

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

LORDANA FONTINELI DANTAS

**POTENCIAL ECONÔMICO DOS PEGMATITOS TIPO LCT LOCALIZADOS A
SUDESTE DE PARELHAS/RN**

**NATAL
2020**

LORDANA FONTINELI DANTAS

**POTENCIAL ECONÔMICO DOS PEGMATITOS TIPO LCT LOCALIZADOS A
SUDESTE DE PARELHAS/RN**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Geologia, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador. Prof.: Francisco Oliveira da Silva

**NATAL
2020**

(Página da Ficha Catalográfica)

Ficha catalográfica

A catalogação do documento é representada pela ficha catalográfica e apesar de não ser caracterizada como elemento pré-textual ela vai aparecer numa página única entre a folha de rosto e a folha de aprovação **apenas na versão final do TCC**.

Nesse sentido, sugere-se deixar uma lauda destinada para a mesma. Ver subseção 3.1 FICHA CATALOGRÁFICA, para saber como solicitá-la após a defesa.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
LORDANA FONTINELI DANTAS**

**POTENCIAL ECONÔMICO DOS PEGMATITOS TIPO LCT LOCALIZADOS A
SUDESTE DE PARELHAS/RN**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Geologia, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovado em: 30 de Abril de 2021

Comissão Examinadora

Dr. Francisco Oliveira da Silva (DG/UFRN) (Orientador)

Asmminey Ariane da Silva Nascimento (DG/UFRN) (Coorientadora)

Dr. Heitor Neves Maia (DG/UFRN)

AGRADECIMENTOS

Diante de tantas formalidades que envolvem a produção acadêmica, utilizo esse espaço para expressar um pouco do processo de reflexão que a finalização de mais um ciclo desperta em mim. Sendo assim, inicio esses agradecimentos reafirmando e relembrando que todo o percurso em busca de um sonho é muito desafiador, mas o prazer de finalmente conquista-lo é a sensação de maior plenitude que alguém pode experienciar. Então, agradeço às diversas Lordanas que habitam esse corpo em suas múltiplas facetas, pela oportunidade de viver a minha verdade ao longo da caminhada, ainda que ela esteja atrelada a tantos padrões limitantes quanto a gênero, cor, classe social e tantas outras caixas que nos são impostas o tempo todo. Agradeço por todos os dias em que fui a força capaz de transcender barreiras, e também pelas intermináveis noites em que eu me questioneei se conquistaria esse sonho. A todos os dias e noites que me trouxeram até aqui, com a primavera entre os dentes.

Seguido a isso, agradeço imensamente à minha mãe, Telma, por tanta dedicação e superação, por servir de inspiração nos momentos em que eu precisei de impulso para seguir a vida, por ser tão parecida comigo e, ao mesmo tempo, tão diferente, e me ensinar todos os dias sobre as diferentes formas de amar uma pessoa. Esse foi um sonho sonhado em conjunto, e parte dele também é seu. E ao meu pai, Gaspar, pela inspiração que me despertou a paixão pelas ciências da terra, e também por nunca desistir da minha educação, sabendo que isso é um bem que ninguém pode me tirar.

Eu poderia escrever um livro falando sobre o quão grata eu sou à maternidade, e a todo o amadurecimento que me foi presenteado com a chegada de Apolo. Ao meu filho eu deixo o meu mais puro sentimento de gratidão, por ser um ser tão iluminado e que me impulsiona a ser a minha melhor versão, mesmo quando eu não quero ser. Agradeço pela sua vida e saúde, por ele ser um menino tão sapeca que enche os meus dias de alegria e me inspira a ter contato com a minha criança interior, me permitindo curar tantas feridas deixadas no passado. Meu filho, eu te amo! Também não poderia deixar de agradecer ao meu companheiro Pedro, que sonhou tudo isso junto comigo e pegou na minha mão para que pudéssemos superar todas as adversidades impostas pela vida juntos.

Agradeço à minha avó Terezinha, matriarca da família, por ser sempre um colo acolhedor e porto seguro para mim e tantos outros navegantes que atravessam o seu caminho. Gratidão, vovó, por ser essa ternura que acalanta! E ao meu avô Duca, que sempre teve o seu jeitinho especial de demonstrar amor, frequentemente acompanhado de uma caixa

do meu chocolate favorito. Às minhas tias, e mães postiças, Silmara e Sandra, serei eternamente grata por tantos ensinamentos e experiências compartilhadas, por serem o equilíbrio que eu busquei por muito tempo, e continuo buscando, por me proporcionarem momentos seguros onde eu pude expressar a minha verdadeira essência. E finalizando o ciclo familiar, mas não menos importante, agradeço aos meus irmãos, Gabriel, Laila e Lavínia, por serem tão sensíveis e parceiros, e por sempre serem sinônimo de diversão na minha vida. Amo muito todos vocês.

Às incríveis mulheres que cruzaram o meu caminho, trazendo suas medicinas e caminhando juntas, honro e agradeço por tanta troca. Louise e Débora, obrigada por me ensinarem o real sentido da palavra “irmandade”, por serem opostas complementares a tudo o que sou, e que mesmo assim resultou numa união muito poderosa e construtiva; Luana, bruxa de alma anciã e companheira de diversos papéis, gratidão pela parceria de sempre, pois sem a sua presença eu não teria vivido tantos momentos inesquecíveis dentro da geologia; Marina, você é especial, obrigada por ser essa pessoa incrível que você é e por agregar tantas coisas positivas na minha vida, sempre sendo meu amparo em todos os momentos; Joyce, muito obrigada pelas lindas palavras de apoio que surgem na hora certa, por compartilhar comigo alguns trechos dessa caminhada por entre as rochas e por me ensinar tanto sobre retórica.

Gratidão especial às mulheres que se tornaram família: à minha querida sogra Paula, que me ensina muito sobre empoderamento e feminismo, e me incentiva a seguir a minha verdade e confiar na minha capacidade; e à minha cunhada maravilhosa Manu, uma irmã que se faz muito presente na minha vida e com quem eu me conecto profundamente. Obrigada pelas trocas sobre o sagrado feminino e sabedorias da terra.

Obrigada por terem vivido junto comigo; Ju, Carla, Dani, Larisse, Aninha, Paulinha, Macaxeira, Theobek, DDJ, Costinha, Carlos, Caio e tantos outros amigos da famosa Turma de 2015, meu incentivo e motivação diária a viver toda essa loucura que é a universidade. Sou muito grata por todas as experiências compartilhadas em campo, no bar, no departamento e aonde a geologia nos levasse. Agradecimentos especiais aos amigos que construíram esse trabalho junto comigo (vocês sabem quem são), pois sem vocês eu não teria conseguido conquistar esse sonho.

À minha co-orientadora e salva-vidas, Asmminey Ariane, meus mais sinceros agradecimentos por aceitar o desafio e construir esse trabalho comigo, processando todos os dados geofísicos e auxiliando na etapa de criação dos resultados e discussões, sempre muito solícita e prestativa, me ajudando em diversas etapas do processo. Agradeço também à geóloga

altamente qualificada Lívian Rafaely, pelas orientações na etapa de PDI e por todas as dicas importantes de quem já viveu todo esse processo e obteve sucesso.

Aos meus mestres, gratidão por tanto conhecimento compartilhado ao longo desses anos de graduação. Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Oliveira, por toda a paciência e respeito pelo meu processo de gestação, e por me possibilitar a liberdade de guiar o meu trabalho, confiando no meu potencial. Também não poderia deixar de mencionar o Prof. Dr. Vanildo Pereira, alma gêmea de Chiquinho, e que também abraçou a orientação do meu trabalho, sempre me incentivando a seguir em frente e acreditar na minha capacidade de produzir coisas interessantíssimas. Gratidão por ser esse mestre e amigo. Aproveito para mencionar e agradecer às professoras mulheres que ocupam com louvor seus espaços no Departamento de Geologia: às Profs. Dras. Valéria Córdoba, Marcela Vieira e Raquel Franco, gratidão pelos ensinamentos profissionais e pessoais. Vocês são incríveis e me inspiram a ser uma geóloga excepcional.

Por fim, agradeço ao Departamento de Geologia e à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, por me proporcionarem ensino gratuito e de qualidade, além das diversas experiências ao longo dos seis anos cursando geologia.

RESUMO

Os corpos pegmatíticos estudados neste trabalho localizam-se ao sul do estado do Rio Grande do Norte, no município de Parelhas. Estão inseridos no contexto da Província Pegmatítica da Borborema, intrudindo os metassedimentos pertencentes ao Grupo Seridó. A principal finalidade deste trabalho é estudar as características dos corpos pegmatíticos heterogêneos que ocorrem nesta região, tendo como objetivo específico apresentar novos dados de cartografia e geologia básica do setor, de modo a contribuir para o conhecimento geológico da área e para futuros trabalhos prospectivos na região. Além disso, na perspectiva do desenvolvimento econômico, os estudos buscaram verificar a potencialidade dos pegmatitos dessa região para lítio, através de ferramentas remotas multifonte, muito utilizadas ultimamente para identificar determinadas áreas de interesse econômico, além da correlação desses dados remotos com a investigação *in situ* das ocorrências dos corpos pegmatíticos e possíveis minerais específicos, como o espodumênio, por exemplo. O mapeamento realizado permitiu observar aspectos mineralógicos e estruturais em quatro afloramentos de pegmatitos e as suas encaixantes, nos quais foi feita uma análise das relações de contato entre essas rochas, bem como uma descrição detalhada da mineralogia de cada uma das zonas desses pegmatitos heterogêneos, possibilitando uma caracterização mais ampla das rochas estudadas. Os produtos de sensoriamento remoto auxiliaram na identificação da resposta espectral destes pegmatitos visitados, possibilitando a identificação de outros corpos que apresentaram comportamento semelhante. Já os produtos aerogeofísicos auxiliaram na compreensão do contexto estrutural que recobre a área de estudo, através dos mapas aeromagnetométricos, além de trazer informações relevantes de química através das detecções de radioelementos representadas pelos mapas aeroradiométricos. A integração desses produtos proporcionou uma compreensão mais completa da geologia da região e auxiliou no reconhecimento das potencialidades de exploração dessas rochas na perspectiva do desenvolvimento econômico.

