

CARACTERIZAÇÃO GAMAESPECTROMÉTRICA E PETROGRÁFICA DE GRAFITA *FLAKE* DISSEMINADA EM METASSEDIMENTOS DE ALTO GRAU METAMÓRFICO NA REGIÃO DE QUATIS, SUL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

*GAMMA SPECTROMETRIC AND PETROGRAPHIC CHARACTERIZATION OF
DISSEMINATED FLAKE GRAPHITE IN HIGH GRADE METAMORPHIC SEDIMENTS IN THE
QUATIS REGION, SOUTHERN RIO DE JANEIRO STATE*

Jailane de SOUSA GOMES¹, Marcelo dos Santos SALOMÃO¹, Francisco José da SILVA²

¹UERJ – Universidade de Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

E-mails: jailane3@gmail.com; salomao.mss@gmail.com

²UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR-465, Km 7. Seropédica, Rio de Janeiro. E-mail: fjosilva@ufrj.br

Introdução

Contexto geológico regional e local

Materiais e métodos

Dados aerogeofísicos

Gamaespectrometria terrestre

Petrografia

Resultados e discussões

Análise aerogeofísica qualitativa

Perfis geológico-gamaespectrométricos

Sillimanita-granada-biotita gnaiss com grafita e hábitos dos *flakes*

Caracterização granulométrica

Conclusões

Agradecimentos

Referências

RESUMO - A grafita *flake* investigada, ocorre na região sul do estado do Rio de Janeiro (SE Brasil), e está disseminada em metassedimentos (gnaisses metapelíticos) neoproterozoicos de alto grau metamórfico (até fácies granulito), interdigitados com as rochas ortogranulíticas (embasamento) do Complexo Juiz de Fora. Esses litotipos são relacionados tectonicamente ao Domínio Superior do Terreno Ocidental, pertencente à Faixa Ribeira Central. Dados de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria foram utilizados para reconhecer os padrões de assinaturas dos gnaisses e rochas encaixantes. As concentrações de eTh são expressivas em toda área onde ocorrem os gnaisses associados com a grafita, também exibindo correlação com o canal de urânio. Nos perfis geológico-geofísicos, há semelhanças entre os dados aéreos e terrestres, onde o eU e eTh também se apresentam correlacionados, diferente do potássio, que apresentou variações, sem um padrão definido. Os grãos de grafita ocorrem associados ao sillimanita-granada-biotita gnaiss com grafita, comumente junto da biotita, estando deformados pela foliação milonítica. A grafita apresenta diferentes hábitos, tendo sido classificados em palhetas tabulares (45%), farrapo (31%), com pontas esfarrapadas (21%), farrapo (31%) e seção basal (hexagonal) (3%). O tamanho dos cristais varia entre muito fino (pó) (41,7%), *flake* largo (11,7%) e *extra large* (11,2%) para os cristais maiores que 0,30 mm da amostra.

Palavras-chave: Aerogeofísica. Gamaespectrometria. Khondalito. Grafita *flake* singenética. Rio de Janeiro.

ABSTRACT - The investigated flake graphite occurs in the southern region of Rio de Janeiro State (SE Brazil), and is disseminated in high grade (up to granulite facies) Neoproterozoic metasediments (metapelitic gneisses), interdigitated with the orthogranulitic rocks (basement) of the Juiz de Fora Complex. These lithotypes are tectonically related to the Ocidental Terrain Superior Domain, belonging to the Central Ribeira Belt. Airborne magnetic and gamma-ray data were used to recognize the signature patterns of the gneisses and surrounding rocks. The eTh concentrations are expressive throughout the area where the gneisses associated with graphite occur, exhibiting correlation with the uranium channel. In the geological-geophysical profiles, there are similarities between the airborne and ground data, however, eU and eTh are also correlated, unlike potassium, which showed variations, without a defined pattern. Graphite grains occur associated with sillimanite-granada-biotite gneiss with graphite, commonly next to biotite, being deformed by milonite foliation. The graphite shows different habits, having been classified into tabular picks (45%), ragged (31%), with ragged edges (21%), ragged (31%) and basal (hexagonal) section (3%). Crystal size varied between very fine (dust) (41.7%), flake wide (11.7%) and extra large (11.2%) for the crystals larger than 0.30 mm of the sample.

Keywords: Aerogeophysics. Gamma-ray spectrometry. Khondalite. Syngenetic flake graphite. Rio de Janeiro.

INTRODUÇÃO

A grafita do tipo *flake* é um mineral de relevante interesse econômico, sendo considerado como um dos minerais estratégicos no Brasil (Sousa & Matos, 2020; Brasil, 2010). Devido à versatilidade de suas propriedades, é utilizado amplamente na indústria de refratários, aço,

baterias, alta tecnologia, nanotecnologia e para a obtenção do grafeno. A grafita é formada por um agrupamento de monocamadas de carbono e apresenta estrutura hexagonal, formando palhetas cristalinas, que podem ser comercializadas em três tipos industriais: veio, *flake* e amorfo

(Robinson et al., 2017; Simandl et al., 2015). Também podem ser classificadas de acordo com a morfologia do tipo *flake* em palhetas tabulares, tabulares com pontas esfarrapadas, farrapos e seção basal (hexagonal) (Belém, 2006). O Brasil tem um grande potencial para este mineral, detém a quarta maior reserva mundial de grafita cristalina, atrás da Rússia & Ucrânia (1^a), China (2^a) e Madagascar (3^a), na posição global de grafita em toneladas métricas (Sousa & Matos, 2020; Robinson et al., 2017). É o terceiro maior produtor mundial deste tipo de grafita (5,2%), depois da China (65%) e Índia (12,5%) (Heider, 2018; Sousa & Matos, 2020).

A área de estudo está localizada no sudeste do Brasil, no sul do estado do Rio de Janeiro, nos municípios de Porto Real, Quatis e Valença, incluindo os distritos de Santa Isabel do Rio Preto (Valença) e Ribeirão de São Joaquim (Quatis). As rochas desta região se contextualizam geotectonicamente na porção central da Faixa Ribeira (FR). A Faixa Ribeira compreende um cinturão orogênico estruturado ao longo da Orogenia Brasileira-Panafricana, resultando na amalgamação do Supercontinente Gondwana (Heibron et al. 2000, 2004, Figura 1A). Os litotipos presentes no presente estudo são representados por biotita gnaisse bandado, sillimanita-granada-biotita gnaisse, quartzitos, rochas calciossilicáticas e gonditos, interdigitados com os ortogranulitos do Complexo Juiz de Fora. Segundo Pereira et al. (2016), o conjunto destes metassedimentos estão associados a Faixas Khondalíticas que ocorrem por todo o Estado do Rio de Janeiro. Neste, são reconhecidas as Faixas Khondalíticas Marangatu, Palma-Guaçuí e São Fidélis, associadas a diversas ocorrências de grafita, Mn, Au e Zn/Ag (Pereira & Guimarães, 2012; Pereira et al., 2014; Pereira et al., 2016). O termo khondalito é mais frequente em países asiáticos, como por exemplo na Índia (Cinturão Khondalítico Kerala), constituído por faixas de granada-biotita (\pm grafita) gnaisses e granada-sillimanita-biotita (\pm grafita) gnaisses, essencialmente aluminosos, com ocorrência de quartzitos, gonditos, rochas calciossilicáticas e anfíbolitos, metamorfisados em fácies granulito (Wilde et al., 1999). Na China, consistem em cinturões khondalíticos da porção ocidental da Cordilheira de Altyn Tagh, contendo rochas metapelíticas, pelito-arenosas ricas em alumínio (Zhang et al., 2000). No Brasil, também são reconhecidas rochas khondalíticas (paleoproterozoicas) na porção sul do Cráton São

Francisco (Itapeçerica, Minas Gerais) (Miranda et al., 2020), no Ceará (Fragomeni & Pereira, 2013, Santos et al. 2001) entre outros relatados em Miranda et al. (2020).

A formação da grafita ocorre durante o processo de grafitização, de caráter irreversível, resultante do aumento progressivo do grau metamórfico condicionado às rochas contendo material rico em carbono (Buseck & Beyssac, 2014). O material carbonoso é rearranjado em estruturas (camadas) com estabilidade termodinâmica estáveis, concentrando o carbono puro (Buseck & Beyssac, 2014). Os depósitos formados ocorrem em rochas metassedimentares, podendo ocorrer da seguinte forma: tipo amorfo (microcristalino), *lump* e *flake* cristalino, relacionados com o grau metamórfico e ambiente geotectônico de formação (Simandl et al., 2015, Robinson et al., 2017). Em cinturões metamórficos, são encontrados os tipos *flake* (origem singenética) disseminados em metapelitos ricos em material carbonoso de origem biogênica, gerados durante o metamorfismo regional e no contato com intrusões pegmatíticas e ígneas (Robinson et al., 2017; Sousa & Matos, 2020). O tipo *lump* (veio) é epigenético, ocorre em zonas de cisalhamento, no contato com intrusões ígneas, sendo gerado por fluidos ricos em carbono, em zonas de alto grau metamórfico, precipitados após o pico metamórfico (Robinson et al., 2017). A grafita microcristalina é originada por metamorfismo de contato em rochas sedimentares ricas em carbono, como o carvão (Robinson et al., 2017). Por meio da caracterização petrográfica e textural é possível reconhecer o grau de impureza associado aos cristais de grafita, assim como obter uma avaliação do potencial prospectivo de rochas portadoras deste mineral (Sousa & Matos, 2020). A investigação de mapas aerogeofísicos é uma excelente ferramenta para o reconhecimento de estruturas geológicas e litologias regionais favoráveis relacionadas com as mineralizações de interesse. A gamaespectrometria pode ser utilizada para delimitar, de forma regional, os limites geológicos em superfície, diferenciando rochas metassedimentares e intrusões ígneas em faixas móveis, que compõem um cenário de médio a alto grau metamórfico, favorável à formação de grafita de elevada cristalinidade, provenientes de rochas metassedimentares ricas em carbono. A análise aerogeofísica qualitativa apresentada neste trabalho teve como intuito verificar a existência de anomalias magnetométricas e analisar o padrão de assinaturas radiométricas

nos metassedimentos relacionadas com as rochas com grafita, bem como as rochas encaixantes. Tal análise tem por objetivo enriquecer a inter-

pretação geológica, em escala regional e local, contribuindo para obter maiores informações prospectivas e geofísicas das rochas investigadas.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E LOCAL

A área do presente estudo, está inserida no contexto geológico do segmento Central da Faixa Ribeira (FR) (Heilbron et al., 2000; 2004), que integra parte do sistema orogênico denominado Província Mantiqueira (Almeida et al., 1977). A Faixa Ribeira compreende um cinturão orogênico que foi estruturado ao longo da Orogenia Brasileira-Panafricana (Figura 1A), durante o Neoproterozoico até o Cambriano (Heilbron et al., 2004; 2008) no sudeste do Brasil. Segundo os autores (Heilbron et al., 2004; 2008), este orógeno foi gerado pelas sucessivas colisões diacrônicas envolvendo micro-continentes e arcos magmáticos na porção sul e sudeste da margem continental do

Paleocontinente São Francisco (PSF), o que formou um conjunto de terrenos tectonoestratigráficos. Estes terrenos, empilhados de leste para oeste na margem do PSF, são denominados por Terreno Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul-Embu e Cabo Frio (Heilbron et al., 2020) (Figura 1B). O Terreno Ocidental é interpretado como a margem retrabalhada do PSF, dividido nos Domínios Superior e Inferior, que correspondem às unidades do embasamento, recobertos por uma sucessão supracrustal metavulcanossedimentar neoproterozoica (Heilbron et al., 2004; 2008) denominada Megassequência Andrelândia (Paciullo et al., 2000).

