

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

**CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA, QUÍMICA E  
GEOQUÍMICA DOS GRAFITA FILITOS DA SEQUÊNCIA METAVULCANO-  
SEDIMENTAR DA REGIÃO DE JUSCELÂNDIA/CAFELÂNDIA – GO**

Vinícius Berti Girotto

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujani Sígolo (Departamento de geologia sedimentar e  
ambiental, IGC-USP)

Co-orientador: Carlos Eduardo Arthur (Coordenador do projeto Zinco Centro-Oeste  
da Votorantim Metais)

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2017/49)

São Paulo

2017

Encaminha-se em \_\_/\_\_/2017 o presente projeto de trabalho de formatura (IGc-USP)

---

Assinatura do Aluno

---

Assinatura do Orientador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me capacitado e me dado a oportunidade para concluir mais essa etapa em minha vida. ELE que é alpha e omega, princípio, meio e fim.

Agradeço a Mãe Rainha Três Vezes Admirável de Schoenstatt (MTA), que intercedeu por mim junto a Deus Pai, me concedendo todo o espírito serviçal necessário para cumprir os meus objetivos. Também deposito no capital de graças todo o esforço despendido nesses sete anos de universidade.

Agradeço a minha família, papai Sigmar, mamãe Glaucia e irmãzinha Nicole, por estarem comigo me dando forças todo esse tempo. Nos períodos mais nebulosos, de maior dúvida, vocês foram meu combustível, meus pilares, meu alicerce e devido a isso, consegui atingir feitos que jamais pensaria ser possível.

Também devo toda essa conquista aos demais formadores dessa família, como meus avós Maria Inês, Nelci, Horácio e Luiz, meus tios e tias, Zeca, Nice, Daniela e Ocimar. Meus primos, Beatriz, Marquinhos e Poliana, minha irmã Kamila e meu cunhado Marco. Todos vocês são absolutamente incríveis e fazem parte de tudo isso. Agradeço a todos os meus parentes e antepassados que derramaram seu sangue e lutaram com seu suor para que hoje eu pudesse estar aqui.

Agradeço a minha namorada Maísa pela compreensão nesse conturbado final de curso. Você me deu luz em um momento de escuridão, me auxiliou inúmeras vezes em meus problemas sentimentais e profissionais. Foi minha companheira e disso eu jamais esquecerei. Como poderia não lembrar do Luis Carlos, Cida e Thais, vocês me deram força e alegria. Serei eternamente grato.

Agradeço a todos os docentes e funcionários dos colégios Anjo da Guarda e Pequeno Príncipe de Taquaritinga. Ao Mila meu professor de violão, a Milena professora de inglês, ao JUMAS, ao Padre Alexandre e a todos os professores, instrutores e mestres do Instituto de Kung Fu Shaolin em São Paulo. Todos vocês foram grandes guias para formação da minha personalidade. Graças a vocês, eu fui capaz de fazer escolhas pautadas no equilíbrio.

Agradeço a todos os docentes e funcionários da Universidade de São Paulo, em especial do Instituto de Geociências que contribuíram significativamente para meu aprendizado. Um agradecimento especial para os professores Ricardo Hirata, Fred e meu orientador Joel Barbujani Sígolo. Agradeço aos geólogos e funcionários da Votorantim Metais e WCA, Lúcio, Bernardo, Carlos, Aline, Baia, Lucas, Amanda, Warley cowboy, Gera tay, Ceará, Júnior, Marquinho, Saulo, Rafael e Adenir.

Agradeço a todos os meus amigos de infância, desde o colégio, em especial Enrico, Stefano, Gio, Mateus, Neto, Kayque, Lucas, Felipe, Ale, Danilo, Natália, Carol, Tauana, Clícia, Samara, Letícia, Pauletta, Dib e Jorge. Agradeço aos meus amigos de curso, bambi,

pika, bandida, mãe-loka, alex, mary, wonka, lanny, pingola, Tchitchion miguelão, saulo e em especial ao Hash (Mario Rubens), Bagossauro (Lucas Tonon), Vale (Fábio Pontuschka) e também ao José Vitor Rodrigues (Zé). Vocês foram indispensáveis em todo esse período da minha vida e estão em meu coração para sempre.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
3.1 Localização da área, temperatura e precipitação .....	13
3.2 Evolução geológica .....	16
3.3 Contexto geológico local .....	18
3.4 Black shales e seu conteúdo metalífero .....	21
3.5 Possível modelo prospectivo .....	22
<b>4. MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
4.1 Niton .....	24
4.2 Microscópio petrográfico .....	24
4.3 Geoquímica de solos .....	24
4.4 Litogeoquímica.....	25
4.5 Programas utilizados.....	26
4.6 Tratamento das amostras .....	26
<b>5. RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>6. VIABILIDADE DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>7. ATIVIDADES REALIZADAS .....</b>	<b>28</b>
7.1 Estágio (09/01/17 - 09/02/17) .....	29
7.2 Estágio (05/07/17 - 05/08/17) .....	29
7.3 Descrições geológicas.....	29
7.3.1 <i>Descrições macroscópicas</i> .....	30
7.3.1.1 Aforamentos .....	30
7.3.1.2 Testemunhos de sondagem .....	37
7.3.2 <i>Descrições microscópicas</i> .....	41
7.3.2.1 Afloramentos .....	41
7.3.2.2 Testemunhos de sondagem .....	44
7.4 Geoquímica .....	48
7.4.1 <i>Geoquímica de solos</i> .....	48

7.4.1.1	Elementos formadores da função farejadora para os grafita filitos.....	48
	filitos.....	48
7.4.1.2	Conteúdo metalífero.....	51
7.4.2	<i>Geoquímica de rochas</i> .....	53
7.4.2.1	Grafita filito.....	54
7.4.2.2	Conteúdo metalífero.....	58
7.4.2.3	Possível modelo de formação do protolito dos grafita filitos.....	61
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>9.</b>	<b>DIFICULDADES ENCONTRADAS .....</b>	<b>64</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>11.</b>	<b>CRONOGRAMA.....</b>	<b>65</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização do Cinturão metavulcano sedimentar (SJ, SI e SP) e complexos metamáficos-ultramáficos (CBA, CN, CCB) (Moraes <i>et al.</i> , 2006).....	13
<b>Figura 2</b> - Localização regional e em detalhe mapa geológico da área de estudos. Destaque para os locais onde foram encontrados os grafita filitos e vênulas de grafita; 1: Grafita filito na porção superior .....	14
<b>Figura 3</b> - Gráfico comparativo de temperatura média entre as normais climatológicas de 1931 à 1960 e 1961 à 1990 para a estação de Pirenópolis (INMET, 2017). .....	15
<b>Figura 4</b> - Gráfico comparativo de precipitação acumulada entre as normais climatológicas de 1931 à 1960 e 1961 à 1990 para a estação de Pirenópolis (INMET, 2017). .....	15
<b>Figura 5</b> - Características tectônicas, componentes da Faixa Brasília e localização da área de estudos (polígono vermelho) (Pimentel <i>et al.</i> , 2011). .....	17
<b>Figura 6</b> - Eventos tectônicos relacionados com a formação e deformação das rochas da SJ e CBA entre 1,25 Ga à 0,63 Ga (Ferreira Filho <i>et al.</i> , 2010). .....	18
<b>Figura 7</b> - Coluna estratigráfica da sequência metavulcano sedimentar (SJ) e do Complexo metamáfico/metaultramáfico (CBA) (Moraes <i>et al.</i> , 2006).....	20
<b>Figura 8</b> - Modelo de aporte de metais, de sedimentos, matéria orgânica e formação de <i>black shales</i> com complexos organometálicos (Large <i>et al.</i> , 2011).....	22
<b>Figura 9</b> - Separação dos segmentos de grafita filito em <i>trends</i> (HT23, Paranoá, 19 e falha). .....	30
<b>Figura 10</b> - A: Afloramento com porções expostas do grafita filito; B: detalhe do afloramento com setas indicando deformação de veios de quartzo; C: detalhe de grafita filito, com círculos indicando cavidades de possíveis pofiroblastos antigos; D: detalhe de grafita filito com crenulação evidente e linhas mostrando os principais níveis enriquecidos em quartzo.	31
<b>Figura 11</b> - Mapa geológico de detalhe e perfil geológico relacionado com o afloramento TF-08-17. ....	32
<b>Figura 12</b> - A: Mapa geológico da VM simplificado, com a localização do <i>gossan</i> junto a camada de grafita filito, dando origem a um possível novo <i>trend</i> de prospecção; B: <i>Gossan</i> encontrado a leste do <i>trend</i> HT23; C: Perfil geológico e geoquímico também com a localização do <i>gossan</i> .....	33
<b>Figura 13</b> - A e B: afloramentos de grafita filito com granulação muito fina e muito alterado. ....	34
<b>Figura 14</b> - A: Afloramento de grafita filito; B: detalhe do afloramento de grafita filito, sendo a porção com menor quantidade de grafita e maior de quartzo, além de presença de leitos oxidados; C: detalhe do afloramento de grafita filito com maior quantidade de grafita e menor quantidade de quartzo, também apresenta alguns níveis marrom-avermelhado de oxidação. ....	35
<b>Figura 15</b> - A: Afloramento do ponto TF-14-17 de quartzo-grafita-sericita filito, com alternância entre bandas mais grafitosas e quartzosas; B: detalhe do afloramento TF-14-17 com lamina oxidadas (retângulo vermelho); C: Afloramento do ponto TF-15-17; D: detalhe do afloramento TF-15-17, com crenulação da foliação Sn (linha cheia vermelha) e lineação (linha tracejada vermelha); E: laterita encontrada ao lado do afloramento TF-15-17.....	36
<b>Figura 16</b> - Mapa geológico de detalhe e perfil geológico relacionado com os pontos TF-14-17, TF-15-17, TF-16-17 e TF-17-17. ....	37

<b>Figura 17</b> - A: Presença de vênulas de grafita associadas com clorita em biotita-quartzo-clorita xisto , além de estrutura brechada e fragmentada (seta); B: vênulas de material grafitoso associado com clorita (seta), próximo a cristais de sulfetos (circulo vermelho); C: material grafitoso presente no biotita-quartzo-clorita xisto, estes por sua vez cortados por vênulas quartzosas (seta). ....	38
<b>Figura 18</b> - A: Leitões de grafita associados com clorita (seta) ; B: porção de grafita com presença de porfiroclastos de quartzo (seta); C: lentes de grafita com falhas (seta); D: banda grafitosa (seta), próxima a bandas de sulfetos (linhas vermelhas). ....	39
<b>Figura 19</b> - A: Grafita muito fraturada e vênulas de grafita com falhas escalonadas; B: grafita muito fraturada em provável zona de falha. ....	40
<b>Figura 20</b> - A: Lamina TF-08-17A de sericita-quartzo filito com grafita? com faixa oxidada, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lamina TF-08-17A de sericita-quartzo filito com grafita?, com cristais de quartzo associado com material oxidado e matriz com possível grafita, nicóis descruzados e aumento de 10x (qtz = quartzo; Ser = sericita). ....	41
<b>Figura 21</b> - A: Lâmina TF-21-17A de quartzo-sericita-grafita? filito com magnetita ? com possível material grafitoso seguindo a foliação, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lâmina TF-20-17B de quartzo-sericita-grafita? filito com magnetita ? com possível material grafitoso muito fino junto a matriz, nicóis descruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo). ....	42
<b>Figura 22</b> - A e B: Lâmina TF-19-17E de granada-estaurolita-biotita-grafita-muscovita-quartzo filito a nicóis descruzados e aumento de 4x; C lâmina TF-19-17E de granada-estaurolita-biotita-grafita-muscovita-quartzo filito a nicóis cruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo; St = estaurolita; Grt = granada; Ms = muscovita; Bt = biotita). ....	43
<b>Figura 23</b> - A: Lâmina TF-15-17A de granada-muscovita-quartzo filito com faixas de qtz alternadas com faixas de ms, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lâmina TF-15-17A de granada-muscovita-quartzo filito com faixas de qtz alternadas com faixas de ms, nicóis cruzados e aumento de 4x; C: lâmina TF-14-17B de granada-muscovita-quartzo filito com provável cristal de grt, nicóis descruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo; Grt = granada; ms = muscovita). ....	44
<b>Figura 24</b> - A: Lâmina 016 (198,73-198,85 m) com porções ricas em hbl e outras ricas em qtz, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lâmina 016 (198,73-198,85 m) com porção rica em hbl e outras ricas em qtz, nicóis cruzados e aumento de 4x; C: lâmina 016 (198,73-198,85 m) com faixa de pseudotaquilito, nicóis descruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo; hbl = hornblenda). ....	45
<b>Figura 25</b> - A: Lâmina 019B (97,95-98,24 m) com hornblenda e material grafitoso?, nicóis descruzados e aumento de 10x; B: lâmina 019B (70,80-70,93 m) com contato entre a porção rica em hornblenda e o pseudotaquilito, nicóis descruzados e aumento de 4x (hbl = hornblenda). ....	46
<b>Figura 26</b> - A: Lâmina 019A (134,27-134,53 m) evidenciando cristais de ky e possível material grafitoso associado, nicóis descruzados e aumento de 20x; B: lâmina 019B (134,27-134,53 m) com sill inclusa em grt e presença de bt, nicóis cruzados e aumento de 10x; C: lâmina 019A (134,27-134,53 m), com contato tipo bougem, nicóis cruzados e aumento de 10x; D: lâmina 019A (134,27-134,53 m) com faixa de pseudotaquilito, nicóis descruzados e aumento de 10x (ky = cianita, sill = sillimanita, bt = biotita, grt = granada). ....	47
<b>Figura 27</b> - Perfil geoquímico e geológico do <i>trend</i> HT23. ....	49
<b>Figura 28</b> - Perfil geoquímico e geológico dos <i>trends</i> 19 e falha. ....	49
<b>Figura 29</b> - Diagramas de dispersão entre o UxMo e UxAs. ....	50



<b>Figura 30</b> - A: <i>Grid</i> RGB (Red: Mo, Green: U, Blue: As) com destaque para as camadas de grafita filito; B: Mapa de gamaespectrometria com destaque para as regiões com maior presença de U; C: Mapa de condutividade elétrica com destaque para as regiões com anomalia condutiva que se sobrepõem com as regiões destacadas no <i>grid</i> RGB e gamaespectrometria. ....	51
<b>Figura 31</b> - <i>Boxplots</i> dos metais de interesse e farejadores para os <i>trends</i> HT23, 19, Paranoá e Falha. ....	52
<b>Figura 32</b> - Gráficos de dispersão entre o S e os metais de interesse e farejadores dos <i>trends</i> HT23, 19, Paranoá e Falha. ....	52
<b>Figura 33</b> - Mapa de localização das regiões de grafita filito e as anomalias dos elementos de interesse e farejadores. ....	53
<b>Figura 34</b> - Localização dos <i>trends</i> e porcentagens de C ao longo de cada <i>trend</i> . ....	54
<b>Figura 35</b> - Gráficos de dispersão entre o C e o $Al_2O_3$ , S, Hf, Dy, Er, Lu, Nb e seus coeficientes de correlação na porção inferior da imagem. ....	55
<b>Figura 36</b> - Diagramas ternários $Al_2O_3$ - CN ( $CaO+Na_2O$ ) - K ( $K_2O$ ) e $Al_2O_3$ - CNK ( $CaO+Na_2O+K_2O$ ) - FM ( $Fe_2O_3+MgO$ ), com destaque para possível presença de muscovita e possível processo de cloritização (Sáez <i>et al.</i> , 2011). ....	56
<b>Figura 37</b> - Gráficos de dispersão entre o $Al_2O_3$ e o Ce, La, $P_2O_5$ , U, Mo, Rb, C, MnO. Diagrama com os coeficientes de correlação no canto inferior direito. ....	56
<b>Figura 38</b> - Gráfico de dispersão entre as razões $V/(V+Ni)$ e $V/Cr$ (Jones e Manning, 1994). ....	57
<b>Figura 39</b> - Gráficos de dispersão entre o S e o $Fe_2O_3$ e alguns metais como As, Cu, Pb, Zn e V. Diagrama com os coeficientes de correlação no canto inferior direito. ....	57
<b>Figura 40</b> - Mapa de localização dos <i>trends</i> com a variação de C, MnO, As, Cu, Pb e Zn ao longo das camadas. ....	58
<b>Figura 41</b> - <i>Boxplots</i> do $Al_2O_3$ , C, As, Cu, $Fe_2O_3$ , Pb, MnO, S e Zn, para os <i>trends</i> HT23, 19 e falha. ....	59
<b>Figura 42</b> - <i>Boxplots</i> do $Al_2O_3$ , C, As, Cu, $Fe_2O_3$ , Pb, MnO, S e Zn para as rochas muito e pouco alteradas. ....	59
<b>Figura 43</b> - Gráficos de dispersão entre o S e os metais de interesse e farejadores para os <i>trends</i> HT23, 19 e Falha. ....	60
<b>Figura 44</b> - Gráficos de dispersão entre o Mn e os metais de interesse e farejadores para os <i>trends</i> HT23, 19 e Falha. ....	60
<b>Figura 45</b> - Possível modelo para formação do protolito dos grafita filitos. ....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - <i>Background</i> dos elementos formadores da função farejadora litológica e dos elementos de interesse (solo). ....	25
<b>Tabela 2</b> - Limite de detecção para os óxidos. ....	25
<b>Tabela 3</b> - Limites de detecção para elementos resistivos, metais de base, elementos ligados ao Au, além do S e C. ....	26
<b>Tabela 4</b> - Grau de alteração das amostras coletadas nos afloramentos de grafita filito (porção superior da SJ). ....	27
<b>Tabela 5</b> - Atividades realizadas no Trabalho de Formatura. ....	65

## RESUMO

A região da Sequência Juscelândia e Complexo Barro Alto, possuem potencial para mineralizações de sulfetos. Devido a isso, a Votorantim Metais iniciou o projeto Zinco Centro-Oeste que está em fase de exploração, com o intuito de encontrar corpos mineralizados. Há várias dúvidas quanto ao modelo prospectivo e a importância de algumas rochas nesse contexto, como os grafita filitos. Para isso, esse trabalho uniu as experiências obtidas no estágio com informações sobre os grafita filitos, com o intuito de auxiliar o projeto em novos alvos para prospecção e entender um pouco mais sobre algumas características dos grafita filitos, quanto a sua afinidade química e conteúdo metalífero. Provavelmente, o protolito dos grafita filitos se formou em uma bacia oceânica, com aporte de metais provindos principalmente de exalações vulcânicas e sedimentos continentais. A camada de grafita filito é descontínua e para isso foi dividida em *trends* (segmentos) HT23, Paranoá, 19 e Falha. Com as observações geoquímicas (solo e rocha) e de campo é possível dizer que os grafita filitos da Sequência Juscelândia são metalíferos, porém a região que possui maior potencial para conter sulfetos é o *trend* HT23.

PALAVRAS CHAVE: grafita filitos, Sequência Juscelândia, sulfetos

## **ABSTRACT**

The region of Juscelândia Sequence and Barro Alto Complex have potential for sulfides mineralization. Due to this reason, Votorantim Metals started the Central-West Zinc project that is in the exploration phase, in order to find mineralized bodies. There are several doubts about the prospective model and the importance of some rocks in this context, as the graphite phyllites. For this, it was necessary to combine the experiences obtained in the project with informations about the graphite phyllites. The purpose of this, is to assist the project in new targets for prospecting and to understand a little more about some characteristics of the graphite phyllites as their chemical affinity and metalliferous content. It is probably that the protolith of the graphite phyllites has formed in an oceanic basin, with contribution of metals originating mainly of volcanic exhalations and continental sediments. The graphite phyllites layer is discontinuous and for this it was divided into trends (segments) HT23, Paranoá, 19 and Falha. With the geochemical (soil and rock) and field observations, it is possible to say that the graphite phyllites of Juscelândia Sequence are metalliferous, but the region with the highest potential to contain sulfides is the trend HT23.

**KEY WORDS:** graphite phyllites, Juscelândia Sequence, sulfides

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente projeto de TF tem como base o desenvolvimento e participação do estudante em seu estágio junto ao projeto Zinco Centro-Oeste da Empresa Votorantim Metais (VM), o qual é coordenado pelo Geólogo Carlos Eduardo Arthur. A área de estudo situa-se na região de Goianésia, Juscelândia e Cafelândia, porção central do Estado de Goiás. O contexto geológico compreende a sequência metavulcânica básica, pertencente ao Complexo Barro Alto (CBA) e a Sequência Juscelândia (SJ), composta por metavulcânicas ácidas, intercaladas com metavulcânicas básicas e rochas metasedimentares. Essas duas unidades estão inseridas na Faixa Brasília. (Zang, 1993; Moraes *et al.*, 2003; Ferreira Filho *et al.*, 2010). Esse projeto da VM está em fase de exploração e possui enfoque em Zn, Pb e Cu. Segundo o estudo feito por Sousa & Albuquerque (1990), alguns corpos na região podem ter recurso medido de 720.000 t com teores de 0,90% Cu, 3,40% Pb, 7,57% Zn e 49 g/t Ag. Dados compilados pela VM sugerem um recurso inferido de 10 Mt com 5% Zn e 0,8% Cu.

Em vista desse potencial na região, esse TF buscará caracterizar os grafita filitos, levando em conta principalmente sua química e conteúdo metalífero. Para tanto foram feitos trabalho de campo, com coleta de amostras, descrição dos afloramentos, petrografia, geoquímica de solos e litoquímica, para então tentar encontrar elementos que respondam positivamente a presença de grafita filito, incluindo o Zn, Pb, Cu, As, Ag.

O primeiro período do estágio foi realizado na região entre os dias 09/01/2017 à 09/02/2017, onde foi possível estudar os grafita filitos em afloramentos e testemunhos de sondagens, resultando na coleta de 42 amostras. O segundo período foi realizado entre os dias 05/07/17 à 05/08/17 com mapeamento geológico em alvos do projeto, além do acompanhamento em atividades ligadas ao projeto de exploração.

## **2. OBJETIVOS**

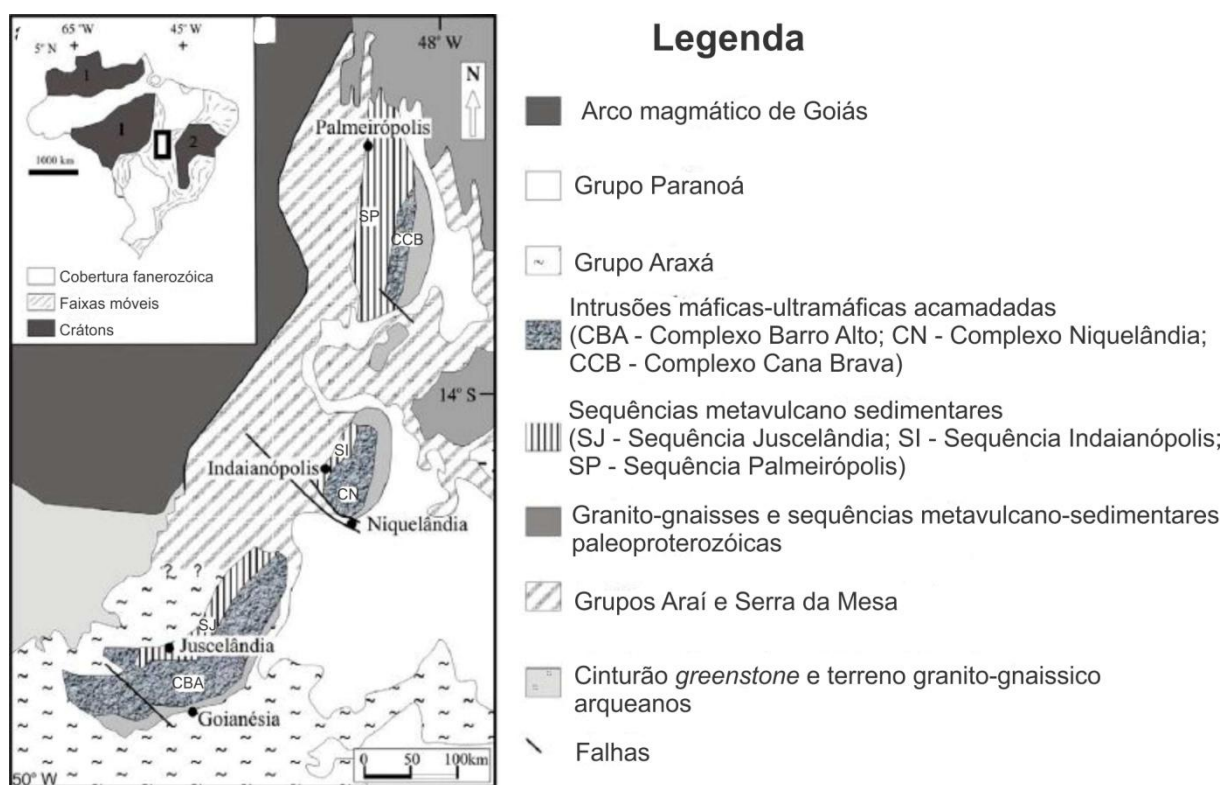
Adequar a formação do estudante como estagiário na condição de Prospector Júnior no projeto Zinco Centro-Oeste da Votorantim Metais, aliando esse estágio com Trabalho de Formatura. Para tanto foram feitas, caracterização litológica e química. A caracterização litológica foi feita para os grafita filitos da porção superior da Sequência Juscelândia (SJ) e de alguns intervalos de testemunhos de sondagem com presença de vênulas de grafita, presentes no Complexo Barro Alto (CBA) e na porção inferior da SJ. A caracterização química foi feita nos grafita filitos da porção superior da SJ. Essas caracterizações foram feitas com base nos estudos de campo e laboratório. Adicionando as principais feições quanto à descrição litológica, conteúdo metalífero, metais básicos e possíveis zonas

sulfetadas, procurando estabelecer alguma relação entre os grafita filitos, os elementos de interesse para o projeto e seus farejadores.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

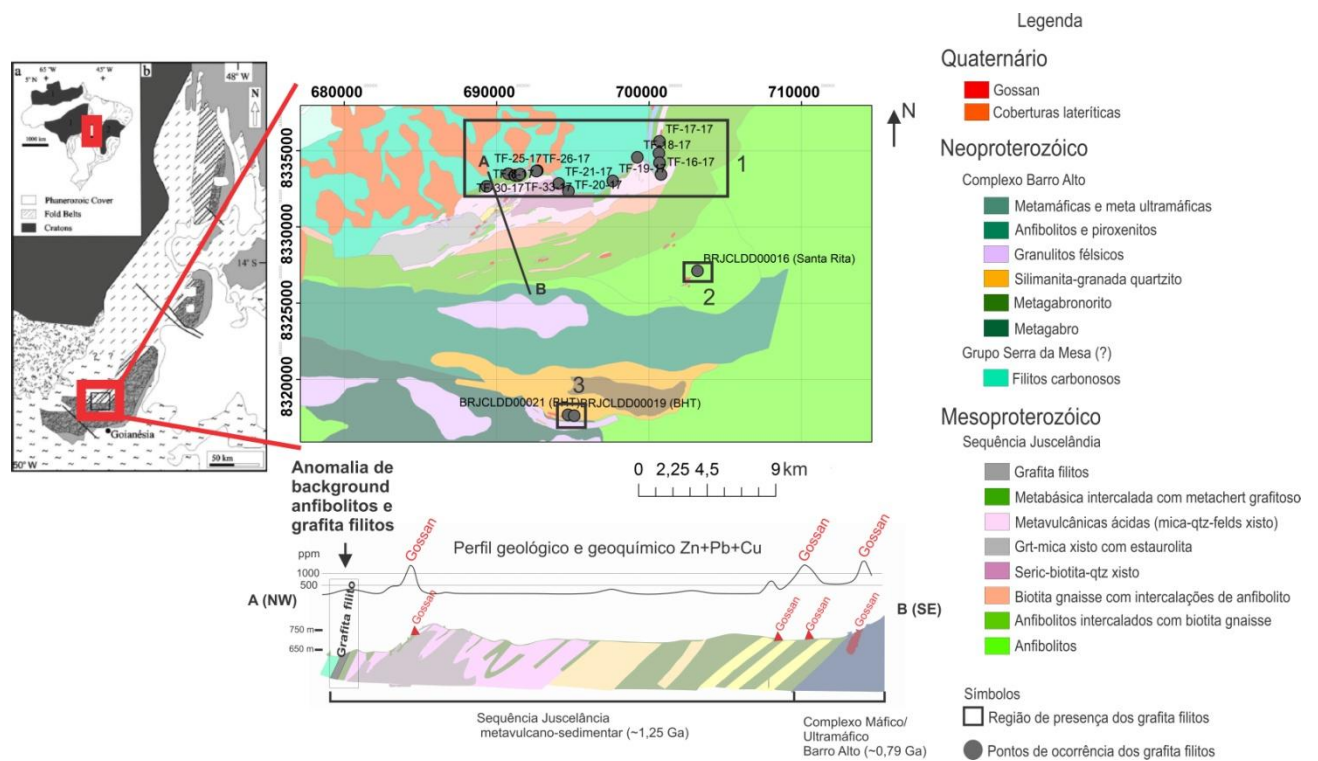
#### 3.1 Localização da área, temperatura e precipitação

A Área de estudo localiza-se na porção central do Estado de Goiás, pertencente ao município de Goianésia e Santa Rita. A área está em um cinturão metavulcano-sedimentar de aproximadamente 300 km de comprimento, formado pelas Sequências Palmeirópolis (SP), Indaianópolis (SI) e Juscelândia (SJ). Essas sequências são formadas por rochas metasedimentares, metavulcânicas ácidas e básicas, além de fazerem contato com Complexos metamáficos e metaultramáficos como Cana Brava, Niquelândia e Barro Alto. Essas unidades pertencem a Faixa Brasília (Fig 1).