Palavras-chave: Mapeamento. Pegmatito. LCT. Multifonte. Econômico

ABSTRACT

The pegmatitic bodies studied in this work are located in the south of the state of Rio Grande do Norte, in the city of Parelhas. They are inserted in the context of the Pegmatitic Province of Borborema, intruding on the metasediments of the Seridó Group. The main purpose of this work is to study the characteristics of the heterogeneous pegmatitic bodies that occur in this region, with the specific objective of presenting new data from cartography and basic geology of the sector, in order to contribute to the geological knowledge of the area and to future prospective works in the region. In addition, from the perspective of economic development, studies have sought to verify the potential of pegmatites in this region for lithium, using remote multisource tools that have been used lately to identify certain areas of economic interest, in addition to the correlation of these remote data with *in situ* occurrences of pegmatitic bodies and possible specific minerals, such as spodumene, for example. The mapping made it possible to observe mineralogical and structural aspects in 4 outcrops of pegmatites and their enclosures, in which an analysis of the contact relationships between these rocks was made, as well as a detailed description of the mineralogy of each of the zones of these heterogeneous pegmatites, enabling a broader characterization of the studied rocks. The remote sensing products helped to identify the spectral response of these visited pegmatites, enabling the identification of other bodies that showed similar behavior. Aerogeophysical products, on the other hand, helped to understand the structural context that covers the study area, through aeromagnetometric maps, in addition to bringing relevant chemical information through radioelement detections represented by aeroradiometric maps. The integration of these products provided a more complete understanding of the region's geology and helped in the recognition of the exploration potential of these rocks in the perspective of economic development.

Keywords: Mapping. Pegmatite. LCT. Multisource. Economic

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização. Base geocartográfica segundo USGS e IBGE.	18
Figura 2: Figura esquemática das etapas metodológicas adotadas neste trabalho.	19
Figura 3: Levantamento topográfico realizado no garimpo Alto do Tibiri (PAT).	21
Figura 4: Evolução química ao longo de um grupo pegmatítico rico em Lítio.....	25
Figura 5: Estrutura interna de pegmatitos zonados em seção horizontal, na qual é possível...	29
Figura 6: Estrutura interna de pegmatitos zonados em seção horizontal, na qual é possível observar unidades atípicas como preenchimentos de fraturas e unidade metassomática de substituição.	30
Figura 7: Modelo esquemático (sem escala) do padrão de zonação regional ideal em um campo pegmatítico, adaptado por Galeschuk e Vanstone (2005) a partir de Trueman e Černý (1982).	32
Figura 8: Campo de captação de um espectrômetro de raios gama aerotransportado.	35
Figura 9: Aquisição de dado magnético através de aeromagnetômetro e identificação	38
Figura 10: A Província Borborema. Observar a localização do domínio Rio Piranhas-Seridó (PS).....	40
Figura 11: Compartimentação geológica do extremo nordeste da Província Borborema, com destaque para os domínios São José do Campestre, Rio Piranhas-Seridó e Jaguaribeano, citados de leste a oeste.	41
Figura 12: Classificação estrutural dos pegmatitos.....	48
Figura 13: Posição relativa dos minerais nas zonas de pegmatitos.....	49
Figura 14: Relações estruturais entre pegmatitos e suas encaixantes.	51
Figura 15: Mapa geológico local obtido da CPRM e utilizado como base na etapa de campo.	55
Figura 16: Mapa geológico de detalhe do corpo pegmatítico Alto do Tibiri.	56
Figura 17: Feições do xisto. (a) Estrutura de crenulação e dobras; (b) Foliação Sn correspondente a estruturação regional; (c) Veios de quartzo boudinados acompanhando a foliação Sn;	58
Figura 18: Feições da zona de contato. (a) Cristais centimétricos de muscovita (indicado pela seta vermelha); (b) Desenvolvimento de cristais centimétricos de turmalina preta de origem primária.....	59
Figura 19: Feições da zona intermediária. (a) Textura gráfica; (b) Desenvolvimento de turmalina negra associado a feldspato potássico.....	61

Figura 20: Feições da zona intermediária. (a) Muscovita rabo-de-peixe; (b) Textura gráfica; (c) berilo (indicado pela seta amarela) e granada com turmalina negra secundária (indicado pela seta vermelha); (d) cristal de apatita associado a muscovita; (e) Cristal de espodumênio (indicado pela seta vermelha); (f) Amostras de tantalita.	62
Figura 21: Feições dos pegmatitos visitados. (a) xenólito de xisto dentro do corpo pegmatítico com desenvolvimento de zona de borda com cristais de muscovita (indicado pela seta vermelha) e absorção parcial do xisto (indicado pela seta amarela); (b) Cavidade miarolítica presente nos bolsões de quartzo.	63
Figura 22: Feições estruturais no PAT. (a) fragmento de pegmatito na zona de cisalhamento; (b) Zona de cisalhamento dobrada que atravessa o corpo pegmatítico.	64
Figura 23: Mapa com razão de banda $\frac{3}{8}$ realçando a ocorrência de espodumênio.	66
Figura 24: Mapa de composição de bandas C1, destacando a razão $\frac{3}{8}$ no canal do vermelho.	67
Figura 25: Mapa com razão de banda $\frac{4}{12}$ realçando a ocorrência de lepidolita.	68
Figura 26: Mapa de composição de bandas C2, destacando a razão $\frac{4}{12}$ no canal do vermelho.	69
Figura 27: Mapa de composição de bandas C3, destacando as regiões que apresentam algum tipo.	69
Figura 28: Mapa de composição IHS utilizando a razão $\frac{3}{8}$ como pseudocolor e a razão $\frac{4}{12}$ como intensidade. Ocorrência de pegmatito representada no mapa como um quadrado vermelho.	70
Figura 29: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA).	72
Figura 30: Mapa de Derivada Vertical (DV).	74
Figura 31: Mapa de Concentração do Elemento Potássio (K).	75
Figura 32: Mapa de Concentração do Elemento Urânio (U).	76
Figura 33: Mapa de Concentração do Elemento Tório (Th)	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais parâmetros do levantamento geofísico	23
Tabela 2: Associações mineralógicas das zonas pegmatíticas	28

LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
ASA	Amplitude do Sinal Analítico
B	Boro
Be	Berílio
Ca	Cálcio
Ce	Cério
COLTAN	Columbita-Tantalita
Cs	Césio
DZ	Derivada Vertical
ETR	Elementos Terras Raras
eTh	Equivalente Tório
eU	Equivalente Urânio
F	Flúor
Fe	Ferro
Ga	Gálio
Hf	Háfnio
IHS	Intensity, Hue, Saturation
K	Potássio
La	Lantânio
Li	Lítio
Nb	Nióbio
Nd	Neodímio
P	Fósforo
PAT	Pegmatito Alto do Tibiri
Pb	Chumbo
PB	Paraíba
PDI	Processamento Digital de Imagens
PPB	Província Pegmatítica da Borborema
Rb	Rubídio
RGB	Red, Green, Blue
RN	Rio Grande do Norte
Sc	Escândio
Sn	Estanho
Sr	Estrôncio
Ta	Tântalo
Th	Tório
U	Urânio
Y	Ítrio
Zr	Zircônio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	17
2	MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1	ATIVIDADES PRÉ-CAMPO	20
2.2	ATIVIDADES DE CAMPO	21
2.3	ATIVIDADES PÓS-CAMPO	22
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1	DEFINIÇÕES E GÊNESE DOS PEGMATITOS	24
3.2	CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS	26
3.3	ZONAÇÃO INTERNA DE PEGMATITOS	27
3.4	ZONAÇÃO REGIONAL DE PEGMATITOS	30
3.5	SENSORIAMENTO REMOTO E PDI	32
3.6	AEROGEOFÍSICA	33
3.6.1	Gamaespectrometria	34
3.6.2	Magnetometria	36
4	GEOLOGIA REGIONAL	39
4.1	PROVÍNCIA BORBOREMA	39
4.2	DOMÍNIO RIO PIRANHAS-SERIDÓ (PS)	40
4.2.1	Embasamento Gnáissico-Migmatítico (Complexo Caicó)	41
4.2.2	Sequência Metassupracrustal (Grupo Seridó)	43
4.2.3	Plutonismo Ediacarano-Cambriano (Granitoides Brasileiros)	45
4.2.4	Província Pegmatítica da Borborema	46
4.2.5	Magmatismo Básico Meso-Cenozoico	52
5.	GEOLOGIA LOCAL	53
5.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO	54
5.2	SENSORIAMENTO REMOTO	64
5.3	PRODUTOS GEOFÍSICOS	71
5.3.1	Dados Magnéticos	71
5.3.2	Dados Radiométricos	74

6	DISCUSSÕES	78
6.1	SENSORIAMENTO REMOTO	78
6.2	AEROGEOFÍSICA	81
	6.2.1 Magnetometria.....	81
	6.2.2 Gamaespectrometria.....	83
7	CONCLUSÃO.....	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
	ANEXO - MAPAS.....	99

1 INTRODUÇÃO

Na região da Província Borborema há uma zona de importante ocorrência pegmatítica denominada de Província Pegmatítica da Borborema (PPB), a qual abrange parte dos estados da Paraíba (PB) e do Rio Grande do Norte (RN). Nessa província existem importantes reservas estratégicas de minerais industriais e gemas para o Brasil, conhecidas desde a década de 1930, com foco em diversos bens minerais explorados principalmente por meio de atividade garimpeira (VASCONCELOS, 2006). Nesta região, destacam-se os pegmatitos mineralizados em Ta-Nb, Be, Sn, Li, minerais industriais e minerais-gemas, concentrados, principalmente, nos municípios de Parelhas, Acari, Equador e Carnaúba dos Dantas (SOARES, 2004).