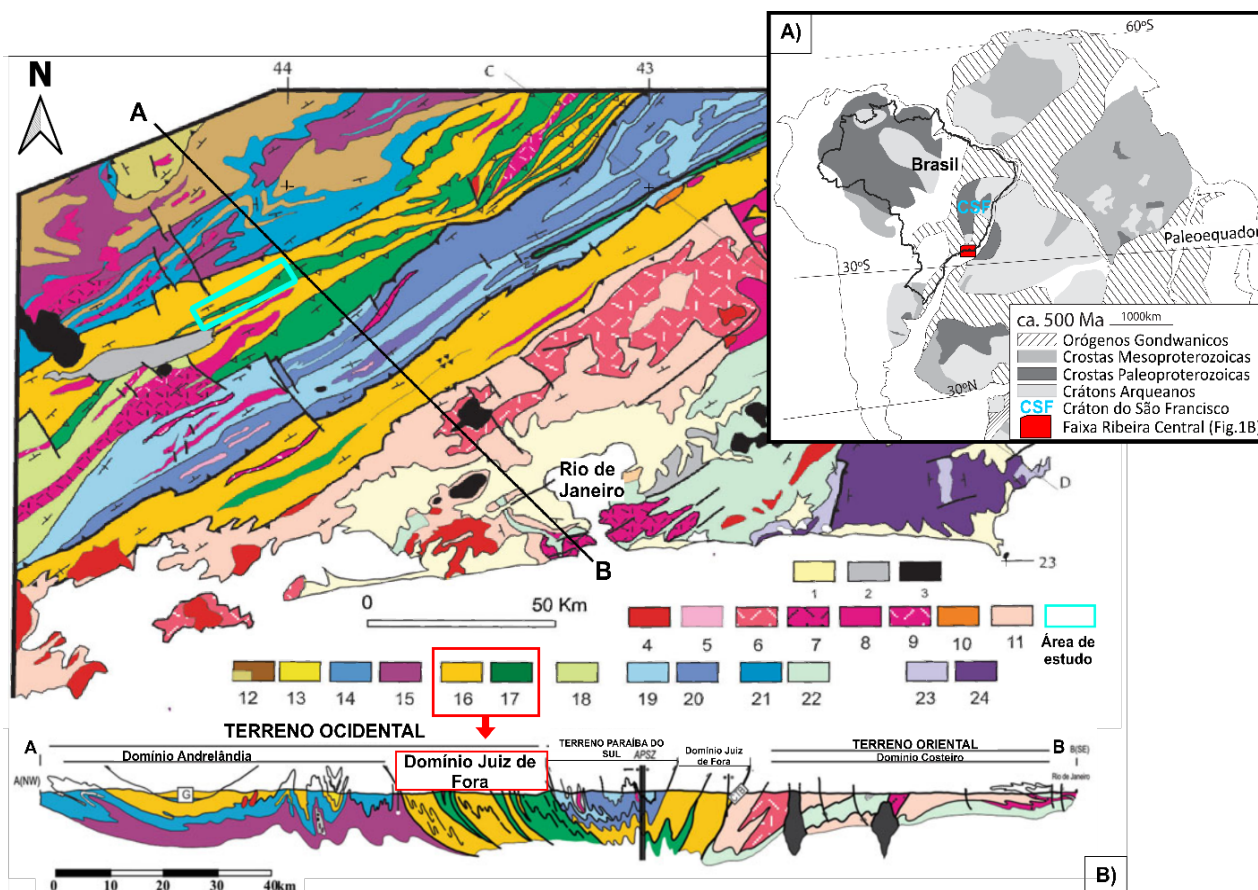


Figura 1 - Mapas de localização geotectônica da Faixa Ribeira Central. A) Mapa geológico do Gondwana em cerca de 500 Ma., adaptado de Spencer et al. (2016). B) 1: Coberturas quaternárias; 2: Bacias de rifte Terciárias; 3: Rochas alcalinas; 4-9: Granitoides sin- a pós-colisionais; 10: Suítes São Primo e Anta; 11: Arco Magmático Rio Negro; 12-17: (Terreno Ocidental) Megassequência Andrelândia (12-14): 12 Sequência Rio Turvo (A6-A5, fácies granulito de alta pressão); 13: Sequencia Rio Turvo; 14: Sequência Carrancas (A1+A2+A3); 15: Complexo Mantiqueira; 16: Fácies distal da Megassequência Andrelândia no Domínio Juiz de Fora; 17:Complexo Juiz de Fora; 18: Complexo Embu; 19: Grupo Paraíba do Sul; 20: Complexo Quirino; 21: Sucessão carbonática plataformar Italva; 22: Sucessão Costeiro; 23: Sucessão Búzios e Palmital; 25: Complexo da Região dos Lagos. Adaptado de Heilbron et al. (2000; 2004; 2016).

O Domínio Inferior (Andrelândia), contém embasamento denominado pelo Complexo Mantiqueira e o Domínio Superior (Juiz de Fora)

é composto por ortogranulitos paleoproterozoicos do Complexo Juiz de Fora (Figura 1B) (Heilbron et al., 2007b; 2016).

A Megassequência Andrelândia (Paciullo et al., 2000) foi agrupada nas sequências deposicionais Carrancas e Serra do Turvo (Paciullo et al., 2003), separadas por discordâncias regionais e subdividas em litofácies (Paciullo et al., 2000; 2003). As rochas do embasamento são compostas por ortogranulitos de composição básica à ácida (Complexo Juiz de Fora) (Heilbron et al., 2007b). Apresentam cor esverdeada, texturas granoblásticas e miloníticas, contendo enderbitos, charnoenderbitos, charnockitos (Heilbron et al., 2007b). As rochas supracrustais presentes na área de estudo, consistem em biotita gnaiss bandado, com intercalação de quartzitos puros a feldspáticos, granada gnaiss, rochas calciossilicáticas e anfibolitos (Heilbron et al., 2007b). Também são

frequentes paragneisses miloníticas e níveis de granada-biotita gnaisses, sillimanita-granada-biotita gnaisses (com ocorrência de grafita) e granitos do tipo S (Suíte Rio Turvo) (Heilbron et al., 2007b).

Estão presentes texturas migmatíticas, formando leucossomas e melanossomas ricos em biotita (Heilbron et al., 2007b). A grafita é observada, de forma disseminada, em gnaisses metapelíticos de alto grau metamórfico correspondentes aos metassedimentos da Megassequência Andrelândia (Heilbron et al., 2007b; 2016).

Os granitos da Suíte Rio Turvo, datados em 579 ± 6 por (U-Pb em monazita) (Machado et al., 1996), são resultantes de fusão parcial dos metassedimentos no pico metamórfico, durante o estágio colisional (Heilbron et al., 2007b).

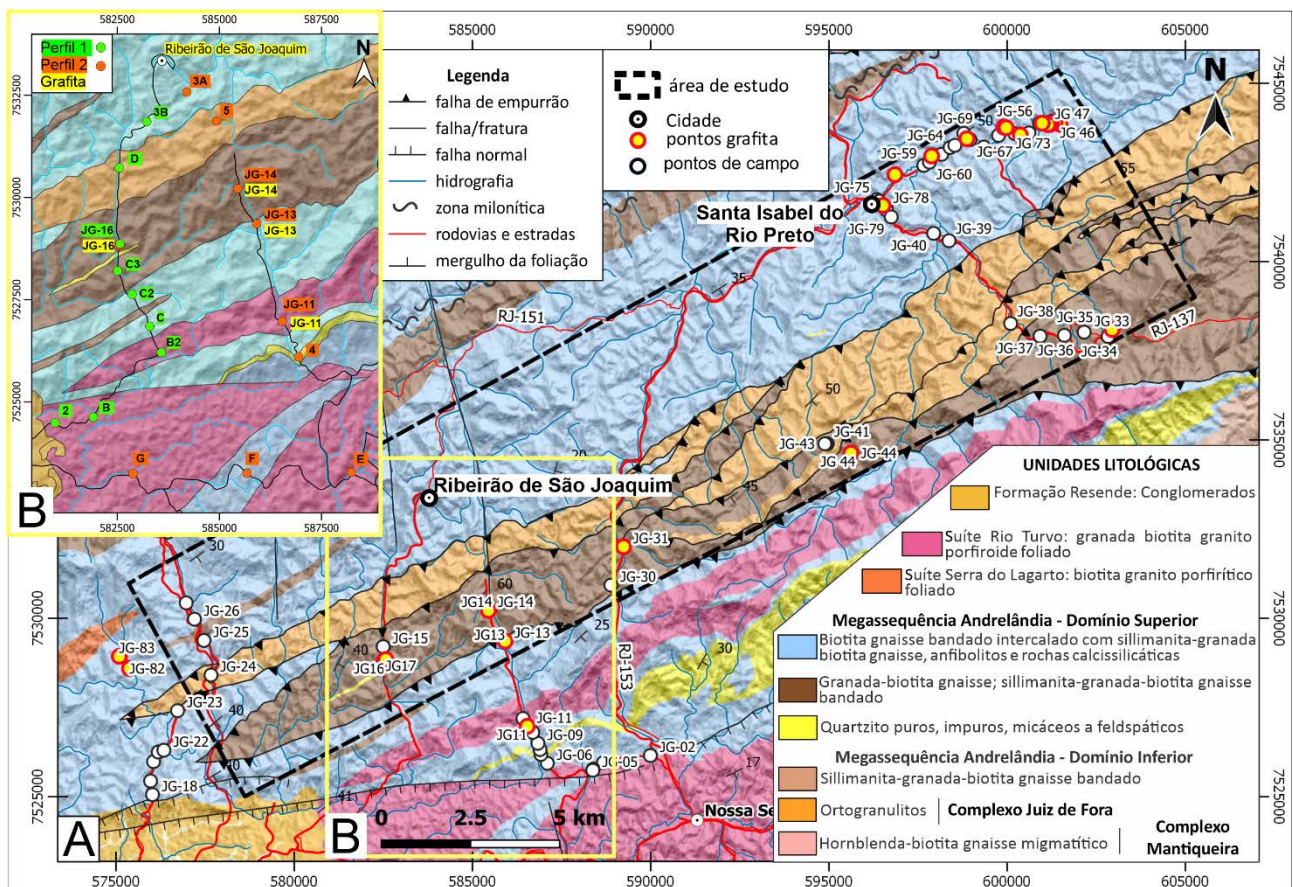


Figura 2 - Mapa geológico da área de estudo e arredores. A) Pontos com ocorrência e indícios de grafita (amarelo e contorno vermelho). Os demais pontos visitados são indicados pelos círculos de cor branca. B) Mapa geológico sobrepostos aos pontos obtidos na gamaespectrometria terrestre. A base geológica foi extraída de Heilbron et al., (2007a).

