões dos ETR são bons indicadores de proveniência sedimentar, pois não sofrem fracionamentos durante o metamorfismo de alto grau, gerando dados confiáveis para a interpretação de rochas-fonte (Sengün *et al.*, 2006).

Com o objetivo de interpretar o comportamento dos ETR das amostras dos paragnaisse e quartzito, os conteúdos desses elementos foram normalizados pelo condrito C1 de Boynton (1984) (Figura 18 e Tabela 6).

Averiguando os padrões de ETR das amostras estudadas (Figura 18), é possível observar que as duas amostras de paragnáisse (PRC-029 e PRC-032) apresentam assinaturas semelhantes, enquanto que quartzito (PRC-067) apresenta uma assinatura distinta, mas em todas é possível observar um enriquecimento de ETRL leves em relação aos ETR pesados.

As amostras do paragnáisse apresentam um maior conteúdo de ETR ($\Sigma\text{ETR} = 102 - 130,6$ ppm) em relação ao quartzito ($\Sigma\text{ETR} = 17,5$ ppm), e possuem um moderado a fraco enriquecimento de ETR leves em relação aos ETR pesados ($\text{LaN/YbN} = 10,2 - 11,5$), assim

como moderados fracionamentos em ETR leves ($\text{LaN/SmN} = 5,8 - 6,6$) e fraco fracionamento de ETR pesados ($\text{EuN/YbN} = 1,4 - 1,9$) (Figura 18). A ausência de anomalia negativa de Eu ($\text{Eu/Eu}^* = 0,9 - 1,1$) sugere que o fracionamento de plagioclásio não foi efetivo na geração da rocha fonte. Padrões de ETR marcados por leve enriquecimento de ETRL em relação à ETRP e ausência de anomalia negativa de Eu são comuns em rochas básicas e intermediárias de arcos vulcânicos (Wilson, 1989).

A amostra quartzítica apresenta um padrão de distribuição de ETR fortemente inclinado, que reflete um forte enriquecimento de ETRL em relação à ETRP ($\text{LaN/YbN} = 116,0$), bem como um alto fracionamento de ETRL ($\text{LaN/SmN} = 18,0$) e fraco fracionamento ETRP ($\text{EuN/YbN} = 1,4$). Destaca-se a proeminente anomalia negativa de Eu ($\text{Eu/Eu}^* = 0,28$), que sugere fracionamento de plagioclásio na geração da rocha fonte do protólito. Geralmente, padrões com enriquecimento em ETRL e anomalias negativas de Eu são características de sedimentos supracrustais derivados de rochas félsicas (graníticas) de cinturões cratônicos empobrecidos em Eu pelo fracionamento de plagioclásio (Prame & Pohl, 1994).

O diagrama multielementar normalizado pelos valores do MORB de Pearce (1983) foi utilizado para avaliar o padrão dos elementos químicos das rochas estudadas (Figura 19). Neste gráfico, apesar dos paragnáisses apresentarem padrões mais enriquecidos, todas as rochas apresentam padrões de enriquecimento em LILE, acompanhados por anomalias negativas de Nb, Ta, P e Ti. Esse tipo de assinatura é comumente relacionado com rochas geradas em ambientes relacionados com subducção (p. ex. Wilson, 1989, Best, 2003).