Com o aumento da demanda mundial de Lítio, inúmeros estudos vêm sendo desenvolvidos na área de recursos minerais de forma a suprir as necessidades da indústria, que tem sua projeção no mercado de telefonia móvel, de eletrônicos portáteis e no potencial mercado dos veículos elétricos e híbridos. Esse movimento reforça a importância estratégica dos pegmatitos como fonte fundamental de minérios de Li (LINNEN; VAN LICHTERVELDE; ČERNÝ, 2012), uma vez que 25% da oferta mundial deste elemento está relacionada aos pegmatitos (SWEETAPPLE, 2013).

Partindo deste pressuposto, a Província Borborema encontra-se na rota de interesse da expansão tecnológica, visto que apresenta uma das mais expressivas concentrações de pegmatitos do Brasil. A interação dos fluidos hidrotermais ígneos com as rochas encaixantes que ocorreram no ciclo brasileiro na região da Faixa Seridó, porção nordeste da Província Borborema, pode abrigar importantes reservas de Lítio associada aos pegmatitos mineralizados (VERAS; CÔNEGO JR.; SOUZA NETO, 2018).

Na última década, as produções científicas e tecnológicas da região foram realizadas por meio de cooperação entre instituições públicas e privadas, e tiveram como objetivo desenvolver a atividade mineral local. Entretanto, a porção que compreende as adjacências Parelhas/RN e Pedra Lavrada/PB carece de trabalhos de geologia básica, envolvendo mapeamento de corpos pegmatíticos em escala de detalhe e definição de zonas de ocorrências minerais ao longo desses corpos.

Porém, esta não é uma tarefa muito fácil, uma vez que nos pegmatitos abertos pelo garimpo dos principais minerais de interesse econômico, especialmente as gemas já foram removidas nos níveis mais superficiais. Além disso, a estrutura resultante não oferece segurança

para uma exploração mais profunda. Uma solução possível para essa problemática é o investimento em pesquisa na área da prospecção mineral e a utilização de métodos remotos para a identificação e caracterização das rochas dessa região.

A aerogeofísica, tradicionalmente utilizada como apoio ao mapeamento geológico regional e à prospecção mineral, experimentou avanços importantes devido à evolução tecnológica nos últimos anos. Com isso, os métodos geofísicos passaram de fontes de análises qualitativas secundárias para fontes primárias na identificação e interpretação de novos depósitos minerais.

Este processo foi impulsionado em virtude da crescente escassez de recursos minerais em superfície, levando à exploração de alvos a maiores profundidades e ao aumento do custo agregado para extração. Nesse viés, a aplicação da geofísica é a ferramenta de melhor custo benefício para a identificação de áreas com probabilidade de ocorrência mineral, além de evidenciar estruturas geológicas que possam abrigar mineralizações de interesse econômico, e auxiliar os mapeamentos geológicos e estruturais (RIBEIRO *et al.*, 2013).

O sensoriamento remoto, aliado ao processamento digital de imagens, também tem um papel fundamental no mapeamento geológico, pois permite a delimitação de unidades litológicas, dos contatos e das estruturas baseado na resposta espectral de cada tipo de rocha, possibilitando assim a delimitação de alvos para a exploração de vários tipos de depósitos. Nesse contexto, a crescente demanda mundial na exploração de Li para utilização na fabricação de baterias, principalmente, impulsionou o desenvolvimento de diversas pesquisas com essa abordagem (AMARO, 1998; SABINS, 1999; CARDOSO-FERNANDES; LIMA; TEODORO, 2018).

Algumas tentativas de encontrar mineralizações foram direcionadas à análise de imagens Landsat, no entanto, por se tratar de um campo ainda emergente, os estudos limitam-se a um pequeno número de grupos de pesquisa, principalmente com sede na Europa. No entanto, considerando a demanda do mercado por esta matéria-prima, é esperado que muitos outros estudos sejam desenvolvidos em um futuro próximo em todo o mundo.

Sendo assim, este relatório discorre acerca das atividades desenvolvidas, bem como dos resultados gerados, a partir do mapeamento geológico realizado em um garimpo localizado a sudeste da cidade de Parelhas, interior do estado do Rio Grande do Norte (RN). O trabalho contou com a orientação do professor Dr. Francisco Oliveira da Silva e faz parte dos requisitos necessários para conclusão da disciplina obrigatória Trabalho de Conclusão de Curso

(GEO0421), sendo este o último componente curricular necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

1.1 OBJETIVO GERAL

Diante do cenário apresentado, o objetivo geral deste trabalho é estudar as características dos corpos pegmatíticos que ocorrem no local de estudo e avaliar o potencial econômico desses pegmatitos, para que se possa contribuir com o conhecimento sobre as ocorrências de pegmatitos da região do Seridó, de modo a facilitar a possível extração de minerais econômicos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- I. Apresentar novos dados de cartografia e geologia regional básica, contribuindo para o conhecimento geológico da área e para futuros trabalhos prospectivos na região;
- II. Verificar a potencialidade dos pegmatitos dessa região para Lítio, na perspectiva do desenvolvimento econômico;
- III. Aplicar ferramentas remotas multifonte, muito utilizadas ultimamente para identificar determinadas áreas de interesse econômico e, portanto, elaborar e analisar alguns mapas aerogeofísicos de abordagens magnetométrica e radiométrica;
- IV. Realizar uma revisão geocartográfica para entender o contexto geológico regional;
- V. Realizar trabalhos campo para obter descrições e caracterizações petrográficas e estruturais das rochas estudadas;
- VI. Elaborar mapas, abordando informações geológicas, geofísicas e espectrais, apresentando o zoneamento mineral e potencial econômico dos pegmatitos da região a leste de Parelhas/RN, que possam auxiliar na compreensão das rochas abordadas.

1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área selecionada para estudo está localizada a sudeste da cidade de Parelhas/RN, nas proximidades da divisa com o município de Pedra Lavrada/PB. Foi estabelecido um polígono

de aproximadamente 200 km² para estudo de dados remotos multifonte, contando com mapas aerogeofísicos e imagens multiespectrais. Dentro desse polígono, foi delimitada uma área de menor abrangência para mapeamento mais detalhado, na qual foram elencados pontos de interesse correspondentes a possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos. Dentre eles, o garimpo Alto do Tibiri se destaca por ser também uma das toponímias citadas no projeto de recursos minerais de Lítio na Província Pegmatítica da Borborema, da CPRM, como local de interesse econômico. Está localizado na coordenada UTM 773857m E e 9249103m S, em uma propriedade privada pertencente ao Sr. Marinaldo Cordeiro (Figura 1).

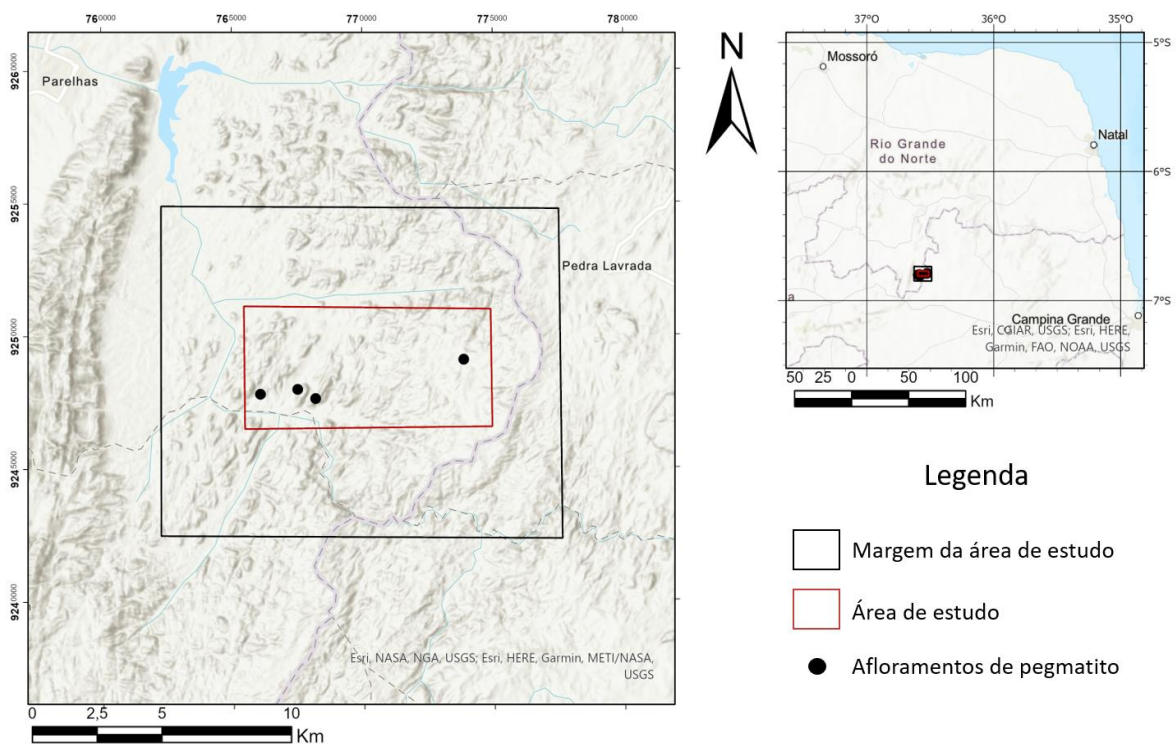


Figura 1: Mapa de localização. Base geocartográfica segundo USGS e IBGE.
Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa (2021)

O acesso à área pode ser feito por uma estrada carroçável que interliga o município de Pedra Lavrada/PB com o povoado Barra, no município de Parelhas/RN, a partir da PB-117. Nessa estrada foram percorridos cerca de 8 km a oeste até o sítio onde se encontra o garimpo. Durante o percurso, observa-se uma fábrica de cerâmica (Elizabeth) na margem direita da estrada. Geomorfologicamente, na área de estudo a topografia é mais ondulada, estando em uma altitude elevada em relação a suas proximidades. O relevo é acidentado e a maioria das serras da região apresenta uma porção onde a rocha está exposta, dessa forma, é possível observar diversos pontos onde foram abertos garimpos, hoje em sua maioria desativados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para uma análise geológica mais completa da área de estudo do presente trabalho, foi seguida uma sistemática básica de mapeamento geológico de detalhe e pesquisa mineral qualitativa de superfície. Os métodos utilizados neste trabalho buscam o cumprimento dos objetivos anteriormente traçados e foram subdivididos em três etapas: as atividades preparatórias para o campo, as atividades realizadas durante o campo e, por fim, as atividades executadas após o campo. Foram utilizadas diversas ferramentas que auxiliaram em todas essas etapas: bancos de dados *on-line*, programas de produção de texto e tabelas, programas de produção e processamento de mapas e de edição de imagem, equipamentos de campo, dentre outros. A figura 2 sintetiza e ilustra a metodologia do trabalho, que será discutida a seguir.