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados aerogeofísicos

Para a realização das análises aerogeofísicas foram utilizados os dados magnetométricos e gamaespectrométricos obtidos pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, no domínio do GeoSBG (2019), dos Projeto Aerogeofísico 1105 - São José dos Campos-Resende, (CPRM, 2013) e 1117 - Rio de Janeiro (CPRM, 2012). A altura

de voo foi de 100 m, com linhas principais N-S espaçadas em 500 m. O processamento destes dados foi realizado no *software* Oasis Montaj e integrados em ambiente georreferenciado no QGIS (versão 3.10). Os dados magnéticos, foram interpolados com o método bidirecional, com célula de *grid* (125 m), com aplicação do filtro cosseno direcional, para correção dos desnive-

lamentos das linhas de voo N-S.

Para o processamento dos dados radiométricos, foi utilizado o método de interpolação da mínima curvatura, com *grid* de 125m, equivalente a 1/4 do espaçamento entre as linhas de voo (Vasconcellos et al., 1994). Foram extraídos perfis aerogamaespectrométricos, em seções perpendiculares ao *trend* principal (direção NNW-SSE) das rochas hospedeiras de grafita. Os perfis possibilitam obter informações e contrastes entre os limites litológicos, servindo de base e complemento para a campanha de gamaespectrometria terrestre.

Foram produzidos os mapas da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e Inclinação do Sinal Analítico – ISA (*TILT*). O primeiro, indica as delimitações das anomalias magnéticas, independente da inclinação do campo da Terra, exibidas diretamente acima da fonte (anomalias) (Reeves, 2005). O ISA, (*TILT: total horizontal derivate*) (Miller & Singh, 1994), é utilizado para auxiliar na identificação de estruturas geológicas e respectivos lineamentos magnéticos. Foi gerado a partir do Campo Magnético Anômalo, sem redução ao polo.

A aeromagnetometria é um método potencial geofísico, que investiga as anomalias do campo magnético da Terra, causadas pelos diferentes minerais magnéticos das rochas da crosta terrestre, refletindo suas propriedades físicas em subsuperfície.

Em rochas sedimentares geralmente ocorrem baixas concentrações de minerais ferromagnéticos, resultando em uma baixa intensidade do campo magnético. Do contrário, as rochas ígneas básicas são abundantes em minerais com alta susceptibilidade magnética, como a magnetita, resultando em anomalias de maior intensidade (Kearey et al., 2009).

A gamaespectrometria é um método amplamente utilizado para auxílio em mapeamentos geológicos, pesquisa e exploração mineral. A partir da radiação natural emitida pelos isótopos de ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th , presentes em rochas e solos, é possível detectar suas respectivas contagens de raios *gamma*, emitidas a partir de cerca de 30 cm da superfície terrestre (Minty, 1997). O comportamento dos radioelementos pode variar de acordo com a paisagem, de acordo com a mobilidade destes elementos na superfície, permitindo também o reconheci-

mento de litologias. Em geral, o potássio ocorre em feldspatos potássicos e micas, em rochas félsicas, como granitos, granitoides, pegmatitos (IAEA, 2003; Dickson & Scott, 1997). O urânio é menos abundante na crosta terrestre, encontra-se em óxidos (uraninita) e nos silicatos monazita, zircão, allanita, que são minerais acessórios frequentes de rochas ígneas e metamórficas (IAEA, 2003). A mobilidade do urânio é maior com relação ao tório, pois o urânio tende a ser lixiviado das rochas e incorporado em argilo-minerais, óxidos de ferro sendo, sob condições de ambientes redutores, incorporado em carbonatos e pirita (Dickson & Scott, 1997). O tório ocorre geralmente em minerais pesados, principalmente em monazita, allanita e zircão (Dickson & Scott, 1997). Estes são minerais resistentes e tendem a se acumular em depósitos de areia, junto com outros minerais pesados e que também ocorrem em rochas félsicas, ricas em sílica, assim como em rochas metamórficas (Dickson & Scott, 1997).

Gamaespectrometria Terrestre

Foram medidos 20 pontos para gamaespectrometria terrestre na área de estudo, divididos em dois perfis (Figura 2B), por meio do gamaespectrômetro modelo RS-230 BGO/Super-SPEC, fabricado pela *Radiation Solutions Inc*, do Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN/UERJ). Possui um detector de cristal de Óxido de Germanato de Bismuto de 6.3” (103cm) e projetado para operar com 512 canais em um intervalo de 0,1 a 3 Mev. Os dados coletados foram processados pelo *software* Oasis Montaj da Geosoft Inc. versão 6.4.2, com interpolação pelo método da mínima curvatura.

Petrografia

Após várias etapas de campo, foram produzidas lâminas delgadas e polidas no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA) da UERJ. As seções delgadas foram analisadas em microscópio petrográfico Zeiss, modelo Axioskop 40, de luz transmitida e refletida para a descrição da mineralogia da rocha, texturas, estruturas, tamanhos dos cristais de grafita, contagens e classificação dos tipos de *flakes* existentes. As medidas dos cristais e fotografias foram feitas com a câmera Zeiss, modelo AxioCam ERc5s, editados com auxílio do programa AxioVision 4.8.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise aerogeofísica qualitativa

A análise aerogeofísica qualitativa teve como intuito investigar as assinaturas aeromagnetométricas e aerogamaespectrométricas nos metassedimentos da área de estudo e correlacioná-las com as rochas portadoras de grafita e arredores.

Na magnetometria, foram gerados os mapas geofísicos da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e Inclinação do Sinal Analítico – ISA (*TILT*). No ASA são observadas anomalias magnéticas, possivelmente relacionadas às rochas do embasamento ou a intrusões ígneas, com a existência de minerais ferromagnéticos (ilmenita, magnetita). A partir dos lineamentos magnéticos traçados do mapa *TILT* (Figura 3B), notou-se que os lineamentos são regionais com direção NE-

SW, associados ao embasamento, mas também, representando zonas de cisalhamento, como por exemplo a do Rio Preto, a norte da área. Neste sentido, notam-se também lineamentos E-W ao sul da área, que podem estar relacionados com as brechas tectônicas preenchidas por material silicoso e ferruginoso, associadas com a bacia tipo rifte de Resende (Heilbron et al., 2007b). Não foram observadas anomalias magnéticas significativas nos metassedimentos.

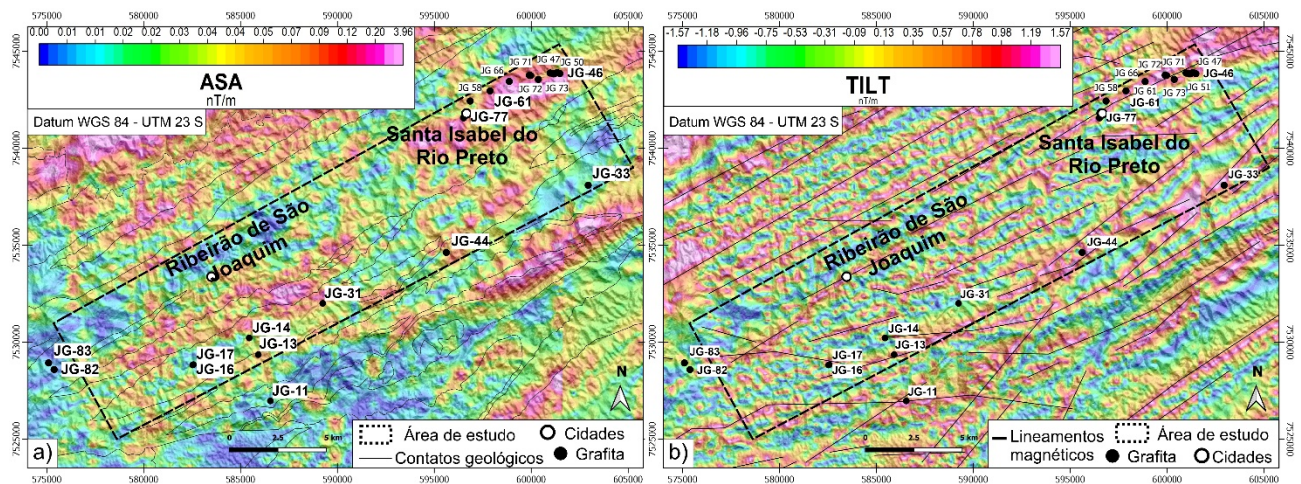


Figura 3 - Mapas aeromagnetométricos da área de estudo e arredores. A) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) sobreposto aos contatos litológicos (contornos em preto) extraídos de Heilbron et al., (2007a); B) Mapa da Inclinação do Sinal analítico (*TILT*) com os lineamentos magnéticos (linhas pretas) traçados aproximadamente no centro das anomalias. Ambos foram sobrepostos ao modelo digital de elevação ALOS PALSAR (2020).

Os mapas aerogamaespectrométricos foram gerados com o intuito de conhecer feições radiométricas das rochas investigadas e observar os contrastes regionais existentes. Foram processados os mapas radiométricos do canal de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm), as razões eU/K, eTh/K, eU/eTh e da imagem Ternária (Figuras de 4A a 4F). Estes mapas foram sobrepostos aos contatos litológicos, aos pontos com grafita e modelo digital de elevação, para auxiliar na correlação e análise das assinaturas gamaespectrométricas das rochas.

O mapa do canal do potássio (Figura 4A) apresenta baixas contagens (menores que 0,85%) na maior parte dos metassedimentos, assim como nas rochas do embasamento. Apresenta valores mais elevados nas proximidades do granitoide Rio Turvo, devido à presença de feldspatos ricos em potássio. Nos pontos com grafita, os valores são baixo a médios, entre 0,33% a 1,03%. O mapa do canal urânio (Figura 4B) apresenta variações nas concentrações, com contagens médias a altas (acima de 2,16 ppm) nos metassedimentos. Mesmo não apresentando uma boa correlação entre as concentrações de eU com as rochas contendo grafita, o elemento radiométrico apresenta correlação com as medidas de eTh nos

pontos de grafita analisados.