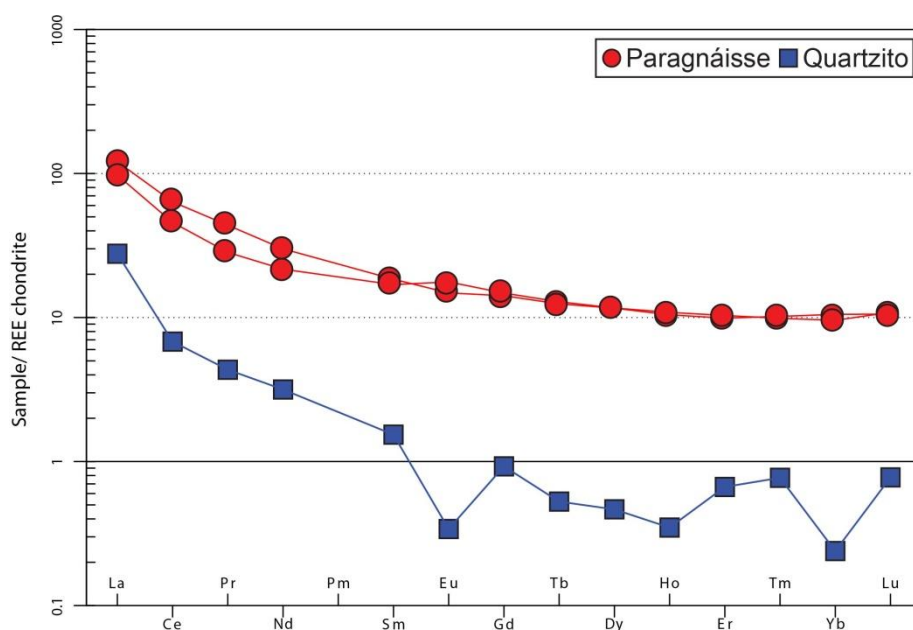


Figura 18 - Diagrama de ETR normalizado pelo condrito C1 de Boynton (1984).

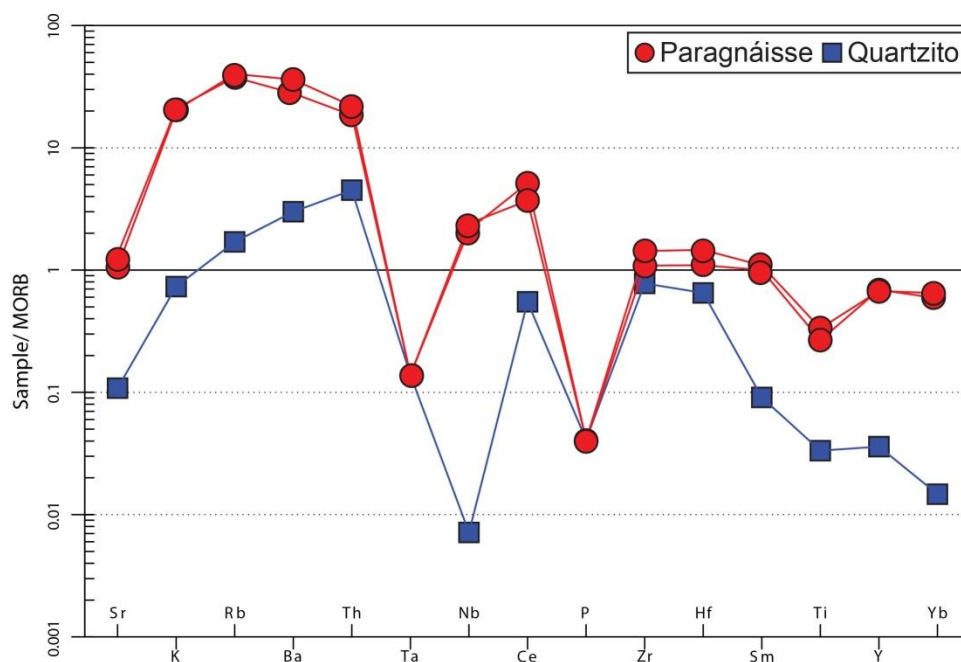


Figura 19 - Diagrama multielementar normalizado pelo MORB de Pearce (1983).

7.3 Resultados Analíticos de Carbono Grafítico

As análises efetuadas para avaliar os conteúdos de carbono grafítico das amostras dos paragnáisses e quartzitos não mostraram grandes variações nos teores entre os diferentes litotipos (Tabela 11). Os paragnáisses apresentaram conteúdos de carbono grafítico que variam de 0,26% a 0,37%, enquanto que os quartzitos apresentam concentrações que variam de 0,17% a 0,37%. Os teores apresentados são subeconômicos do ponto de vista de exploração, porém comprovam a existência das ocorrências de grafita nessas unidades.