**Figura 1 - Localização do Cinturão metavulcano sedimentar (SJ, SI e SP) e complexos metamáficos-ultramáficos (CBA, CN, CCB) (Moraes *et al.*, 2006).**

Os limites da área de estudo são 683708/683512 (latitude) e 8314025/8313861 (longitude). Para o georreferenciamento e confecção dos mapas do projeto foram utilizados a zona 22 S e *datum* SIRGAS 2000\_UTM (Fig 2).

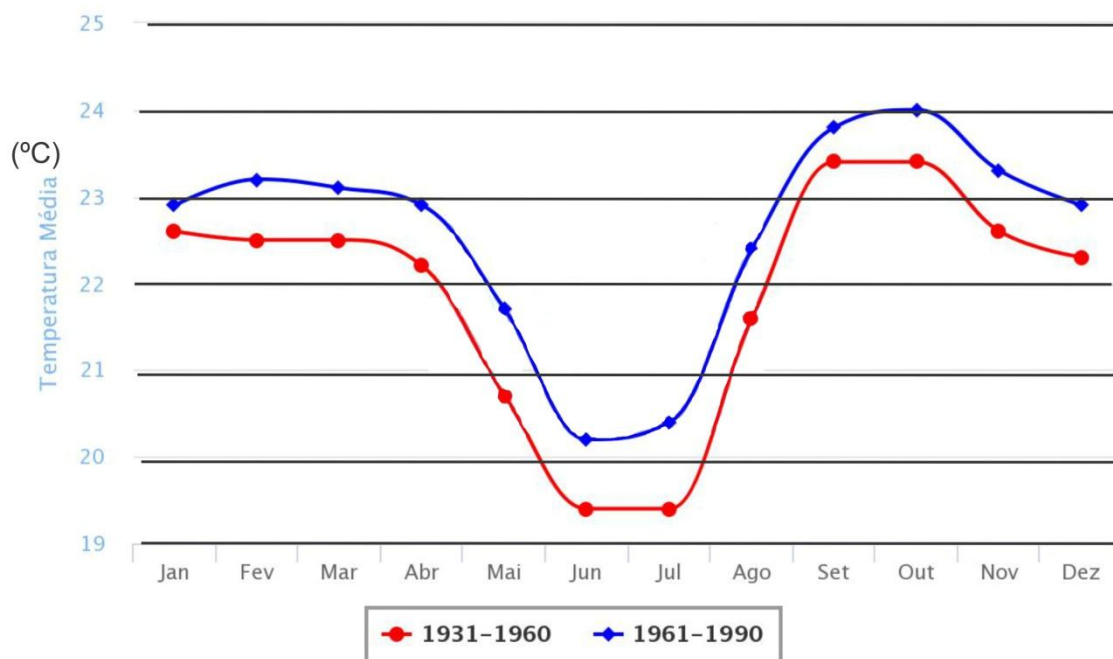


**Figura 2 - Localização regional e em detalhe mapa geológico da área de estudos. Destaque para os locais onde foram encontrados os grafita filitos e vênulas de grafita; 1: Grafita filito na porção superior da Sequência Juscelândia (afloramento); 2: vênulas de grafita na porção inferior da SJ (testemunho de sondagem); 3: vênulas de grafita no CBA (testemunho de sondagem) (Votorantim Metais, 2016).**

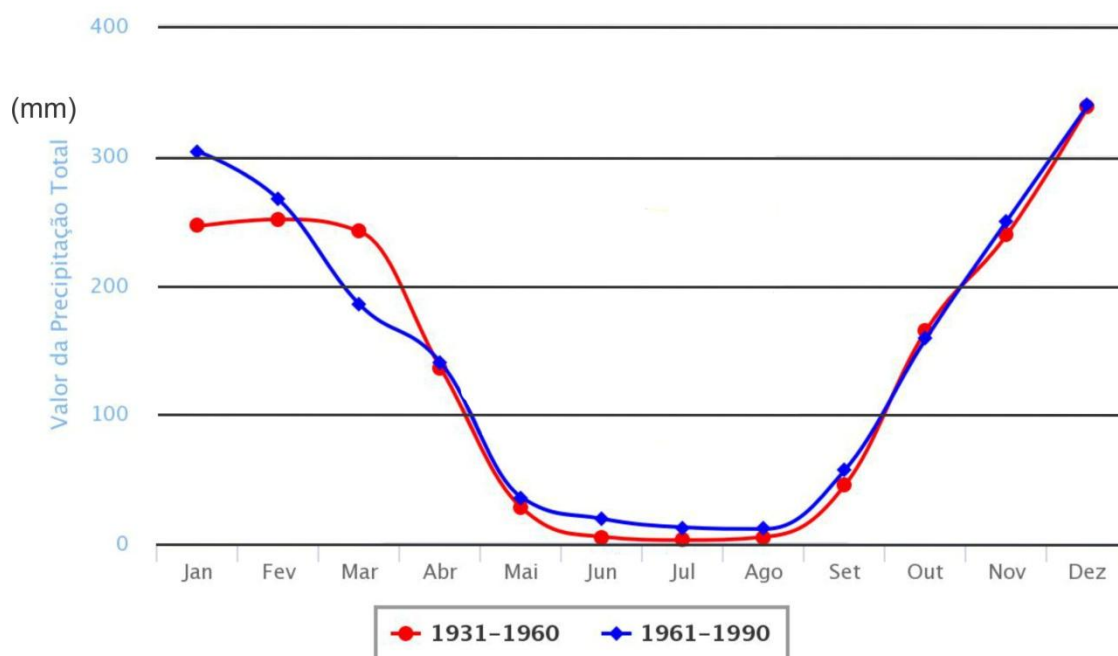
As áreas onde foram encontrados os grafita filitos em afloramento é o limite superior da Sequência Juscelândia no mapa geológico confeccionado pela VM, porém também foram encontrados vênulas de grafita em testemunhos de sondagem na porção basal da SJ e no CBA. Com a observação do perfil geológico e geoquímico é possível visualizar que ocorre uma anomalia de Zn+Pb+Cu na região dos grafita filitos, sendo indício da presença de metais (grafita filitos metalíferos) (Fig 2).

Para melhor entendimento da influência do intemperismo na região é necessário conhecer algumas características climáticas. Não foi possível coletar dados da ultima normal climatológica (1961-1990) da estação Goianésia pois esta foi aberta em 02/06/2007. Contudo a estação Pirenópolis, está a 78,8 km de Goianésia e por isso seus dados foram utilizados como aproximação para a região de Goianésia.

A temperatura média anual é maior entre os meses de janeiro a abril e agosto a dezembro, sendo que os meses de menor temperatura são de maio a julho. As maiores temperaturas não passam dos 24 °C e as menores dos 19 °C. Esse comportamento é notado nas duas normais climatológicas (1931-1960; 1961-1990). A precipitação acumulada se comporta semelhante a temperatura, sendo que começa a diminuir a partir de fevereiro, chegando próxima a 0 mm em julho e depois volta a aumentar em agosto, ultrapassando 300 mm em dezembro (INMET, 2017) (Fig 3 e 4).



**Figura 3 - Gráfico comparativo de temperatura média entre as normais climatológicas de 1931 à 1960 e 1961 à 1990 para a estação de Pirenópolis (INMET, 2017).**



**Figura 4 - Gráfico comparativo de precipitação acumulada entre as normais climatológicas de 1931 à 1960 e 1961 à 1990 para a estação de Pirenópolis (INMET, 2017).**

Os períodos onde a atuação do intemperismo é maior são as estações de verão e primavera, onde as maiores temperaturas ocorrem, conjuntamente com as maiores taxas de

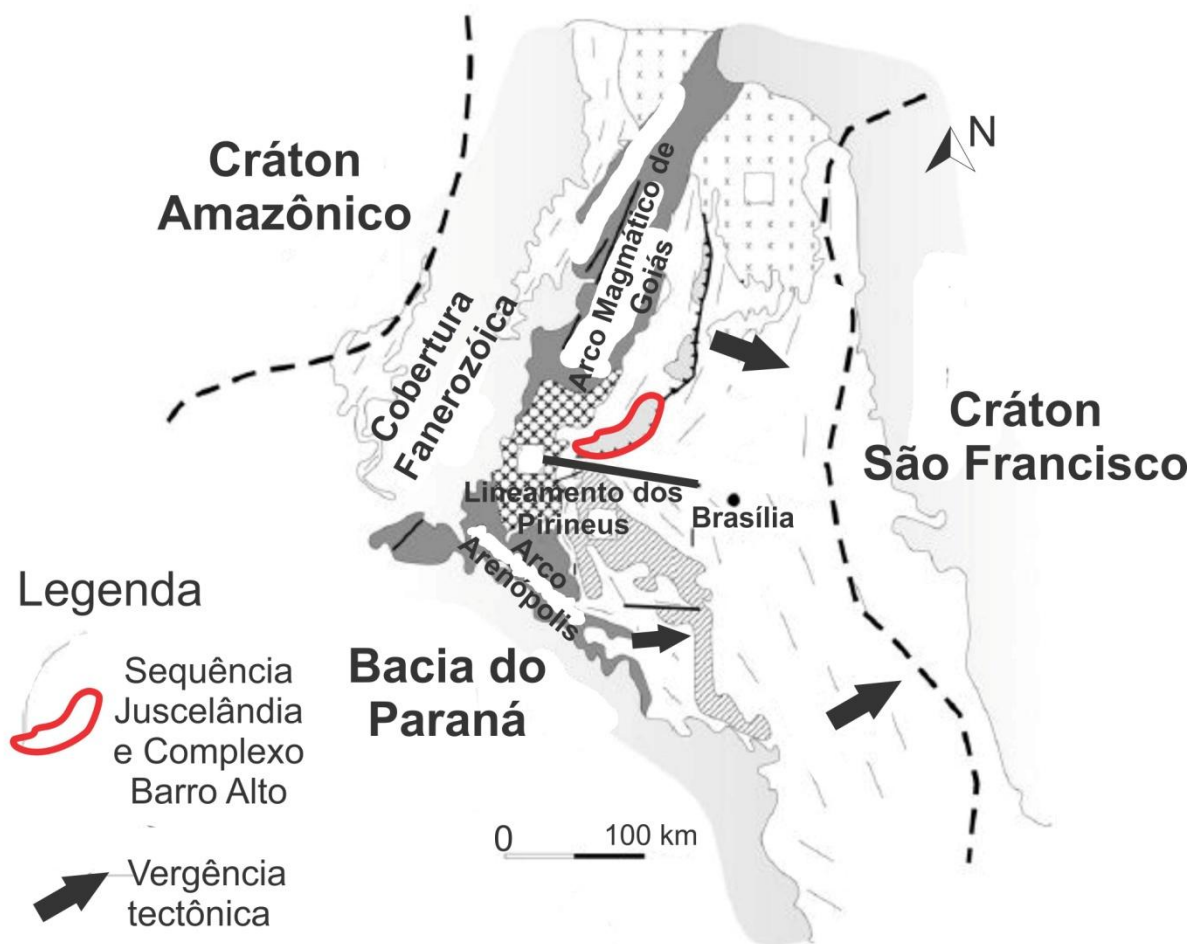
precipitação. Devido a isso, esses devem ser os períodos onde as rochas da região sofrem maior ação dos agentes exógenos (água e temperatura).

### **3.2 Evolução geológica**

Marini *et al.* (1981) fez as primeiras considerações, mencionando que a Faixa Brasília constituía uma zona de fraqueza crustal durante todo o Pré-cambriano, com superimposições de faixas orogênicas de diferentes ciclos, tendo característica policíclica. Esse mesmo autor expôs cinco fases de evolução que afetaram a região, que são: 1) rifteamento da crosta siálica no arqueano, com alto fluxo de calor, evidenciando a crosta oceânica, essa por sua vez pode ter sido consumida no processo de subducção, gerando granulitos; 2) eventos de colisão continental, podem ter provocado falhamentos transcorrentes e milonitização; 3) no Paleoproterozóico uma possível nova abertura, gerando crosta oceânica, propiciou um magmatismo básico-ácido, juntamente com sedimentação marinha (Sequência Juscelândia); 4) no Mesoproterozóico, ocorre o fechamento desse oceano com subducção para oeste, gerando deformação e metamorfismo em fácies anfibolito, além de vulcanismo ácido a intermediário associados com sedimentos, que formam a Sequência Lavrinhas; 5) ocorre um período de deposição com sedimentos pelitos psamíticos (Grupo Araí e Paranoá) e pelitos carbonosos (Formação Minaçu).

Pimentel *et al.* (2011) mencionou que a formação da Faixa Brasília se deu através da convergência entre os paleocontinentes Amazonas, São Francisco e Paranapanema (Orogênese Brasileira). Esse evento provavelmente metamorfizou e deformou as rochas da SJ e do CBA (Fig 5). Ocorre ainda algumas rochas metasedimentares, que aparecem ao norte da SJ e que segundo Pimentel *et al.* (2011) fazem parte do Grupo Serra da Mesa, sendo formados em bacias sin-orogênicas (Neoproterozóico), diferentemente das rochas da SJ, que se depositaram no Mesoproterozóico.

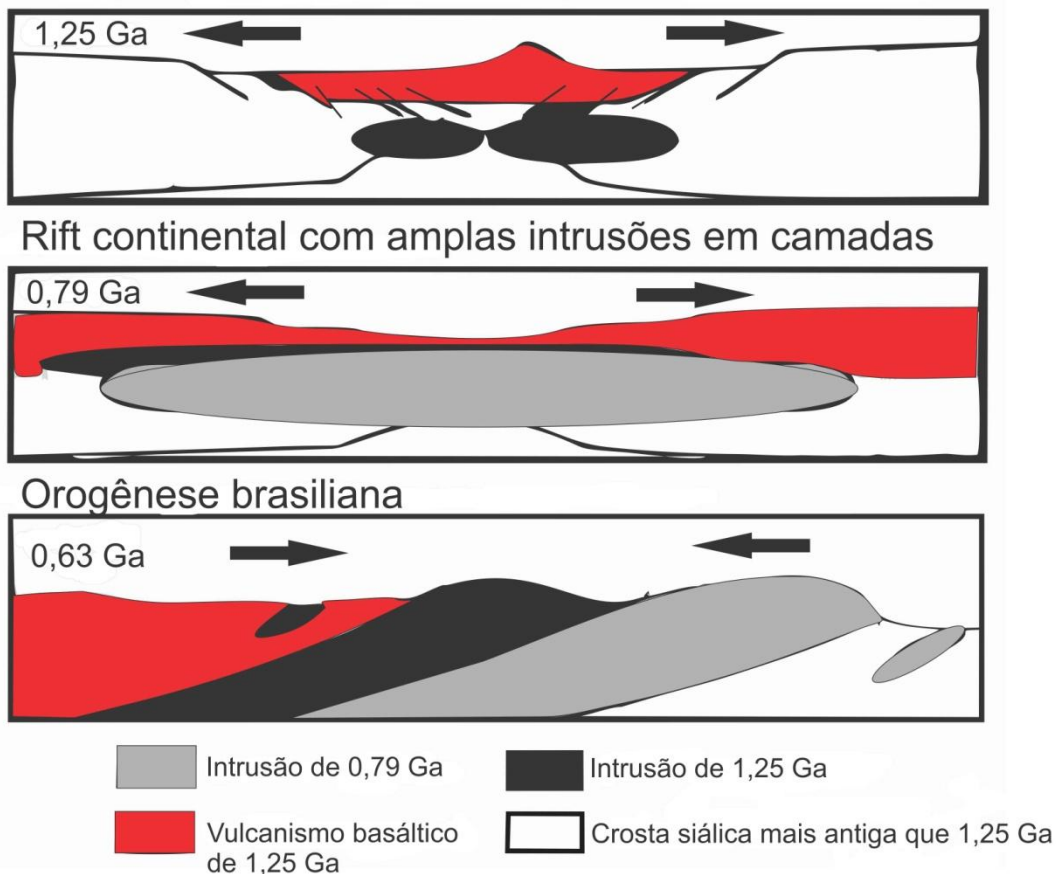




**Figura 5 - Características tectônicas, componentes da Faixa Brasília e localização da área de estudos (polígono vermelho) (Pimentel *et al.*, 2011).**

Segundo Ferreira Filho *et al.* (2010), houveram duas associações ígneas entre o Meso e Neoproterozóico, que ocorrem associadas com o rifte continental. A primeira associação é de aproximadamente 1,25 Ga relacionada com a deposição de sedimentos bacinais e vulcanismo bimodal (Sequência Juscelândia), além de largas intrusões acamadadas de rochas máficas (Serra dos Borges e Complexo Serra da Malacacheta). A segunda associação é de aproximadamente 0,79 Ga relacionada com intrusão de rochas máficas-ultramáficas (Complexo Barro Alto, Canabrava e Niquelândia) (Ferreira Filho *et al.*, 2010) (Fig 6).

Rift com desenvolvimento de bacia oceânica.  
Vulcanismo bimodal e associação com intrusões em camadas



**Figura 6 - Eventos tectônicos relacionados com a formação e deformação das rochas da SJ e CBA entre 1,25 Ga à 0,63 Ga (Ferreira Filho *et al.*, 2010).**

### 3.3 Contexto geológico local

A região foco desse TF está no contexto de rochas metavulcano-sedimentares, pertencentes a SJ e de rochas metamáficas-ultramáficas pertencentes ao CBA. O cinturão, metavulcano-sedimentar presente na região, compreende as Sequências Juscelândia, Indaianópolis e Palmeirópolis. Esse cinturão é descontínuo contendo aproximadamente 300 Km, fazendo limite na porção oeste com complexos básicos-ultrabásicos metamorfizados, como Barro Alto, Niquelândia e Canabrava, esses podendo ser partes da crosta e do manto arqueano (Danni & Fuck, 1981). As unidades tratadas nesse capítulo são somente da região de estudo desse TF, como o CBA e principalmente a SJ.

- Mesoproterozóico

As primeiras descrições da Sequência Juscelândia, como a de Danni & Fuck (1981), mostram a presença de metavulcânicas básicas, como anfíbolitos finos, seguidos de metavulcânicas ácidas, como muscovita-biotita gnaisses ricos em microclínio e oligoclásio, sugerindo protolitos máficos e félsicos. Já em direção ao topo, as rochas apresentam

característica de um protolito sedimentar, pois são cianita-muscovita xistos, muscovita xistos granadíferos com intercalações de quartzitos. Essa sequência compreende rochas vulcânicas bimodais, rochas formadas por sedimentos pelíticos, químicos e granitos subvulcânicos (Sousa e Albuquerque, 1990; Moraes e Fuck, 1994; Ferreira Filho *et al.*, 1999; Ferreira Filho *et al.*, 2010).

- Neoproterozóico

Segundo Ferreira Filho *et al.* (2010), o Complexo Barro Alto com idade de 796  $\pm$  2 Ma (Correia *et al.*, 1999), corresponde a uma intrusão, com aproximadamente 150 km de comprimento e 30 km de largura e é dividido no *trend* EW (seguimento Leste-Oeste) e NS (seguimento Norte-Sul). O segmento EW foi formado pela justaposição de várias fatias tectônicas paralelas e é formado na maioria por metagabronoritos e em menor quantidade por metapiroxenitos.

Também segundo Ferreira Filho *et al.* (2010), o *trend* NS é formado por duas principais intrusões, a LMZ (*Lower Mafic Zone*) e a UZ (*Ultramafic Zone*). A LMZ possui 60 km de comprimento e 15 km de largura, formada por metagabronoritos, metawebsteritos e metaortopiroxenitos. A UZ possui 60 km de comprimento e 4 km de largura, com contato ocidental tectônico caracterizado por serpentinitos (Suito, 1996; Ferreira Filho *et al.*, 2010).

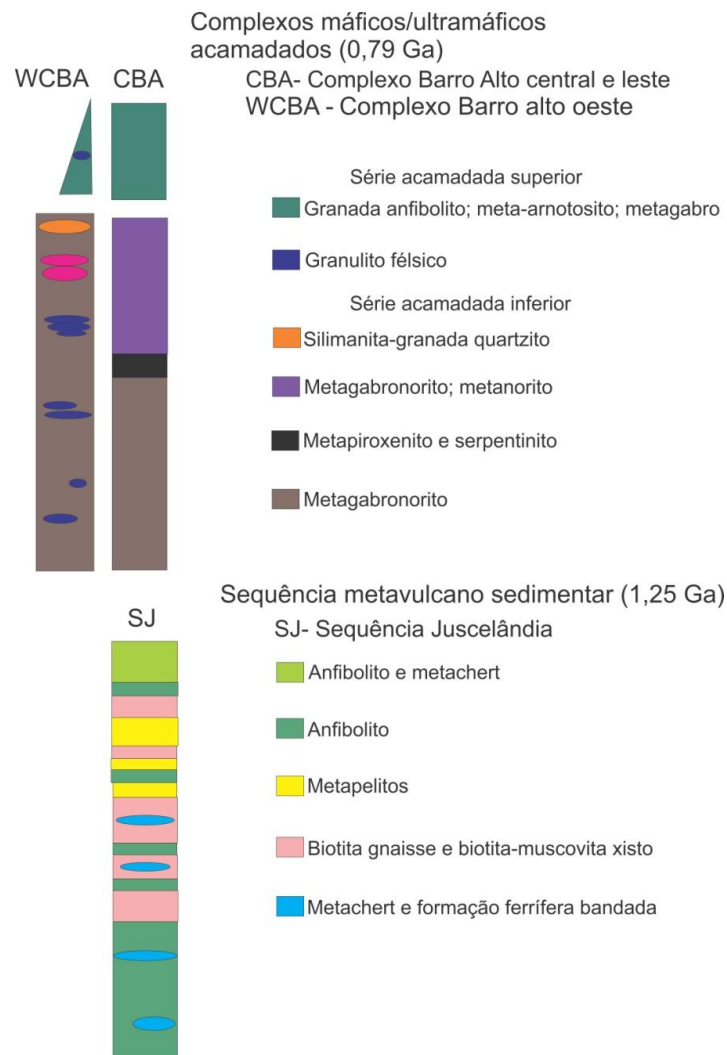
- Metamorfismo

Moraes e Fuck (1994) citam que o metamorfismo do CBA foi do tipo barroviiano e de fácies granulito, passando para fácies anfibolito na SJ. No CBA ocorrem ortopiroxênio a sudoeste de Cafelândia e são sobrepostos por sillimanita-granada quartzito. Também ocorrem paragêneses granulíticas como granada+clinopiroxênio+quartzo e gnaisses granulíticos com sillimanita+feldspato potássico. Dados de temperatura e pressão indicam 720 °C e 8,5 kbar. Já os anfibolitos da SJ são caracterizados por hornblenda+plagioclásio+opacos+-quartzo+-granada+-titanita e os xistos contêm cianita e estauroлита (550 °C e 5,5 kbar) (Moraes e Fuck, 1994). Em geral as rochas da SJ e do CBA possuem paragêneses diferentes, o que sugere portanto diferentes condições de metamorfismo, sendo que há diferenças de 200 °C e 3 kbar entre as rochas dessas duas unidades, além de uma descontinuidade crustal de 10 km (Moraes e Fuck, 1994).