O mapa do elemento Tório (eTh), exibe de forma mais expressiva as assinaturas dos metassedimentos. Apresenta altas contagens em praticamente toda a extensão mapeada para essas rochas (Figura 4C), com contagens maiores que 38.75 ppm, sendo o este o principal elemento para delimitação das rochas metapelíticas onde há presença de grafita.

Os valores mais baixos são encontrados nos quartzitos enquanto que concentrações médias estão presentes no embasamento. Os mapas das razões radiométricas podem ser úteis para mostrar contrastes nas concentrações radiométricas que não estão bem definidas nos mapas dos canais anteriores.

Devido à grande expressão de eTh nos metassedimentos, não foi possível distinguir os limites entre os gnaisses observados localmente. Analisando o mapa da razão de eTh/K e eU/K (Figuras 4D e E), estes apresentam uma delimitação mais definida nas concentrações de tório e urânio, colocando em evidência a rocha hospedeira de grafita. O mapa de eU/eTh apresenta valores muito baixos em todo o pacote metassedimentar, devido a diferença entre as altas concentrações de tório em relação ao urânio.

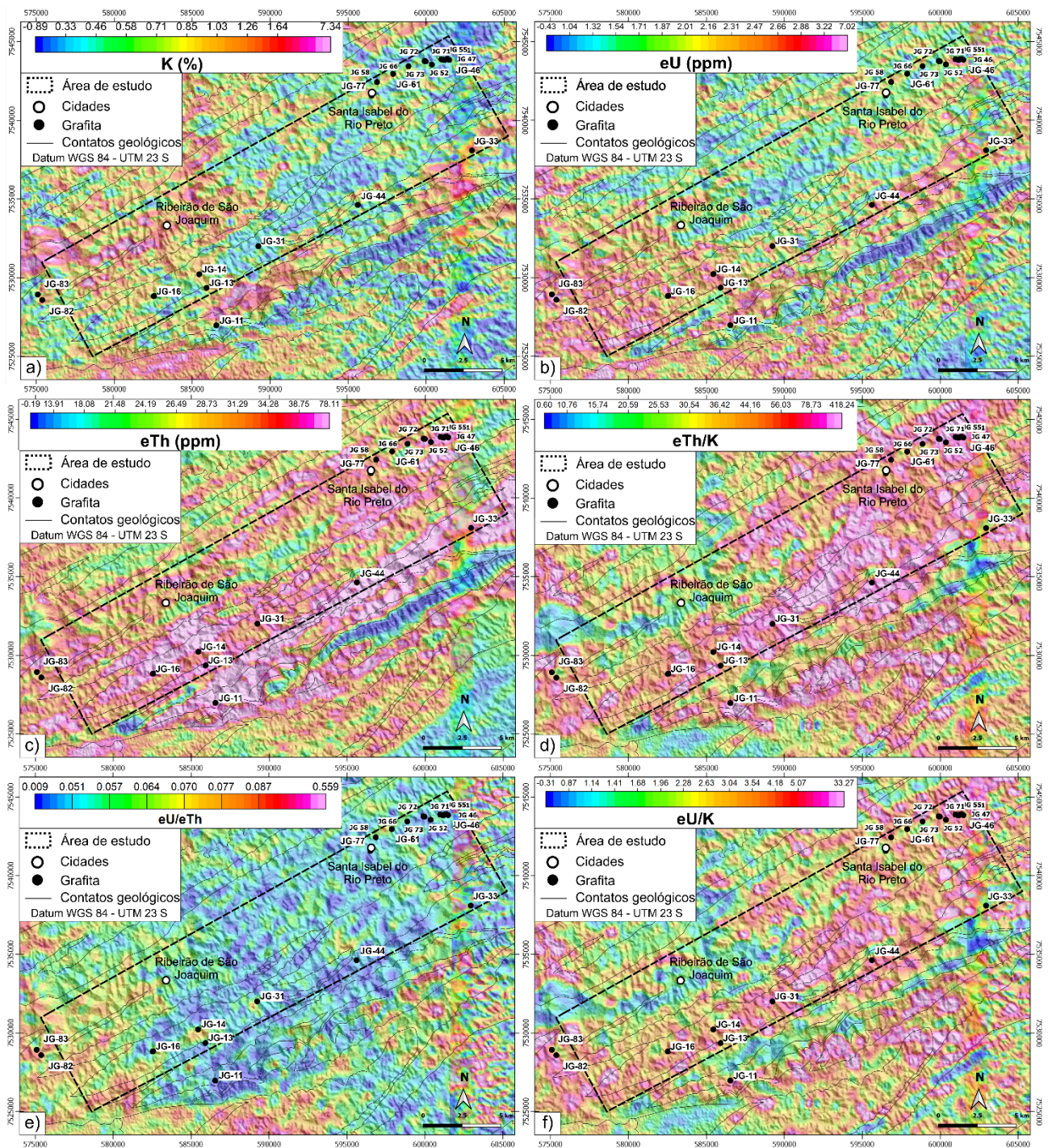


Figura 4 - Mapas radiométricos da área de estudo e arredores. A) Mapa do canal de potássio (%); B) Mapa do canal equivalente em urânio (ppm); C) Mapa do canal equivalente em tório (ppm); D) Mapa da razão eTh/K; E) Mapa da razão eU/eTh; F) Mapa da razão eU/K. Todos os mapas estão sobrepostos por contatos litológicos (contornos em preto) extraídos de Heilbron et al., (2007a) e ao modelo digital de elevação ALOS PALSAR (2020).

O mapa da imagem ternária (Figura 5), foi gerado a partir da combinação dos canais de K, eTh e eU, representados em cores no padrão RGB (*Red, Green, Blue*), onde cada cor representa a máxima contagem do respectivo elemento gamaespectrométrico. A cor vermelha corresponde ao canal de potássio, a cor verde ao canal do tório e a cor azul ao canal do urânio. Neste mapa foi destacado o padrão de cor verde, correspondente aos gnaisses ricos em minerais como monazita e zircão (enriquecidos em tório)

correspondem também às rochas com ocorrências de grafita, e em branco, o padrão que é rico nos três elementos, associados aos corpos graníticos, como o leucogranito tipo-S sintectônico da Suíte Rio Turvo, derivados da fusão dos metassedimentos (Heilbron 1993). Em comparação aos contatos geológicos, não foi possível distinguir os limites entre as unidades biotita gnaiss bandado e sillimanita-granada-biotita gnaiss, pois ambos apresentam assinaturas - em relação ao radioelemento tório.

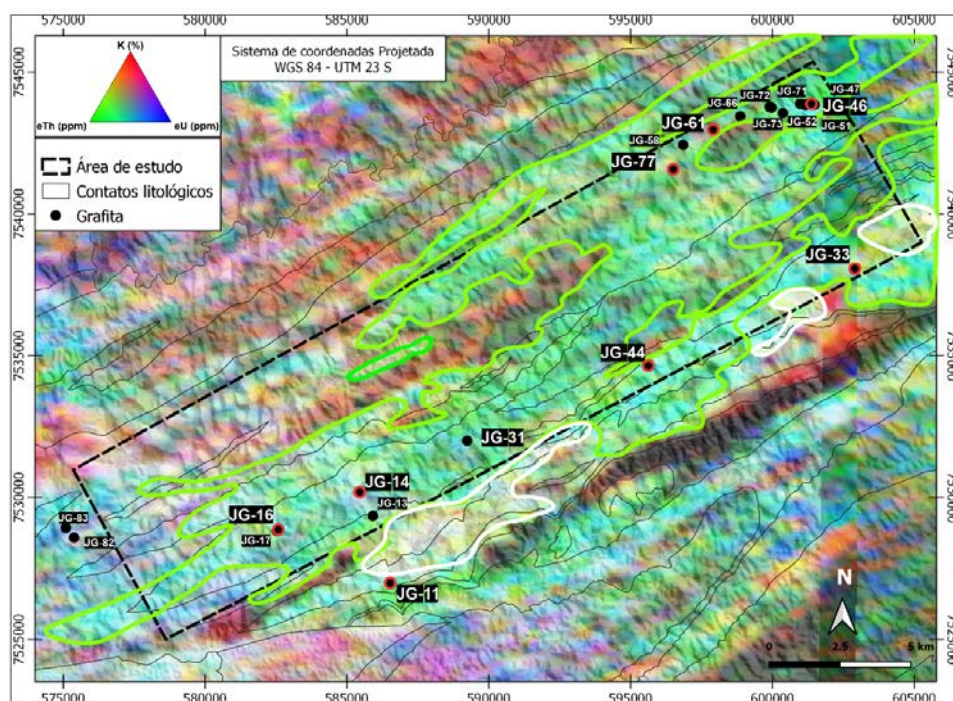


Figura 5 - Mapa da imagem ternária no padrão (RGB). O polígono tracejado delimita a área de estudo. Os contatos litológicos (contornos em preto) foram extraídos de Heilbron et al., (2007a) e os círculos pretos indicam os locais com grafita. Em destaque estão as anomalias de tório (contorno verde) e em branco anomalias ricas nos 3 elementos radiométricos.

Perfis geológico-gamaespectrométricos

A partir da coleta de dados por gamaespectrometria terrestre (GT) foram montados perfis radiométricos (Figuras 6A e 6A), correlacionados aos perfis de gamaespectrometria aérea (GA) (Figuras 6B e 6B). Os perfis exibem faixas verticais contendo as assinaturas 1, 2 e 3, alinhados com os pontos de aquisição de GT, ocorrências de grafita e com a seção geológica esquemática.

A assinatura 1 corresponde ao principal interesse desta investigação, correspondendo a rocha hospedeira de grafita: sillimanita-granada-biotita gnaiss. Seus valores são resumidos na Tabela 1, contendo as contagens dos canais de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm) pelos respectivos métodos (GT e GA). No perfil 1 (GT) (Figura 6A), a assinatura 1 exibe valores com pouca

variação nos três elementos radiométricos. No entanto, o ponto C2, localizado no contato com o biotita gnaiss bandado, apresenta queda dos valores de urânio e potássio. Nos dados aéreos do perfil 1 (Figura 6B), as contagens variam um pouco, porém, próximo ao ponto JG-16 estes valores apresentam razoável aumento. No perfil 2 (Figura 7A), a assinatura 1 dos canais radiométricos (GT) de eU e K (%), também apresentam queda dos valores no contato com o biotita gnaiss bandado (ponto JG-13). Com relação ao perfil 2 (GA) (Figura 7B), os três canais variam ao longo do perfil, no entanto, apresentam aumento dos valores de tório e urânio nas regiões mais rebaixadas do relevo (perfil MDT). É possível exista acúmulo de minerais pesados nas drenagens e adsorção do urânio do solo residual.