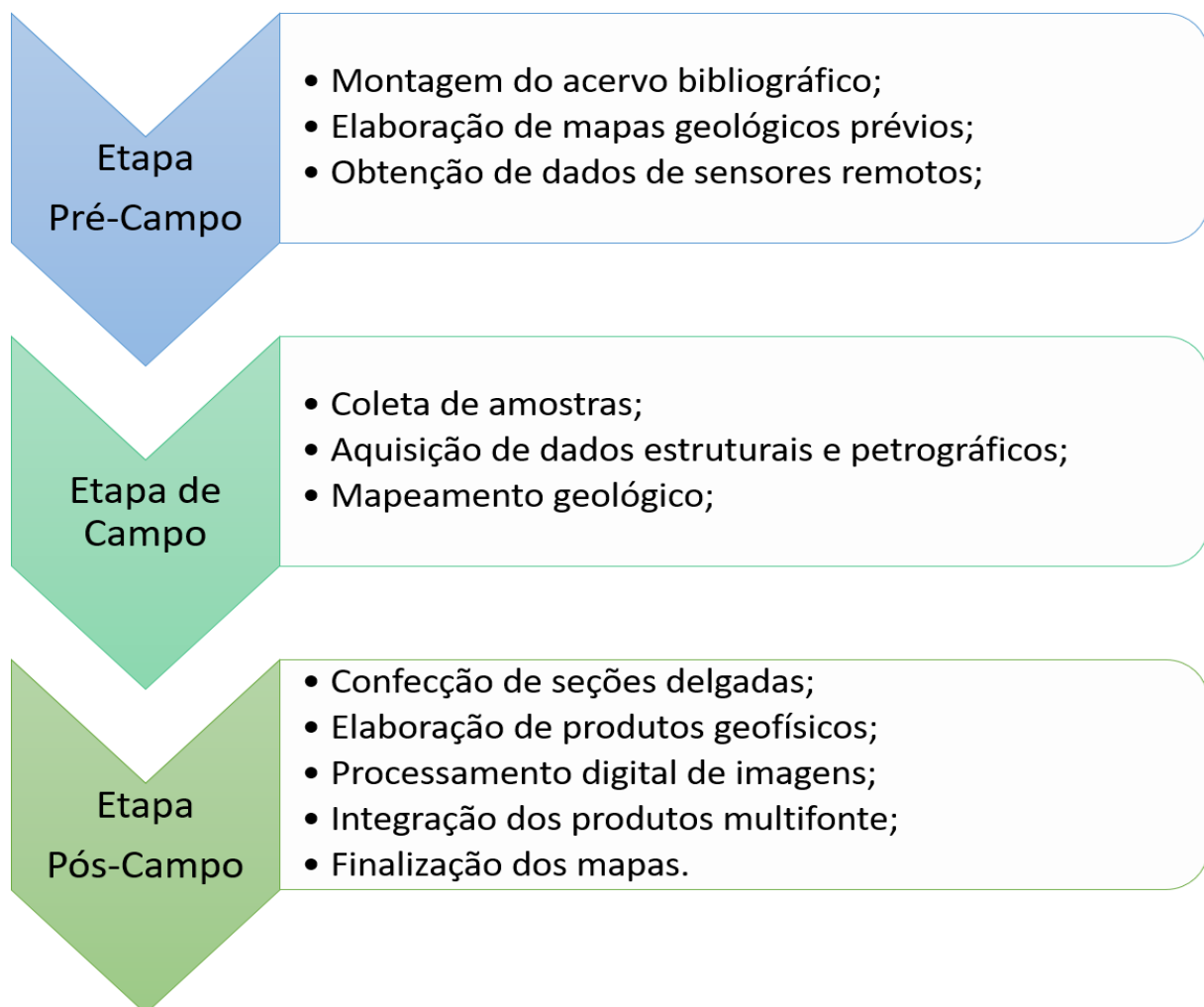


Figura 2: Figura esquemática das etapas metodológicas adotadas neste trabalho.
Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

A metodologia empregada neste trabalho envolve o estudo de imagens de satélite através do processamento digital de imagens, de maneira a definir a forma do corpo pegmatítico estudado e interpretar as principais estruturas; Na etapa de campo foi feita a coleta de dados geodésicos e estruturais por meio de auxílio dos equipamentos básicos de campo, como GPS e bússola; Foi feita também a coleta de amostras para análises petrográficas das seções delgadas no laboratório de microscopia; E, por fim, os trabalhos de gabinete, que compreendem o tratamento e análise dos dados coletados, com a organização de parâmetros litológicos e estruturais, além da confecção de um mapa geológico de detalhe com a integração de todos os dados, por meio do *software ArcGIS® 10.8*.

2.1 ATIVIDADES PRÉ-CAMPO

Primeiramente, para definir a área de estudo foi necessária a realização de levantamentos bibliográficos, através de estudos de artigos científicos, dissertações e teses que abordam a geologia da região, para que assim fosse possível entender esse contexto no qual a área de estudo estava inserida, bem como direcionar os questionamentos a serem respondidos no decorrer deste trabalho.

Simultaneamente à obtenção e tratamento de imagens de sensores remotos, foram analisadas as imagens obtidas através do *Google Earth Pro®*. Para isso, foram utilizados como fonte os *sites* eletrônicos dos Serviços Geológicos do Brasil (CPRM) e dos Estados Unidos (USGS), para a aquisição de cartas e mapas geológicos, e imagens de sensores remotos, respectivamente.

Os mapas prévios utilizados neste trabalho foram a *Carta de Interpretação de Dados Aerogeofísicos* e o *Mapa Geológico e de Recursos Minerais de Lítio da Província Pegmatítica da Borborema*, ambos na escala de 1:250.000 e pertencentes ao Projeto Avaliação do Potencial de Lítio no Brasil: Província Pegmatítica da Borborema - PPB, da CPRM (2018). Já as imagens de satélite foram obtidas através do sensor remoto Sentinel 2.

Esse conjunto de dados foi analisado no *software ArcGIS® 10.8*, possibilitando a produção do acervo geocartográfico que serviu de base para identificar as feições geológicas a serem estudadas em campo (através dos mapas de estruturas e de zonas homólogas), serviu ainda para traçar as vias de acesso, as drenagens, e serviu também na produção do mapa final da área de estudo.

2.2 ATIVIDADES DE CAMPO

A etapa de campo foi realizada nos dias 09, 10 e 11 de agosto de 2019, mediante a orientação do professor Francisco Oliveira da Silva e com o apoio das alunas e colegas de turma Carla Loiane Milanez e Juliana Cavalcante Monteiro, além do meu pai, nativo da região e simpatizante das ciências da terra, Gaspar Fontineli Dantas. Essa etapa teve como objetivo principal a caracterização do garimpo Alto do Tibiri, analisando zonações, mineralogia, contato com a encaixante e contexto estrutural de colocação do corpo. Porém, outros afloramentos na região também foram estudados com a finalidade de entender melhor a gênese desses corpos pegmatíticos no contexto geológico em que estão inseridos.

Na execução dessa etapa, foram feitas coletas mineralógicas e descrições texturais dos afloramentos, como também dos parâmetros estruturais, obtidos através do uso da bússola. Além disso, foi realizado um levantamento topográfico expedito com trena e bússola da principal cava no garimpo Alto do Tibiri (PAT) (Figura 3), utilizando-se duas estacas e uma trena, para posterior modelagem tridimensional do corpo pegmatítico. Foram feitos registros fotográficos das feições de cada tipo de rocha e dessas etapas anteriormente citadas, bem como coleta de amostras de rocha para confecção de seções delgadas e análises.



Figura 3: Levantamento topográfico realizado no garimpo Alto do Tibiri (PAT).
Fonte: Foto da autora (2019)

Durante a atividade de campo, foram visitados vários pegmatitos na região, inclusive alguns que estão sendo explorados para minerais industriais, como feldspato K, quartzo, berilo e gemas. Após esta etapa foi selecionado o corpo pegmatítico do Tibiri, tendo em vista que este não tem estudo disponível na literatura da região.

2.3 ATIVIDADES PÓS-CAMPO

Por fim, a etapa pós-campo englobou o tratamento e análise das informações coletadas em campo, compreendendo a organização de uma tabela contendo os parâmetros litológicos e estruturais coletados em campo, e dos dados obtidos na topografia do garimpo PAT, utilizando-se o *software Microsoft Excel*® 2016. Foi possível fazer um modelo tridimensional utilizando-se os dados topográficos através do *software Google Earth Pro*®. Também foram confeccionadas 19 seções delgadas, com o objetivo de obter uma análise mais minuciosa e, assim, refinar as descrições petrográficas, petrológicas e estruturais, porém essa etapa ficou comprometida com o início da pandemia, não sendo possível realizar as descrições dessas seções delgadas, uma vez que estas dependem da utilização do Laboratório de Microscopia Estudantil do Departamento de Geologia, que se encontrava interditado devido ao protocolo de biossegurança da universidade.