- Geologia estrutural

Sousa e Albuquerque (1990) evidenciam três fases de dobramentos para a região, sendo que a primeira fase possui caimento de 15° a 30° para N10-20E. A segunda fase é observada pela lineação de direção N40°-50°W e caimento para NW. A terceira fase possui dobras abertas, causando inflexões suaves nas direções das foliações e dos eixos do primeiro dobramento. Os falhamentos possuem direções E-W e N-N20E. Os falhamentos N-N20E tem rejeitos direcionais e plano de falha mergulhando 45° a 60° para W-NW (Sousa e Albuquerque, 1990).

Moraes e Fuck, 1994 mostram que existem várias estruturas nas rochas dessa região, sendo que a principal é uma foliação penetrativa, que possui direção EW e mergulho entre 50° a 60° para N e está associada a uma lineação direcional de estiramento mineral. Existe uma foliação pretérita ( $S_{n-1}$ ) que é muito parecida com a foliação principal ( $S_n$ ), porém não ocorrem estruturas relacionadas com a  $S_{n-1}$ . Já a  $S_n$  possui direção geral ENE e mergulha para NNW, porém existe uma variação em relação a SJ e a Serra da Malacacheta (CBA). Na SJ, o mergulho varia entre N e NW e na Serra da Malacacheta (CBA) predomina para N (Moraes e Fuck, 1994).



**Figura 7 - Coluna estratigráfica da sequência metavulcano-sedimentar (SJ) e do Complexo metamáfico/metaultramáfico (CBA) (Moraes *et al.*, 2006).**

### 3.4 Black shales e seu conteúdo metalífero

Os grafita filitos estudados tem origem provável a partir de rochas sedimentares ricas em matéria orgânica, como *black shales*. Para isso, nesse capítulo serão descritas algumas características de formação e química dos *black shales*, possível protolito dos grafita filitos.

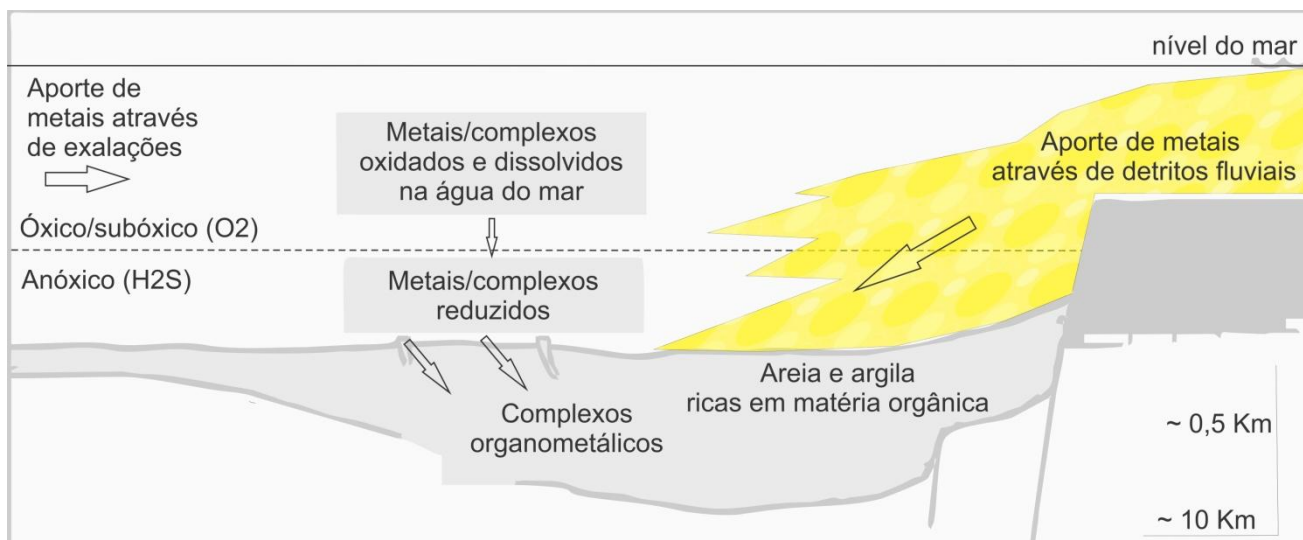
Os *black shales* são formados pela deposição de silte, argila e matéria orgânica, além de poderem ser enriquecidos em metais como Zn, Co, V, Cr, Mo, Re, Ni, Cu, Cd, U, Se, As, Sb, W, Hg, Ag, Au, Pt, Pd, Y e elementos terras raras (Tourtelot, 1979; Slack *et al.*, 2015). Bates e Jackson (1987) e Tourtelot (1979) mencionam que para ser um *black shale* é necessário conter mais que 5% de carbono e que somente a cor preta característica dessa rocha não sugere uma alta quantidade de carbono. Com 1% de carbono já é suficiente para dar a rocha a cor preta ou cinza. A presença da matéria orgânica pode ter origem junto aos sedimentos terrígenos pelos rios (alóctone) ou se formar no próprio ambiente marinho através de fitoplanctons e algas (autóctone). Há uma porção da matéria orgânica formada por carboidratos, proteínas e lipídeos, que são rapidamente decompostas e outra porção, chamada de matéria orgânica refratária, formada por ácidos húmicos e fúlvicos que demoram a sofrer degradação. Nesse contexto ocorre ainda o fenômeno da diagênese recente, que consiste em uma série de processos físicos, químicos e biológicos, que alteram a composição e quantidade da matéria orgânica. A porção da matéria orgânica não degradada é fixada junto aos sedimentos, ficando preservada (Quintana, 2008). No processo da diagênese recente, a matéria orgânica é decomposta por atividade bacteriana através de reações redox. As bactérias oxidam a matéria orgânica, retirando energia desse processo, o que é essencial para sua sobrevivência. Nesse processo o O<sub>2</sub> é o principal agente oxidante. Quando a presença de O<sub>2</sub> é escassa (ambientes anóxicos), as bactérias utilizam outras moléculas para terem energia (Schulz e Zabel, 2006).

A ocorrência dos *black shales* aumentou principalmente a partir do Ordoviciano e possuiu suas maiores concentrações entre o Devoniano e Pensilvaniano (395 Ma à 280 Ma). Os *black shales* estudados nesse trabalho fazem parte da Sequência Juscelândia, formada no Mesoproterozóico. Segundo a compilação de Tourtelot (1970) e Fulton (1977), não existiram *black shales* no Proterozóico na América do Sul.

Esses teores de metais concentrados em *black shales* podem estar relacionados com a quantidade de matéria orgânica presente, adsorção do metal, redução do sulfato, precipitação dos sulfetos, natureza do material orgânico, dos sedimentos e da água, além de cinzas vulcânicas e exalações submarinas (Tourtelot, 1979).

Large *et al.* (2011) menciona que os metais (Mo, V, Au, Ag, Te, Se, U, Zn, Cu, Ni) podem ser introduzidos pela zona óxica por exalações hidrotermais ou ainda como detritos pelos rios ao longo dos continentes, chegando a regiões anóxicas, onde os metais são reduzidos. Esses metais se concentram em lamas pretas por redução e adsorção, formando

compostos organometálicos (Fig 8). O processo de diagênese e dissolução da matéria orgânica, juntamente com a redução bacteriana, podem transferir os metais da água do mar para sulfetos (pirrotita, calcopirita, arsenopirita e pirita). Esse mesmo autor expõe que rochas sedimentares carbonosas que contém esses metais, principalmente Au, possuem um alto conteúdo de carbono total, mostrando uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de carbono e metais.



**Figura 8 - Modelo de aporte de metais, de sedimentos, matéria orgânica e formação de *black shales* com complexos organometálicos (Large *et al.*, 2011).**

Almeida (2009), apresenta um comparativo na região de Paracatu (MG) entre os filitos carbonosos mineralizados e os não mineralizados do Grupo Canastra do Mesoproterozóico. O autor demonstra que nos filitos carbonosos mineralizados a quantidade de metais (Au, Pb, As, Zn) e carbono é maior em relação aos filitos carbonosos não mineralizados, ou seja, a relação exposta por Large *et al.*, (2011) entre a quantidade de metais e carbono também é observada nesse caso.

As conclusões mencionados por Large *et al.* (2011) e Almeida (2009), são de grande valia para uma possível comparação com resultados futuros desse TF, além de mostrarem que os *black shales* são importantes para aprisionamento de metais, porém é necessário deixar claro que o contexto geotectônico e modelo prospectivo estudado por esses autores (ouro orogênico) é distinto da região de estudo desse TF. Devido a isso, outras conclusões podem ser esperadas.

### 3.5 Possível modelo prospectivo

Durante as duas campanhas de campo ficou claro não haver consenso sobre o modelo prospectivo na região de estudo conforme discussão com os geólogos que participavam do trabalho e do consultor envolvido, pois existem poucos trabalhos sobre o

tema. Com as informações do projeto, como associação de rochas (metavulcânicas ácidas/básicas e metasedimentos), alterações hidrotermais (cloritização, potassificação e silicificação), algumas texturas (*stockwork* e brechação) e geoquímica, o modelo que melhor se adéqua é o VMS.

Outra evidencia que sugerem esse modelo, são os estudos de Araujo *et al.* (2005) e Araujo *et al.* (2006). Esses artigos estudaram a Sequência Palmeirópolis (SP), que faz parte da faixa metavulcano-sedimentar (~300km). Essa faixa também compreende a Sequência Juscelândia, unidade onde repousam os grafita filitos, objeto de estudo desse TF. Por tanto, é possível comentar sobre o possível modelo de depósito para a SJ, baseado nos estudos sobre a SP.

Segundo Araujo *et al.* (2006), a SP é um clássico exemplo de VMS, com três lentes de sulfeto maciço com reserva estimada de 4 Mt (1,23% Cu, 4,64% Zn, 0,72% Pb) (Figueiredo *et al.*, 1981). A SP é composta por rochas metasedimentares, metavulcânicas ácidas e básicas, metamorfizadas em fácies anfibolito e que estão em contato com o complexo metamáfico/metaultramáfico de Cana Brava, assim como a SJ, que possui rochas metasedimentares, metavulcânicas ácidas e básicas, em contato com o Complexo Barro Alto. Na SP, os sulfetos estão hospedados em anfibolitos, já na SJ parecem estar hospedados principalmente nas metavulcânicas ácidas.

O intuito desse trabalho não é solucionar o problema do modelo prospectivo da região e sim estudar os grafita filitos, para tentar mostrar se estes são metalíferos e possuem potencial para presença de sulfetos. Ainda sim, com base nas interpretações desse trabalho foi formulado um possível modelo para a formação do protolito dos grafita filitos, que provavelmente está associado com o provável modelo prospectivo.

#### 4. MÉTODOS

Diferentes amostras dos grafita filitos de afloramento e testemunho de sondagem, foram analisadas por NITON ainda na primeira etapa de estágio, com o intuito de identificar previamente possíveis anomalias em rocha, nos elementos de interesse ou farejadores da mineralização (Zn, Pb, Cu, As). A segunda etapa de estágio foi utilizada para coletar novamente as amostras de grafita filito dos afloramentos, focando nas que apresentavam menor grau de alteração, tentando assim, evitar anomalias falsas positivas ou negativas, ou seja, elementos que podem estar ocorrendo em maior quantidade devido ao intemperismo, ou mesmo elementos que podem ter sido lixiviados. Contudo, não foi possível coletar rochas sem alteração. Após a coleta, as amostras foram enviadas para o laboratório (ALS *Geochemistry*) e tratadas no Excel. Por fim, esse banco de dados foi inserido no *software* ioGAS, onde foram gerados diagramas de dispersão, coeficientes de correlação, boxplot e diagramas ternários. Os dados de solo foram fornecidos pela VM.

#### 4.1 Niton

O XL3t Niton Thermo foi o equipamento utilizado para realizar as medições dos principais elementos químicos presentes nas amostras de rocha coletadas. Esse equipamento contém um tubo de 50 kV/100uA, com detector de área SDD, câmera, GPS e colimador de feixe para 3 mm, permitindo sua aplicação na identificação de ligas metálicas, mapeamento geoquímico em área de mineração, entre outras utilidades. O colimador presente pode focar até 3 mm um feixe de raio-X, gerando uma informação mais detalhada (Thermo Scientific, 2010).

O intuito principal é a identificação de anomalias principalmente de Zn e Pb, e para a detecção desses elementos o equipamento possui grande acurácia e precisão, visto que o coeficiente de correlação entre o resultado certificado e a análise de niton para o Zn foi de 0,9937 e para o Pb foi de 0,9947, sendo muito útil para trabalhos em mineração e análises rápidas de campo (Thermo Scientific, 2010).

Os limites acima dos quais se pode considerar anomalia nos metasedimentos (grafita filito) são 80 ppm de Zn, 60 ppm Pb e 60 ppm Cu. Esses limites são usados pelo projeto.

#### 4.2 Microscópio petrográfico

O Microscópio petrográfico utilizado para as descrições geológicas de 20 lâminas foi o de luz transmitida e as descrições foram feitas no Instituto de Geociências da USP.

#### 4.3 Geoquímica de solos

Foram utilizados os dados da geoquímica de solos do banco de dados da VM. As análises químicas foram feitas pelo laboratório *ALS Geochemistry*. Inicialmente esses dados foram tratados no Excel, com a normalização dos elementos e geração da função farejadora litológica. Para geração dessa função foi preciso testar todos os elementos, observando se os valores estavam acima do *background* em relação a todas as camadas de grafita. Também foi observado como os elementos de interesse se comportavam junto a camada de grafita, utilizando a função farejadora para mineralização (Zn+Pb+Cu+As), podendo assim identificar regiões com anomalias desses elementos (valores acima do *background*). Os elementos que apresentavam valores maiores que o *background* para todas as camadas de grafita filito, foram o U, Mo e As e portanto foram utilizados para gerar a função farejadora litológica (U+Mo+As) (tabela 1). Também foram gerados: 1) gráficos de linha, para a observação dos elementos em perfil (como estes se comportam quando encontram a camada de grafita filito); 2) matriz de correlação e 3) gráficos de dispersão.



**Tabela 1 - *Background* dos elementos formadores da função farejadora litológica e dos elementos de interesse (solo).**

Elementos	Background (ppm)
U	1,33
Mo	0,46
As	1,2
Zn	22
Cu	27,6
Pb	11,2

As observações feitas são preliminares, sendo ideal para uma visualização inicial do comportamento dos elementos, pois se tratam de amostras coletadas a 40 cm abaixo da superfície, ou seja, há grande influência dos agentes exógenos, como a água.

#### 4.4 Litogeoquímica

Foram enviadas para o laboratório 30 amostras de grafita filito da SJ. Antes do envio ao laboratório, as amostras foram tratadas manualmente, retirando as camadas mais oxidadas. As análises foram feitas pelo laboratório *ALS Geochemistry*, que disponibilizou os métodos utilizados para cada grupo de elementos e seus limites de detecção.

O método de análise por Fluorescência de raios-X (ME-XRF26) foi realizado para os óxidos, como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{LOI}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{TiO}_2$ . Os óxidos com seus limites de detecção seguem a baixo (tabela 2).

**Tabela 2 - Limite de detecção para os óxidos.**

$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.01-100	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.01-100	$\text{Na}_2\text{O}$	0.01-10	$\text{SrO}$	0.01-1.5
$\text{BaO}$	0.01-66	$\text{K}_2\text{O}$	0.01-15	$\text{P}_2\text{O}_5$	0.01-46	$\text{TiO}_2$	0.01-30
$\text{CaO}$	0.01-60	$\text{MgO}$	0.01-50	$\text{SO}_3$	0.01-34	$\text{LOI}$	0.01-100
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.01-10	$\text{MnO}$	0.01-39	$\text{SiO}_2$	0.01-100		

Para os elementos como Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr, Ag, Cd, Co, Cu, Li, Mo, N, Pb, Sc, Zn, As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se, T, Tl, S e C foi utilizado um conjunto de métodos, em três processos, como o ICP-AES e ICP-MS: 1) fusão de borato de lítio para elementos resistivos (ME-MS81), 2) processo com quatro ácidos para os metais de base (ME-4ACD81) e 3) utilização de água régia para elementos traços e ligados ao ouro (ME-MS42). Para o C e S foi utilizado o forno de combustão (ME-IR08). Os elementos e seus limites de detecção seguem abaixo (Tabela 3).

**Tabela 3 - Limites de detecção para elementos resistivos, metais de base, elementos ligados ao Au, além do S e C.**

Ba	0.5-10,000	Gd	0.05-1,000	Sm	0.03-1,000	W	1-10,000	ME-MS81
Ce	0.5-10,000	Hf	0.2-10,000	Sn	1-10,000	Y	0.5-10,000	
Cr	10-10,000	Ho	0.01-1,000	Sr	0.1-10,000	Yb	0.03-1,000	
Cs	0.01-10,000	La	0.5-10,000	Ta	0.1-2,500	Zr	2-10,000	
Dy	0.05-1,000	Lu	0.01-1,000	Tb	0.01-1,000			
Er	0.03-1,000	Nb	0.2-2,500	Th	0.05-1,000			
Eu	0.03-1,000	Nd	0.1-10,000	Tm	0.01-1,000			
Ga	0.1-1,000	Pr	0.03-1,000	U	0.05-1,000			
Ge	5-1,000	Rb	0.2-10,000	V	5-10,000			ME-4ACD81
Ag	0.5-100	Cu	1-10,000	Ni	1-10,000	Zn	2-10,000	
Cd	0.5-1,000	Li	10-10,000	Pb	2-10,000			
Co	1-10,000	Mo	1-10,000	Sc	1-10,000			ME-MS42
As	0.1-250	In	0.005-250	Se	0.2-250			
Bi	0.01-250	Re	0.001-250	Te	0.01-250			
Hg	0.005-25	Sb	0.05-250	Tl	0.02-250			ME-IR08
C	0.01-50%	S	0.01-50%					

#### 4.5 Programas utilizados

O Arcmap 10.1 foi utilizado para confecção de mapas, localização de áreas para trabalho de campo e testes com os dados geoquímicos de solo. Nos trabalhos de campo as imagens georeferenciadas do Arcmap foram utilizadas conjuntamente com o *Avenza Maps* (aplicativo de celular) e GPS.

O *software* utilizado para tratamento dos dados da geoquímica de solos foi o Excel 2007, onde foram normalizados os elementos. Essa normalização é feita subtraindo o valor do elemento pela mediana e dividindo pelo desvio padrão. Com os valores normalizados foi possível gerar a função farejadora litológica (Excel) e posteriormente inserir no ioGAS (*software* utilizado para a geoquímica). Os dados da geoquímica de rochas também foram inseridos no ioGAS para a geração de gráficos e diagramas.

#### 4.6 Tratamento das amostras

No âmbito desse Trabalho de Formatura um total de 42 amostras foram coletadas em campo, dessas selecionadas 20 para confecção das seções delgadas. Essa seleção foi realizada com base nas discussões e observações feitas com o orientador. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para o endurecimento com resina, pois como se tratam de grafita filitos, é necessário realizar tal processo antes de corta-las, devido a fragilidade do material.

Após o endurecimento, foram escolhidos os cortes para serrar as amostras que em geral foram perpendiculares a foliação principal (Sn), exceto em algumas amostras de testemunhos de sondagem, onde o corte foi realizado oblíquo a foliação. Após o corte, as

amostras foram encaminhadas para a laminação, onde foi escolhido a região de interesse na amostra mais apropriada para confecção da lâmina.

Para o envio das amostras à litogeoquímica foi necessário realizar uma coleta, retornando nos afloramentos de ocorrência dos grafita fílitos. Tal atividade foi realizada no intuito de coletar as amostras menos alteradas, pois a intenção era saber a química verdadeira da rocha, e se esta estivesse muito alterada, muitos elementos poderiam ter sido lixiviados, não sendo possível detectar a real afinidade química da rocha. No entanto, a região de estudo não apresenta muitos afloramentos pouco alterados, em geral quase sempre estão em um grau de alteração elevado. Para isso, as novas amostras foram classificadas em graus de alteração, entre muito alterada e pouco alterada (Tabela 4).

**Tabela 4 - Grau de alteração das amostras coletadas nos afloramentos de grafita fílitos (porção superior da SJ).**

Amostra	Grau de alteração
VMRO031456	muito
VMRO031457	muito
VMRO031458	muito
VMRO031459	muito
VMRO031460	muito
VMRO031450	pouco
VMRO031451	pouco
VMRO031452	pouco
VMRO031453	pouco
VMRO031454	pouco
VMRO031455	pouco
VMRO031444	pouco
VMRO031445	pouco
VMRO031446	pouco
VMRO031447	pouco
VMRO031448	pouco
VMRO031449	pouco
VMRO031466	muito
VMRO031467	muito
VMRO031468	muito
VMRO031469	muito
VMRO031461	muito
VMRO031462	muito
VMRO031463	muito
VMRO031464	muito
VMRO031465	muito
VMRO031473	muito
VMRO031470	muito
VMRO031471	muito
VMRO031472	muito

## 5. RESULTADOS ESPERADOS

É esperado que após as informações coletadas no trabalho de campo e obtidas através das descrições petrográficas e geoquímica, seja possível identificar as principais características litológicas e geoquímicas dos grafita filitos, podendo assim auxiliar no projeto Zinco Centro-Oeste como guia para novos alvos de prospecção mineral.

## 6. VIABILIDADE DE EXECUÇÃO

As atividades realizadas no TF, como trabalhos de campo (hospedagem, alimentação, deslocamento, instalações para trabalho e transporte de amostras) e análises laboratoriais (química total) foram custeadas pela Votorantim Metais e parte sendo necessária com recursos do orientador providos de sua taxa de bancada do CNPq como Pesquisador 1. Já as lâminas petrográficas foram disponibilizadas pelo instituto de geociências (20 unidades).

## 7. ATIVIDADES REALIZADAS

As atividades realizadas nesse projeto foram:

1) Estágio de 09/01/2017 a 09/02/2017: acompanhamento das atividades do projeto Zinco Centro-Oeste (VM), como descrição de testemunhos de sondagem, locação de furos exploratórios e visitas a afloramentos específicos para reconhecimento geral da geologia da região e dos afloramentos com presença de grafita filitos para descrição preliminar e coleta de amostras, além de trabalhos de campo direcionados para localização de *gossans*.

2) Levantamento bibliográfico: feito durante todo o primeiro semestre de 2017, afim de obter um maior conhecimento sobre o contexto geológico da área e sua evolução, além do entendimento sobre a formação e química dos *black shales*, que por sua vez, podem ter sido o protolito dos grafita filitos.

3) Tratamento de amostras e seleção das mesmas para petrografia.

4) Descrições petrográficas.

5) Estágio de 05/07/17 a 05/08/17: mapeamento de alvos, além da coleta de amostras, para realização da litogeoquímica.

6) Geoquímica de solos.

7) Litogeoquímica.

8) Discussão dos resultados com orientador e geólogos do projeto.

9) Monografia.

### **7.1 Estágio (09/01/17 - 09/02/17)**

As atividades inicialmente realizadas tinham o intuito de melhor delinear o conhecimento geológico da região, como trabalhos de campo em afloramentos "chave" e familiarização com os processos relacionados com a exploração mineral, como descrições estruturais/litológicas e amostragem de testemunhos de sondagem, sedimento de corrente, amostragem de solo e acompanhamento de locação de furos de sondagem exploratórios.

Posteriormente, as atividades foram focadas mais no objetivo desse TF, que é o estudo dos grafita filitos, e para isso foram feitos um total de 7 dias de trabalho de campo com 38 pontos visitados.

### **7.2 Estágio (05/07/17 - 05/08/17)**

Nesse período, as atividades foram focadas principalmente no mapeamento de alvos, focando na identificação de *gossans* e em rochas com um grau de oxidação mais elevado. Foram realizadas discussões com os geólogos do projeto sobre uma abordagem geoquímica dos grafita filitos e devido a isso, decidiu-se coletar novamente as amostras menos alteradas dos afloramentos visitados anteriormente, para evitar dados enviesados, pois em rochas muito alteradas vários elementos como Zn e S são facilmente lixiviados, além do aumento de outros elementos como produtos do intemperismo, como o Mn.