Tabela 1 - Valores dos canais radiométricos dos perfis geológico-geofísicos

PERFIL 1 - assinatura 1							
Terrestre	JG-16	C3	C2	Aéreo*	JG-16*	C3*	C2*
eTh (ppm)	37,1	37,2	36,7	> 27 e < 53	37	29	39
eU (ppm)	6,1	6,3	3,6	> 2 e < 3,5	2,5	2,1	2,7
K (%)	3,9	4,2	0,4	> 0,2 e < 1,3	0,7	0,6	0,2
PERFIL 2 - assinatura 1							
Terrestre	JG-14	JG-13	Aéreo*		JG-14*	JG-13*	
eTh (ppm)	36,5	35,6	> 33 e < 65		40	43	
eU (ppm)	6,5	3,4	> 1,8 e < 3,2		2,6	2,5	
K (%)	4,1	0,5	> 0,8 e < 2		1,2	0,7	

*Valores aproximados para os dados aéreos observados nos pontos de gamaespectrometria terrestre

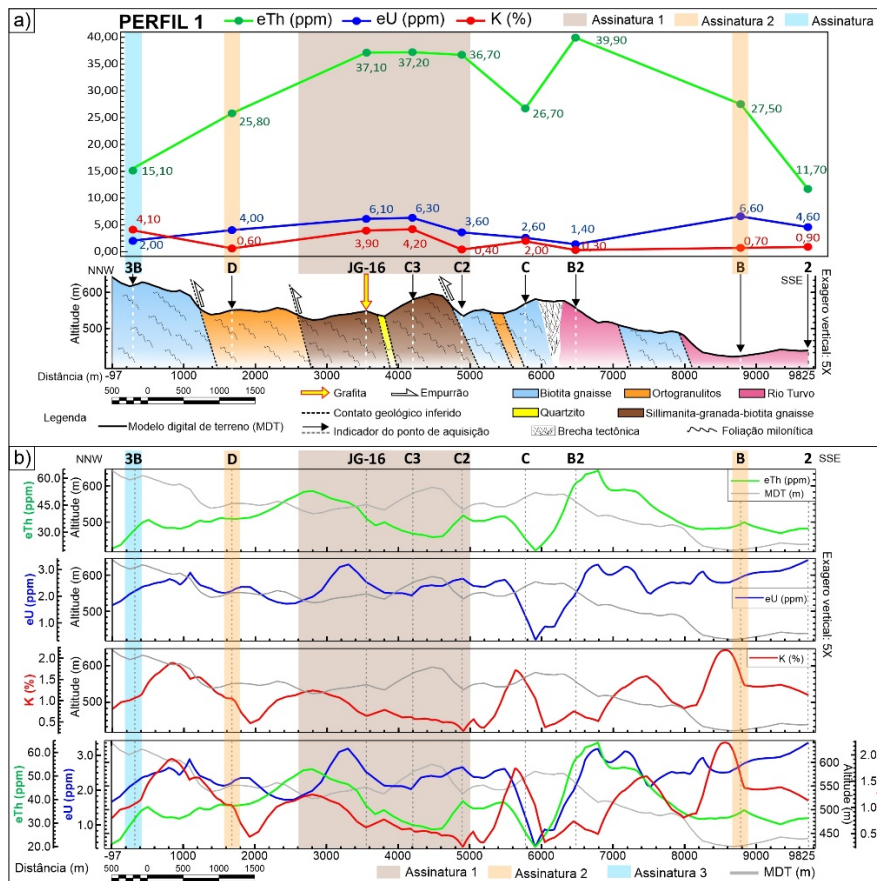


Figura 6 - Seção geológico-geofísica esquemática do Perfil 1. a) Valores obtidos pela gamaespectrometria terrestre; b) Perfis extraídos dos mapas radiométricos (Perfis geológicos extraídos de Heilbron et al., 2007a).

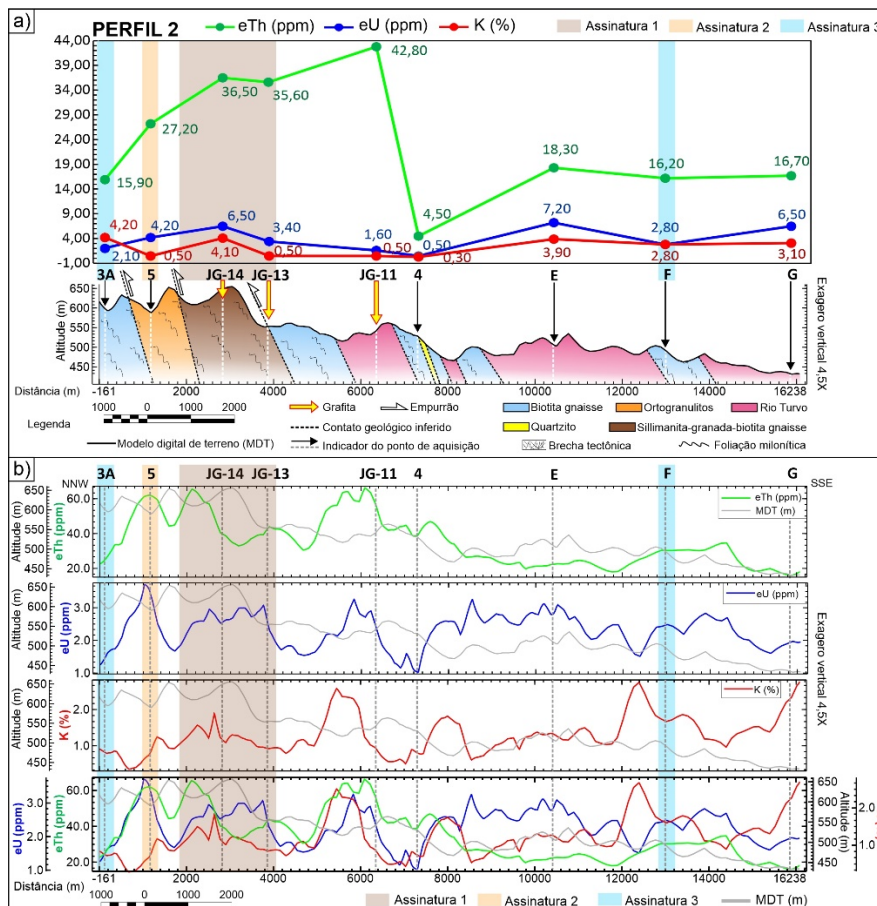


Figura 7 - Seção geológico-geofísica esquemática do Perfil 2. a) Valores obtidos pela gamaespectrometria terrestre; b) Perfis extraídos dos mapas radiométricos (Perfis geológicos extraídos de Heilbron et al., 2007a).

A assinatura 3 no perfil GT foi correlacionada ao biotita gnaiss bandado (Figura 6A e 7A), apresentando pouca variação de tório e urânio e moderada para o potássio. Esta assinatura não apresentou uma correlação clara com os dados aéreos (GA) (Figuras 6B e 7B). A assinatura 2 exibe correlação com as rochas embasamento somente nos pontos 5 e D do GT (Figuras 6A e 7A), apresentando valores semelhantes nos dois perfis realizados.

No geral, comparando os dados terrestres e aéreos, a assinatura 1 (Tabela 1), apresentou correlação em ambos os perfis geológico-geofísicos (Figuras 6 e 7), contendo pouca variação das concentrações dos radioelementos. Porém, os dados terrestres desta assinatura,

apresentaram valores mais elevados de eU (ppm) e K (%) em comparação com as contagens dos perfis aéreos. Considerando que nas medições terrestres, o contato com a rocha é direto, além do tempo de exposição para contagem ser maior que por via aérea, as concentrações podem apresentar-se mais refinadas e definidas.

Sillimanita-granada-biotita gnaiss com grafita e texturas dos *flakes*

Esta unidade, ocorre em afloramentos expostos em cortes de estradas/rodovias com avançado grau de alteração, formando solo residual, regolitos e saprólitos. Apresenta bandamento composicional bem marcado (Figura 8A) e frequente percolação de óxido de manganês secundário, entre a foliação e nas fraturas.

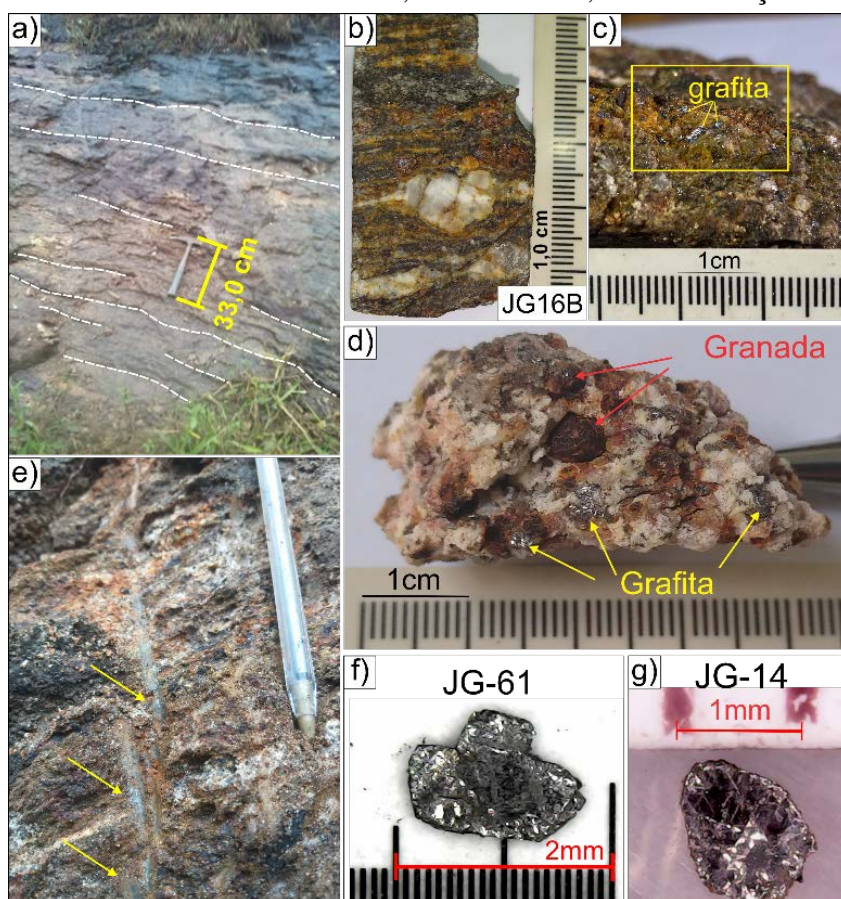


Figura 8 - Aspectos da rocha hospedeira da grafita (sillimanita-granada-biotita gnaiss com grafita). A) e E) Afloramentos dos pontos JG-16 e JG-14, respectivamente; B) Amostra de rocha contendo bandas composicionais; C) Amostra de rocha alterada com grafita em detalhe (caixa amarela); D) Amostra de rocha (leucossoma) contendo grafita, quartzo, feldspato e porfiroblastos de granada; E) e F) Monocristais de grafita.