Diante disso, foi necessário explorar outras nuances do trabalho, de forma a abordar novas perspectivas através de produtos remotos, como a obtenção de dados aerogeofísicos e imagens de satélite. Os produtos desse processamento foram mapas magnetométricos e radiométricos para a identificação de corpos pegmatíticos na área de estudo. Já as imagens de satélite foram obtidas no repositório do Serviço Geológico dos Estados Unidos (Earth Explorer/USGS) através do sensor Sentinel 2, e essas imagens foram processadas no *software ArcGIS*® 10.8, gerando os produtos multiespectrais. Além disso, também foi realizada uma revisão geocartográfica para entender o contexto geológico regional e trabalhos de campo, com descrições e caracterizações petrográficas e estruturais das rochas estudadas.

Os dados geofísicos aerolevantados utilizados na elaboração do presente trabalho são referentes ao Projeto Paraíba – Rio Grande do Norte (1092), executado pela Companhia de Recursos de Pesquisas Minerais - CPRM - no ano de 2010, e posteriormente processados no *software OasisMontaj*®. Os métodos aeromagnetométrico e aeroradiométrico foram empregados a fim de auxiliar na detecção de anomalias associadas à presença dos corpos

pegmatíticos que recobrem a área estudada. As principais informações sobre o projeto 1092 podem ser sumarizadas na Tabela 1:

Tabela 1: Principais parâmetros do levantamento geofísico

Método aeromagnético	Método aeroradiométrico
Equipamento: Scintrex CS-2	Equipamento: Exploranium GR-820
Direção da linha de voo: N-S	Direção da linha de voo: N-S
Espaçamento entre as linhas de voo: 500 m	Espaçamento entre as linhas de voo: 500 m
Direção das linhas de controle: E-W	Direção das linhas de controle: E-W
Espaçamento entre as linhas de controle: 10 km	Espaçamento entre as linhas de controle: 10 km
Altura média do voo: 100 m	Altura média do voo: 100 m
Intervalo de medições: 0,1 s	Intervalo de medições: 0,1 s

Fonte: CPRM (2009)

A aplicação do método aeromagnético foi realizada com o intuito de compreender as anomalias associadas às estruturas presentes neste ambiente geológico; e a do método aeroradiométricos, com o intuito de analisar as anomalias associadas à química dos minerais que constituem os corpos pegmatíticos e o meio circundante, auxiliando na investigação de minerais econômicos.

Ambos os dados foram disponibilizados no formato XYZ e processados no *software* Oasis Montaj através das técnicas de interpolação bidirecional e mínima curvatura. Os produtos gerados para os dados magnéticos foram: mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e mapa da primeira Derivada Vertical (DZ) no eixo z. Para os dados radiométricos, foram gerados os seguintes produtos: mapa da distribuição do elemento Urânio (eU), mapa da distribuição do elemento Tório (eTh) e mapa da distribuição do elemento Potássio (K).

As imagens orbitais foram obtidas pelo satélite Sentinel 2, com resolução espacial entre 10 e 60 m. Seu processamento também se deu através do *software* ERDAS ERMapper® 2018, utilizando-se composições baseadas em razões entre bandas (AMARO, 1998; SABINS, 1999) para melhor delimitar as unidades litoestratigráficas e feições estruturais. Os dados de radar do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com 30 m de resolução espacial, foram empregados para a interpretação de feições estruturais em macroescala. Todos os dados produzidos no presente trabalho utilizam o Datum WGS 1984 na projeção 24 S.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DEFINIÇÕES E GÊNESE DOS PEGMATITOS

Esse grupo de rochas ígneas foi classificado de diversas maneiras ao longo dos anos, considerando-se teorias sobre formação e evolução de pegmatitos. As primeiras definições abrangem essencialmente critérios texturais, desconsiderando-se características relevantes tais como o zoneamento, as mudanças texturais e a evolução química dos pegmatitos. Assim, o pegmatito seria uma rocha intrusiva, holocristalina, de granulometria muito grossa, com o granito gráfico constituindo parte delas (FERSMAN, 1931; LANDES, 1933; JAHNS, 1955).

Segundo definições mais recentes, pegmatitos são rochas ígneas, majoritariamente de composição granítica, distinguidas de outras rochas ígneas pelos cristais de granulometria extremamente grossa, mas também de tamanho variável, ou ainda por uma abundância de cristais com hábitos esqueletais, gráficos ou com forte crescimento direcional (LONDON, 2008a). São conhecidos pela presença de excelentes minerais-gema e que há muito são explorados como fontes primárias de feldspato, quartzo e mica para fins industriais. Além disso, por registrarem diferentes processos ígneos, fornecem informações sobre o comportamento e concentração de metais estratégicos e raros na crosta terrestre, como Li, Sn, Ta, Nb, Be, Cs, Rb, Sc, Th, U e Elementos Terras Raras (ETR) (LONDON, 2008a B; LINNEN; VAN LICHTERVELDE; ČERNÝ, 2012).

O modelo mais aceito para a formação dos pegmatitos sugere que esses corpos representam fusões residuais derivadas da evolução e cristalização de magmas graníticos, com a concentração progressiva de elementos incompatíveis, voláteis e raros, e componentes fluxantes que abaixam a temperatura de cristalização e as taxas de nucleação dos cristais (SIMMONS; WEBBER, 2008). Richard Jahns, em estudos pioneiros sobre a gênese de pegmatitos (JAHNS 1955, 1982; JAHNS; BURNHAM, 1969), considerou que magmas silicáticos coexistentes com vapor de água seriam o material inicial a partir do qual os pegmatitos seriam gerados. Experimentos mais recentes de London (1992; 2005) sugeriram, entretanto, que a presença de uma fase de vapor aquoso não é necessária para o desenvolvimento de pegmatitos, tendo o B, F, P e Li, conjuntamente com H₂O, o papel de elementos essenciais (SIMMONS; WEBBER, 2008).

Nesse modelo, corpos menos diferenciados localizam-se mais próximos ao granito fonte, enquanto aqueles com maior concentração de elementos raros estão distribuídos a uma distância maior (Figura 4). Essa distância está relacionada com a estabilidade termal da composição do magma, ou seja, fusões com menores temperaturas e viscosidades, que resultam da maior concentração em elementos fluxantes à medida que o magma é fracionado, migram para mais longe (ČERNÝ, 1991a).

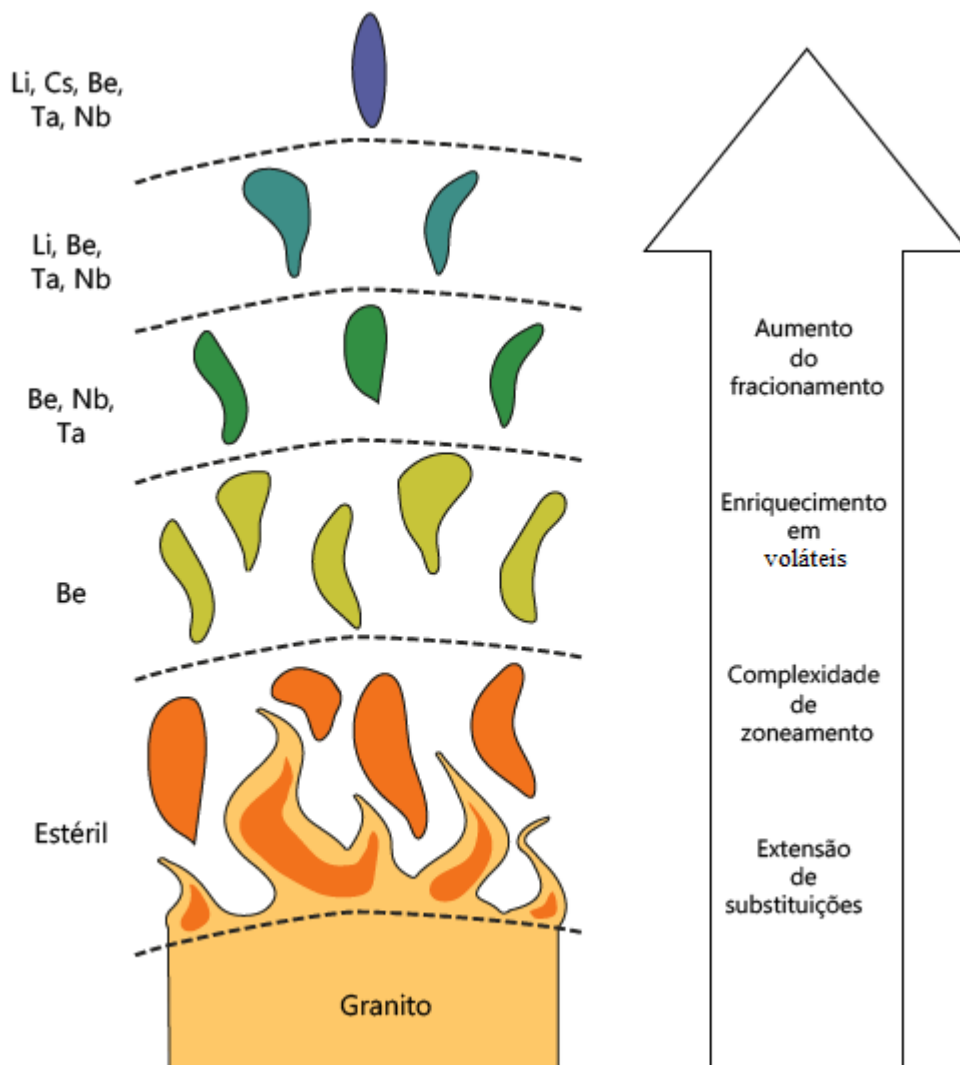


Figura 4: Evolução química ao longo de um grupo pegmatítico rico em Lítio com a distância do granito.