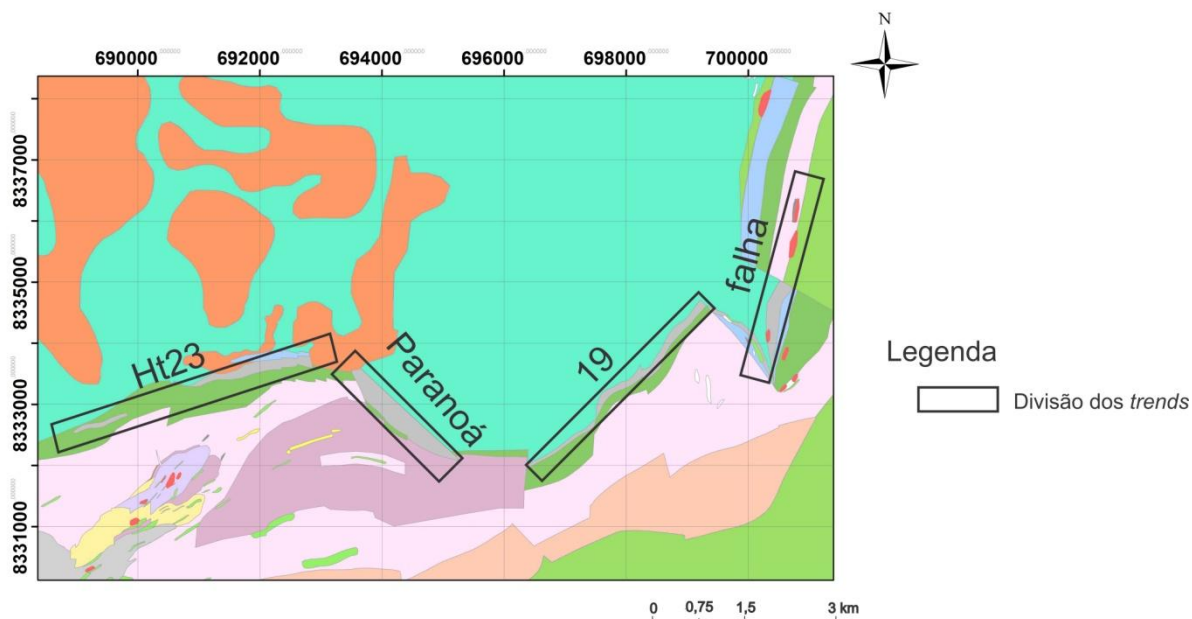
Dados de geoquímica de solos que estão na região dos grafita filitos foram selecionados, tratados e interpretados. A intenção foi complementar os dados de rocha com os de solo, tentando selecionar os principais elementos que marcam uma função farejadora litológica para melhor mapear a ocorrência da camada grafitosa, aliando com a função farejadora para a mineralização.

### **7.3 Descrições geológicas**

As descrições geológicas foram feitas conjuntamente com os geólogos do projeto. Para a realização das descrições, tanto macroscópica quanto microscópica, foi realizada a separação entre as amostras providas dos afloramentos de grafita filito do topo da Sequência Juscelândia e as amostras que contém material grafitoso em testemunhos de sondagem. Com as observações de campo e petrografia, chegou-se a conclusão que o material grafitoso presente nos dois casos é distinto, tanto na textura quanto em minerais associados.

Além disso, os afloramentos do topo da Sequência Juscelândia foram separados em *trend* HT23, *trend* Paranoá, *trend* 19 e *trend* falha. Esses *trends* são segmentos com a presença de grafita filito. Com isso, foi possível compartimentar e comparar as principais

diferenças e semelhanças entre as camadas de grafita filito, pois se trata de uma camada descontínua (Fig 9).



**Figura 9 - Separação dos segmentos de grafita filito em *trends* (HT23, Paranoá, 19 e falha).**

### 7.3.1 Descrições macroscópicas

#### 7.3.1.1 Aforamentos

Esse tópico conterá os principais afloramentos de ocorrência dos grafita filitos, com o intuito de expor amostras de todas as camadas de grafita filito encontradas, bem como os afloramentos que formam perfis geológicos.

- *Trend* HT23

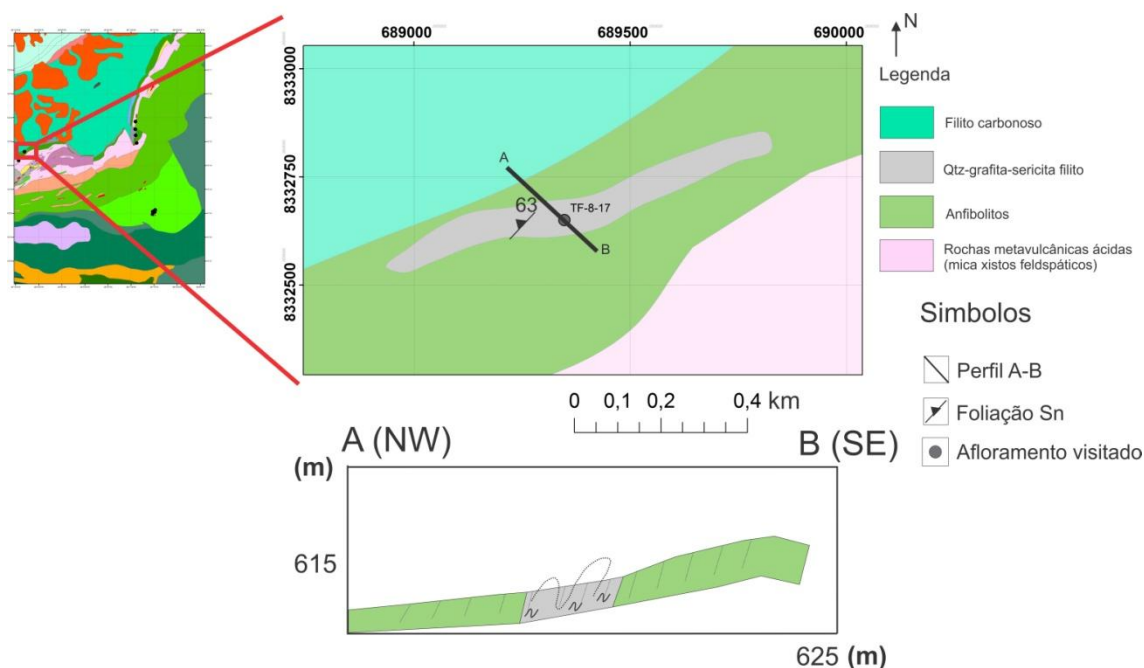
O afloramento TF-08-17 (0689348 / 8332650) se localiza na porção W, formado por quartzo-grafita-sericita milonito, porém em alguns casos a rocha observada é um quartzo-grafita-sericita filito cinza claro a escuro e brilho micáceo com existência provável de pirita. Estrutura foliada e textura grano-lepidoblástica porfiroblástica. Presença de quartzo (10%), muscovita (60%), grafita (30%) e pirita (<1%). Ocorre alternância entre bandas com mais presença de muscovita e grafita e outras de quartzo. Há concentrações quartzosas em veios dobrados, formando *boudins* e sigmoides. É possível observar a foliação *Sn* mais evidente seguida de outra foliação interior a ela (*Sn-1*), além de observar a *Sn* crenulada, gerando uma lineação (*Ln*), referente ao eixo das crenulações. Por vezes ocorre foliação milonítica. A atitude da foliação *Sn* é N232/63NW, concordante com o caimento da foliação regional (Fig 10).





**Figura 10 - A: Afloramento com porções expostas do grafita filito; B: detalhe do afloramento com setas indicando deformação de veios de quartzo; C: detalhe de grafita filito, com círculos indicando cavidades de possíveis pofoirblastos antigos; D: detalhe de grafita filito com crenulação evidente e linhas mostrando os principais níveis enriquecidos em quartzo.**

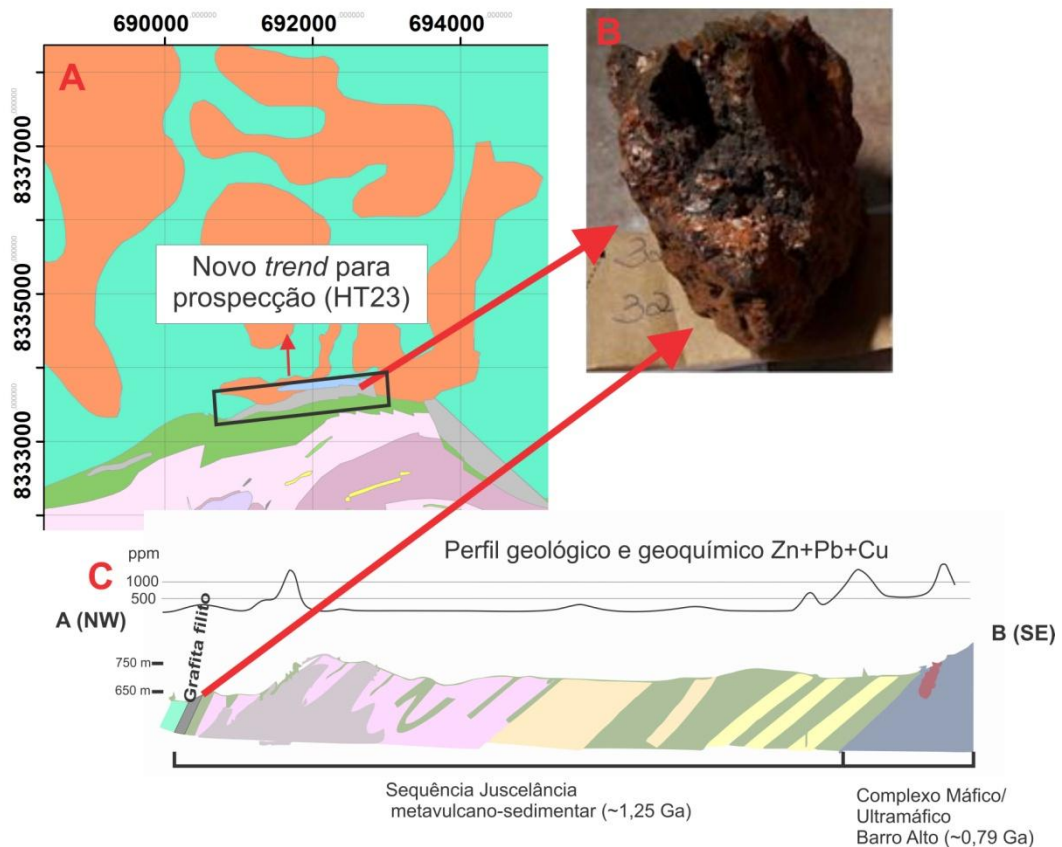
Também foi confeccionado perfil geológico perpendicular a direção das camadas para reconhecer as rochas que fazem contato com os grafita filitos e como estão dispostas. Foi observado que os grafita filitos formam uma lente entre uma camada de anfibolito e ambos possuem caimento da foliação para NW (Fig 11).



**Figura 11 - Mapa geológico de detalhe e perfil geológico relacionado com o afloramento TF-08-17.**

No afloramento TF-25-17 (0692664 / 8333676) ocorre blocos de biotita(?)-quartzo-grafita-sericita filito cinza, com ripas avermelhadas, muito foliado, grano-lepidoblástico. Presença de biotita (~8%), quartzo (~15%), sericita (~25%) e grafita (~52%). Próximo a esses blocos de biotita(?)-quartzo-grafita-sericita filito foi encontrado um *gossan* com teor de 2450 ppm de Zn. Devido a isso, essa região foi definida pelo projeto como um novo alvo para prospecção. A figura abaixo mostra o mapa geológico simplificado com o local dos grafita filitos onde o *gossan* foi encontrado. Isso também é mostrado no perfil geológico geral do projeto, a direita no canto inferior (Fig 12).





**Figura 12 - A: Mapa geológico da VM simplificado, com a localização do *gossan* junto a camada de grafita filito, dando origem a um possível novo *trend* de prospecção; B: *Gossan* encontrado a leste do *trend* HT23; C: Perfil geológico e geoquímico também com a localização do *gossan*.**

- **Trend Paranoá**

Nessa porção os afloramentos visitados foram o TF-20-17 (694707 / 8332336) e TF-21-17 (694073 / 8332846), formados por um quartzo-grafita-sericita filito, cinza a preto, estrutura foliada e com textura grano-lepidoblástica. Mineralogia composta por material carbonoso ou grafita (?) (35%), sericita (50%) e quartzo (15%). Essa rocha possui em geral uma granulação muito fina, diferente das demais amostras observadas, além de estar muito alterada (Fig 13).



**Figura 13 - A e B: afloramentos de grafita filito com granulação muito fina e muito alterado.**

- *Trend 19*

O afloramento TF-19-17 (0697617 / 8333011) representa o maior afloramento de grafita filito encontrado, com aproximadamente 40 m de extensão. É composto por dois litotipos predominantes que se alternam entre si, sendo o primeiro composto por quartzo-grafita-sericita filito cinza-claro, esbranquiçado, foliado com textura grano-lepidoblástica e presença de quartzo (~25%), grafita (~35%) e sericita (~40%) e o outro composto por grafita-quartzo-sericita filito amarelado por vezes oxidado, muito foliado, grano-lepidoblástico e presença de quartzo (~30%), sericita (~55%) e grafita (~15%). Entre esses dois litotipos é nítida a diminuição e aumento de grafita entre um leito e outro, além da presença em alguns casos de cavidades que sugerem antigos porfiroblastos. As atitudes da foliação Sn seguem o mesmo padrão, como N194E/55NW (Fig 14).

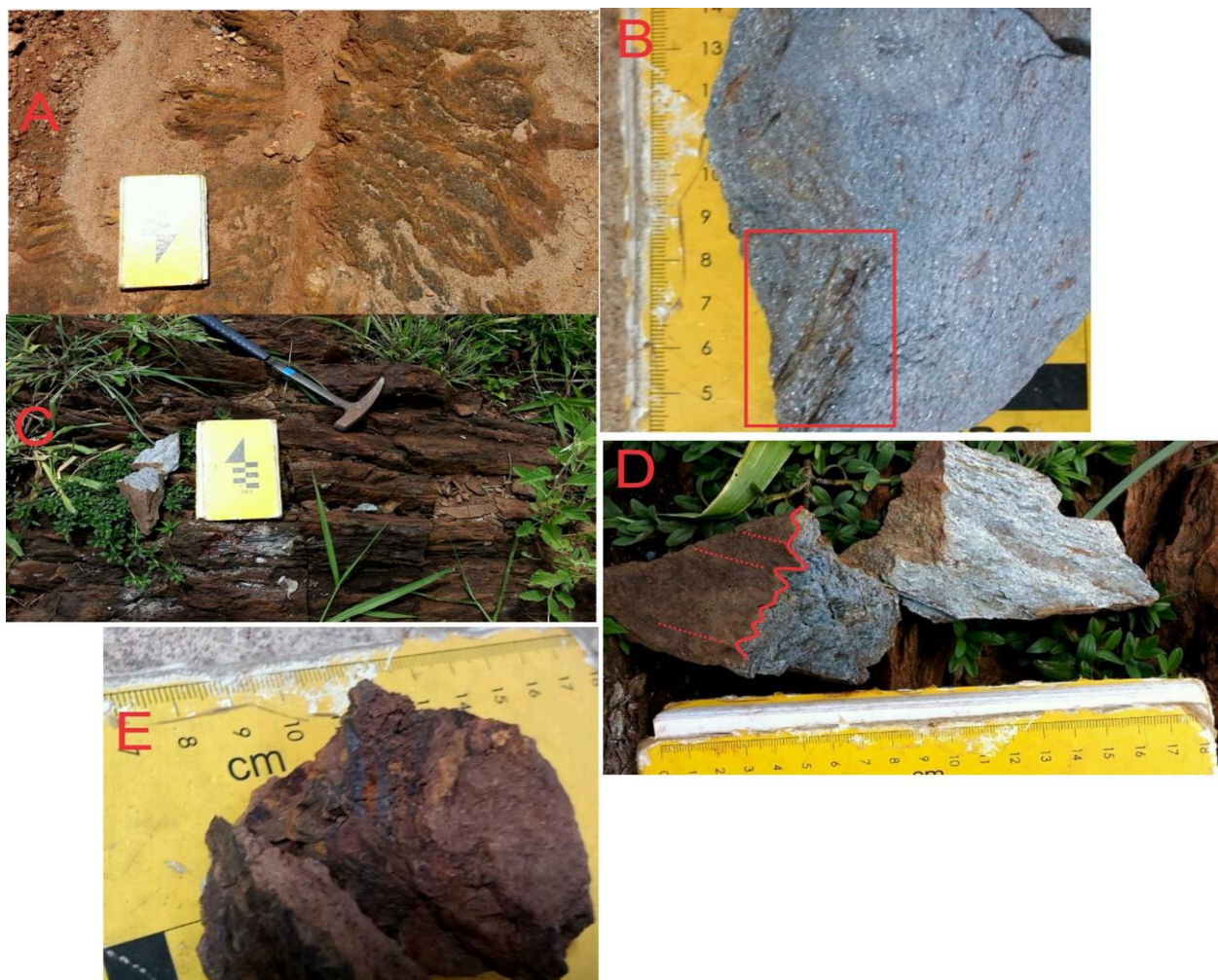




**Figura 14 - A: Afloramento de grafita filito; B: detalhe do afloramento de grafita filito, sendo a porção com menor quantidade de grafita e maior de quartzo, além de presença de leitos oxidados; C: detalhe do afloramento de grafita filito com maior quantidade de grafita e menor quantidade de quartzo, também apresenta alguns níveis marrom-avermelhado de oxidação.**

- *Trend* falha

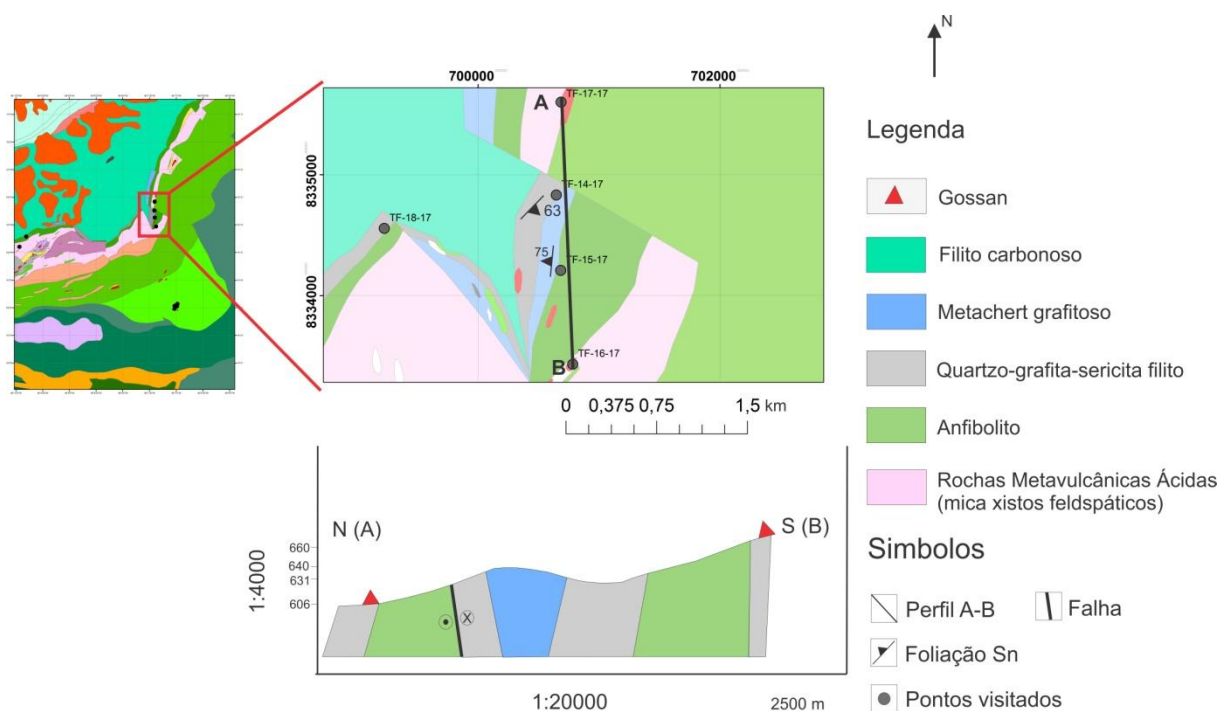
Os afloramentos TF-14-17 (0700647 / 8334832), TF-15-17 (0700683 / 8334208, TF-16-17 (0700783 / 8333432) e TF-17-17 (0700686 / 8335600) se localizam na porção NE. O afloramento TF-14-17 é formado por quartzo-grafita-sericita filito, com bandas oxidadas, estrutura foliada e textura grano-lepidoblástica. Presença de veios de quartzo dobrados e a atitude da foliação Sn é de N45E/63SE. O ponto TF-15-17 é muito semelhante ao anterior exceto pela quantidade de grafita que nesse caso é menor. A atitude da foliação Sn é N10E/75NW. O ponto TF-16-17 é formado por sericita-feldspato-quartzo filito, muito foliado, branco, com microbandas avermelhadas/arroxeadas, com textura lepidogranoblástica. Esse ponto se localiza um pouco acima de blocos de grafita filitos e de metachert. O ponto TF-17-17 é formado por quartzo-grafita-muscovita filito, cinza com microbandas ocre, foliado e com textura grano-lepitoblástica. Nesse ponto a quantidade de grafita e sericita aumentaram. Presença de ripas pretas, sendo possíveis antigos porfiroblastos (Fig 15).



**Figura 15 - A:** Afloramento do ponto TF-14-17 de quartzo-grafita-sericita filito, com alternância entre bandas mais grafitosas e quartzosas; **B:** detalhe do afloramento TF-14-17 com laminas oxidadas (retângulo vermelho); **C:** Afloramento do ponto TF-15-17; **D:** detalhe do afloramento TF-15-17, com crenulação da foliação Sn (linha cheia vermelha) e lineação (linha tracejada vermelha); **E:** laterita encontrada ao lado do afloramento TF-15-17.

No perfil é possível observar o caimento da foliação para N/NW, de acordo com o padrão estrutural observado ao longo dos afloramentos visitados. A porção mais a NE (TF-17-17) apresenta cavidades do que pode ter sido porfiroblastos, além de estar próximo de *gossans* mapeados pelos geólogos do projeto. Já as demais porções, como os afloramentos TF-14-17, TF-15-17 e TF-16-17 apresentam veios de quartzo dobrados. (Fig 16).





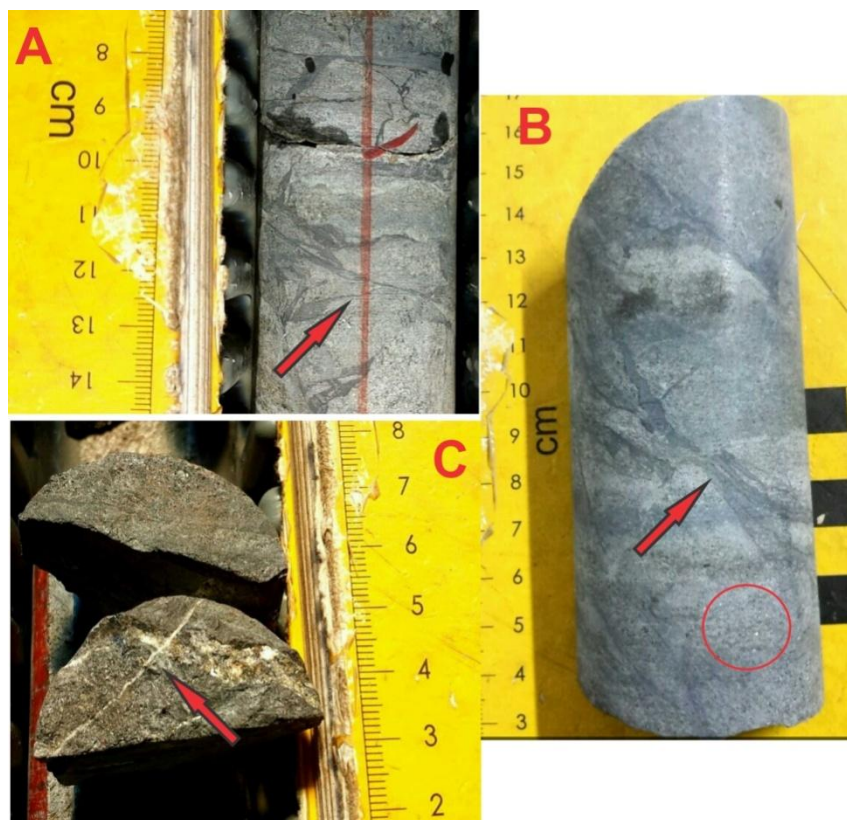
**Figura 16 - Mapa geológico de detalhe e perfil geológico relacionado com os pontos TF-14-17, TF-15-17, TF-16-17 e TF-17-17.**

### 7.3.1.2 Testemunhos de sondagem

Esse tópico conterá as descrições geológicas dos testemunhos de sondagem dos furos BRJCLDD00016, BRJCLDD00019 e BRJCLDD00021, onde foi observado grafita, ocorrendo principalmente em vênulas e associados com zonas de falha.

- Furo exploratório BRJCLDD00016 (intervalos: 174,15-182,07m; 197,00-206,00m) (Fig 17)

No intervalo 174,15-182,07 a rocha é um biotita-quartzo-clorita xisto com grafita e granada, cinza-escuro a claro. Estrutura foliada/xistosa, textura grano-lepido-nematoblástica. Entre os minerais se destacam o quartzo (~13%), clorita (~23%), biotita (~10%), plagioclásio (~18%), anfibólio (~25%), granada (~3%), pirrotita (~2%), pirita (~1%), calcopirita (<1%), galena (<1%) e grafita (~5%). Presença de segregação metamórfica entre os máficos (anfibólio, biotita e clorita) e félsicos (quartzo), na forma de intervalos silicificados. Mais precisamente no intervalo 179,20-179,24 presença de grafita (~94%), pirita (~5%), calcopirita (~1%) e pirrotita (<1%), com fragmentos, brechas e vênulas com material grafitoso associado com pirita, pirrotita e clorita. No intervalo 197,00-206,00 m, ocorre uma diminuição de quartzo (~8%) e aumento de biotita (~15%).



**Figura 17 - A:** Presença de vênulas de grafita associadas com clorita em biotita-quartzo-clorita xisto, além de estrutura brechada e fragmentada (seta); **B:** vênulas de material grafitoso associado com clorita (seta), próximo a cristais de sulfetos (circulo vermelho); **C:** material grafitoso presente no biotita-quartzo-clorita xisto, estes por sua vez cortados por vênulas quartzosas (seta).

- Furo exploratório BRJCLDD00019 (intervalos: 30,70-44,71m; 36,85-38,43m; 44,71-45,28m; 55,00-58,00m; 69,80-74,00m; 97,98-101,16m; 134,24-134,53m) (Fig 18)

No intervalo 30,70-44,71m a rocha é um granada-anfibolio-biotita-clorita gnaiss com grafita, cinza-claro a escuro ou esverdeado, bandado e lepidogranoblástico porfiroblástico. Presença de grafita (~2%), granada (~10%), anfibolio (?) (~10%), biotita (~15%), clorita (~25%), quartzo (~20%), plagioclásio (~18%).