As rochas apresentam alto grau de deformação, sendo caracterizadas pela formação de bandamentos composicionais milonitizados, que ocorrem em escala métrica (afloramento) a milimétrica (Figura 8B). Esta rocha exibe textura granoporfioblástica, de granulação fina a grossa, com feições migmatíticas. As bandas félsicas são compostas por leucossoma granítico contendo quartzo, feldspato e cristais de grafita disseminadas paralela

à foliação (Figura 8C) e na borda dos porfiroblastos de granada e K-feldspato (Figura 8D). Os bandamentos metapelíticos (melanossomas), apresentam cor cinza escuro ou avermelhada, são ricos em biotita, apresentam granada, sillimanita, quartzo, feldspato e palhetas de grafita disseminadas na foliação. Os cristais de grafita apresentam-se como *flakes* milimétricos (Figuras 8F e 8G), ocorrendo disseminados por toda a rocha

(Figuras 8C e E). Compõem cerca de 2% da rocha, são bem formados (idioblásticos), formando palhetas muito finas, com granulometria menor que 2 mm, ora deformados, ocorrendo geralmente em contato com a biotita, na mesma direção da foliação (Figura 9C) e com sillimanita (Figura 9D) e ao redor de porfiroclastos de feldspato (Figuras 9A e 9B). A biotita (25%) marca a foliação milonítica da rocha, intercalada entre veios de quartzo milimétricos. Inclusões de monazita e zircão são frequentes na biotita, notadas também por halos de alteração gerados pela radioatividade destes minerais (Figuras 9C e 9E). Os porfiroblastos de granada (10%) são idioblásticos (Figura 9F), contém inclusões de biotita, quartzo e opacos, incluindo sulfetos (1,5%). Os porfiroclastos de feldspato (plagioclásio 15%) e porfiroblastos de k-feldspato (10%), contém inclusões de biotita e monazita, são rodeados por veios de quartzo recristalizado (Figura 9A), apresentam texturas de desequilíbrio com intercrescimento de quartzo e

k-feldspato. São deformados pela foliação milonítica, assim como os cristais de granada (Figura 9F). Os porfiroblastos de sillimanita (1,5%) são idioblásticos, apresentam seção basal e clivagem bem marcada (Figuras 9B e D), ocorrendo no contato com a biotita e grafita. O quartzo (35%) ocorre em veios recristalizados e como fitas levemente dobradas ao longo da foliação milonítica. Os minerais opacos incluem a grafita e sulfetos, que são visíveis em luz refletida, podendo ser diferenciados da grafita geralmente pela cor dourada, sem pleocroísmo.

Os sillimanita-granada-biotita gnaisses (Figura 9), pertence ao conjunto das rochas da Megassequência Andrelândia ou Grupo Raposos (Heilbron et al., 2016). São ricas em minerais aluminosos, de natureza pelítica, com deposição dos sedimentos intercalados com material orgânico, que são interpretadas como rochas de margem passiva distal, de fundo marinho (Heilbron et al., 2007b; 2016).

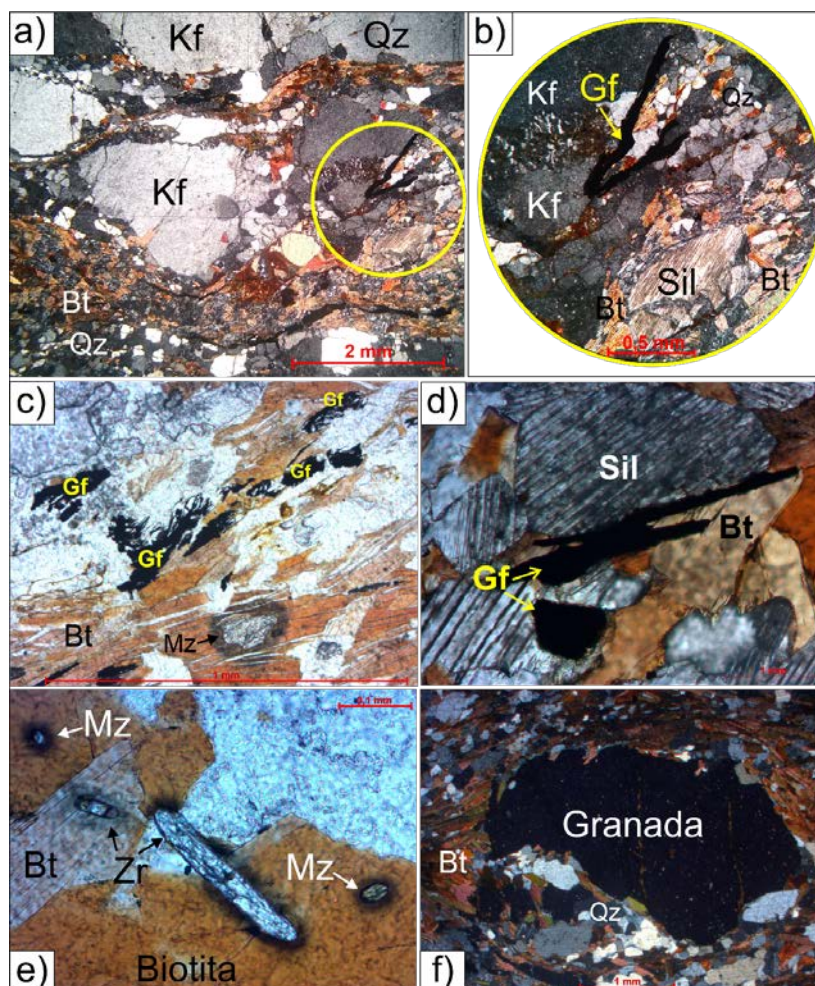


Figura 9 - Aspectos gerais em lâmina petrográfica da rocha portadora de grafita. A) Porfiroclastos de feldspato deformados pela foliação milonítica exibindo intercalação de bandamentos composicionais milimétricos; B) Detalhe da microfotografia anterior exibindo cristal de grafita, sillimanita (seção basal) e textura mimerquítica; C) Cristais de grafita disseminados na foliação em contato com a biotita; D) Cristal de sillimanita prismático; E) Cristais de monazita e zircão inclusos na biotita; F) Porfiroblasto de granada deformado. Abreviações: Bt (biotita), Gf (grafita), Kf (K-feldspato), Qz (quartzo), Sil (sillimanita), Mz (monazita), Zr (zircão).

Os cristais de grafita formam palhetas bem cristalizadas com variações morfológicas, e neste trabalho foram agrupadas em três tipos (Figura 10), sendo definidas de acordo com a classificação proposta por Belém (2006). As palhetas do tipo tabular (Figuras 10A e 10B) podem ocorrer intercaladas entre a biotita, quartzo, feldspato e até em equilíbrio com a sillimanita. Porém não são frequentes minerais interlamelares (clivagens) e apresentam pontas mais verticilizadas. É o tipo de hábito de grafita com menos impurezas.

Este mesmo tipo de cristal tabular, mas quando apresentam pontas com terminações soltas e esfarrapadas, são denominados por palhetas com pontas esfarrapadas (Figura 10C). Assim, quando o mineral apresenta pontas totalmente soltas e lamelas internamente desprendidas, preenchidas com quartzo, biotita e argilominerais, são classificadas como do tipo farrapo (Figura 10D). Este tipo de hábito inclui muitas impurezas (ganga)

em um único cristal de grafita, porém, que podem facilitar o desprendimento de diversas palhetas em um único cristal.

O hábito menos observado é a grafita do tipo hexagonal ou seção basal (Figuras 10E e 10F), que pode ser facilmente confundida com outros opacos, como sulfetos, que ocorrem frequentemente próximos à grafita. A grafita pode ser diferenciada entre os demais opacos (como sulfetos) por exibir forte pleocroísmo diagnóstico de cor marrom (Figura 10B). Com relação aos sulfetos que ocorrem na presença de grafita (Ramos, 2011) e Pereira et al. (2016) descrevem mineralizações de ouro relacionado a gnaisses sulfetados contendo grafita associada. No exemplo citado as rochas estão associadas à Faixa Khondalítica Palma-Guaçu (Pereira et al., 2016) e a grafita poderia representar um indicador para hospedar mineralizações auríferas em gnaisses desta natureza (Pereira et al., 2016).