Fonte: modificado de London, (2008a)

Em um segundo modelo petrogenético, os pegmatitos se originam da fusão parcial direta de metassedimentos, como sequências evaporíticas ricas em elementos fluxantes (B e Li) e outros elementos incompatíveis, sem a necessidade de magmas graníticos parentais. Essa

hipótese petrogenética poderia explicar casos em que não há um padrão de zoneamento entre pegmatitos estéreis e enriquecidos, ou relação com um granito parental (ČERNÝ, 1991a).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS

O sistema moderno de classificação para essas rochas começou com Ginsburg (1960) e Ginsburg, Timofeyev e Feldman (1979), que distinguiram quatro classes de pegmatitos (abissais, muscovíticos, elementos raros e miarolíticos). Essa classificação se baseou nas diferentes condições do ambiente crustal, na profundidade de intrusão, nas condições de metamorfismo da rocha encaixante e na relação dos pegmatitos com plútons graníticos; posteriormente ela foi aprimorada por Černý (1990, 1991a) e Černý e Ercit (2005).

Esses autores determinaram dois conceitos para classificação dos pegmatitos, um relacionado com a localização geológica, relações paragenéticas e geoquímicas, considerando, por exemplo, profundidade das intrusões, condições de metamorfismo da rocha encaixante e a relação do pegmatito com plútons graníticos, havendo a subdivisão dos pegmatitos em classes, subclasses, tipos e subtipos geoquimicamente diferentes, expressos em assembleias variáveis de minerais acessórios.

O outro conceito é baseado na distinção entre famílias petrogenéticas, onde Černý (1991a) subdividiu os pegmatitos de elementos raros e miarolíticos derivados pela diferenciação ígnea de magmas parentais em duas famílias químicas de acordo com as fontes plutônicas e com base no seu enriquecimento em elementos químicos, assembleias minerais e tipos de granitos associados. São elas as famílias LCT (Li-Cs-Ta) e NYF (Nb-Y-F).

A família LCT (Li-Cs-Ta) tem a marca de fontes graníticas do tipo S, peraluminosas, cujos magmas formam-se pela anatexia de rochas metassedimentares ou pelo baixo percentual de fusão parcial de rochas ígneas (ou metaígneas) do embasamento (ČERNÝ; ERCIT 2005). Com o avanço do fracionamento magmático, torna-se progressivamente enriquecida em álcalis raros, berílio, boro, estanho e fósforo, apresentando baixas razões Nb/Ta.

Já a família NYF (Nb-Y-F) é mais associada com granitos tipo A e I, subaluminosos a metaluminosos, moderadamente fracionados, originados por uma variedade de processos que envolvem a crosta empobrecida ou contribuições do manto – como por exemplo: (1) diferenciação direta de magmas basálticos mantélicos; (2) fusão de protólitos da crosta inferior ou intermediária; (3) fusão de litologias juvenis não depletadas em ambiente orogênico; (4)

combinação dos processos 2 e 3; e (5) fusão de crosta sílica pré-enriquecida em elementos NYF por fluidos derivados do manto (ČERNÝ; ERCIT 2005) – sendo enriquecida em ETR pesados e flúor, e com altas razões Nb/Ta.

Existe ainda uma terceira família, que seria a mistura das duas anteriores, chamada NYF + LCT. Forma-se principalmente pela contaminação dos granitos NYF com elementos LCT de litologias supracrustais, ou por anatexia de protólitos mistos, com diferentes quantidades de elementos NYF e LCT (ČERNÝ; ERCIT 2005). A família contém granitos e pegmatitos com características geoquímicas e mineralógicas combinadas.

3.3 ZONAÇÃO INTERNA DE PEGMATITOS

Uma das mais importantes classificações de pegmatitos, ainda usada como referência, é aquela feita por Cameron *et al.* (1949), que abordam considerações importantes acerca da estrutura interna dos pegmatitos, além de discutirem a origem geológica dessas rochas. Os autores propuseram uma sequência de camadas internas com determinada associação ou assembleia mineralógica, ordenadas a partir das paredes da câmara magmática que envolvem um corpo de magma pegmatítico, limitadas pelo contato com a rocha encaixante para o centro da intrusão, sendo, dessa forma, sua origem atribuída à cristalização fracionada.

Ainda segundo esses autores, as zonas pegmatíticas podem ocorrer de acordo com diversas associações mineralógicas, não necessariamente presentes em todos os pegmatitos, e cujos minerais são ordenados em ordem decrescente de abundância. As associações mineralógicas mais comuns são compostas por plagioclásio, K-feldspato e quartzo, combinados com muscovita, biotita, ambligonita, espodumênio e lepidolita. A ocorrência desses minerais e de acessórios como turmalina, berilo, topázio, columbita-tantalita e fosfatos é usada para definir cada assembleia.

Na Tabela 2 é possível identificar a sequência paragenética da zonação mineralógica, na qual as zonas externas (1) a (3) correspondem predominantemente às zonas de borda e zonas de parede, dominadas por plagioclásio. Nas zonas intermediárias é possível notar uma predominância de K-feldspato sobre plagioclásio em pegmatitos quimicamente simples, e minerais de Lítio predominam em corpos mais evoluídos (LONDON *et al.*, 2012). As seis primeiras zonas são interpretadas como provenientes de magma silicático; as zonas

remanescentes, o núcleo e os preenchimentos de fraturas devem ter influência de gases ou foram recristalizados no estado subsólido.

Tabela 2: Associações mineralógicas das zonas pegmatíticas

Zona	Associação mineralógica
1	Plagioclásio + quartzo + muscovita
2	Plagioclásio + quartzo
3	Quartzo + pertita + plagioclásio (\pm muscovita, \pm biotita)
4	Pertita + quartzo
5	Pertita + quartzo + plagioclásio + ambligonita + espodumênio
6	Albita + quartzo + espodumênio
7	Quartzo + espodumênio
8	<i>Lepidolita</i> + albita + quartzo
9	Quartzo + microclina
10	Miroclina + albita + quartzo + micas litiníferas
11	Núcleo de quartzo

Fonte: Cameron *et al.* (1949)

A estrutura interna dos pegmatitos zonados pode ser subdividida em três partes principais: 1) zonas de cristalização primária (zona de borda, zona de parede, zonas intermediárias) e núcleo; 2) Corpos de substituição/unidades metassomáticas; e 3) preenchimentos de fraturas (HEINRICH, 1953; CAMERON *et al.*, 1949; ČERNÝ, 1991b). Essa zonação interna é descrita, da borda para o interior do corpo, da seguinte forma (Figura 5):

- (I) Zona de borda - é representada por uma camada fina e de textura hipidiomórfica que se assemelha a um granito e envolve o pegmatito em contato com a encaixante;
- (II) Zona de parede - apresenta textura mais grossa e é uma camada mais espessa do que a anterior. Além do plagioclásio e quartzo, predominantes, pode apresentar muscovita, biotita, K-feldspato, granada, turmalina, apatita, berilo e columbita. K-feldspato e quartzo formam cristais esqueletais e textura gráfica;
- (III) Zonas intermediárias - são caracterizadas por um aumento relativo no tamanho dos cristais, em comparação às zonas anteriores. Essas zonas tendem a ser dominadas por um ou dois minerais, tipicamente microclínio pertítico, plagioclásio, muscovita, espodumênio, petalita ou montebrasita, todos associados com quartzo;
- (IV) Núcleo - é a porção mais interna do corpo pegmatítico, predominando quartzo nos pegmatitos comuns. Os pegmatitos ricos em Li, na maioria, contêm núcleos de quartzo,

mas podem também ser pobres desse mineral e conter albita e lepidolita, juntamente com uma variedade de minerais raros.

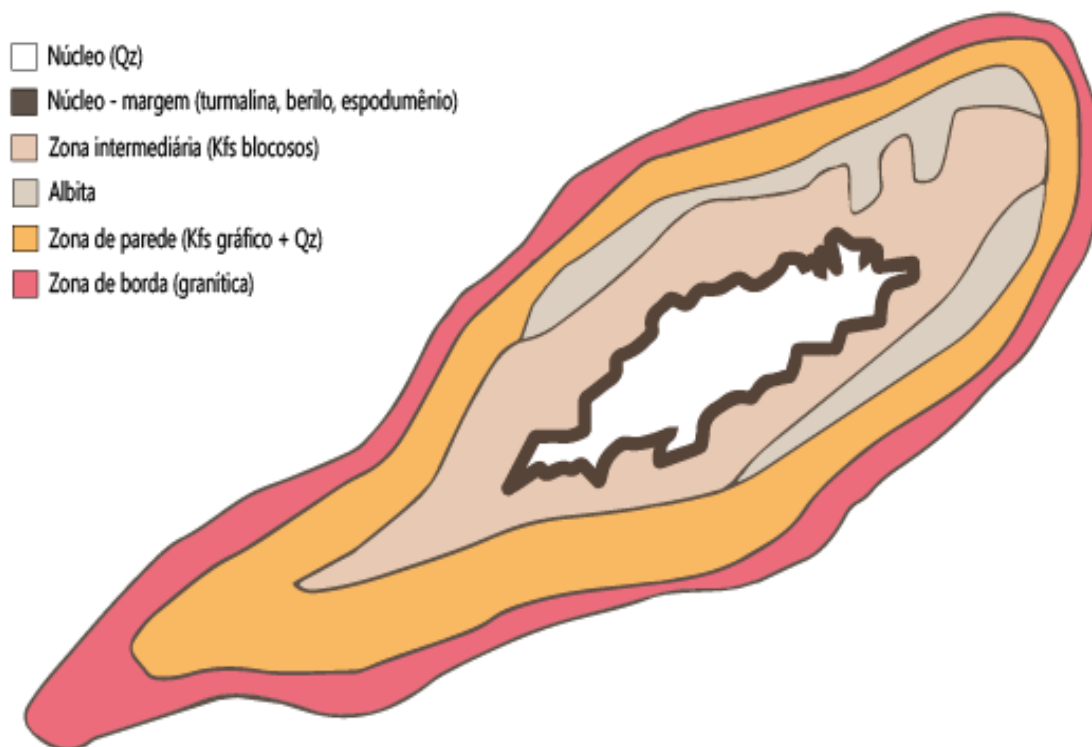


Figura 5: Estrutura interna de pegmatitos zonados em seção horizontal, na qual é possível observar o padrão concêntrico das zonas bem como a distribuição mineralógica e textural comumente observada nesses corpos.