Tabela 8 - Análise química para elementos maiores em percentual de peso.

Elementos Químicos (%)	Paragnaisse		Quartzito
	PRC-029	PRC-032	PRC-067
SiO₂	70,86	65,68	>90
TiO₂	0,5	0,4	0,05
Al₂O₃	17,26	14,79	0,34
Fe₂O₃	6,2	10,54	1
MgO	2,08	2,96	0,01
MnO	0,06	0,17	0,02
CaO	0,59	1,51	<0,01
Na₂O	1,12	1,58	0,03
K₂O	3,04	3,15	0,11
P₂O₅	<0,01	<0,01	<0,01
Cr₂O₃	0,02	0,02	<0,01
LOI	0,77	0,35	0,32
Σ TOTAL	102,5	101,15	1,88

Tabela 9 - Análise química para elementos traços em ppm.

Elementos Químicos (ppm)	Paragnaisse		Quartzito
	PRC-029	PRC-032	PRC-067
Ba	723	557	60
Rb	80,4	75,5	3,4
Sr	127	161	13
Cs	0,44	0,28	<0,05

Continuação da Tabela.

Tl	<0,5	<0,5	<0,5
Ta	<0,05	<0,05	<0,05
Nb	7,48	8,41	<0,05
Hf	3,51	2,63	1,56
Zr	129	98	70
Y	20,23	20,7	1,08
Th	4,4	3,7	0,9
U	1,05	0,49	0,29
Co	20	18	3,7
V	117	124	47
Cu	23	65	13
Zn	68	125	9
Ga	21,3	15,9	<0,1
Sn	<0,3	<0,3	<0,3
W	4,5	1,4	2,3
Mo	3	3	<2
Ni	61	68	22

Tabela 10 - Análise química para Elementos Terras Raras em ppm.

Elementos Químicos (ppm)	Paragnaisse		Quartzito
	PRC-029	PRC-032	PRC-067
La	37,5	30,2	8,6
Ce	51,4	37	5,5
Nd	18	13	1,9
Sm	3,6	3,3	0,3
Eu	1,09	1,3	<0,05
Gd	3,67	3,83	0,24
Tb	0,59	0,61	<0,05
Dy	3,74	3,75	0,15
Ho	0,75	0,78	<0,05
Er	2,08	2,17	0,14
Tm	0,33	0,32	<0,05
Yb	2,2	2	<0,1
Lu	0,34	0,35	<0,05
Pr	5,34	3,46	0,53
ΣETR	130,63	102,07	17,36
LaN/SmN	6,55	5,76	18,03
EuN/YbN	11,49	10,18	115,96
Eu/Eu*	0,92	1,12	0,28

Tabela 11 – Análise química para Carbono grafítico das amostras dos paragnaises e quartzitos.

Elementos Químicos (%)	Paragnaisse		Quartzito			
	PRC-029	PRC-032	PRC-046	PRC-067	PRC-070	PRC-071
C grafítico	0,26	0,37	0,17	0,37	0,2	0,34

8 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na área estudada, ocorrências de grafita são observadas em paragnaisses e quartzitos que estão distribuídos em três corpos, sendo dois corpos de quartzitos e um de paragnaisse. Os quartzitos ocorrem inseridos como lentes no Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR), enquanto que o paragnaisse ocorre na forma de lentes decamétricas com contatos por falhas com os granulitos do Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB).

As análises petrográficas demonstraram que o paragnaisse é representado por um hiperstênio-cordierita-grafita-granada gnáisse, formado pelo metamorfismo de alto grau, no fácies granulito, imposto a um protólito sedimentar. Os quartzitos correspondem à grafita-K-feldspato-cordierita quartzitos, que foram formados pelo metamorfismo de alto grau de uma rocha sedimentar rica em quartzo, entre as fácies anfíbolito e granulito. As condições de metamorfismo de alto grau, identificadas nas rochas estudadas, são consideradas ideais para a formação de grafitas tipo *Flake*, que apresentam os melhores valores de mercado.