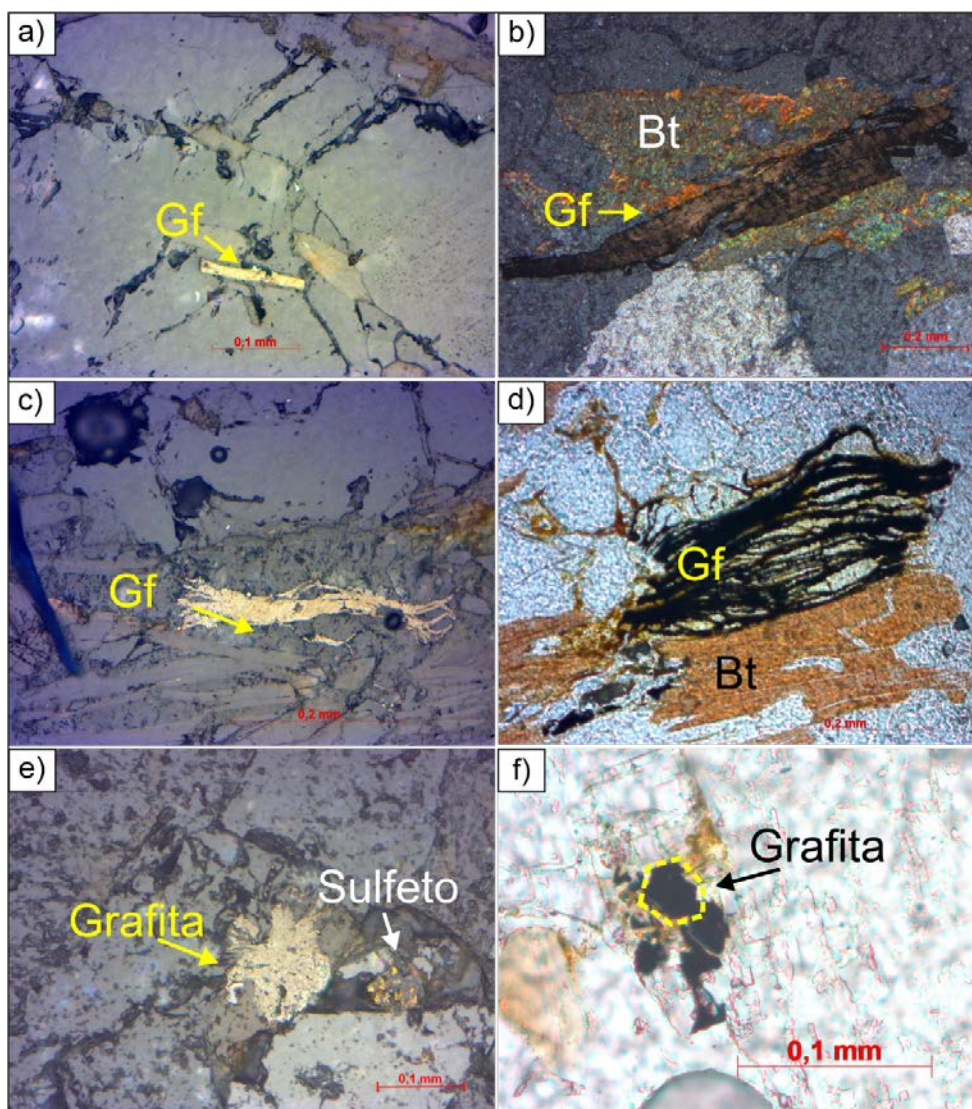


Figura 10 - Tipos de hábitos de grafita *flake*. A) e B) Palheta de hábito tabular; C) Palheta tabular com pontas esfarrapadas; D) Palheta tipo farrapo no contato com biotita (Bt); E) Aglomerado de palhetas de grafita (Gf) tabulares ao lado de sulfeto (calcopirita?); F) Hábito hexagonal.

Caracterização granulométrica

A amostra JG-16-B foi selecionada para a realização da contagem e medição do tamanho dos cristais de grafita, de acordo com o hábito dos grãos (Figura 10), caracterizados na seção anterior. As palhetas foram classificadas e quantificadas (Figura 11A) em palhetas de hábito tabular, farrapo, pontas esfarrapadas e hexagonal (seção basal). Também foram realizadas as medidas dos eixos maiores (comprimento) e menores (largura) dos cristais de grafita, conforme demonstrado por Sousa & Matos (2020). Esta caracterização granulométrica visa avaliar quantitativamente os tamanhos dos cristais, a fim de obter uma classificação para os tipos de grafita *flake* que ocorrem na amostra JG-16A, representando a região investigada. A partir

destes valores, foi possível classificar qual o tipo de grafita *flake* estavam presentes nas amostras, de acordo com as faixas granulométricas (Tabela 2), cujos parâmetros para esta classificação foram extraídos de Sousa & Matos (2020).

Tabela 2 - Faixas Granulométricas para a grafita *flake*

Classificação	(mm)
<i>Fine Graphite</i> / Amorfa / Pó	< 0,075
<i>Medium Flake</i> - Flake médio	0,150 a 0,180
<i>Large Flake</i> – Flake médio	0,180 a 0,30
<i>Extra Large</i> ou <i>Jumbo Flake</i>	> 0,30

A partir da análise de 240 cristais de grafita, observou-se que a grafita tabular resultou em maior frequência (Figuras 11A e 11B), correspondendo em 45% do total amostrado (Figura 11B).

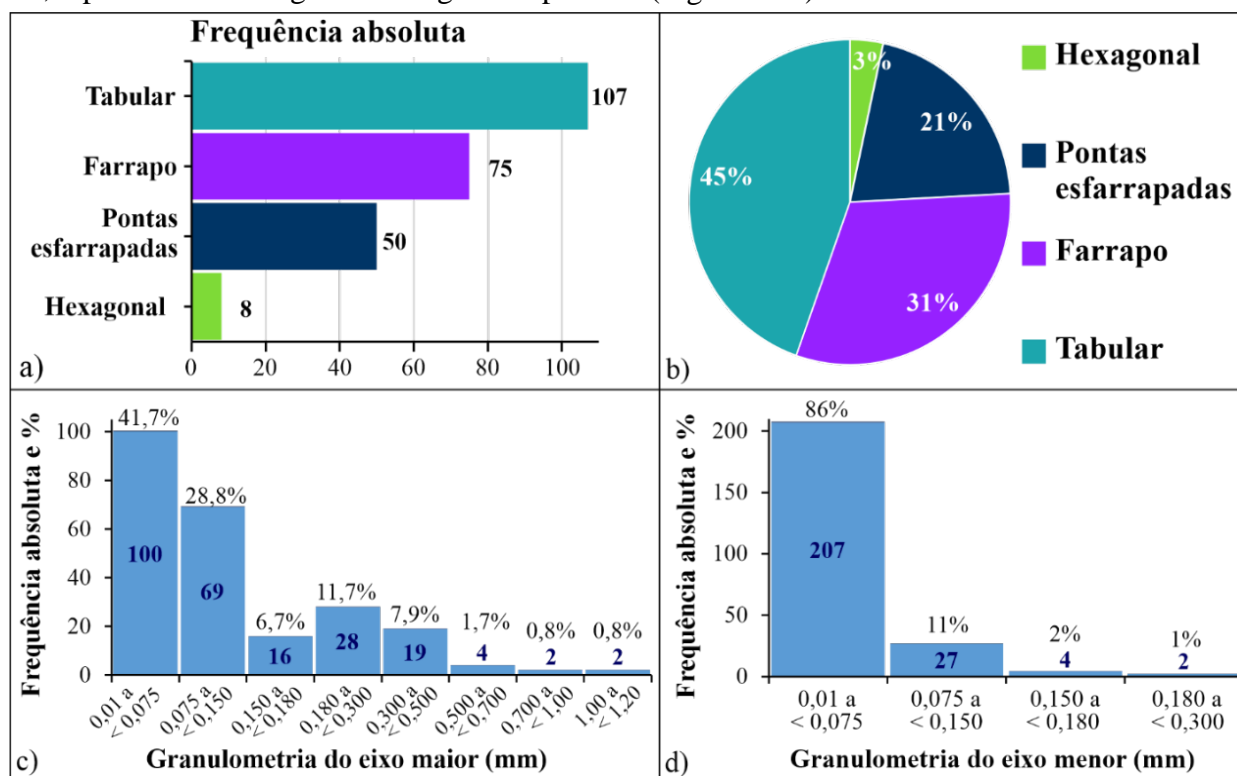


Figura 11 - Valores e distribuição granulométrica da grafita. A) Contagem de cristais de grafita por hábito. B) Porcentagem referente às frequências absolutas da contagem dos cristais e seus respectivos hábitos.

Este hábito reflete grafitas mais puras, em comparação com as do tipo farrapo (31%) e pontas esfarrapadas (21%). No entanto, os cristais com pontas esfarrapadas e farrapos somam 52% do total analisado, indicando que mais da metade da população dos grãos contém impurezas entre as palhetas de grafita. A seção basal da grafita menos frequente, é a do tipo hexagonal que corresponde a 3% da amostra. Com relação ao comprimento dos cristais de grafita (eixo maior), estes variam entre 0,01 a 1,11 mm (Tabela 3), com média de 0,141 mm. Os cristais entre 0,01 e 0,075 mm e que correspondem a 41,7% da

amostra (Figura 11C), são classificados como *Fine Graphite*; as palhetas entre 0,150 e 0,180 mm correspondem ao tipo *Flake* médio (6,7%); entre 0,180 a 0,30 mm são do tipo *Flake* largo (11,7%); e *Extra Large* para os cristais maiores que 0,30 mm (11,2%). Há também 28,8% de cristais intermediários entre *Flake* finos e médios (Figura 11C). Com relação à largura dos cristais (eixo menor), estes variam entre 0,01 a 0,18 mm, apresentando 0,040 mm de média (Tabela 3). Neste eixo (Figura 11D), os cristais são classificados predominantemente como *Flake* fino (86%) e *Flake* médio (11%).

Tabela 3 - Valores obtidos a partir das medidas dos cristais de grafita da amostra JG-16B

N=40	Eixo maior (mm)	Eixo menor (mm)
Máximo	1,11	0,18
Mínimo	0,01	0,01
Média	0,141	0,040

Com isso, pode-se notar que a amostra apresenta diversas faixas granulométricas para *flakes* de maior pureza (tabulares 45%) e uma considerável porção de grafita com cristais esfarrapados (52%), concentrando impurezas,

mas também que poderiam facilitar a exfoliação ou desagregação em palhetas mais finas.

Estes tipos de *flakes* tem potencial e são compatíveis para aplicação industrial em diversas finalidades.

CONCLUSÕES

Os dados de magnetometria indicam que os gnaisses metapelíticos apresentam baixas susceptibilidades magnéticas e os lineamentos magnéticos regionais (NE-SW), marcam as zonas de cisalhamento e descontinuidades no embasamento. As concentrações nos mapas de eTh (ppm), eU (ppm), eT/K e eU/K, apresentam correlação com as rochas portadoras de grafita, sendo o elemento tório mais expressivo nestas rochas e seguido depois pelo eU, em menor expressão.

Os perfis geológico-geofísicos, também indicaram boa correlação com os dados de eTh e eU na rocha hospedeira de grafita, indicados pela assinatura 1. As demais assinaturas 2 e 3 não exibiram boa correlação com os dados aéreos, assim como os limites entre os gnaisses locais, não apresentaram uma boa definição. Assim, mesmo com baixa resolução espacial para uma campanha prospectiva de detalhe, os dados aerogeofísicos e os perfis geológico-geofísicos,

forneceram contrastes regionais e podem auxiliar em pesquisas futuras na região. A grafita está associada à uma rocha metapelítica de alto grau metamórfico, evidenciado pelos porfiroblastos de alta temperatura, contendo diversas inclusões de minerais radioativos como monazita e zircão e exibe texturas de deformação por toda a rocha. Apesar da concentração total de grafita não ser muito expressiva, podendo atingir até 2% em alguns locais restritos, a grafita contém uma variedade de hábitos de *flakes* de alta qualidade, bem definidos e cristalizados, contendo granulometrias diversas que podem ser utilizadas em diferentes produtos industriais. As intrusões graníticas muito próximas da região, em decorrência de processos de fusões parciais dos metassedimentos, podem ter colaborado com aumento da temperatura nas rochas ricas em carbono, durante o metamorfismo regional, favorecendo a formação de grafita singenética do tipo *flake* na área investigada.