No intervalo 44,71-45,28m a rocha é um quartzo-grafita-clorita xisto, cinza-claro a escuro, foliado/bandado, grano-lepidoblástico. Presença de grafita (~20%), clorita (~70%) e quartzo (~10%). Em alguns pontos pode-se observar bandas de grafita alternadas com bandas ricas em clorita. Também foi observado presença de grafita com pirita.

No intervalo 55,00-58,00m, ocorre lentes submilimétricas a subcentimétricas de grafita (~12%), associado com clorita (~25%) no meio do gnaiss com afinidade máfica. Nas regiões mais ricas em grafita como nas fraturas, ocorre presença de pirita. Essas lentes apresentam granulação muito fina se comparado com a rocha hospedeira que possui granulação fina a média. Também intercalados com essas lentes ocorrem lentes de quartzo e porfiroclastos estirados. A biotita também parece estar orientada ao lado das lentes de grafita.

No intervalo 69,80-74,00m, as lentes de material grafitoso são muito semelhantes as do intervalo anterior, porém diminui para ~7%. No meio dessas lentes ocorrem fitas de quartzo estirados e dobrados, além de porfiroclastos de quartzo. A associação do material grafitoso com clorita continua principalmente nas fraturas, além do aumento aparente da quantidade de grafita e presença de pirita associada.

No intervalo 97,98-101,16m, a rocha é um grafita-clorita metachert (?) muito fino, cinza-escuro, muito dobrado com falhas subcentimétricas, foliado e grano-lepidoblástico. Presença de grafita (~16%), clorita e quartzo. Segregação presente entre bandas mais ricas em grafita e outras em clorita, além das porções mais grafitosas estarem próximas a sulfetos.

No intervalo 134,24-134,53m, a rocha é um granada quartzito com grafita e sulfetos, de até 3,5% Cu (medida feita em Niton). Porções disseminadas de sulfetos aparecem próximas a grafita.



**Figura 18 - A: Leitões de grafita associados com clorita (seta) ; B: porção de grafita com presença de porfiroclastos de quartzo (seta); C: lentes de grafita com falhas (seta); D: banda grafitosa (seta), próxima a bandas de sulfetos (linhas vermelhas).**

- Furo exploratório BRJCLDD00021 (intervalos: 35,42-41,42 m; 41,46-54,53 m) (Fig 19)

No intervalo 35,42-41,42 a rocha é um quartzo-grafita-biotita-clorita xisto com pirrotita, cinza-claro a escuro ou esverdeado, foliado, com bandamento composicional entre



félsicos (quartzo/feldspato) e máficos (anfíbólio, biotita, clorita), além de apresentar textura grano-lepidoblástica. Presença de quartzo (~5%), grafita (~10%), biotita (~15%), clorita (~30%), anfíbólio (?) (~25%) e plagioclásio (~15%). Em algumas porções desse intervalo a quantidade de grafita aumenta, chegando até um grafita-clorita xisto, muito fraturado, com porções oxidadas e presença de grafita (~30%) e clorita (~45%). Mas próximo do final desse intervalo a quantidade de grafita diminui (~10-15%), porém nas regiões mais fraturadas essa porcentagem aumenta. Na rocha mais fresca o material grafitoso ocorre em vênulas associadas com clorita.

No intervalo 41,46-54,53m a rocha é a mesma do intervalo anterior, porém alterada hidrotermalmente. Ocorre veios carbonáticos, associado a material róseo (ankerita?), além de brechação típica de *stockwork*. No início do intervalo a rocha aparece muito fraturada, porém nas porções mais ricas em grafita o fraturamento é maior. Nessas zonas a grafita ocupa aproximadamente 40% da rocha, sempre associada com clorita. Próxima a parte final do intervalo o fraturamento diminui e aparece blocos com cor rosada e com muito carbonato. Nesses blocos a grafita diminui (<10%) e a quantidade de clorita aumenta. Essa região aparenta ser uma zona de falha, contudo o material grafitoso não está associado a sulfetos.



Figura 19 - A: Grafita muito fraturada e vênulas de grafita com falhas escalonadas; B: grafita muito fraturada em provável zona de falha.



### 7.3.2 Descrições microscópicas

#### 7.3.2.1 Afloramentos

- *Trend* HT23

Na lâmina TF-08-17A, a rocha é um sericita-quartzo filito com grafita?, possui estrutura foliada, e textura lepidó-granoblástica. A mineralogia é composta por quartzo (45%) muito alterado, subeuédrico, por vezes seguindo a foliação, sericita (25%) orientadas junto a foliação e opacos (grafita ?) com material oxidado (30%) (Fig 20).

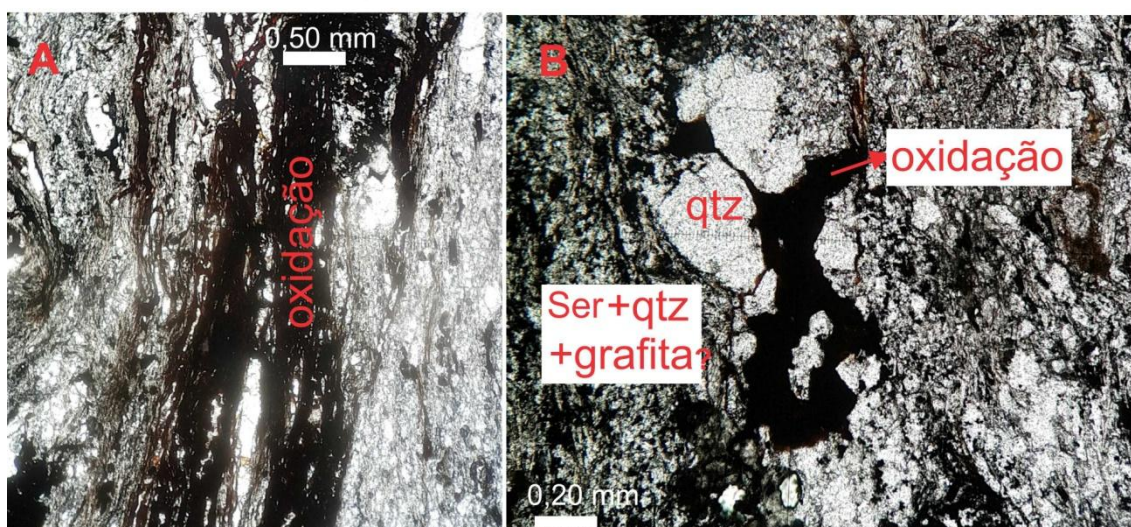


Figura 20 - A: Lamina TF-08-17A de sericita-quartzo filito com grafita? com faixa oxidada, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lamina TF-08-17A de sericita-quartzo filito com grafita?, com cristais de quartzo associado com material oxidado e matriz com possível grafita, nicóis descruzados e aumento de 10x (qtz = quartzo; Ser = sericita).

- *Trend* Paranoá

As lâminas descritas pertencentes a esse *trend* foram a TF-20-17A, TF-20-17B e TF-21-17A. Em geral são quartzo-sericita-grafita? filitos com magnetita ?, com estrutura muito foliada, além de textura grano-lepidoblástica. A mineralogia é composta por grafita ? (50%), sericita (35%) e quartzo (15%), sendo que na lâmina TF-21-17A, ocorre opacos subeuédricos (octaedros), podendo ser provável magnetita. As lâminas desse *trend* apresentaram uma granulometria muito fina, divergindo das lâminas dos outros *trends* (Fig 21).



**Figura 21 - A: Lâmina TF-21-17A de quartzo-sericita-grafita? filito com magnetita ? com possível material grafitoso seguindo a foliação, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lâmina TF-20-17B de quartzo-sericita-grafita? filito com magnetita ? com possível material grafitoso muito fino junto a matriz, nicóis descruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo).**

- *Trend 19*

As lâminas TF-18-17A, TF-18-17B, TF-19-17D e TF-19-17E, foram as descritas para esse *trend*. A rocha é um granada-estaurolita-biotita-grafita-muscovita-quartzo filito com estrutura foliada, textura lepidó-granoblástica, além da ocorrência de textura porfiroblástica devido a presença de granada e estaurolita (TF-19-17E). A mineralogia das lâminas TF-18-17A e B é composta por quartzo (45%), muscovita (40%), opacos (15%), além da presença de granada (muito oxidada). Já na lâmina TF-19-17E além desses minerais, ocorre a associação granada+estaurolita+biotita, evidenciando assim fácies anfibolito e por tanto temperaturas próximas a 600 °C (Fig 22).



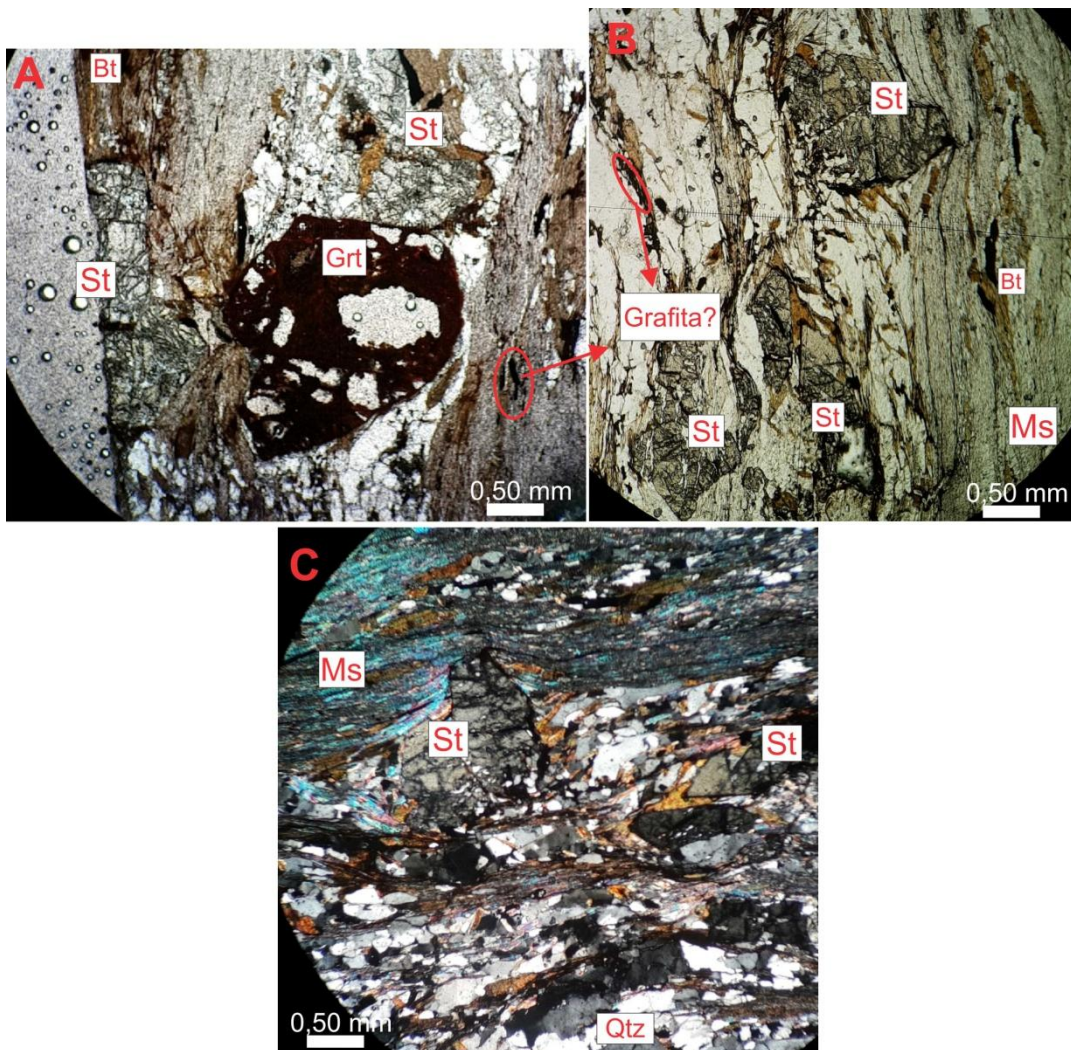


Figura 22 - A e B: Lâmina TF-19-17E de granada-estaurolita-biotita-grafita-muscovita-quartzo filito a nicóis descruzados e aumento de 4x; C lâmina TF-19-17E de granada-estaurolita-biotita-grafita-muscovita-quartzo filito a nicóis cruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo; St = estaurolita; Grt = granada; Ms = muscovita; Bt = biotita).

- *Trend Falha*

As lâminas TF-14-17B, TF-15-17A e TF-16-17 foram descritas para esse *trend*. A rocha é um granada-muscovita-quartzo filito. Apresentam estrutura foliada e textura lepidogranoblástica para as lâminas TF-14-17B e TF-16-17, já para TF-15-17, predomina a grano-lepidoblástica, apresentando por vezes foliação milonítica. A mineralogia em geral é composta por quartzo entre 40-65%, muscovita entre 15-45% e opacos (grafita ?) entre 15-20%. Na lâmina TF-14-17B há sinais da presença de granada, na forma de pseudomorfos, muito alterados e oxidados, porém com fácies parcialmente preservadas (Fig 23).



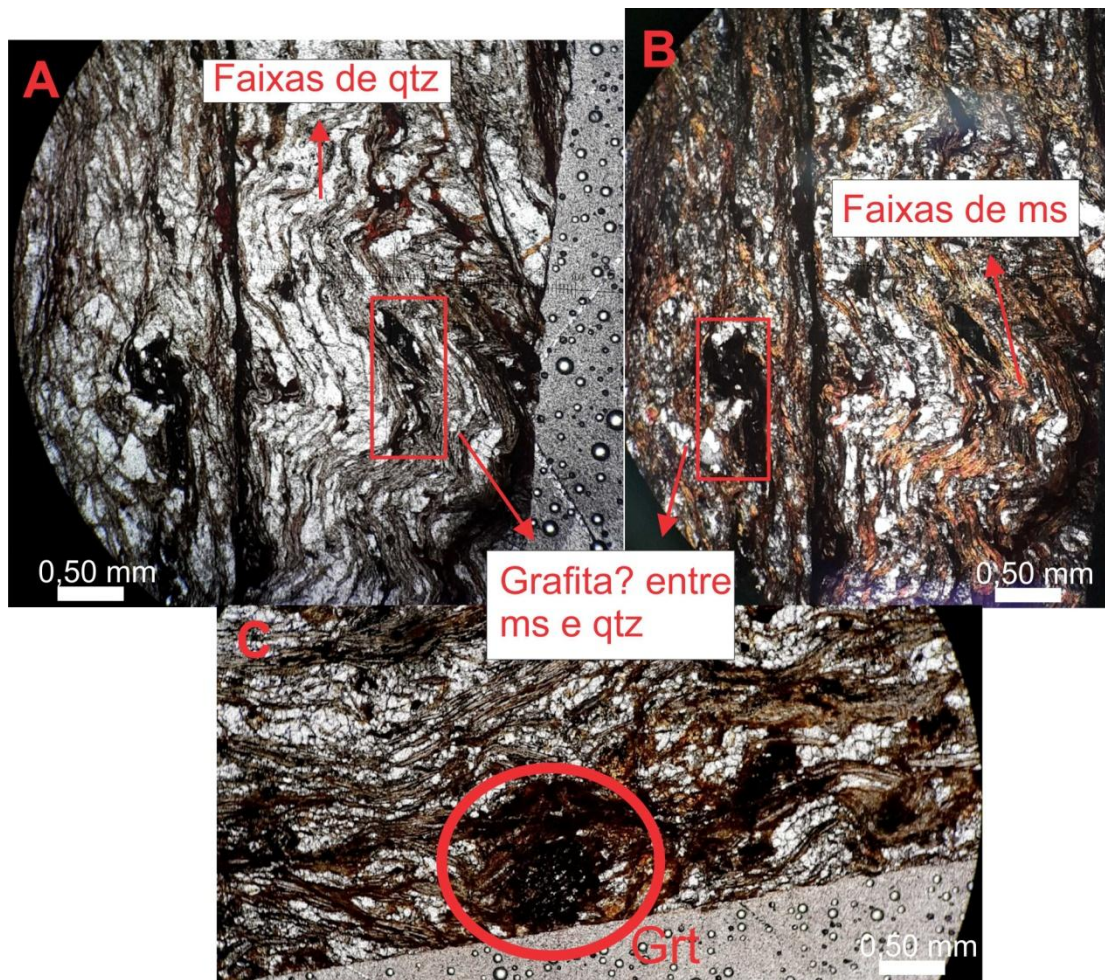


Figura 23 - A: Lâmina TF-15-17A de granada-muscovita-quartzo filito com faixas de qtz alternadas com faixas de ms, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lâmina TF-15-17A de granada-muscovita-quartzo filito com faixas de qtz alternadas com faixas de ms, nicóis cruzados e aumento de 4x; C: lâmina TF-14-17B de granada-muscovita-quartzo filito com provável cristal de grt, nicóis descruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo; Grt = granada; ms = muscovita).

Com as observações das descrições das lâminas providas dos afloramentos é possível notar que o *trend* Paranoá parece não apresentar características semelhantes aos demais *trends*, devido principalmente a granulação, textura e mineralogia. Os *trends* HT23, 19 e Falha, apresentam em geral granulação fina-média e textura grano-lepidoblástica porfiroblástica. Apresentam estaurolita, granada e biotita, que sugere fácies anfibolito. Por tanto, parece que o *trend* Paranoá não pertence a SJ e sim ao Grupo Serra da Mesa, se tratando de filitos carbonosos e não grafita filitos.

#### 7.3.2.2 Testemunhos de sondagem

- Furo exploratório BRJCLDD00016 (198,73 - 200,15 m)

Esse furo de sondagem foi feito nas rochas da base da Sequência Juscelândia. Foi descrito duas lâminas para esse intervalo (A e B), que variam entre regiões com muito quartzo (>50%) sugerindo ser um quartzito ? e outras ricas em hornblenda (>50%), sugerindo ser um anfibolito ?. O quartzo muitas vezes ocorre com feições do tipo *bougem*,



além de faixas com presença de pseudotaquilitos (vários cristais de quartzo emersos em uma matriz afanítica). Também ocorre hornblenda amarelada, sendo que muitas estão alteradas. Com nicóis cruzados é possível observar a cor marcante da hornblenda que pode ser rica em Ti. As feições tipo *bougem* indicam um retrometamorfismo importante para essas rochas. A grafita muito provavelmente ocorre como opacos disformes que muitas vezes aparece em volta dos cristais de quartzo (Fig 24).

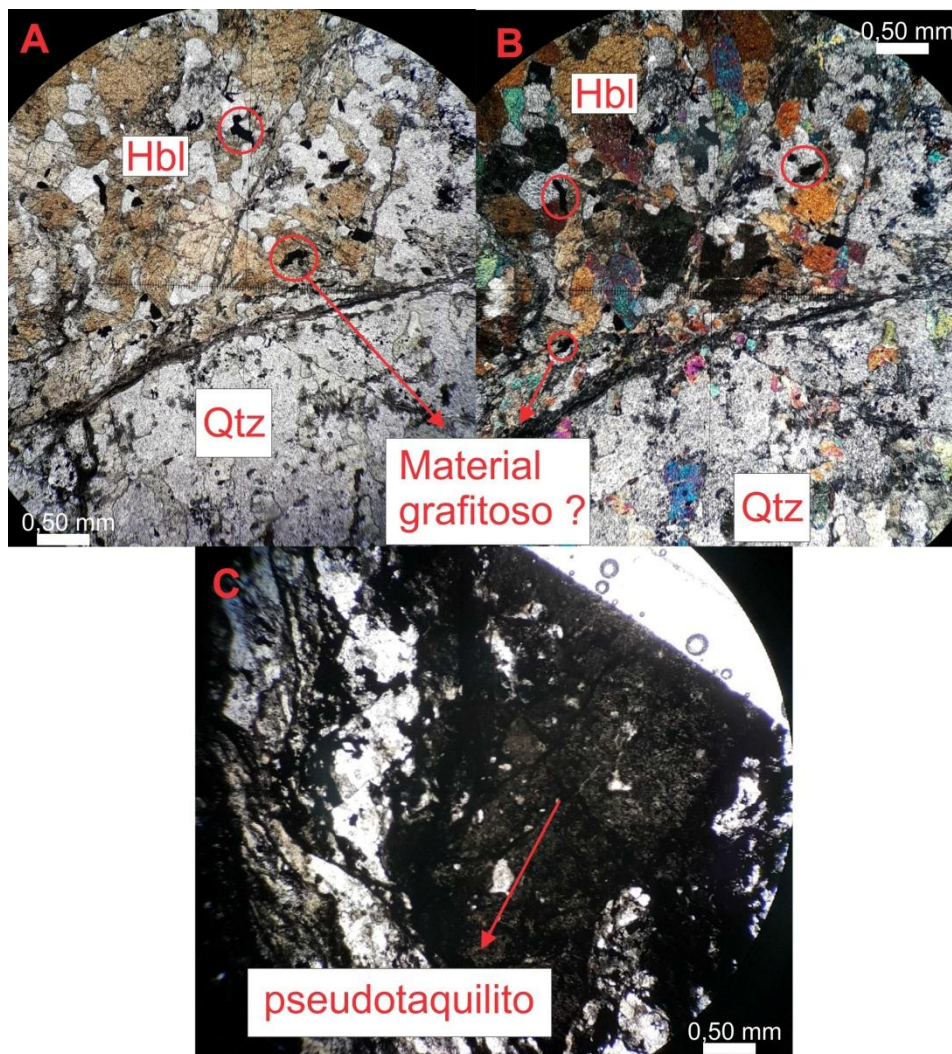
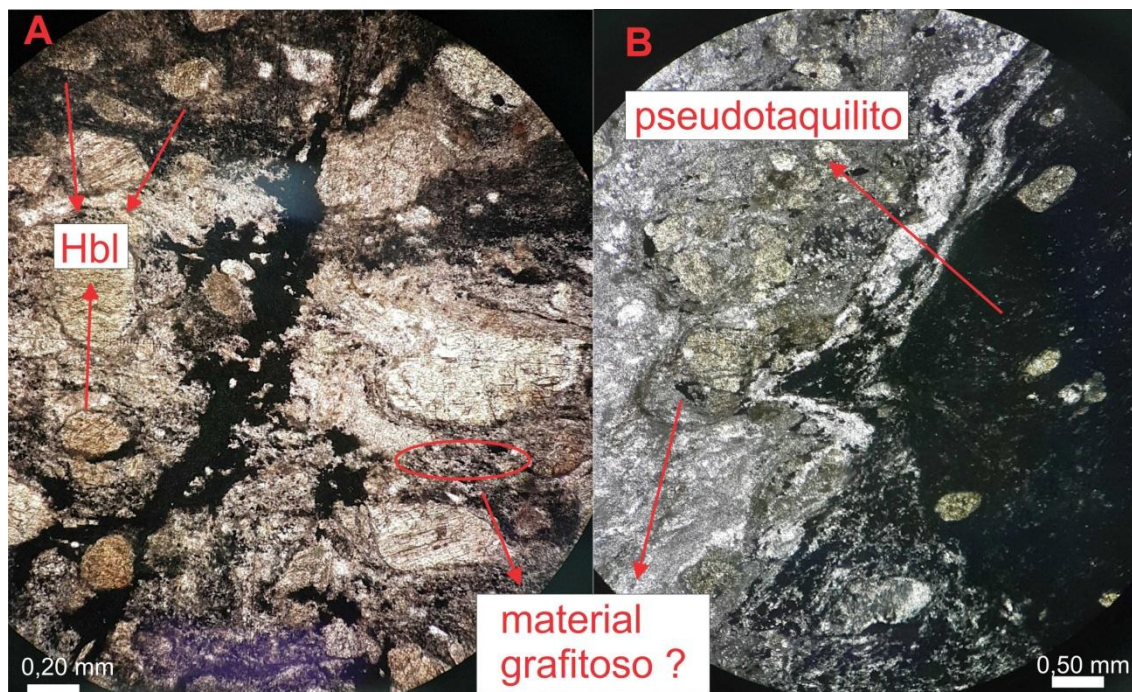


Figura 24 - A: Lâmina 016 (198,73-198,85 m) com porções ricas em hbl e outras ricas em qtz, nicóis descruzados e aumento de 4x; B: lâmina 016 (198,73-198,85 m) com porção rica em hbl e outras ricas em qtz, nicóis cruzados e aumento de 4x; C: lâmina 016 (198,73-198,85 m) com faixa de pseudotaquilito, nicóis descruzados e aumento de 4x (qtz = quartzo; hbl = hornblenda).

- Furo exploratório BRJCLDD00019 (70,80 - 134,53 m)

Para esse intervalo foram descritas seis lâminas, sendo que as quatro primeiras lâminas (70,80 - 98,24 m) são formadas por anfibolitos com grafita e pseudotaquilitos. Os anfibolitos apresentam textura nematoblástica e estrutura foliada. Os cristais de hornblenda possuem em geral entre 0,9 mm à 1 mm e os cristais de quartzo entre 0,025 mm e 0,03 mm. Há presença de uma matriz afanítica amorfa, que provavelmente trata-se de um

pseudotaquilito, que por vezes ocupa quase 50% da lâmina e está discordante com a foliação, além de envolverem tanto cristais de quartzo, quanto de hornblenda. A mineralogia é composta por pseudotaquilito (50%), quartzo (10%), hornblenda (25%), opacos subarredondados e a grafita (10%) que aparece orientada segundo a foliação, muitas vezes junto ao quartzo. O carbonato aparece como vênulas e como aglomerados (5%) e o quartzo apresenta feições tipo *bougem* (Fig 25).