Fonte: adaptado de Černý (1991a)

Além dessas zonas, Cameron *et al.* (1949) descreveram unidades atípicas (Figura 6), geralmente de baixa frequência e proporção, em campos de pegmatitos mapeados. São caracterizadas por:

- (V) Zonas de preenchimento de fraturas - são formadas principalmente por quartzo, mas podem apresentar materiais de outras zonas que tenham migrado ao longo das fraturas;
- (VI) Corpos de substituição - indicam a existência de um processo que converteu uma massa originalmente pegmatítica em uma rocha que possa ter características mineralógicas e texturais distintas;
- (VII) Aplitos acamadados - são alternâncias rítmicas de camadas claras, de quartzo e feldspato, e camadas escuras, estas formadas por quartzo, muscovita ou granada, ou ainda turmalina, lepidolita e tantalatos;

(VIII) Cavidades miarolíticas - são vazios nos pegmatitos preenchidos por cristais ou mesmo com material argiloso, possivelmente associados a alterações hidrotermais ou supergênicas, podendo conter cristais com qualidade de gemas.

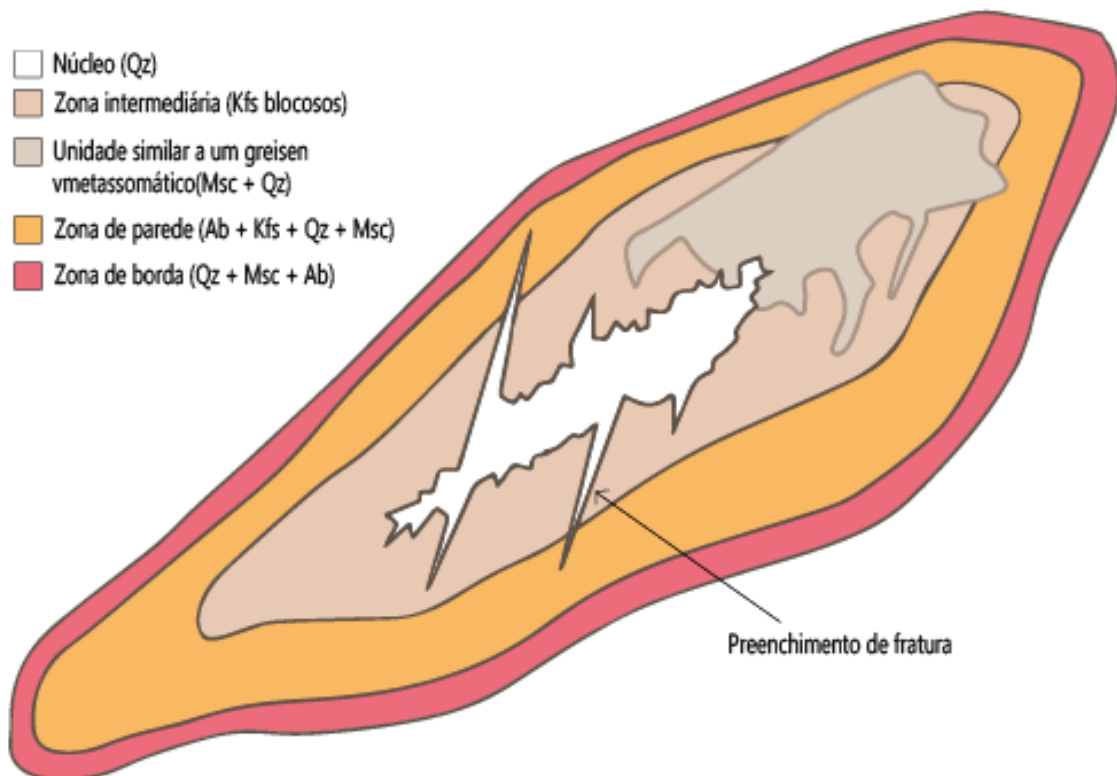


Figura 6: Estrutura interna de pegmatitos zonados em seção horizontal, na qual é possível observar unidades atípicas como preenchimentos de fraturas e unidade metassomática de substituição.

Fonte: adaptado de Černý (1991a)

3.4 ZONAÇÃO REGIONAL DE PEGMATITOS

Os estágios geoquímicos de evolução do processo pegmatítico foram caracterizados por Ginzburg (1960), sendo esse o aspecto principal para analisar a zonação regional de pegmatitos. Segundo este autor, a evolução geoquímica dos pegmatitos é caracterizada pela variação da quantidade relativa de álcalis nos diversos estágios, porém outros fatores também influenciam, como intervalo de profundidade de formação, enriquecimento em voláteis e intensidade de processos metassomáticos tardios, em decorrência da interação dos pegmatitos com a rocha encaixante.

Associações minerais específicas podem ser indicativas do grau de evolução das fusões que geraram os pegmatitos. Černý e Ercit (1985), por exemplo, observaram que a diversidade da mineralogia de minerais de Nb e Ta cresce com o fracionamento dos pegmatitos. Em geral, com o fracionamento, há um incremento de Mn e Ta e um decréscimo de Fe e Nb em minerais de Nb-Ta. Bradley, McCauley e Stillings (2017) discutem essa zonação regional em termos da mineralogia característica dos corpos pegmatíticos, variando das porções mais proximais a distais em relação à fonte desses corpos, o granito pegmatítico.

A viscosidade das fusões pegmatíticas diminui com o aumento do conteúdo de H₂O, F, P, B, Rb, Cs e Be, de modo que as porções mais evoluídas são as mais móveis e, portanto, posicionam-se mais distantes do granito parental (ČERNÝ, 1982a). Esse comportamento leva a um zoneamento regional dos pegmatitos, esquematizada por Černý (1991b).

Os pegmatitos mais proximais, e menos evoluídos, contêm essencialmente os minerais formadores de um granito, como o quartzo, K-feldspato, plagioclásio sódico, muscovita e biotita, e subordinadamente, granada, apatita, turmalina e zircão. Em seguida, ocorrem pegmatitos portadores de berilo. Esses são seguidos de pegmatitos portadores de columbita e berilo. Por fim, a próxima zona é caracterizada pela ocorrência de tantalita e aluminossilicatos de Lítio (zona Li, Be, Ta, Sn, Cs e Rb); e no caso dos pegmatitos mais evoluídos e distais podem ocorrer pollucita, um aluminossilicato de Cs e Na (Figura 7). Assim, na prospecção de elementos de importância econômica (Ta, Cs, Li dentre outros), deve-se levar em consideração esse modelo de zonação, buscando identificar os pegmatitos evoluídos, ou seja, mais distais em relação à fonte.

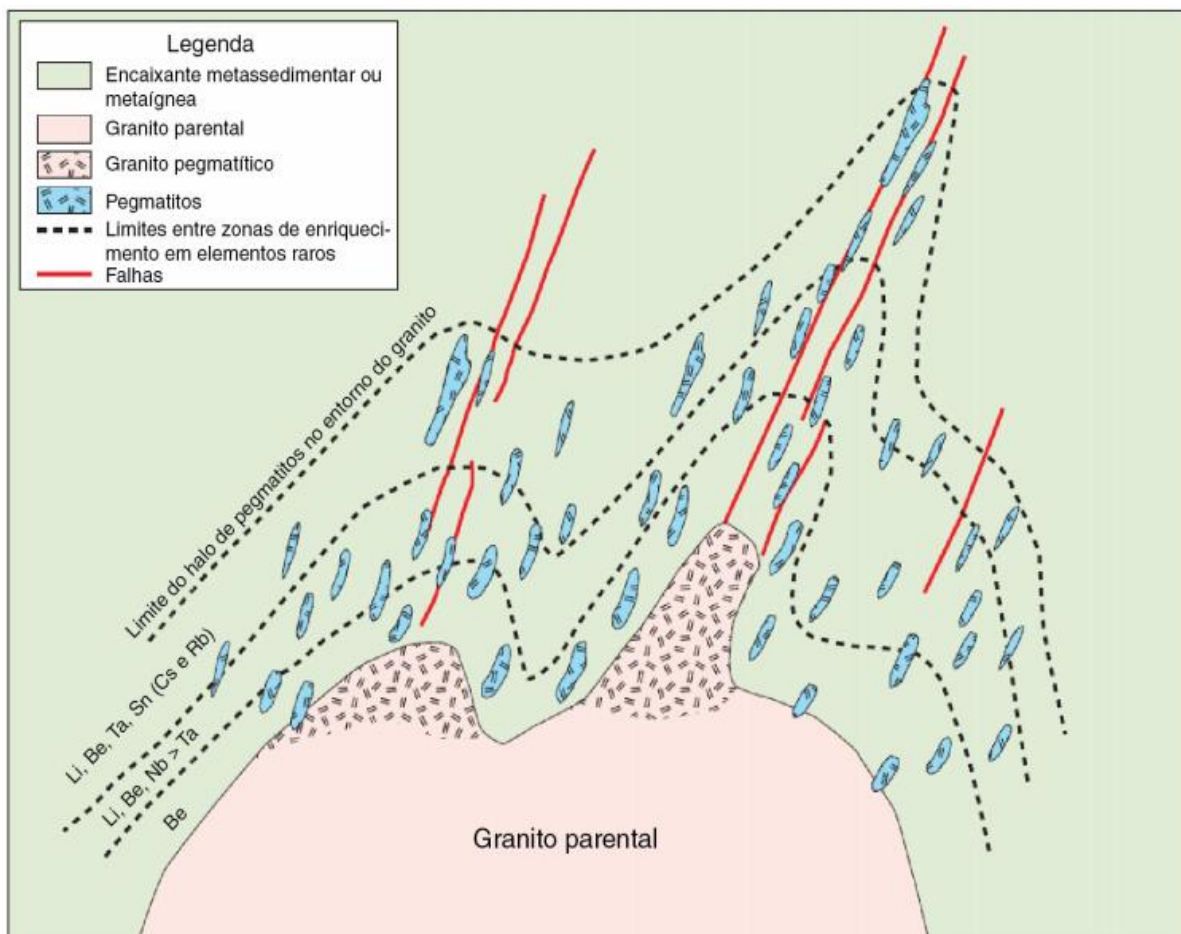


Figura 7: Modelo esquemático (sem escala) do padrão de zonação regional ideal em um campo pegmatítico, adaptado por Galeschuk e Vanstone (2005) a partir de Trueman e Černý (1982).