Com base na caracterização petrográfica das grafitas, foi possível observar que a grafita dos paragnaisses ocorre disseminada em bandas máficas, e constitui cristais límpidos, isentos de inclusões, com dimensões que variam de 0,04 a 0,8mm, com predomínio de 0,2mm. Com base na classificação de Scougings (2015), essas grafitas variam dos tipos amorfas ou *flakes* finos a *flakes* extragrandes ou jumbo, com predomínio de *flakes* grandes.

A grafita ocorrente nos quartzitos se distribui de forma disseminada entre os grãos ou preenchendo fraturas. Este mineral apresentam-se na forma de agregados lamelares bem formados, idioblásticos a subidioblásticos, isentos de inclusões, com dimensões que variam de 0,3 a 2,6 mm, com predomínio dos cristais de 1,6 mm. Estas ocorrências apresentam grãos mais grossos, que, conforme classificação de Scougings (2015) podem ser enquadrados como *Flakes* extragrandes ou jumbo.

Com base nos dados geoquímicos das amostras dos paragnaisses, é possível sugerir que estas rochas foram formadas pelo metamorfismo regional incidente em folhelhos ricos em ferro, provenientes de rochas ígneas máficas em ambiente relacionado com arco de ilha. A presença de grafita nessas rochas sugere a disponibilidade de matéria orgânica, comum destes tipos de ambiente. Por outro lado, os quartzitos foram formados pelo metamorfismo regional impresso em arenitos quartzosos, provenientes de rochas félsicas, possivelmente graníticas,

geradas em ambiente de arco. A presença de grafita sugere que neste ambiente havia disponibilidade de matéria orgânica.

Os resultados das análises para carbono grafítico, das amostras coletadas, nos paragnaisses e quartzitos apresentaram teores subeconômicos, mas comprovaram o potencial para grafita nessas rochas.

Com base nos dados petrográficos e geoquímicos, é possível sugerir que as ocorrências de grafita dos paragnaisses e quartzitos, da porção nordeste do Cráton São Francisco, foram formadas a partir de processos mineralizadores singenéticos, ou seja, foram formadas a partir da transformação, *in situ*, da matéria orgânica primária em grafita através da grafitização causada pelo metamorfismo regional de alto grau.

É importante destacar que as características geológicas encontradas nas ocorrências estudadas, se assemelham com as descritas nos depósitos de grafita da Província de Itapicirica, esta que representa a segunda maior reserva de grafita do Brasil. Ambas as mineralizações de grafite foram formadas no Cráton São Francisco, durante o consumo de litosfera oceânica por volta de 2 Ga, e formaram mineralizações singenéticas por grafitização a partir do metamorfismo de alto grau em protólitos sedimentares aluminosos.

Devido à importância econômica que representa a grafita nos dias atuais, este trabalho representa um importante ponto de partida para a descoberta de depósitos de grafita na porção nordeste do Cráton São Francisco.

9 BIBLIOGRAFIA

ALKIMIN, F. F.; NEVES, B. B. B.; ALVES, J. A. C. **Arcabouço Tectônico do Cráton São Francisco – Uma Revisão.** In: Dominguez J. M. L. & Misi A. (eds) *O Cráton São Francisco*, Salvador, SBG, p. 45-62, 1993.

ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton do São Francisco.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton do Paramirim e sua Relação com o do São Francisco.** In: SBG, *Simpósio do Cráton São Francisco e suas Faixas Marginais*. Salvador, Anais, p. 1-10, 1981.

ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO C. D. R. **The Origin and Evolution of the South American Platform.** *Earth-Science Reviews*, v. 50, p. 77-111. 2000.

ARIADNE, Q. **Minas Gerais Terá a Primeira Fábrica de Grafeno do Brasil.** *O Tempo-Economia*, junho de 2016. Disponível em <<http://www.otempo.com.br/capa/economia/minas-gerais-ter%C3%A1-a-primeira-f%C3%A1brica-de-grafeno-do-brasil-1.1324354>>, acessado em 30/08/2017.