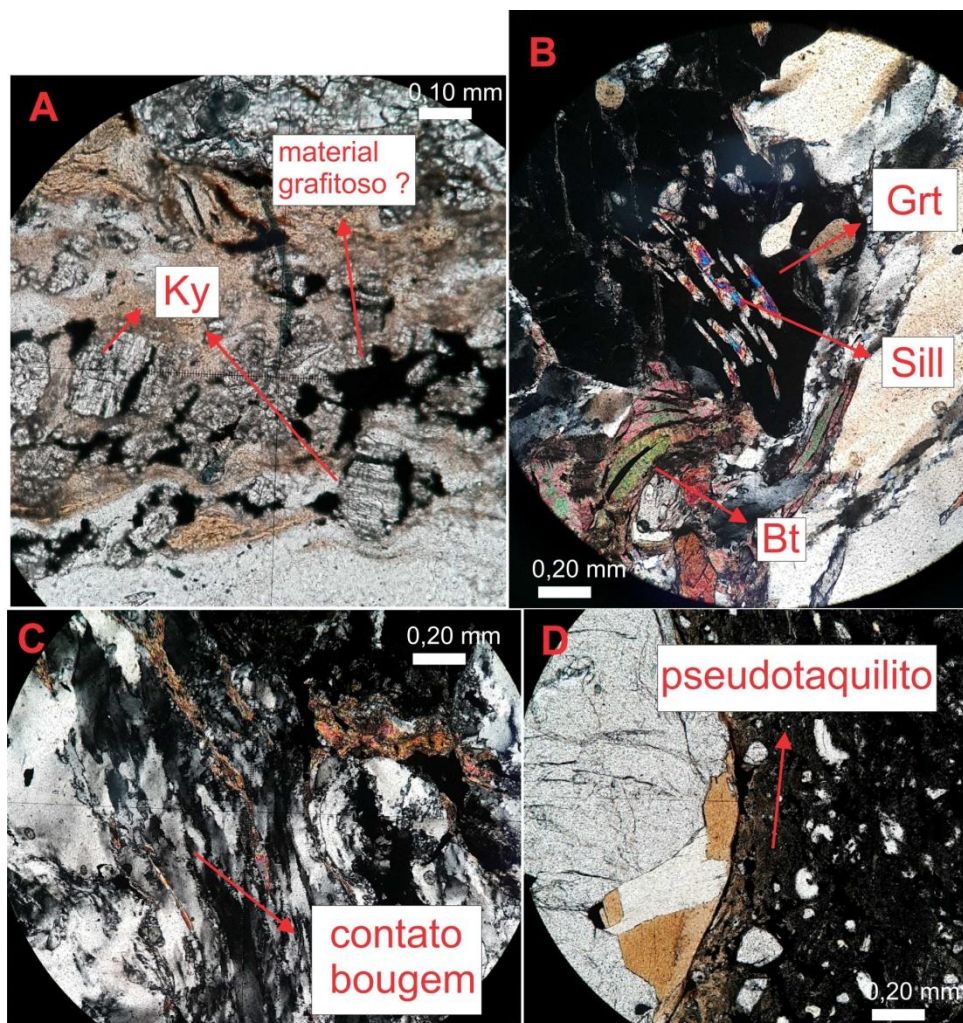


**Figura 25 - A: Lâmina 019B (97,95-98,24 m) com hornblenda e material grafitoso?, nicóis descruzados e aumento de 10x; B: lâmina 019B (70,80-70,93 m) com contato entre a porção rica em hornblenda e o pseudotaquilito, nicóis descruzados e aumento de 4x (hbl = hornblenda).**

As duas últimas lâminas (134,27 - 134,53 m) foram descritas como sillimanita-cianita-biotita-granada quartzito com grafita. Apresenta textura nemato-lepido-granoblástica porfiroblástica. A granulação para o quartzo está entre 0,03 - 5 mm, para granada entre 0,125 - 5,25 mm, para biotita 0,1 mm e para sillimanita entre 0,25 - 1 mm. A mineralogia é composta por quartzo (30%) com feições tipo *bougem*, granada (20%), muito fraturada, com inclusões de quartzo, biotita (25%), cianita (10%), opacos (13%), com presença de cristais subeuédricos e outros amorfos (grafita ?) e por fim sillimanita (2%), que aparece como prismas alongados, muitas vezes como inclusões na granada, além da presença de pseudotaquilitos.

A presença de sillimanita e cianita, mostra que a rocha pode ter chegado a fácies granulito, porém retornou para o campo de estabilidade da cianita. As feições tipo *bougem* sugerem um retrometamorfismo muito intenso até fácies xisto verde (Fig 26).





**Figura 26 - A:** Lâmina 019A (134,27-134,53 m) evidenciando cristais de ky e possível material grafitoso associado, nicóis descruzados e aumento de 20x; **B:** lâmina 019B (134,27-134,53 m) com sill inclusa em grt e presença de bt, nicóis cruzados e aumento de 10x; **C:** lâmina 019A (134,27-134,53 m), com contato tipo bougem, nicóis cruzados e aumento de 10x; **D:** lâmina 019A (134,27-134,53 m) com faixa de pseudotaquilito, nicóis descruzados e aumento de 10x (ky = cianita, sill = sillimanita, bt = biotita, grt = granada).

Foi possível observar nas descrições das lâminas dos testemunhos que tanto as rochas da base da SJ (BRJCLDD00016) e do Complexo Barro Alto (BRJCLDD00019) podem ter sofrido um retrometamorfismo considerável, devido a presença de feições tipo *bougem* que aparecem em todas as lâminas, além da presença de sillimanita inclusa em granada associado com cianita. Outra característica recorrente é a presença de pseudotaquilitos, evidenciando atividade tectônica, como sismos, o que explica a presença da matriz afanítica cortando muitas vezes a foliação da rocha. O fato dessas características estarem presentes em ambas as unidades sugere que esses eventos, tanto retrometamórficos como tectônicos, atingiram toda a região.

Por outro lado, há uma diferença significativa na mineralogia e consequentemente no protolito dessas rochas. As lâminas do furo BRJCLDD00016 (198,73 - 200,15 m) e BRJCLDD00019 (70,80 - 134,53 m) sugerem um protolito máfico, devido a presença de anfibólios e em alguns casos plagioclásio, já o intervalo de 134,27 - 134,53 m do furo

BRJCLDD00019 sugere protolito sedimentar, devido a presença de minerais ricos em Al, como o sillimanita, cianita e granada. As diferenças também ocorrem em relação ao metamorfismo, pois as rochas do furo BRJCLDD00016 parecem ter sido submetidas a temperaturas de fácies anfibolito, ao contrário do furo BRJCLDD00019, em que as rochas aparentam terem sido submetidas a temperaturas de fácies granulito, devido a presença de sillimanita.

Em relação a grafita, esta aparenta estar presente em todas as lâminas de testemunho como opacos amorfos envolvendo cristais de quartzo e em algumas fraturas.

## **7.4 Geoquímica**

### *7.4.1 Geoquímica de solos*

Para a geoquímica de solos foram selecionadas linhas de coleta de solos que cruzam as camadas de grafita filito e as camadas adjacentes, com o intuito de identificar a assinatura geoquímica das regiões de ocorrência dos grafita filitos e em quais locais apresentam as maiores concentrações de metais de interesse para o projeto. A assinatura geoquímica permitiu mapear a camada de grafita filito, utilizando uma função farejadora (soma dos valores normalizados dos elementos que representam quimicamente a camada). Para a análise do conteúdo metalífero, foram utilizados os elementos de interesse para o projeto (Zn, Cu e Pb) e farejadores, como o As, Ag e Fe. Contudo, trata-se de análises de solo, ou seja, material intemperizado e portanto elementos muito móveis como Zn e S podem ter sofrido grande remobilização, alterando os resultados.

#### **7.4.1.1 Elementos formadores da função farejadora para os grafita filitos**

Vários elementos foram testados, porém o U e Mo obtiveram bons resultados junto as camadas de grafita filito, seguido do As. As primeiras observações foram feitas em perfis geoquímicos e seus perfis geológicos correspondentes abaixo. Nessas figuras é possível notar claramente o aumento de U, Mo e As na região de presença dos grafita filitos e como estes mesmos elementos decaem na presença dos anfibolitos ou dos demais litotipos (Fig 27 e 28). Esse comportamento foi observado para todos os *trends*, exceto para o *trend* Paranoá. Esse tipo de comparação não foi possível de ser feita para o *trend* Paranoá, pois as linhas de solo nessa região estão paralelas a direção da camada e por tanto não é possível observar o contraste em relação aos outros litotipos. A correspondência entre o U, Mo e As também é observada com o gráfico de dispersão (Fig 29).



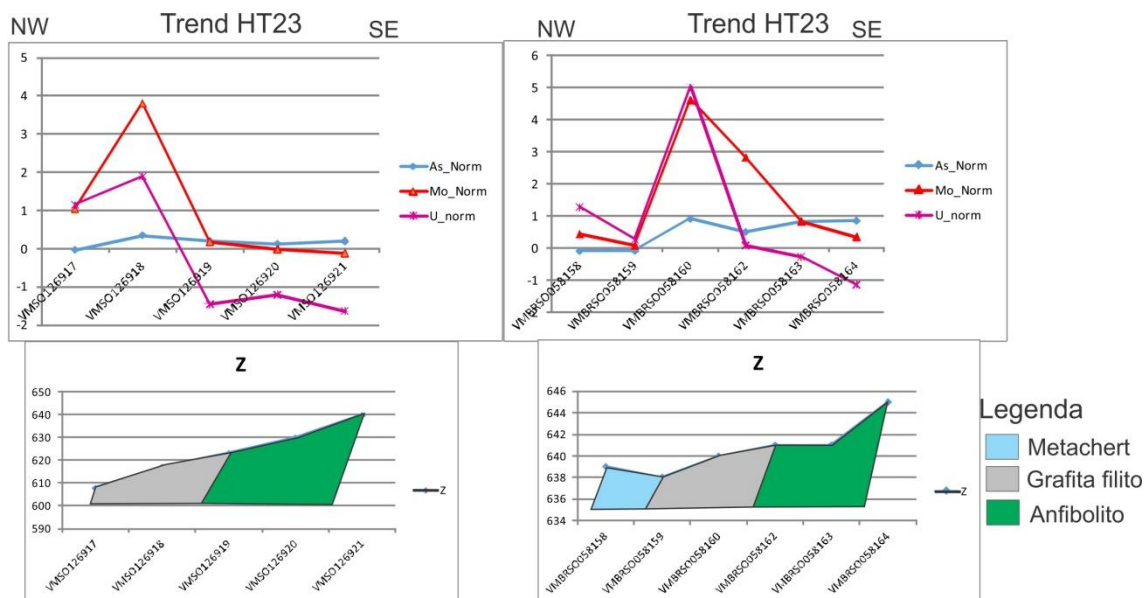


Figura 27 - Perfil geoquímico e geológico do *trend* HT23.

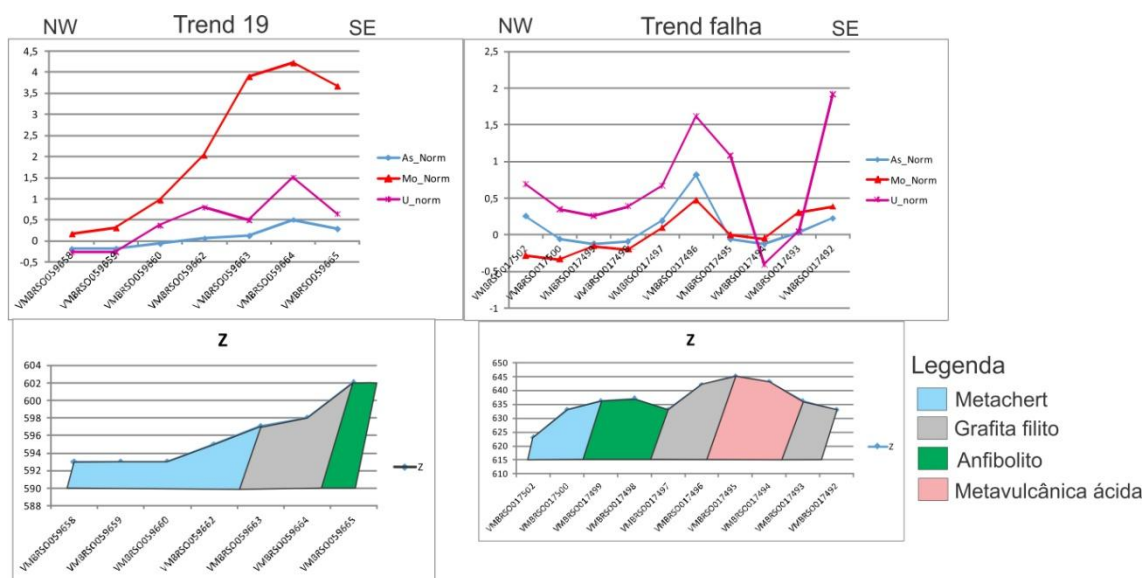
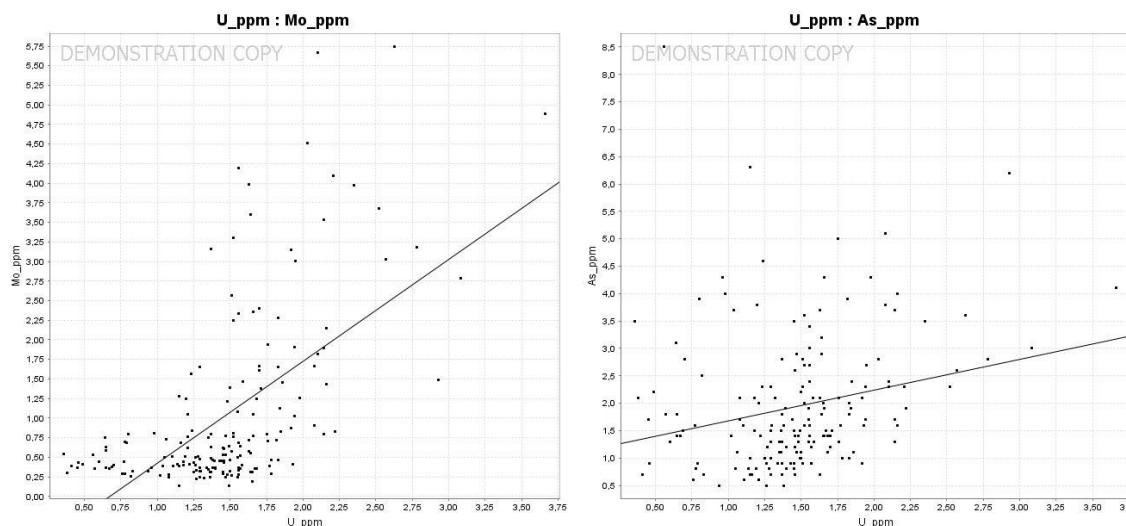


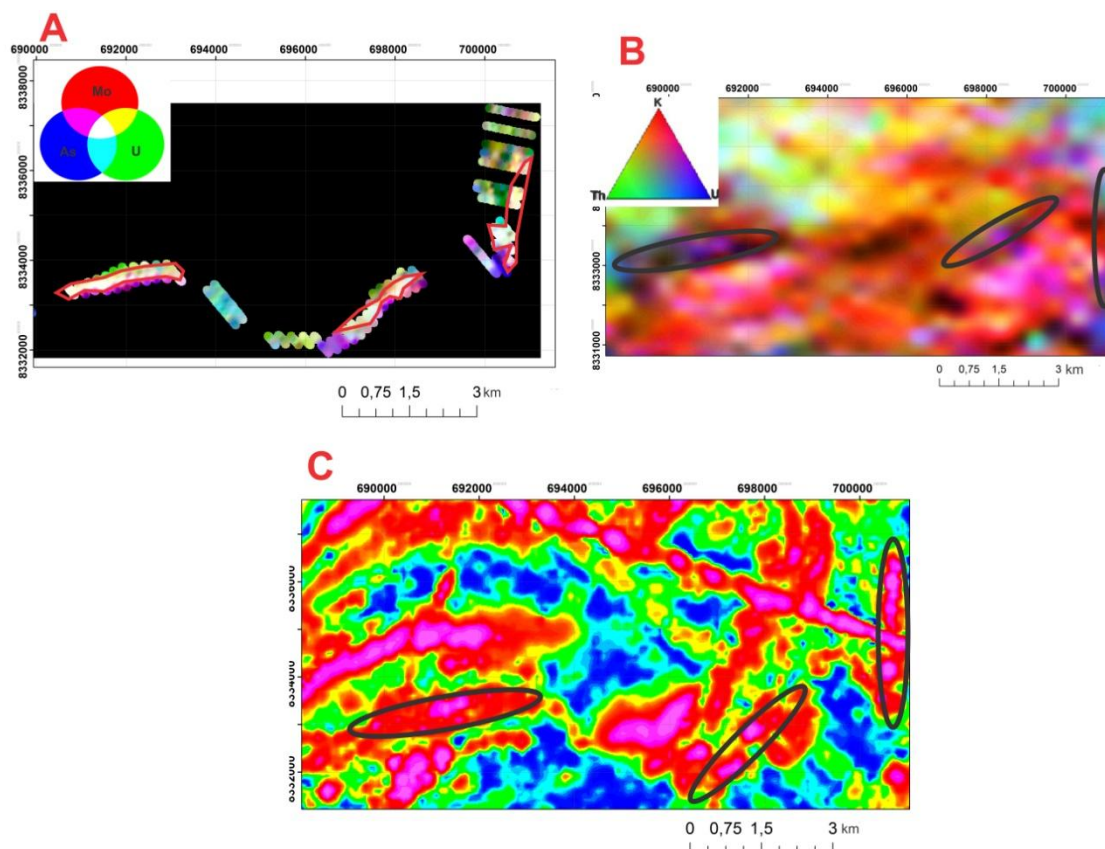
Figura 28 - Perfil geoquímico e geológico dos *trends* 19 e falha.



**Figura 29 - Diagramas de dispersão entre o UxMo e UxAs.**

Após diagnosticar a importância do U, Mo e As para os grafita filitos, foi gerado um *grid* RGB (*Red*: Mo; *Green*: U; *Blue*: As) sendo que a cor branca representa valores com a presença dos três elementos, sendo assim, um guia para delimitar a camada de grafita filito. É possível notar que a cor branca aparece nos três *trends* (HT23, 19 e falha) e está circulada em vermelho, representando a camada de grafita filito.

A assinatura do U como um dos elementos farejadores da camada de grafita filito foi comprovada observando o mapa de gamaespectometria, em que o U é caracterizado pela cor azul. Nesse mapa as regiões em azul se sobrepõem as camadas de grafita filito, que por sua vez, também se sobrepõem com anomalias de condutividade elétrica (EM), característicos da grafita (condutiva). Com essas observações fica claro as principais regiões de ocorrência das camadas de grafita filito pertencentes a Sequência Juscelândia (SJ), como os *trends* HT23,19 e falha (Fig 30).



**Figura 30 - A: Grid RGB (Red: Mo, Green: U, Blue: As) com destaque para as camadas de grafita filito; B: Mapa de gamaespectometria com destaque para as regiões com maior presença de U; C: Mapa de condutividade elétrica com destaque para as regiões com anomalia condutiva que se sobrepõem com as regiões destacadas no grid RGB e gamaespectometria.**

#### 7.4.1.2 Conteúdo metalífero

Para analisar o conteúdo metalífero das amostras de solo na região dos grafita filitos foram selecionados os elementos de interesse, como Zn, Pb e Cu, além dos farejadores como As, Ag, Fe, S e Au. Com a confecção dos *boxplots* desses elementos foi possível perceber que o *trend* HT23 apresenta os maiores valores dos metais, juntamente com o S, seguido pelos *trends* 19 e falha. Já o *trend* Paranoá apresenta os menores valores. Essa tendência é confirmada pelos gráficos de dispersão do S com os metais que apresentam as melhores correlações para o *trend* HT23, sugerindo a presença de sulfetos. Os demais *trends*, em especial o *trend* falha não possuem boas correlações com o S (Fig 31, 32).

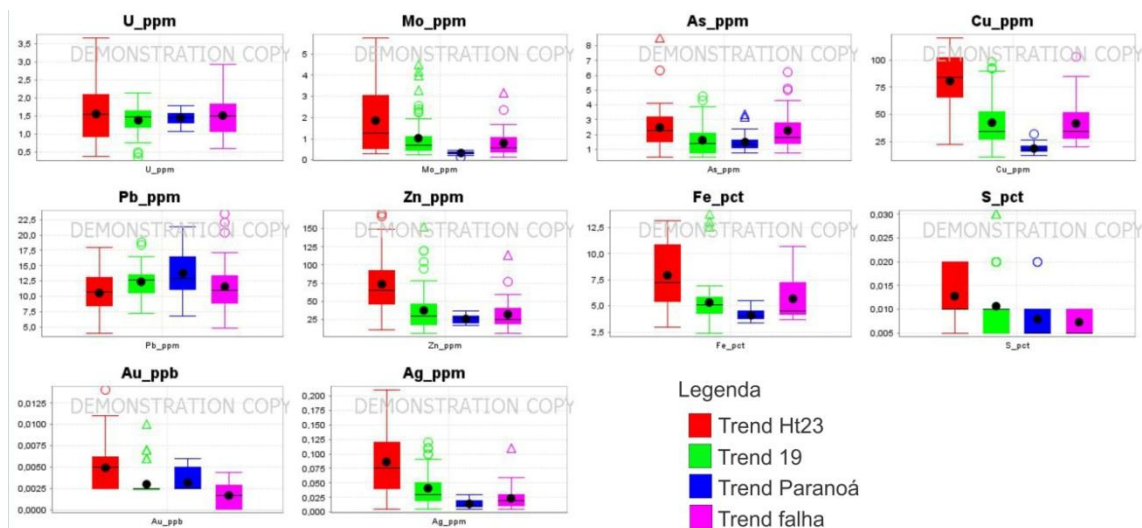


Figura 31 - Boxplots dos metais de interesse e farejadores para os *trends* HT23, 19, Paranoá e Falha.

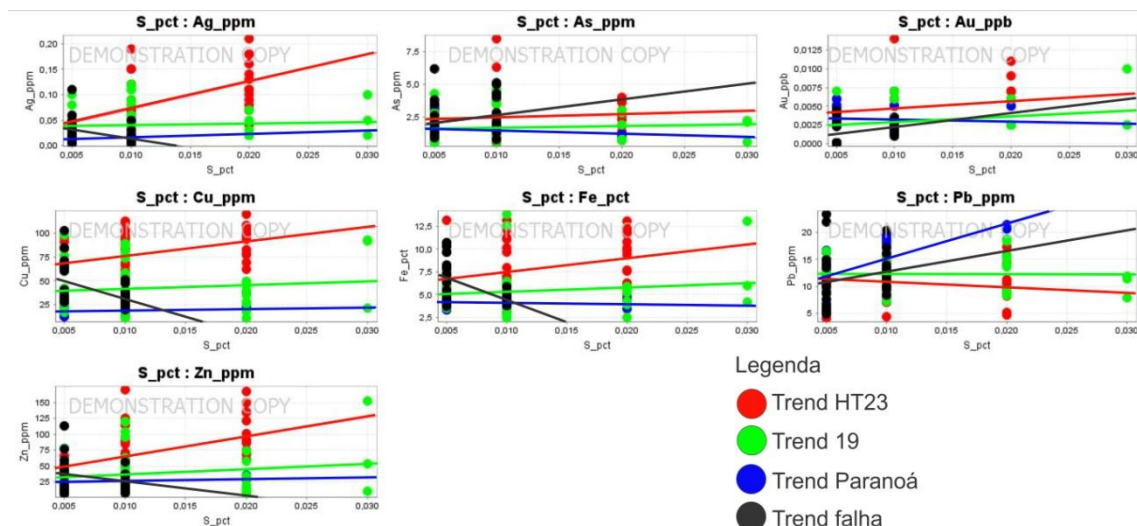


Figura 32 - Gráficos de dispersão entre o S e os metais de interesse e farejadores dos *trends* HT23, 19, Paranoá e Falha.

Observando os metais de interesse e farejadores (Zn, Cu, Pb, As, Ag e Fe) em planta, é possível notar que as maiores anomalias ocorrem no *trend* HT23 (Zn, Cu, As, Ag e Fe), exceto para o Pb, que não possui valores expressivos nessa região (Fig 33). O *trend* falha também aparece com duas anomalias (As e Pb), com correlações positivas com o S (Fig 32). O *trend* 19 apresenta uma anomalia de Fe, porém possui baixa correlação com S.

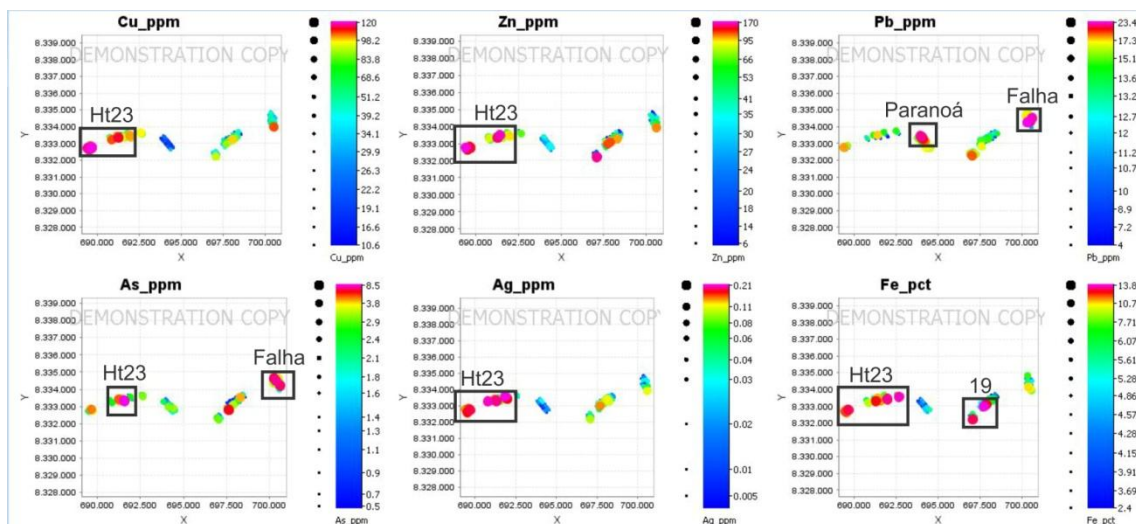


Figura 33 - Mapa de localização das regiões de grafita filito e as anomalias dos elementos de interesse e farejadores.