AGRADECIMENTOS

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida para a mestrandia Jailane de Sousa Gomes. Ao Laboratório de Exploração Mineral – LEXMIN/UERJ suporte técnico e equipamentos, aos técnicos do Laboratório Geológico de Processamento de amostras LGPA/UERJ pela preparação das amostras.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, Campina Grande. *Anais...*Campina Grande: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977, p. 363-391.
- ALOS PALSAR. ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR **Radiometric Terrain Corrected Hi res**; Includes Material © JAXA/METI 2007. Ac. por ASF DAAC em 25 junho de 2020.
- BELEM, J. **Caracterização Mineralógica, Física e Termobarométrica de Minérios de Grafita da Província Gráfica Bahia-Minas**. Belo Horizonte, 2006. 180 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília: MME, 2010.
- BUSECK, P. & BEYSSAC, O. From Organic Matter to Graphite: Graphitization. *Elements*, v. 10, n. 6, p. 421-426, 2014.
- CPRM - **Projeto Aerogeofísico Rio de Janeiro**. Relatório Final do Levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Prospector Aerolevantamentos e Sistemas Ltda. Volume I. CPRM. Programa Geologia do Brasil PGB. 2012.
- CPRM - **Projeto Aerogeofísico São José Dos Campos – Resende**. Relatório Final do Levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Microsurvey Aerogeofísica e Consultoria Científica Ltda. Volume I. CPRM. Programa Geologia do Brasil PGB. 2013.

- DICKSON, B.L. & SCOTT, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, v. 17, p. 187-200, 1997.
- FRAGOMENI, P.R.P. & PEREIRA, R.M. The grafite mineralization in the Aracoiába-Baturité District (CE): geotectonic and metallogenetic implications. *Brazilian Journal Geology*. v. 43, n. 2, p. 223-234, 2013.
- GEOSGB. **Dados, Informações e Produtos do Serviço Geológico do Brasil**. Disp. em <http://geosgb.cprm.gov.br>. Acesso em: agosto/2019.
- HEIDER, M. Sumário Brasileiro Mineral 2018 – **Grafita Natural**. ANM – Agência Nacional de Mineração, Sede: Brasília, 2018.
- HEILBRON, M. **Evolução tectonometamórfica da seção Bom Jardim de Minas (MG) - Barra do Pirai (RJ). Setor central da Faixa Ribeira**. São Paulo. 1993. 268 p Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- HEILBRON, M.; CORDANI, U.; ALKMIN, F.F. São Francisco Craton, Eastern Brazil: tectonic genealogy of a miniaure continent. *Regional Geology Reviews*, 331pp. 2017.
- HEILBRON, M.; EIRADO, L.G.; ALMEIDA, J. Orgs. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio De Janeiro: Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais**. Belo Horizonte, CPRM – Programa Geologia do Brasil, 182 p. 2016.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. From collision to extension: the roots of the South-eastern continental margin of Brazil. In: Talwani, Mohriak (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margin*. **AGU Geophysical Monograph Series**, v. 115, 354 p., 2000.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS-NETO, M.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.; JANASI, V. A província Mantiqueira. In: V. Mantesso, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Ed. Beca, São Paulo, p. 203-235, 2004.
- HEILBRON, M.; SILVA, L.G.D.E; ALMEIDA, J.C.H.D; TUPINAMBÁ, M.; PEIXOTO, C.; VALERIANO, C.D.M; GIRÃO, R. Proterozoic to Ordovician geology and tectonic evolution of Rio de Janeiro State, SE-Brazil: insights on the central Ribeira Orogen from the new 1:400,000 scale geologic map. *Brazilian Journal of Geology*, v. 50, n. 2, 2020.
- HEILBRON, M.; TUPINAMBÁ, M.; EIRADO, L.G.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; TROUW, R.A.J.; VALERIANO, C.M.; JUNHO, M.C.B.; ROIG, H.L.; NOGUEIRA, J.R.; MEDEIROS, R.M.; ROCHA, A.D.; POLONIA, J.; SILVA, R.R.; TOLEDO, C. **Geologia das folhas Santa Rita do Jacutinga e Rio Preto**. Cap. 10. COMIG-UFMG-UFRJ-UERJ, 2007b.
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M.; NOGUEIRA, J. R.; JUNHO, M.C.; ROIG, H.; MEDEIROS, R.; EIRADO, L. G.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.; TROUW, R.; SILVA, R.R.; RAMOS, R.; GUEDES, E.; VALENÇA, J.; TOLETO, C.; COSTA, I.; OLIVEIRA, I. **Mapa Geológico, Folha Santa Rita do Jacutinga: SF-23-Z-A-II, escala 1:100.000**, Rio de Janeiro: UERJ, CPRM, 2007a.
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; TASSINARI, C.C.G.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; SIGA JR., O.; TROUW, R.A.J. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst R.J., Throw R.A.J., Brito-Neves B.B., De Wit M.J. (eds.). *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*. London, **Geological Society, Special Publication**, v. 294, p. 211-232. 2008.
- IAEA. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. **International Atomic Energy Agency**. TECDOC-1363. Vienna, Austria. 173 p., 2003.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração**. Tradução: Coelho, M.C.M, Oficina de Textos, São Paulo, 429 p. 2009.
- MACHADO, N.; VALLADARES, C.; HEILBRON, M. & VALERIANO, C. U-Pb geochronology of the central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. **Precambrian Research**, v. 79, p. 347-361, 1996.
- MILLER, H. G. & SINGH, V.J. Potential Field Tilt - A new concept for location of potential field sources. **Applied Geophysics**, v. 32, p. 213-217, 1994.
- MINTY, B.R.S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, v. 17, p. 39-50, 1997.
- MIRANDA, D.; CHAVES, A.O.; CAMPELLO, M.S.; RAMOS, S.L.L.M. Origin and thermometry from Itapeccerica supracrustal succession of the São Francisco Craton by C isotopes, X-Ray drffraction and Raman spectroscopy. *International Geology Review*, DOI: 10.1080/00206814.2018.1564073. 2019.
- MIRANDA, D.; CHAVES, A.O.; DUSSIN, I.A.; PORCHER, C.C. Paleoproterozoic khondalites in Brazil: a case study of metamorphism and anatexis in khondalites from Itapeccerica supracrustal succession of the southern São Francisco Craton. **International Geology Review**, v. 63, n. 4, p. 397-421, 2020.
- PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, ANDRÉ; TROUW, RUDOLPH A.J. **Geologia da Folha Andrelândia 1: 100.000**. In: Pedrosa Soares, A. C.; Noce, C.M.; Trouw, R.A.J.; Heilbron, M. (Org.) *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro, Projeto Sul de Minas- Etapa I (COMIG, UFMG, UFRJ, UERJ)*, Relatório Final. 1 ed. Belo Horizonte, 2003, v. 1, p. 84-119, 2003.
- PACIULLO, F.V.P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R.R.; TROUW, R.A.J. The Andrelândia Basin, a Neoproterozoic intra-plate continental margin, southern Brasília belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 200-202, 2000.
- PEREIRA, R.M. & GUIMARÃES, P. A Faixa Khondalítica Marangatu e a Descoberta de Novas Mineralizações de Grafita no N-NW do Estado Do Rio De Janeiro São Paulo, UNESP. **Geociências**, v. 31, n. 2, p. 197-205, 2012.
- PEREIRA, R.M.; NEUMANN, R.; SALOMÃO, M.; GUIMARÃES, P.V.; RAMOS, G.V.; DUTRA, A.C.; PEDROSO, E. Terrenos Khondalíticos: Principais Domínios para Manganês, Grafita, Ouro e Zinco no Estado do Rio De Janeiro e regiões limítrofes. **GEONOMOS**, v. 24, n. 1, p. 41-51, 2016.
- PEREIRA, R.M.; RAMOS, G.V.; NEUMANN, R. Mineralização aurífera estratiforme-stratabound em terreno de alto grau metamórfico: as ocorrências de Palma-MG e Laje do Muriaé - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EXPLORAÇÃO MINERAL, VI, 2014. Ouro Preto, **Anais....** Ouro Preto: 2014, p. 49
- RAMOS, G.V. **Metalogenia em Terrenos de Alto Grau Metamórfico. Estudo de caso: distribuição e controle das ocorrências auríferas na região compreendida entre Palma - MG e Laje do Muriaé – RJ**. Rio de Janeiro, 2011. 120 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- REEVES, C. **Aeromagnetic Surveys. Principles, Practice & Interpretation**. Eartworks-Global thinking in exploration geoscience. The Netherlands, Published by Geosoft. 2005.
- ROBINSON Jr., G.R.; HAMMARSTROM, J.M.; DONALD, W.O. Graphite. In: SCHULZ, K.J.; DEYOUNG JR., J.H.; SEAL, R. R., II; BRADLEY, D. C. (ed). *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply*. Virginia: U.S. **Geological Survey Professional Paper** 1802. p. J1-J24. 2017.
- SANTOS, T.J.S.S.; NETO, J.A.N.; HACKSPACHER, P.C. Petrografia e litogeoquímica das rochas do embasamento cristalino da região de Granja – CE. **Revista de Geologia**, v. 14, p. 33-48, 2001.

- SIMANDL, G.J., PARADIS, S., AND AKAM, C. Graphite deposit types, their origin, and economic significance. In: Simandl, G.J. and Neetz, M., (Eds.), Symposium on Strategic and Critical Materials Proceedings, November 13-14, 2015, Victoria, British Columbia, British Columbia Ministry of Energy and Mines, **British Columbia Geological Survey Paper** 2015-3, p. 163-171, 2015.
- SOUSA, M.J. & MATOS, D.R. Projeto Avaliação do Potencial de Grafita no Brasil: Fase 1. **Informe de Recursos Minerais. Série Minerais Estratégicos, n. 5.** Marcelo Januário de Sousa, Débora Rabelo Matos (Org.) – São Paulo: CPRM, 136 p., 2020.
- SPENCER, C.J.; HAWKESWORTH, C.; CAWOOD, P.A.; DHUIME, B. Not all supercontinents are created equal: Gondwana-Rodinia case study. **Geology**, v.41, n.7, p. 795–798, 2013.
- VASCONCELLOS, R.M.; METELO, M.J.; MOTTA, A.C.; GOMES, R.D. **Geofísica em Levantamentos Geológicos no Brasil.** Rio de Janeiro. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 164p, 1994.
- WILDE, S.A.; DORSETT-BAIN, H.L.; LENNON, R.G. Geological setting and controls on the development of graphite, sillimanite and phosphate mineralization within the Jiamusi Massif: Na exotic fragment of Gondwanaland located in north-eastern China? *Gondwana Research*, v. 2, n. 1, p. 21-46, 1999.
- ZHANG, J.; ZHANG, Z.; XU, Z.; YANG, J.; CUI, J. Discovery of khondalite series from the western segment of Altyn Tagh and their petrological and geochronological studies. **Science in China (Series D)**, v. 43, n. 3, p. 308-316, 2000.

Submetido em 16 de setembro de 2021

Aceito para publicação em 20 de janeiro de 2022