BAIYEGUNHI, C.; LIU, K.; GWAVAVA, O. **Geochemistry of Sandstones and Shales From the Ecca Group, Karoo Supergroup, in the Eastern Cape Province of South Africa: Implications for Provenance, Weathering and Tectonic Setting.** *De Gruyter Open*, Department of Geology, Faculty of Science and Agriculture, University of Fort Hare, Eastern Cape Province, South Africa, v. 9, p. 340-360, 2017.

BARBOSA, J. S. F. **Síntese do Conhecimento Sobre a Evolução Geotectônica das Rochas Metamórficas Arqueanas e Paleoproterozóicas do Embasamento do Cráton São Francisco na Bahia.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, p. 241-256, 1997.

BARBOSA, J. S. F. & DOMINGUEZ, J. M. L. (eds.). **Texto Explicativo para o Mapa Geológico ao Milionésimo.** SICM/ SGM, Salvador, p. 400, 1996.

BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. **Geological Features and the Paleoproterozoic Collision of four Archaean Crustal Segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil.** *A Synthesis.* *Anais Academia Brasileira de Ciências*, v. 74, p. 343-359, 2002.

- BARBOSA, J. S. F.; SABATÉ, P.; MARINHO, M. M. **O Cráton São Francisco na Bahia: Uma Síntese**. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 1, p. 3-6, dezembro de 2003.
- BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. **Colagem Paleoproterozóica de Placas Arqueanas do Cráton São Francisco na Bahia**. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, p. 7-14. 2003.
- BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. **Archean and Paleoproterozoic Crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: Geodynamic Features**. Precambrian Research, v. 133, p. 1-27, 2004.
- BELÉM, J. **Caracterização Mineralógica, Física e Termobarométrica de Minérios de Grafita da Província Gráfica Bahia-Minas**. Tese (Mestrado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, junho de 2006.
- BEST, M. G. **Igneous and Metamorphic Petrology**. Second Edition, Blackwell Science Ltd, p. 758, 2003.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.) CPRM, Brasília, 2003. **Depósitos Minerais no Tempo Geológico e Épocas Metalogenéticas**. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil, Cap. VII, 2003.
- BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BENVENUTI, S. M. P. **Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe. Diagnóstico do Município de Riachão do Dantas**. CPRM, Aracaju, maio de 2002.
- BRITO NEVES, B. B.; SIAL, A. N.; BEURLIN, H. **O Sistema de Dobramento Sergipana – Análise do Conhecimento**. In: Anais Reunião Preparatória do Simpósio Cráton São Francisco e Faixas Marginais. SBG. Bahia. Esp. 3, p. 369-391, 1977.
- BUENO, J. F. **Geoquímica e Cronologia de Alojamento de Granitos Colisionais na Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil**. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, p. 142, 2008.
- CAMERON, E. N. & WEIS, P. L. **Strategic Graphite A Survey**. Geological Survey Bulletin, p. 201-321, 1960.
- CARVALHO, M. T. N.; VILELA, F. T.; DIAS, P. H. A.; LOMBELLO, J. C. **A Província Mineral do Norte de Minas Gerais**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2014.

CHAVES, A. O.; CAMPELLO, M. S.; SOARES, A. C. P. **Idade U-Th-PbT de Monazitas do Sillimanita-Cordierita-Granada-Biotita Gnaiss de Itapeçerica (MG) e a Atuação da Orogenia Riachiano-Orosiriana no Interior do Cráton São Francisco Meridional.** Geociências, UNESP, São Paulo, v. 34, n. 3, p.324-334, 2015.

CORDANI, U. G. **Evolução Geológica Pré-Cambriana da Faixa Costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória.** Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 98, 1973.

CROSSLEY, P. **Graphite, High-Tech Supply Sharpens Up.** Industrial Minerals, p. 31-47, novembro de 2000. Disponível em <<http://www.saintjeancarbon.com/files/3413/7157/3114/Graphite-High-tech-supply-sharpens-up-Nov-00.pdf>>, acessado em 16/08/2017.