Com essa primeira avaliação da geoquímica de solos sobre o conteúdo metalífero é possível afirmar que o *trend* HT23 possui mais anomalias e melhores correlações entre o S e os metais, ou seja, é a região mais propícia para a existência de sulfetos (grafita filito mineralizado). A segunda região em anomalias é o *trend* falha.

#### 7.4.2 Geoquímica de rochas

Foram analisadas um total de 30 amostras dos *trends* HT23, 19 e falha. Não foi possível enviar as amostras do *trend* Paranoá, devido ao alto grau de alteração das amostras. Com essas análises foi possível identificar algumas características dos grafita filitos quanto a assinatura geoquímica, condições redox, além do conteúdo metalífero. Também foi feita uma comparação entre os grupos de rochas pouco alteradas e muito alteradas.

Todas as amostras apresentam um grau de alteração significativo, algumas muito alteradas e outras nem tanto (como já mostrado anteriormente no capítulo "tratamento das amostras"). Essa característica torna muitas conclusões comprometidas e passíveis de equívocos, devido a saída e chegada de certos elementos, como Zn, S, Mn, Ca e Na. Portanto é importante que fique claro que os dados e observações mostradas nesse capítulo não são conclusivas, porém ainda sim, podem evidenciar algumas características marcantes em relação ao papel da alteração e como o processo intempérico enriqueceu certas áreas em alguns elementos.



#### 7.4.2.1 Grafita fítilo

Inicialmente, foi possível identificar que os grafita fítilos possuem em geral, porcentagens de carbono menores que 5%. Isso pode significar que essas rochas não foram *black shales* autênticos, segundo a definição de Bate (1987) e Tourtelot (1979). Contudo o metamorfismo, hidrotermalismo e intemperismo podem ter diminuído a quantidade de C presente nessas rochas. Essas rochas podem ter se formado como *black shales*, porém com possíveis alterações, hoje ocorrem com porcentagens de C abaixo dos 5%. A figura abaixo mostra que há variações nas porcentagens de C em relação aos *trends*, sendo que os maiores valores estão na porção central do *trend* HT23 e 19. O C possui boa correlação com elementos terras raras (ETR), como o Dy, Er, Lu e Nb. Esse comportamento denota uma afinidade da matéria orgânica com os ETR (Fig 34, 35).

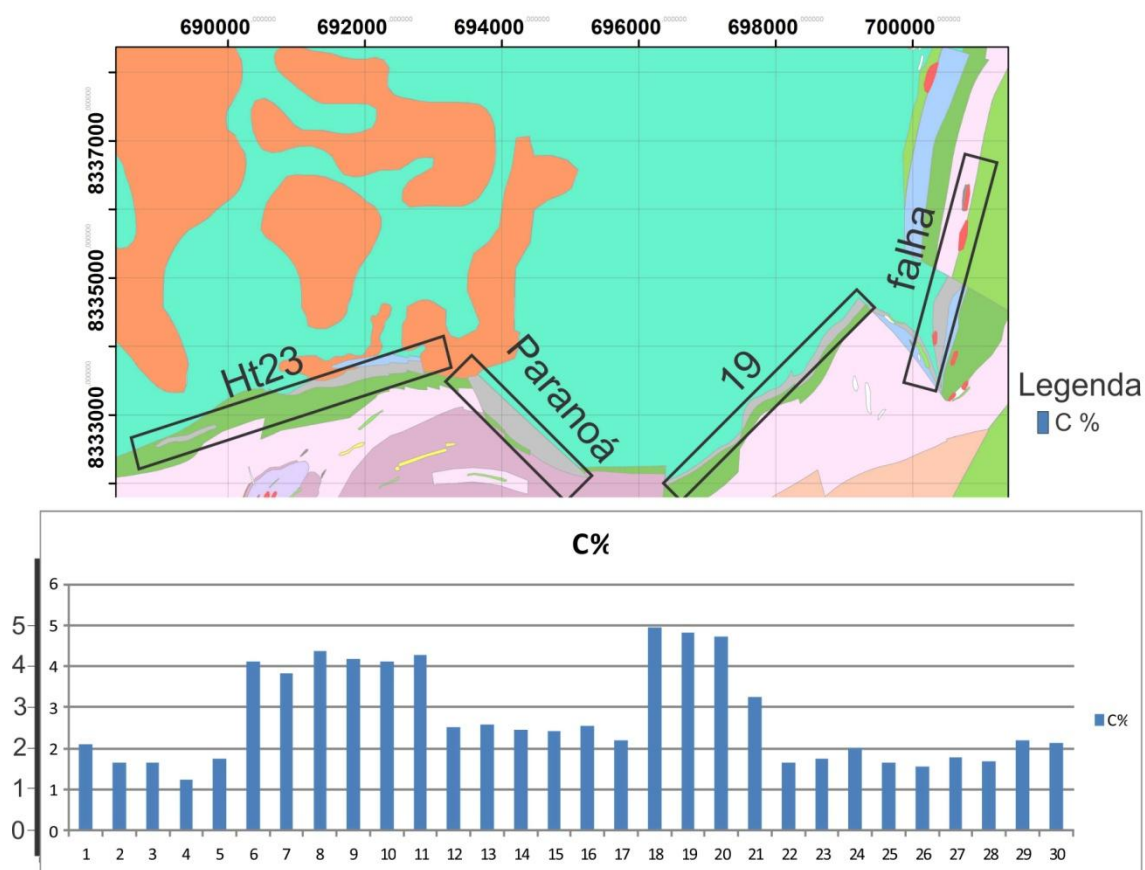
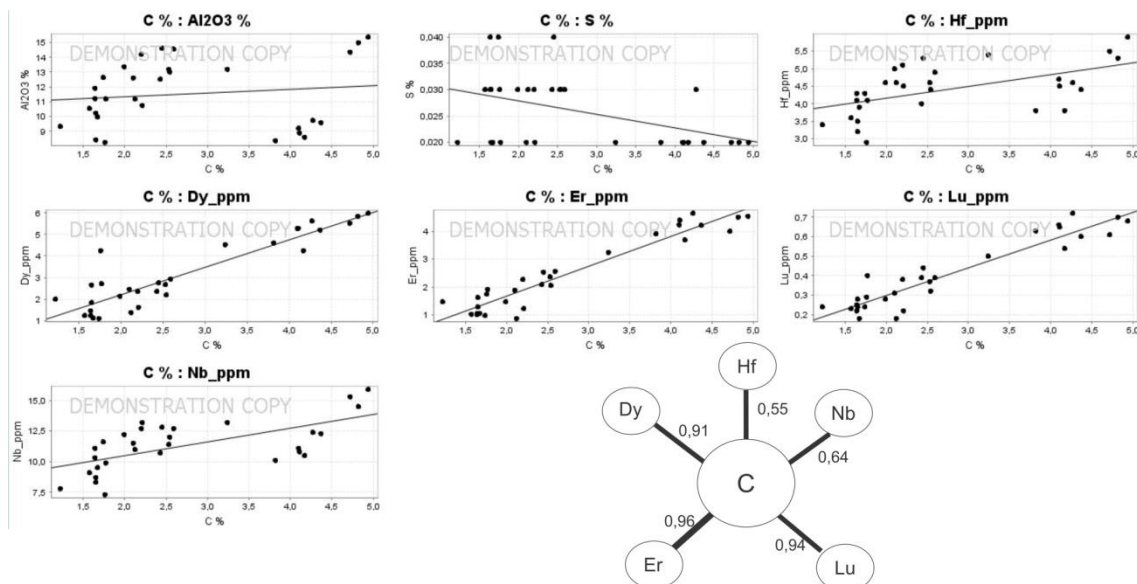
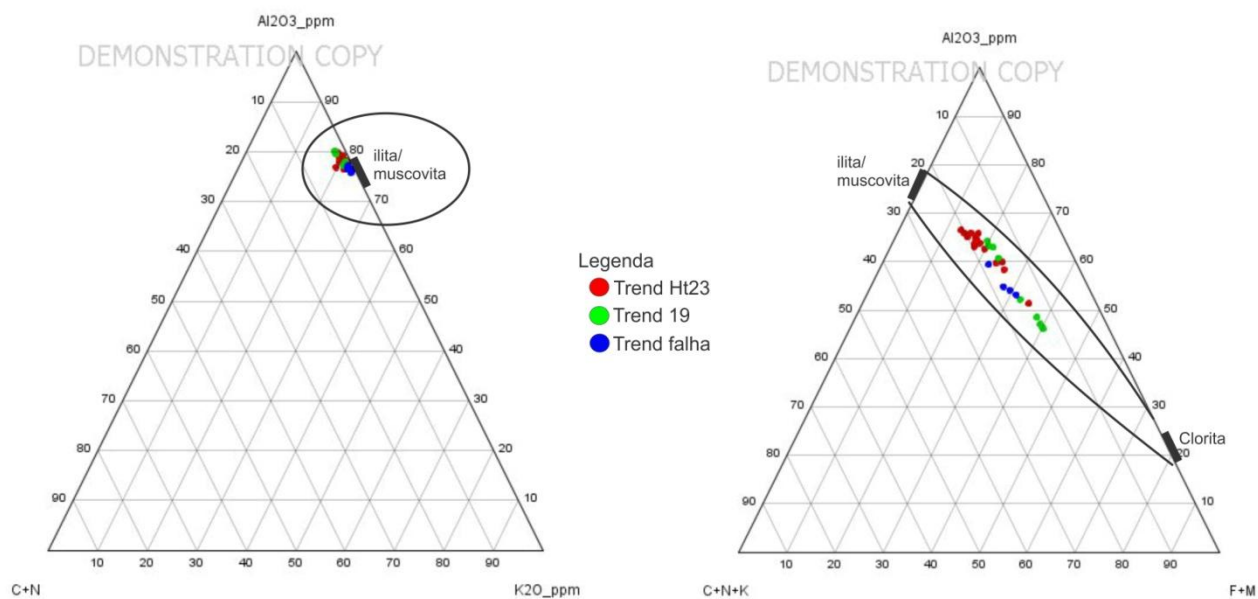


Figura 34 - Localização dos *trends* e porcentagens de C ao longo de cada *trend*.

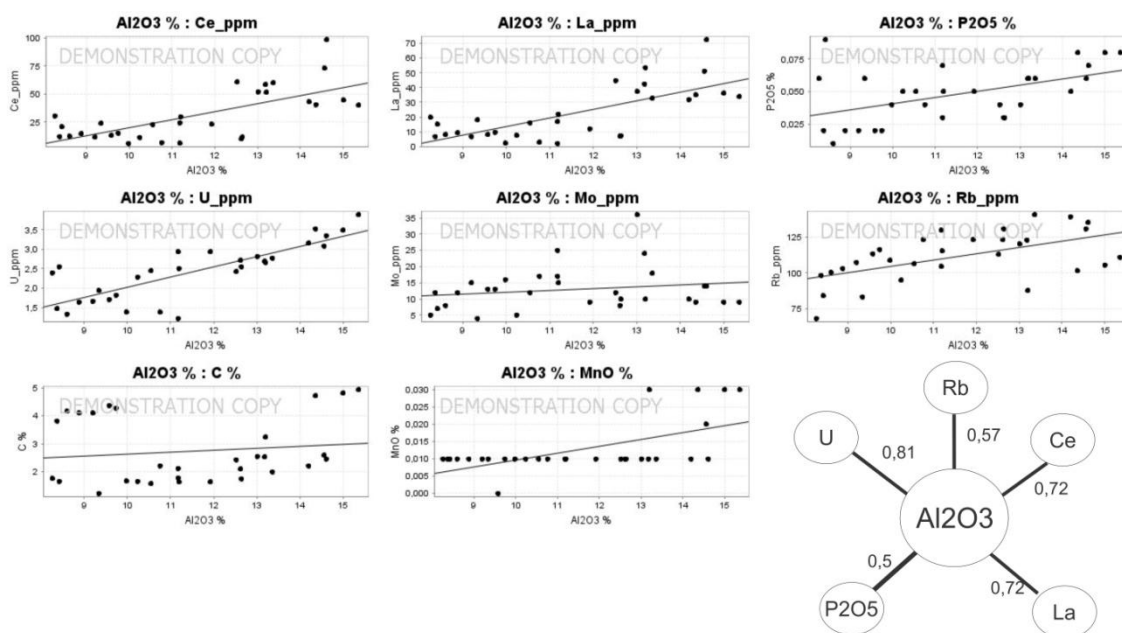


**Figura 35 - Gráficos de dispersão entre o C e o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, Hf, Dy, Er, Lu, Nb e seus coeficientes de correlação na porção inferior da imagem.**

O Al possui grande importância nessas rochas se comparado a outros elementos maiores como o Ca, Na e K. Na observação dos diagramas ternários A (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) - CN (CaO+Na<sub>2</sub>O) - K (K<sub>2</sub>O) e A (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) - CNK (CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) - FM (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO) é possível observar a menor quantidade de Ca, Na e K, enquanto que há maior quantidade de Al, Fe e Mg. Isso pode indicar presença de muscovita como mica predominante, além de provável ilitização do feldspato e cloritização, o que seria evidência de alteração hidrotermal, ou ainda resultado da ação intempérica, que tende a lixiviar o Ca e Na (Sáez *et al.*, 2011). A maior presença do Al nessas rochas se mostra recorrente em todos os *trends*, bem como a presença de Ce, La, U, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Rb, que de modo geral, também estão bem correlacionados com o Al, evidenciando mais uma vez a importância dos ETR e o contexto sedimentar que essas rochas foram formadas, devido a presença de U e Rb principalmente. A boa correlação entre Ce, La e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sugere a presença de monazita ((La, Ce, Nd, Th)PO<sub>4</sub>) (Fig 36, 37).



**Figura 36 - Diagramas ternários  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - CN ( $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ ) - K ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - CNK ( $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) - FM ( $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ ), com destaque para possível presença de muscovita e possível processo de cloritização (Sáez *et al.*, 2011).**



**Figura 37 - Gráficos de dispersão entre o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e o Ce, La,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , U, Mo, Rb, C, MnO. Diagrama com os coeficientes de correlação no canto inferior direito.**

Sedimentos expostos a ambientes anóxicos com  $\text{H}_2\text{S}$ , baixo  $\text{O}_2$  e matéria orgânica são suscetíveis a formar compostos orgânometálicos e sulfetos, com o devido aporte de metais para o sistema. Por tanto, uma boa correlação entre o S e os metais é um indicativo de condições redutoras no ambiente (Sáez *et al.*, 2011). Os gráficos de dispersão mostram a correlação positiva entre o S e alguns metais, em especial o V, As, Cu e Fe (exceto para o Zn). Outro fator que pode ser usado como diagnóstico de ambiente redutor são as razões de



V/Cr que tendem a ser altas e as de V/(V+Ni) que ficam acima de 0,5 (Jones e Manning, 1994). O gráfico indica que todas as amostras estão acima da interface redox, evidenciando um ambiente anóxico na formação dessas rochas.

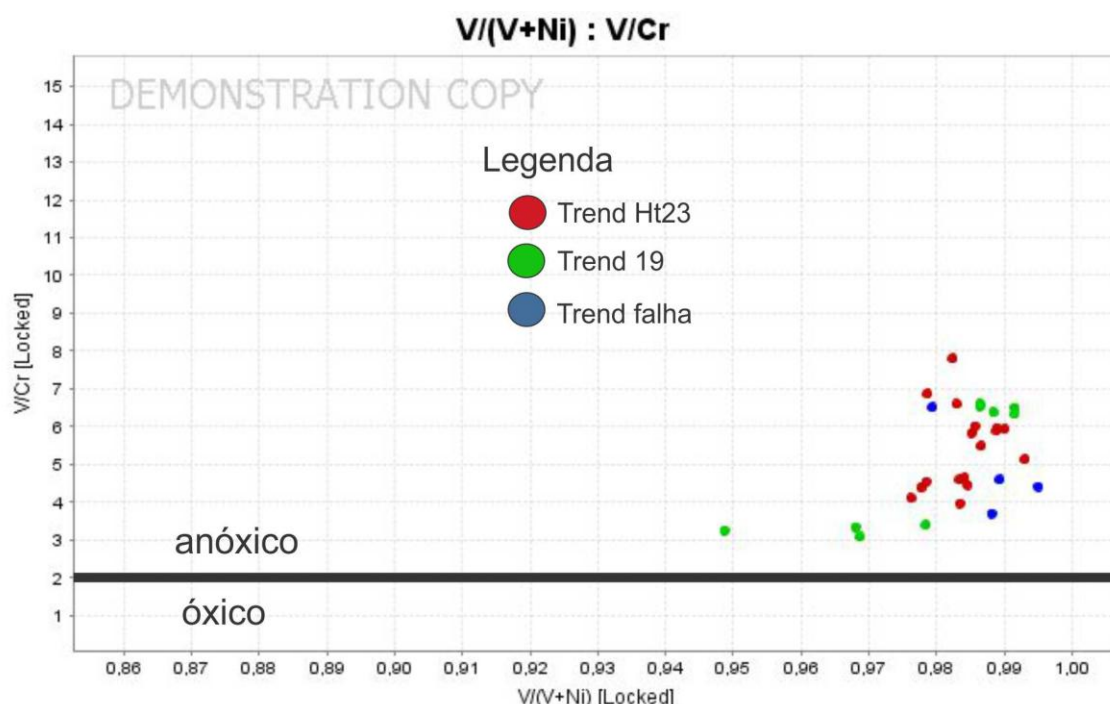


Figura 38 - Gráfico de dispersão entre as razões V/(V+Ni) e V/Cr (Jones e Manning, 1994).

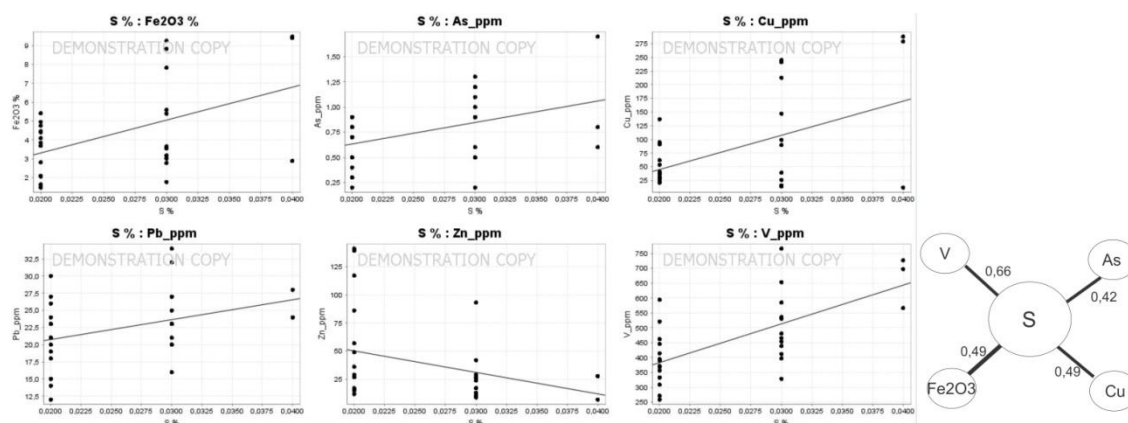


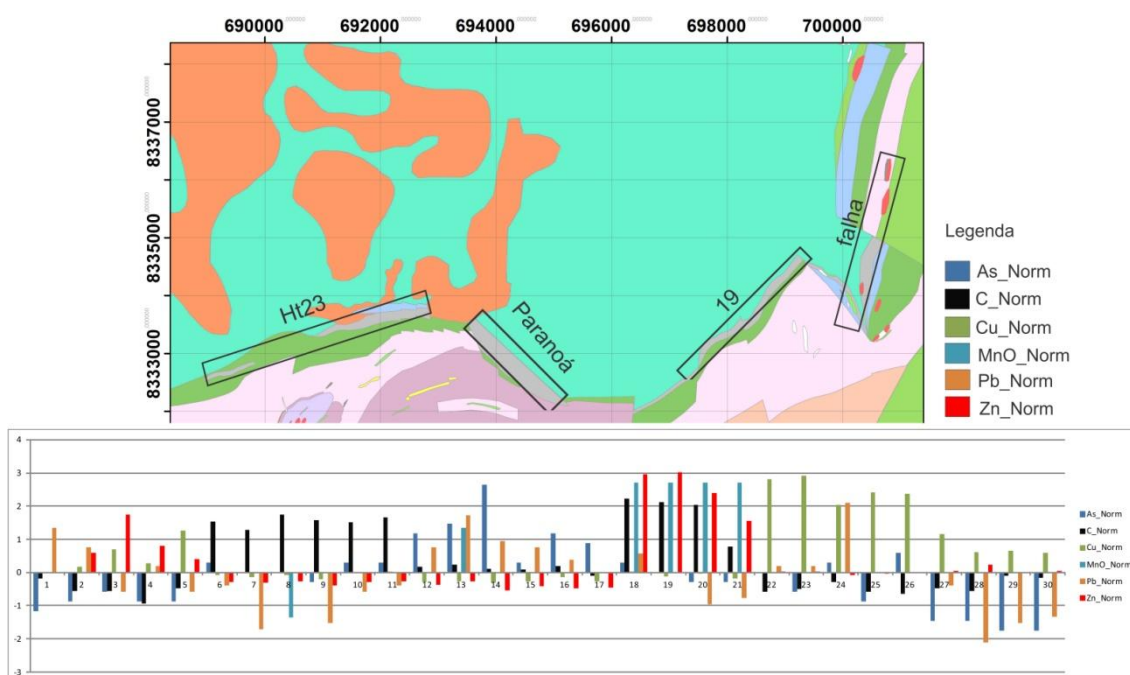
Figura 39 - Gráficos de dispersão entre o S e o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e alguns metais como As, Cu, Pb, Zn e V. Diagrama com os coeficientes de correlação no canto inferior direito.

A afinidade do C e Al com os ETR e metais, como Dy, Er, Ce, La, V, As, Cu e Fe, além do alto valor da razão V/Cr, sugere grafita filitosa metalífera e ambiente anóxico para sua formação, mostrando um contexto típico para formação dessas rochas, como já mencionado no capítulo "*Black shales* e seu conteúdo metalífero". O Mo que ocorreu em altas quantidades no solo como marcador das camadas de grafita filito, não teve valores expressivos e nem boas correlações com o U, Al, C e Rb na litogeoquímica. Isso pode

sugerir que houve um enriquecimento supergênico em Mo no solo, ou seja, o elemento foi lixiviado dos grafita filitos e agora está em maiores concentrações no solo.

#### 7.4.2.2 Conteúdo metalífero

Há diferenças importantes observadas em relação ao conteúdo metalífero nos grafita filitos, como variações na quantidade de metais ao longo da camada. Assim, é possível perceber que as diferenças ocorrem entre os *trends* e dentro do próprio *trend*. Em alguns trabalhos científicos como o de Large *et al.* (2001) e Almeida (2009), a maior quantidade de C está associada com maior presença de metais. Isso não ocorre nas rochas dessa área, sendo que o único metal que parece responder a presença de C é o As, os demais possuem comportamentos contrários a presença do C, como o Zn, Pb e Cu. Também é possível notar o aumento de MnO e Zn na região do *trend* 19 (Fig 40).



**Figura 40 - Mapa de localização dos *trends* com a variação de C, MnO, As, Cu, Pb e Zn ao longo das camadas.**

O que é possível notar com a observação dos *boxplots* (divididos em *trends* e em grau de alteração) é que o *trend* 19 apresenta as maiores quantidades de Zn, Cu e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2 à 3 vezes maiores que o *trend* HT23), porém também possui a maior quantidade de MnO. O *trend* 19 foi classificado em campo como rocha muito alterada e isso pode ser comprovado pela alta presença de MnO, que por sua vez possui a propriedade de adsorver elementos para si, o que explicaria a maior quantidade de Zn. Esse processo pode ter causado um

enriquecimento de 4x para o Zn em relação ao *trend* HT23. Por tanto, o Zn pode não estar formando sulfetos, pois também possui correlação negativa com o S, além de apresentar correlação positiva com o MnO. Já o Cu pode estar presente como calcopirita, pois possui uma correlação positiva com o S e correlação negativa com o MnO. A maior quantidade de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nessa região pode estar evidenciando um processo de laterização, que foi observado em campo nas regiões dos *trends* 19 e falha e que correspondem as regiões com maior grau de alteração (Fig 41, 42, 43 e 44).

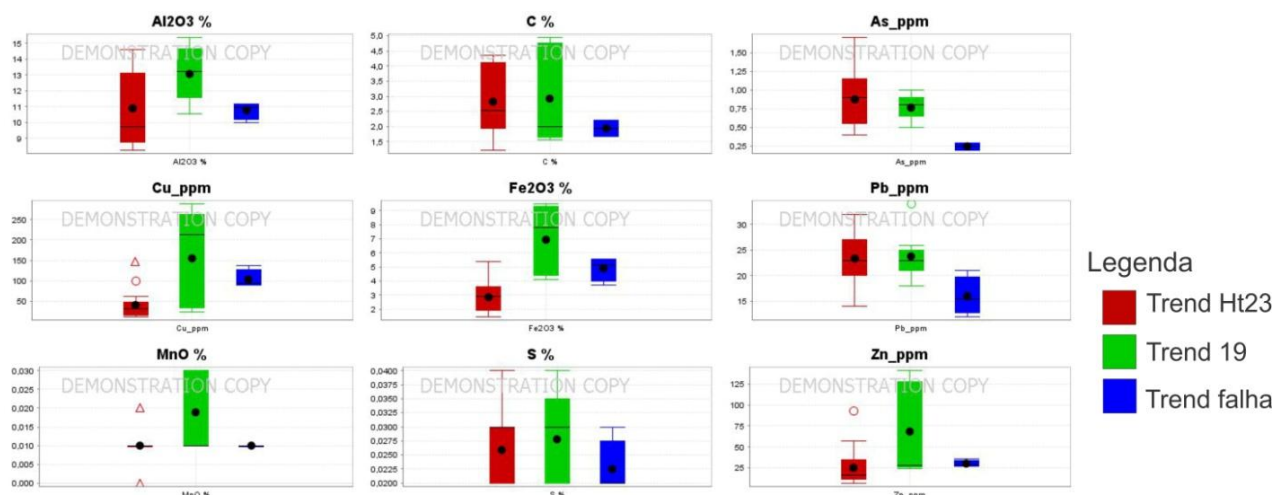


Figura 41 - Boxplots do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, As, Cu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb, MnO, S e Zn, para os *trends* HT23, 19 e falha.