DAVISON, I. & SANTOS, R. A. **Tectonic Evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, During the Brasiliano Orogeny.** Precambrian Research, v. 45, p. 319-342, 1989.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. **Tectonic Evolution of the Sergipano Belt, NE Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 25, p. 315-332, 1995.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. **Basin Infilling in the Southern-Central Part of the Sergipano Belt (NE Brazil) and Implications for the Evolution of Pan-African/Brasiliano Cratons and Neoproterozoic Cover.** Journal of South American Earth Sciences, v.12, p. 453-470, 1999.

DELGADO, I. M.; SOUZA, J. D.; SILVA, L. C.; SILVEIRA FILHO, N. C.; SANTOS, R. A.; PEDREIRA DA SILVA, A. J.; GUIMARÃES, J. T.; ANGELIM, L. A. A.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; LACERDA FILHO, J. V.; VALENTE, C. R.; PERROTTA, M. M. L. A.; HEINECK, C. A. **Geotectônica do Escudo Atlântico.** In: BIZZI, A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas & SIG.** Brasília: Serviço Geológico do Brasil-CPRM, p. 227-333, 2003.

DESAUTELS, P.; D'ANJOU, N.; SKIADAS, N.; CASSOFF, J.; PENGEL, E.; BILODEAU, M. L.; BUCHANAN, M. J. **Ni 43-101 Technical Report on the Lac Knife Graphite Feasibility Study Quebec-Canada.** Focus Graphite INC, p. 1-269 agosto de 2014.

DIAS, T. G.; CAXITO, F. A.; PEDROSA-SOARES, A. C.; STEVENSON, R.; DUSSIN, I.; SILVA, L. C.; ALKMIM, F.; PIMENTEL, M. **Age, Provenance and Tectonic Setting of the High-Grade Jequitinhonha Complex, Araçuaí Orogen, Eastern Brazil.** Brazilian Journal of Geology, v. 46, n. 2, p. 199-219, june 2016.

DIAS, T. G.; PEDROSA-SOARES, A. C.; DUSSIN, I. A.; ALKMIM, F. F.; CAXITO, F. A.; SILVA, L. C.; NOCE, C. M. **Idade Máxima de Sedimentação e Proveniência do Complexo Jequitinhonha na Área-Tipo (Orógeno Araçuaí): Primeiros Dados U-Pb (LA-ICP-MS) de Grãos Detríticos de Zircão.** Geonomos, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 121-130, 2011.

DUARTE, M. A. **Grafita Natural.** Sumário Mineral, DNPM, 2002.

EVANS, A. M. **Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction.** Geoscience Texts, A Blackwell Publishing Company, v. 3, 1993.

FERREIRA, V. S. S. A.; VIEIRA, F.; VESPÚCIO, H. A.; ROSA, N. G.; TRINDADE, G. M.; COOK, C. J.; ÁLVARES, C. W.; LIMA, U. B.; NASCIMENTO, J. P.; FURTADO, C. A. **Diferenças nas Características Física e Textural do Óxido de Grafite em Função da Variação da Temperatura de Oxidação.** In: X Encontro Brasileiro Sobre Adsorção, Guarujá, São Paulo, abril de 2014.

FEYTIS, A. **The bright Side of Graphite.** Industrial Minerals, p. 31-39, julho de 2010. Disponível em <<http://www.northerngraphite.com/wp-content/uploads/2010/08/Graphite-feature-july-2010.pdf>>, acessado em 16/08/2017.

FLEISCHER, R. & OLIVEIRA, S. A. **Depósito de Grafita da Fazenda Traíras (Ba): Um Exemplo de Rombocasco Desenvolvido em uma Zona de Cisalhamento.** Geonomos, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 2, n. 12, p.33-41.

FONSECA, A. F. **Mini-Curso: Introdução às Propriedades Físicas e Estruturais do Grafeno e dos Nanotubos de Carbono.** Agenda Acadêmica, Instituto de Ciências Exatas (ICEEx) Universidade Federal Fluminense, p. 1-28, outubro de 2011.

FONTES, M. P. **Petrografia e Geoquímica dos Traquitos do Enxame de Diques Arauá, Sul do Estado de Sergipe.** Monografia de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, p. 57, 2011.

GAUTNEB, H. & TVETEN, E. **The Geology, Exploration and Characterisation of Graphite Deposits in the Jennestad Area, Vesterålen, Northern Norway.** Norges Geologiske Undersøkelse Bulletin, v. 436, p. 67-74, 2000.

JESUS, K. A.; FREIRE E.; MARIA; GUIMARÃES, M. J. O. C. **Grafeno: Aplicações e Tendências Tecnológicas.** Artigo Técnico, Departamento de Processos Orgânicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 14-19, setembro de 2012.

KALYONCU, R. S. **Graphite.** U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, v. 35, p.1-4, 2000.

KATZ, M. B. **Graphite Deposits of Sri Lanka: A Consequence of Granulite Facies Metamorphism.** Springer-Verlag, Mineralium Deposita, v. 22, p. 18-25, 1987.

LOBATO, E. **Perfil da Grafita.** Ministério de Minas e Energia-MME, p. 1-33, setembro de 2009.

LUQUE, F. J.; HUIZENGA, J. M.; FEO, E. C.; WADA, H.; ORTEGA, L.; BARRENECHEA, J. F. **Vein Graphite Deposits: Geological Settings, Origin, and Economic Significance.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Mineralium Deposita, v. 49, p. 261-277, 2013.

MARINHO, M. M. **La Séquence Volcano-Sédimentaire de Contendas Mirante et la Bordure Occidentale du Bloc Jequié (Cráton du São Francisco-Brésil): Un exemple de Transition Archéan Protérozoïque.** Tese de Doutorado. Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, França, p. 388, 1991.

MORAIS, J. **Eletroero, Soluções em Escovas e Grafites.** Disponível em <<http://www.eletroero.com.br/pdf/a-grafita-historia.pdf>>, acessado em 30/08/2017.

OLIVEIRA, A. S.; PULZ, G. M.; BONGIOLO, E. M.; CALARGE, L. M. **Isótopos de Carbono em Filitos Carbonosos da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Sul de Ibaré, Rio Grande do Sul.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS-Brasil, v. 30, p. 41-52, 2003.

OLIVEIRA, E. M. **Petrografia, Litogeoquímica e Geocronologia das Rochas Granulíticas de Parte Norte do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, Bahia-Sergipe.** Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, junho de 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, T. R. **Geologia do Extremo Nordeste do Cráton do São Francisco, Bahia**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 126, 1990.

PASTERIS, J., D. **Causes of the Uniformly High Crystallinity of Graphite in Large Epigenetic Deposits**. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 17, n. 6, p. 779-787, 1999.

PASSOS, D. R. **Petrografia de Diques Andesíticos na Região de Arauá, Sul do Estado de Sergipe**. Monografia de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, p. 67, 2012.

PEARCE, J. A.; HARRIS, N. W.; TINDLE, A. G. **Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks**. *Journal of Petrology*, v. 25, p. 956-983, 1984.

PEREIRA, S. **Grafite: Produção x Demanda**. 12º Congresso Brasileiro de Mineração – BH. Nacional de Grafite, A solução Natural, setembro de 2007.

SABATÉ, P.; MARINHO, M. M.; VIDAL, P.; VACHETTE, M. C. **The 2-Ga Peraluminous Magmatism of the Jacobina-Contendas Mirante Belts (Bahia-Brazil): Geologic and Isotopic Constraints on the Sources**. *Chemical Geology*, v. 83 p. 325-338, 1990.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; PAIVA, P. R. P.; DUTRA, A. J. B. **22. Grafita**. *Rochas e Minerais Industriais – CETEM*, p. 441-488, 2005.