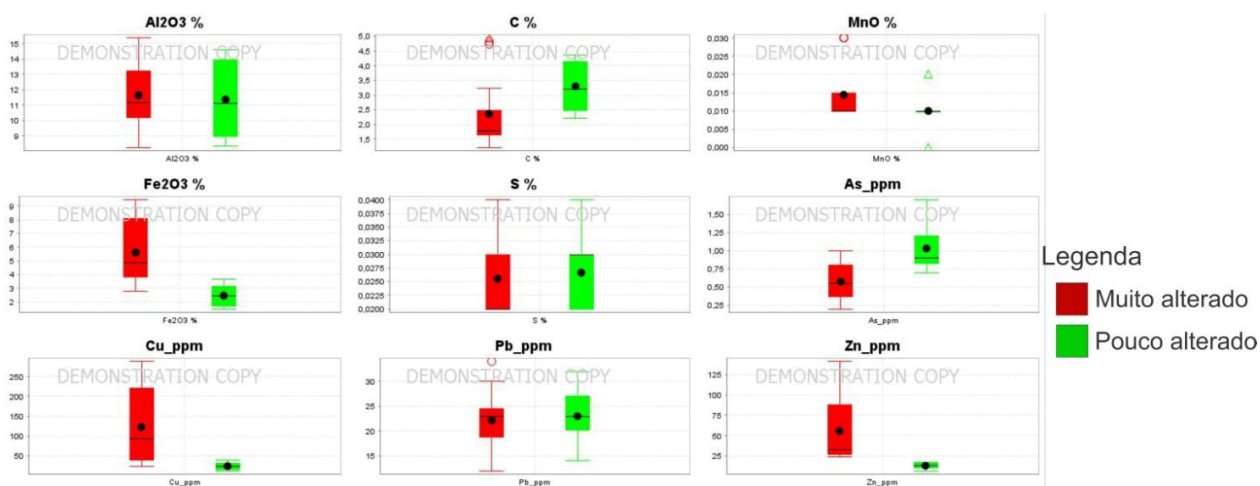


Figura 42 - Boxplots do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, As, Cu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb, MnO, S e Zn para as rochas muito e pouco alteradas.

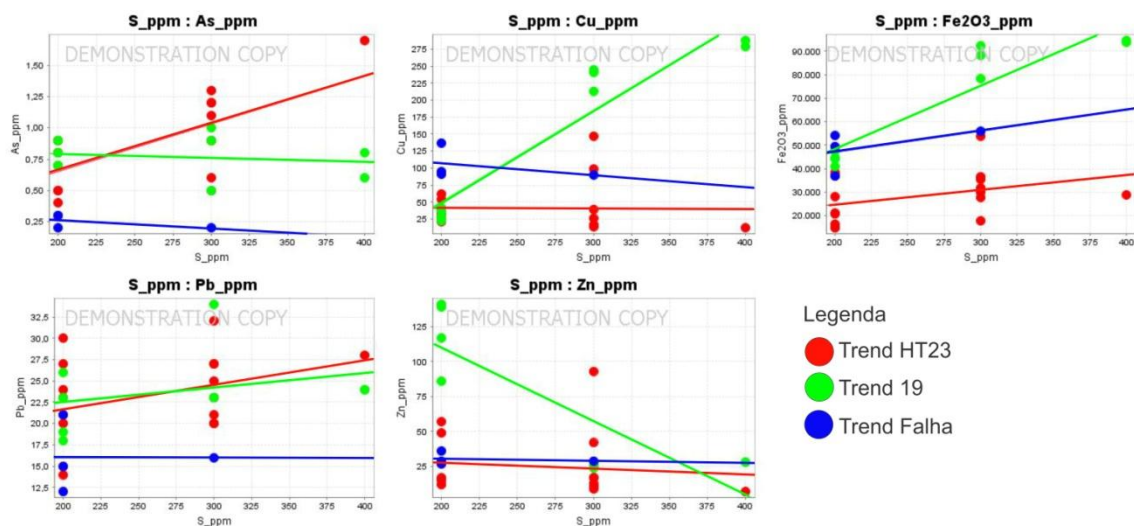


Figura 43 - Gráficos de dispersão entre o S e os metais de interesse e farejadores para os *trends* HT23, 19 e Falha.

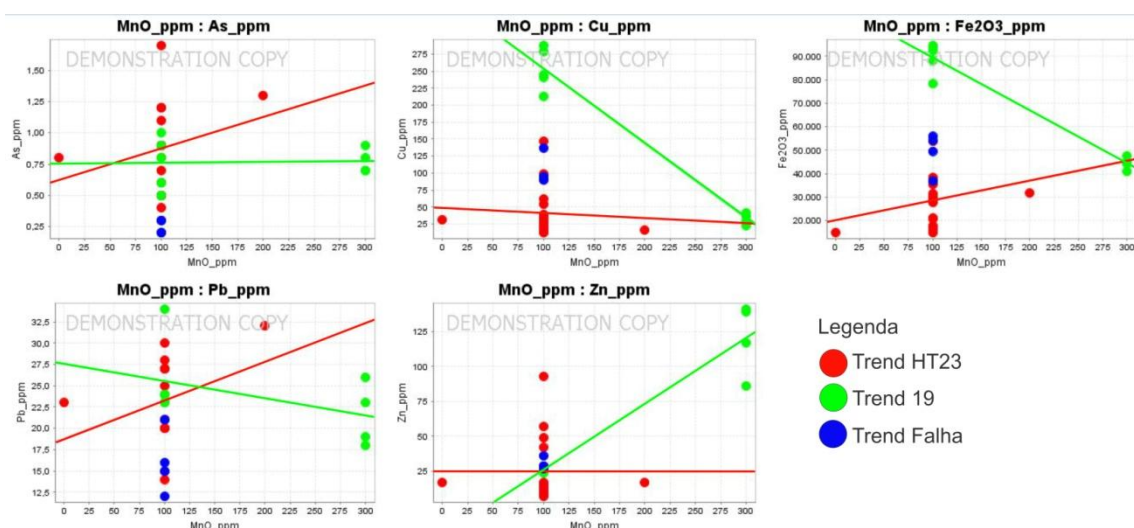


Figura 44 - Gráficos de dispersão entre o Mn e os metais de interesse e farejadores para os *trends* HT23, 19 e Falha.

Para o As, Cu, Pb e Zn o *background* é 0,8 ppm, 38,5 ppm, 23 ppm e 27 ppm respectivamente. Portanto, a ocorrência de anomalia geoquímica (valores acima do *background*) para o *trend* HT23 foi de As, Cu e Pb, para o *trend* 19 foi de Cu, Pb e Zn e para o *trend* falha foi somente de Cu. Apesar do *trend* 19 conter essas anomalias, como já mencionado anteriormente, pode não ser uma região potencial para presença de esfarelita, devido seu alto grau de alteração e consequentemente altos valores de MnO, que estaria adsorvendo o Zn para si. Já o *trend* HT23 apresenta anomalias mais fracas de As, Cu e Pb, porém possui melhor correlação entre os metais e o S, além de estar menos alterado. Por fim, o *trend* falha apresenta somente o Cu como anomalia, porém esse metal apresenta correlação negativa com o S, além de estar em uma área com grau de alteração elevado observado em campo.

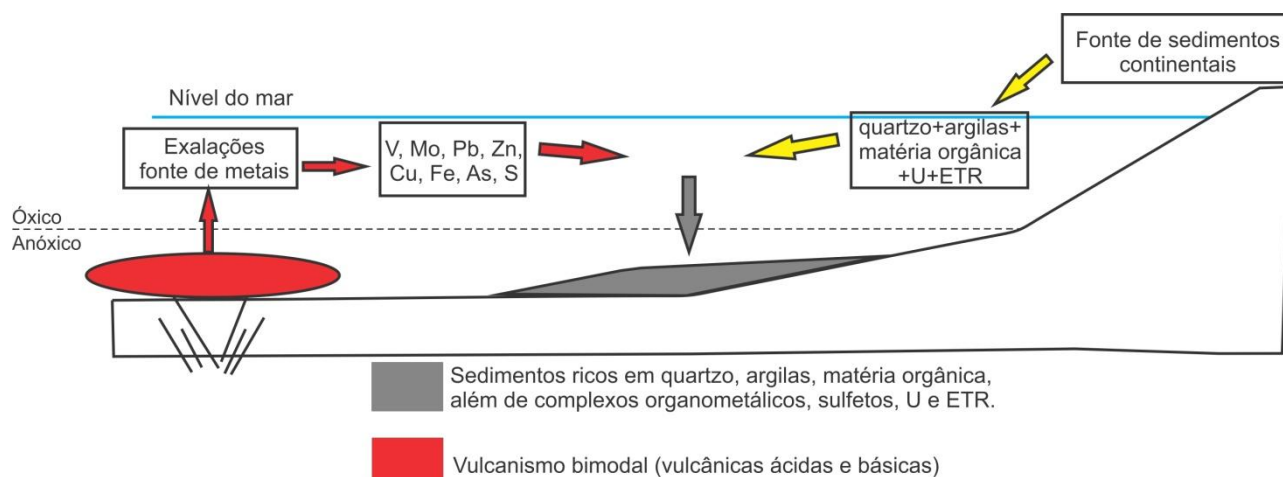
Complementando a geoquímica de solos, o *trend* com maior potencial para conter um grafita filito mineralizado é o HT23, que apesar de conter anomalias mais fracas que o *trend* 19, apresenta melhores correlações com o S e está pouco alterado. O *trend* 19 está muito alterado e possui altas concentrações de MnO, o que pode explicar altos valores de Zn. Já o *trend* falha, apesar de conter altos valores de Cu, está muito alterado e não apresenta boas correlações com o S.

#### 7.4.2.3 Possível modelo de formação do protolito dos grafita filitos

Após as observações geoquímicas, foi possível concluir que os metais estão presentes nas camadas de grafita filito, e que a formação dessa rocha, como um protolito sedimentar com presença de matéria orgânica, quartzo e argilas se deu em um contexto onde havia aporte desses metais e também de sedimentos terrígenos. A associação com metavulcânicas ácidas e básicas, sugere que houve um evento vulcânico próximo a deposição desses sedimentos. A atividade vulcânica deve ter sido a fonte de metais e enxofre para o sistema através de exalações, que por sua vez devem ter formado plumas metalíferas que se deslocaram em direção a deposição dos sedimentos da SJ. Os metais presentes nessas plumas metalíferas, como o V, Mo, Pb, Zn, Cu, Fe e As estavam em solução na água do mar (ambiente óxico) e se juntaram com a matéria orgânica, formando complexos organometálicos ou precipitaram como sulfetos se ligando ao S, abaixo da fronteira redox (ambiente anóxico). A formação dessas rochas em ambiente anóxico foi observada com as razões de V/Cr e V/(V+Ni) e com correlações positivas entre alguns metais e o S.

O aporte sedimentar continental teve grande influência na formação do protolito, pois é possível notar nos grafita filitos grande presença de quartzo e muscovita, que por sua vez é rica em Al. O U, ETR e C possuem correlação positiva com o Al, sugerindo que esses elementos e a matéria orgânica podem ter chegado através de aporte continental e não das exalações (Fig 45).

Esse contexto está concordante com a evolução mostrada na bibliografia por Ferreira Filho *et al.* (2010) à aproximadamente 1,25 Ga para as rochas da SJ. Esse contexto se aproxima mais de VMS como modelo prospectivo, tendo uma fonte de exalações de metais, associada com vulcanismo e deposição de sedimentos em bacia oceânica.



**Figura 45 - Possível modelo para formação do protólito dos grafita filitos.**

## 8. RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

As descrições geológicas permitiram identificar inicialmente a diferença entre os grafita filitos da porção superior da Sequência Juscelândia e o material grafitoso presente nos testemunhos de sondagem. Essa diferença foi observada nas descrições macroscópicas, onde é nítido que o material grafitoso presente nas rochas da SJ faz parte da sua formação, ou seja, deposição da matéria orgânica junto com material terrígeno (sílica) e argiloso, diferentemente do material grafitoso que ocorre nos testemunhos de sondagem, que aparece em fraturas, zonas de falhas e vênulas, claramente como um material que se instalou depois da formação da rocha hospedeira, que em geral são anfibolitos e sillimanita-granada quartzitos. Também ocorrem diferenças entre os afloramentos da porção superior da SJ e devido a isso essa foi dividida em *trends* (HT23, Paranoá, 19 e Falha), que são limitados por falhamentos que ocorrem na região. A principal diferença observada foi em relação ao grau de alteração, que pode ter grande impacto na mobilização dos elementos e por isso os afloramentos foram divididos em pouco alterados e muito alterados.

Apesar das diferenças observadas nas descrições geológicas, a geoquímica de solos demonstrou que o U e Mo estão sempre presentes como anomalia nas camadas de grafita filito, para todos os *trends*. Também ocorrem picos de As, porém é mais sutil que o U e Mo. Esses três elementos permitiram a criação de uma função farejadora litológica, facilitando a delimitação das camadas de grafita filito. Isso foi confirmado com o mapa de gamaespectrometria e condutividade elétrica. Com os mesmos dados da geoquímica de solos foi possível identificar que o *trend* HT23 apresenta mais anomalias dos metais de interesse e farejadores (Zn, Cu, Fe, Ag e As), seguido do *trend* falha (As e Pb).

Já os dados da litogeoquímica mostraram que os grafita filitos possuem boa correlação com os ETR. A comparação entre os elementos maiores (Al, Na, Ca e K), além



do Fe e Mg, evidenciou a ocorrência de alguma alteração hidrotermal ou intempérica. Há maior presença do Al, Fe e Mg e menor presença de Ca, Na e K. Essa característica sugere a presença de muscovita ou possível processo de ilitização do feldspato. No diagrama incluindo o Fe e Mg, nota-se um *trend* entre a muscovita e clorita, que pode ser interpretado como cloritização. O gráfico que inclui as razões V/Cr e V/(V+Ni) mostra um ambiente anóxico na formação dessas rochas. Essa informação é complementada com coeficientes de correlação positivos entre o S e alguns metais que por sua vez também podem evidenciar ambiente anóxico.

O metal que melhor acompanha o C é o As, sendo que em geral, nas regiões onde o C diminui o As também diminui e em regiões onde o C aumenta o As também aumenta. Ao contrário do que a geoquímica de solos mostrou, para a litoquímica o *trend* 19 é a região que apresenta mais anomalias (Fe, Zn e Cu), já o *trend* HT23 e falha não apresentam valores significativos dos elementos observados na geoquímica de solos, com exceção do As. Essa variação entre os dados da geoquímica de solos e litogeoquímica pode ser explicada devido ao enriquecimento supergênico, ou seja, os elementos inicialmente presentes na rocha foram lixiviados e agora estão mais concentrados no solo e também devido a presença do MnO que aparece com valores mais elevados nas rochas mais alteradas, como a região do *trend* 19. O Mn possui a propriedade de adsorver elementos, gerando anomalias falsas. Por isso, é provável que pelo grau de alteração elevado e importante presença do Mn no *trend* 19, as anomalias dos metais sejam falsas, ou seja, eles podem estar adsorvidos pelo Mn, como por exemplo o Zn. Apesar dos baixos valores dos metais no *trend* HT23, como o Zn, Cu e Fe, observados na litogeoquímica, esses possuem valores significativos observados na geoquímica de solos, além de possuir as melhores correlações com o S, o que faz do *trend* HT23 mais propício para a presença de sulfetos (grafita filito mineralizado). Já o *trend* falha apesar de possuir alguns valores altos de Pb e Cu mostrados pela geoquímica de solos, esses mesmos elementos não apresentam valores significativos na litogeoquímica, além de possuir baixa correlação com o S.

Em geral, todos os *trends* possuem anomalias em alguns metais, sejam eles os de interesse ou farejadores, sendo possível afirmar que os grafita filitos da porção superior da SJ são metalíferos. Contudo a região que apresenta maior potencial para conter sulfetos é o *trend* HT23, pois além de possuir mais anomalias observadas na geoquímica de solos, possui melhor correlação entre os metais e o S e está próximo da região que contém a maior concentração de anomalias do projeto.

Como já mencionado anteriormente todas as amostras apresentam um grau de alteração e portanto as interpretações estão sujeitas a equívocos, uma vez que elementos importantes para diagnóstico da presença de sulfetos como alguns metais e o S possuem grande mobilidade diante do intemperismo.

As informações mostradas na geologia regional como tectônica distensiva associada com deposição de sedimentos e atividade magmática, juntamente com as informações obtidas nesse trabalho como presença significativa de material terrígeno, matéria orgânica e metais, evidencia um ambiente de formação para os grafita filitos. Esse ambiente, provavelmente estava sob forte influência de aporte de material terrígeno, provindo do continente, associado com uma região de atividade magmática e exalações, que podem ter gerado plumas metalíferas submarinas. Essas por sua vez foram responsáveis pelo aporte de metais na região de deposição do protolito dos grafita filitos, que com a presença de matéria orgânica foram aprisionados como complexos organometálicos, gerando rochas metalíferas.

## **9. DIFICULDADES ENCONTRADAS**

A maior dificuldade encontrada em todo o trabalho foi o grau de alteração das amostras. Isso pode ser um problema se o intuito é caracterizar a assinatura geoquímica da rocha, bem como os elementos de interesse para o projeto. As amostras coletadas do *trend* Paranoá estão extremamente alteradas e por isso não foi possível incluí-las nas análises.

## **10. CONCLUSÕES**

As descrições geológicas permitiram observar que as rochas grafitosas presentes na porção superior da SJ são diferentes do material grafitoso encontrado nos testemunhos de sondagem. Isso foi notado pois a grafita presente nas rochas da SJ está por toda a amostra, junto a foliação, intercalada com faixas quartzosas, diferentemente do material grafitoso dos testemunhos, que ocorrem somente em zonas muito fraturadas, falhadas e na forma de vênulas.

Os dados da geoquímica de solos e litogeoquímica foram importantes para notar que as rochas estudadas podem não ter sido *black shales* autênticos, devido aos valores de C menores que 5%. A supremacia do Al em relação aos outros elementos maiores, sugere a presença de muscovita como o principal filossilicato, aliado com um possível processo de cloritização. Foi observado que o ambiente de formação dessas rochas pode ter se dado em condições anóxicas, além da importante presença de ETR e de alguns metais como As e Mo. Essas características são propícias para a presença de sulfetos, porém com as observações das anomalias dos elementos de interesse, juntamente com a correlação desses com o S foi possível perceber que os grafita filitos são metalíferos com maior possibilidade da presença de sulfetos no *trend* HT23.



O contexto observado para a formação do protolito dos grafita fílitos sugere um ambiente anóxico de exalações e geração de plumas metalíferas, que serviram como aporte de metais, além do aporte de sedimentos continentais.

Por fim, as experiências obtidas no estágio foram importantes, pois permitiram com que o aluno se familiarizasse com os trabalhos realizados em um projeto de exploração mineral. Além disso, os dados e conclusões preliminares obtidos nesse TF podem servir como complementação para o conhecimento geológico da área.

## 11. CRONOGRAMA

**Tabela 5 - Atividades realizadas no Trabalho de Formatura.**

Atividades/2017	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Trabalho de campo/coleta de dados	x	x					x	x				
Revisão bibliográfica		x	x	x	x	x	x					
Relatório parcial						x	x					
Petrografia					x	x		x	x			
Análises químicas							x	x	x	x		
Análises Niton			x									
Elaboração da monografia									x	x	x	
Apresentação												x

## 12. BIBLIOGRAFIA

Almeida, B. S. D. (2009). *Geoquímica dos fílitos carbonosos do depósito Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais*. Tese (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências (UNB).

Araujo, S. M., Fawcetti, J. J., Scott, S. (1995). Metamorphism of hydrothermally altered rocks in a volcanogenic massive sulfide deposit: the Palmeirópolis, Brazil, example. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(3), 173-184.

Araujo, S. M., Scott, S. D., Longstaffe, F. J. (1996). oxygen isotope composition of alteration zones of highly metamorphosed volcanogenic massive sulfide deposits: Geco, Canada, and Palmeirópolis, Brazil. *Economic Geology*, 91, 697-712.

Bates, R. L., & Jackson, J. A. (1987). *Glossary of Geology*: American Geological Institute. Alexandria, Virginia, 788.

Correia, C. T., Jost, H., Tassinari, C. C.G., Girardi, V. A.V., Kinny, P. (1999). Ectasian Mesoproterozoic U–Pb ages (SHRIMP-II) for the metavolcano-sedimentary sequences of Juscelândia and Indaianópolis and for high-grade metamorphosed rocks of Barro Alto stratiform igneous complex, Goiás State, central Brazil. In: *Second South American Symposium on Isotope Geology*. 31-33. Cordoba.

- Danni, J. C. M., Fuck, R. A. Unidades tectono-estratigráficas do embasamento das faixas dobradas da margem ocidental do Craton do São Francisco. (1981). *SBG/Núcleo Bahia, Simpósio sobre o Craton do São Francisco, Anais*, 130-139. Salvador: SBG.
- Figueiredo, J. A., Leão Neto, R., Valente, C. R. (1981). Depósitos de sulfetos maciços de Zn, Cu e Pb da região de Palmeirópolis, GO. *Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, v. 1, 422-441. Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleos Centro-Oeste e Brasília.
- Ferreira Filho, C. F., Araújo, S. M., Cruz, H. P. (1999). Estruturas vulcânicas preservadas em granulitos da sequência vulcano-sedimentar Juscelândia, Go. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(4), 461-468.
- Ferreira Filho, C. F., Pimentel, M. M., De araujo, S. M., Laux, J. H. (2010). Layered intrusions and volcanic sequences in Central Brazil: geological and geochronological constraints for Mesoproterozoic (1.25 Ga) and Neoproterozoic (0.79 Ga) igneous associations. *Precambrian Research*, 183(3), 617-634.
- Fulton, L. J. P. (1977). *Stratigraphy and sedimentology of radioactive Devonian-Mississippian shales of the central Appalachian Basin*. Tese (Phd). Universidade de Cincinnati.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Acesso em 10 de outubro de 2017, <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>.
- Jones, B., Manning, D. A. C. (1994). Comparison of geochemical indices used for interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chem Geol*, 111:111–129.
- Large, R. R., Bull, S. W., Maslennikov, V. V. (2011). A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits. *Economic Geology*, 106(3), 331-358.
- Marini, O. J., Fuck, R. A., Danni, J. C. M., Dardene, M. A. (1981). A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. *Simp. sobre o Cráton do São Francisco e Suas Faixas Marginais*, v. 1, 100-113. Salvador: SBG.
- Moraes, R., Fuck, R. A. (1994). Deformação e metamorfismo das sequências Juscelândia e Serra da Malacacheta, Complexo Barro Alto, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 24(3), 189-197.
- Moraes, R., Fuck, R. A., Pimentel, M. M., Gioia, S. M. C. L., Figueiredo, A. M. G. (2003). Geochemistry and Sm–Nd isotopic characteristics of bimodal volcanic rocks of Juscelândia, Goiás, Brazil: Mesoproterozoic transition from continental rift to ocean basin. *Precambrian Research*, 125(3), 317-336.
- Moraes, R., Fuck, A. R., Pimentel, M. M., Gioia, S. M. C. L., Hollanda, M. H. B. M., Armstrong, R. (2006). The bimodal rift-related Juscelândia volcanosedimentary sequence in

central Brazil: Mesoproterozoic extension and Neoproterozoic metamorphism. *Journal of South American Earth Sciences*, 20(4), 287-301.

Pimentel, M. M., Rodrigues, J. B., DellaGiustina, M. E. S., Junges, S., Matteini, M., Armstrong, R. (2011). The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 31, 345-357.

Quintana, C. O. (2008). *Relações entre as comunidades bênticas e a matéria orgânica sedimentar: respostas à qualidade dos recursos alimentares e influência na diagênese recente* (Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo).

Sáez, R., Moreno, C., Gonzáles, F., Almodóvar, G. R. (2011). Black shales and massive sulfide deposits: causal or casual relationships? Insights from Rammelsberg, Tharsis, and Draa Sfar. *Miner Deposita*, 46, 585-614.

Sousa, J. M., Albuquerque, M. C. (1990). Mineralização sulfetada de Cu, Pb e Zn de Juscelândia - Goiás. Unpublished proprietary report, Unigeo Geologia e Mineração Ltda.

Suita, M. T. D. F. (1996). *Geoquímica e metalogenia de elementos do grupo da platina (EGP+ Au) em complexos máfico-ultramáficos do Brasil: critérios e guias com ênfase no Complexo máfico-ultramáfico acamadado de alto grau de Barro Alto Barro Alto (CBA, Goiás)*. Unpublished Ph. D. Thesis. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Schulz, H. D., Zabel, M. (2006). *Marine geochemistry*. Germany: Springer.

Slack, J. F., Selby, D., Dumoulin, J. A. (2015). Hydrothermal, biogenic, and seawater components in metalliferous black shales of the Brooks Range, Alaska: synsedimentary metal enrichment in a carbonate ramp setting. *Economic Geology*, 110(3), 653-675.

Tourtelot, H. A. (1979). Black shale; its deposition and diagenesis. *Clays and Clay Minerals*, 27(5), 313-321.

Votorantim Metais.(2016). *Mapa Geológico do Projeto Zinco Centro Oeste (GO)*. Escala 1:50.000. Votorantim Metais, exploração mineral.

Zang, M. W. (1993). UTEM case history of a base metal prospect Goianesia, Brazil. *Exploration Geophysics*, 24(3/4), 859-862.