SANTOS, R. A; MARTINS, A. A. M.; NEVES, J. P.; LEAL, R. A. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe**. CPRM, CODISE, Brasília, 1998.

SANTOS, R. A.; MARTINS, A. A. M.; NEVES, J. P.; LEAL, R. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000**. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Estado de Sergipe, CPRM/DIEDIG/DEPAT, CODISE, Brasília, 2001.

SANTOS, R. A.; MENEZES, F. N. R.; Souza, D.; TEIXEIRA, L. R.; MOTTA, A. C.; LEAL, R. A.; BRAZ, F. P. A. **Geologia da Região Nordeste. Folhas Carira (SC.24 – Z – A – III) e Jeremoabo (SC. 24 – Z – A – II). Estados da Bahia e Sergipe**. Relatório Final. Brasília; CPRM, v. 8, Convênio DNPM/CPRM, 1988.

SANTOS, R. A. & SOUZA, J. D. **Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais: Serrinha**. Folha SC.24-Y-D-V. Salvador, DNPM, v. 2, 1983.

SCOGINGS, A. **Graphite: Where Size Matters**. Graphite Focus, Australia's Paydirt, p. 78-79, 2015.

SENGÜN, F.; CANDAN, O.; DORA, O. O.; KORALAY, O. E. **Petrography and Geochemistry of Paragneisses in the Çine Submassif of the Menderes Massif, Western Anatolia**. Turkish Journal of Earth Sciences, Turkey, v.15, p. 321-342, 2006.

SILVA FILHO, M. A.; BOMFIM, L. F. C.; SANTOS, R. A. **Projeto Baixo São Francisco/Vaza-Barris**. Relatório Final, DNPM/CPRM, Salvador, v. 19, 1977.

SILVA FILHO, M. A.; BONFIM, L. F. C.; SANTOS, R. A. **Geologia da Geossinclinal Sergipana e do seu Embasamento: Alagoas, Sergipe e Bahia. Projeto Baixo São Francisco/Vaza-Barris**. Seção Geologia Básica, DNPM, Brasília, v. 10, p. 131, 1979.

TAYLOR, S. R.; RUDNICK, R. L.; MCLENNAN, S. M.; ERIKSSON, K. A. **Rare Earth Element Patterns in Archean High-Grade Metasediments and their Tectonic Significance**. Geochimica et Cosmochimica Acta, Pergamon Journals Ltd. U.S.A, v. 50, p. 2267-2279 1986.

TEIXEIRA, L. R. **O Complexo Caraíba e a Suíte São José do Jacuípe no Cinturão Salvador-Curaçá (Bahia, Brasil): Petrologia, Geoquímica e Potencial Metalogenético**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 201, 1997.

TEIXEIRA, W.; OLIVEIRA, E. P.; PENG, P.; DANTAS, E. L.; HOLLANDA, M. H. M. **Sequência Metassedimentar de Itapecerica Vinculada à Colisão (2.0 Ga) do Cinturão Mineiro, Cráton São Francisco: Geocronologia U-Pb em Zircão Detritico, Implicações Tectônicas e Inferências Paleogeográficas**. In: XVI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Salvador-Bahia-Brasil. Anais, SBG, p. 105-108, maio de 2017.

TROMPETTE, R. R.; UHLEIN, A.; SILVA, M. E.; KARMANN, I. **O Cráton Brasileiro do São Francisco - Uma Revisão**. Revista Brasileira de Geociências, v. 22, n. 4, p. 481-486, dezembro de 1992.

VAN SCHUMS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. **U/Pb and Sm/Nd Geochronologic Studies of the Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: Initial Conclusions**. Journal of South American Earth Sciences, v.8, n. 34, p. 267- 285, 1995.

VARGAS, J. R. **Grafeno – Uma Revolução Tecnológica**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/grafenouma-revolucao-tecnologica.htm>>, acessado em 30/08/2017.

WILSON, M. **Igneous Petrogenesis**. A Global Tectonic Approach. London, Unwin Hyman, p. 466, 1989.