Se a figura for considerada como um corte, os granitos pegmatíticos ilustrados estariam posicionados na cúpula do granito parental.

Fonte: Bradley, McCauley e Stillings (2017)

3.5 SENSORIAMENTO REMOTO E PDI

As tecnologias verdes, como os veículos elétricos e baterias, representam um setor importante e ascendente da economia no mundo moderno (CHRISTMANN *et al.*, 2015) e o Lítio (Li) tornou-se um metal crítico para a indústria de energia verde (GROSJEAN *et al.*, 2012) (ARROBAS *et al.*, 2017). Essa crescente demanda exige uma revisão das técnicas de exploração geológica para pegmatitos Li – Cs – Ta (LCT), que são aplicáveis ao trabalho de empresas de mineração. A exploração de Li com o recurso de dados e técnicas de sensoriamento remoto representa um campo emergente, com várias dificuldades e possibilidades desconhecidas.

Nesse contexto, os dados de sensoriamento remoto hiperespectral têm sido uma ferramenta importante na prospecção geológica, uma vez que essa ferramenta permite encontrar

áreas de interesse para exploração e possibilita o acesso a informações de forma rápida, barata e não invasiva, favorecendo a indústria da mineração e exploração geológica, especialmente em áreas inacessíveis e remotas. Rajesh (2004), em uma visão geral do uso de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na exploração mineral, aponta a dificuldade de localizar mineralizações usando apenas dados de sensoriamento remoto, destacando a importância da integração com outros tipos de dados geológicos.

Levando-se em consideração o contexto regional no qual os corpos pegmatíticos do Seridó potiguar estão inseridos, os resultados obtidos das missões do satélite Sentinel-2 se destacam, pois funcionam particularmente bem em ambientes áridos caracterizados por uma abundância limitada de vegetação para delinear intrusões graníticas, alunite hidrotermal e minerais de argila e minerais silicatados contendo Lítio (espodumênio e petalita), usando combinações de banda RGB, proporções e análise seletiva de componentes principais (CARDOSO-FERNANDES; TEODORO; LIMA, 2019; KALINOWSKI; OLIVER, 2004).

Em um estudo de caso da região de Fregeneda-Almendra, na Espanha e Portugal, Cardoso-Fernandes *et al.* (2019) utilizaram e desenvolveram uma variedade de assinaturas espectrais para identificar pegmatitos LCT atualmente em exploração, por meio de mapeamento de halo de alteração hidrotermal e identificação direta de minerais contendo Li. Neste contexto, foi demonstrada a importância das bandas térmicas na discriminação de pegmatitos portadores de Li por meio de dados de sensoriamento remoto, uma vez que os minerais silicatados (espodumênio e petalita) apresentam bandas de emissão distintas no espectro térmico.

As composições de bandas e razões de banda mais aplicáveis para a determinação de corpos pegmatíticos, ou de áreas enriquecidas em minerais de Li, foram possíveis nas cenas obtidas pelo Sentinel-2, devido às resoluções espacial, espectral e temporal. Para isso, as combinações escolhidas foram aquelas que apresentaram uma boa resposta para a identificação de espodumênio, lepidolita e argilas/minerais de alteração, além dos óxidos de ferro, pois permitem inferir o tipo de rocha que abriga esses minerais.

3.6 AEROGEOFÍSICA

Métodos geofísicos aerotransportados, principalmente magnetometria e radiometria, são ideais para a caracterização de áreas pouco conhecidas como os corpos pegmatíticos da PPB. Tais métodos têm rápida cobertura, são não destrutivos e normalmente apresentam boa

resolução, a depender da profundidade de investigação, do tamanho do alvo e da altura do voo no levantamento.

Levantamentos radiométricos aerotransportados regionais são uma ferramenta aplicável para identificar intrusões e *stocks* de granito, ou seja, o metal e a fonte de calor do sistema de mineralização, por meio da análise de dados do espectrômetro K – Th – U (COOK *et al.*, 1996; SCHETSELAAR; CHUNG; KIM, 2000). Levantamentos radiométricos e magnéticos aerotransportados são geralmente conduzidos simultaneamente e, embora os pegmatitos LCT muitas vezes não contenham minerais de sulfureto magnéticos ou condutores (TRUEMAN; ČERNÝ, 1982; AHTOLA *et al.*, 2015), os levantamentos magnéticos permitem que os geólogos estabeleçam controle estrutural sobre a colocação do granito e correlacionem com o cisalhamento regional, falhas e zonas distensivas a anomalias minerais e geoquímicas conhecidas, estabelecendo, portanto, uma via de migração de fluidos e potenciais armadilhas de mineralização.

3.6.1 Gamaespectrometria

A gamaespectrometria, tradicionalmente utilizada como apoio ao mapeamento geológico regional e à prospecção mineral de urânio, experimentou avanços importantes nos últimos anos. Este método geofísico mede o contraste entre as principais fontes de radiação gama detectadas na superfície terrestre, e a aquisição dos dados é feita através do equipamento espectrômetro (Figura 8). Na natureza existem mais de cinquenta isótopos radioativos diferentes, porém a maioria é rara ou possui energia radioativa fraca. Com isso, as principais fontes de radiação gama observadas na natureza são o potássio (^{40}K) e elementos das séries do urânio (^{238}U) e do tório (^{232}Th), os quais viabilizam a prospecção pelo método por suas concentrações mais elevadas na crosta superior (TELFORD *et al.*, 1990).

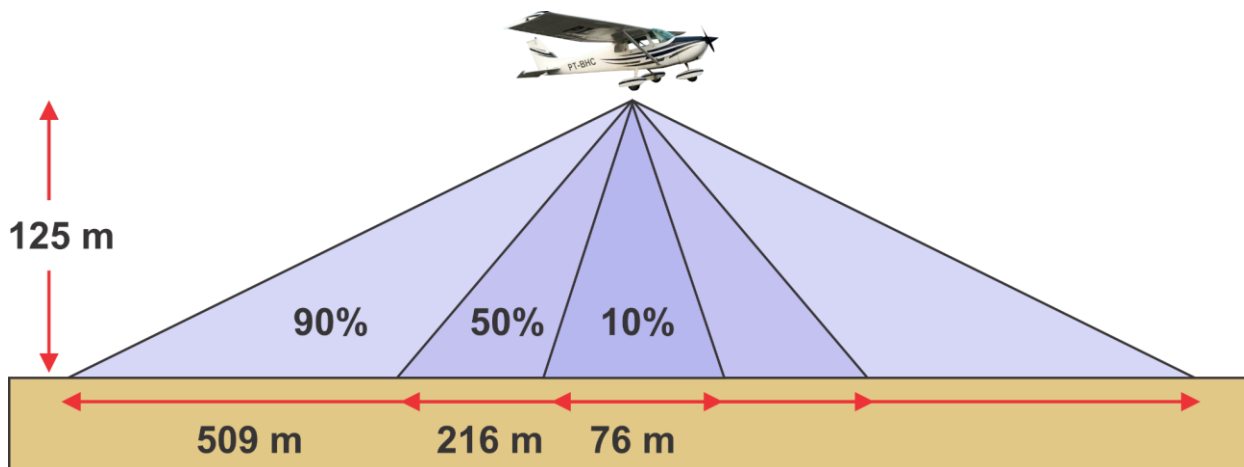


Figura 8: Campo de captação de um espectrômetro de raios gama aerotransportado. Esta figura mostra, para um espaço uniforme, o tamanho da área no solo de onde vêm os fótons gama registrados pelo detector.

Fonte: Grasty *et al.* (1991b *apud* FORTIN *et al.*, 2017, p. 132)

O método gamaespectrométrico apresenta pouca profundidade de penetração, chegando ao máximo em torno de 30 a 40 cm de profundidade em meios anidros. Essa baixa penetração se deve à interferência que o meio proporciona às medições, assim reduzindo a espessura média investigada (MINTY, 1988).

Fatores ambientais atenuam as medidas radiométricas de forma significativa. Dentre os principais fatores responsáveis pela atenuação pode-se apontar a presença de cobertura de solo, capaz de atenuar até 95% da emissão gama com apenas 35 cm de espessura (MINTY, *et al.*, 1997). A vegetação é outro fator que pode interferir de maneira significativa na aquisição de U e Th e até 15% da emissão de K. A umidade relativa do ar, presença de nuvens, variação da temperatura e pressão atmosféricas, interferem na aquisição por reterem água e aerossóis na atmosfera. Inversão térmica pode causar o falseamento nos dados adquiridos por conta da retenção de radônio e, por fim, deve-se levar em consideração efeitos direcionais, quando as janelas de detecção gama não estiverem orientadas no plano de aquisição (GUNN, 1998).

Dados aerogamaespectrométricos requerem uma série de correções iniciais para que os espectros adquiridos possam ser analisados com relação à sua concentração na crosta. A partir desses dados corrigidos é possível obter informações com mapas de U, Th e K que, em conjunto com o conhecimento geológico e estrutural da área de interesse, podem ser uma importante ferramenta nos mais variados estudos de Ciências da Terra. A partir das contagens individuais, mapas de razões radiométricas de U/Th, U/K e Th/K são confeccionados. Estes podem auxiliar no diagnóstico de mudanças do tipo de rocha, alteração hidrotermal, geomorfologia e variações da concentração do radioelemento dentro de corpos ígneos. Tipos de rochas em uma mesma

região podem apresentar distinção entre a concentração de U, Th e K, sendo que suas razões podem indicar os limites dessas concentrações.

Corpos ígneos podem ser mapeados através das concentrações dos radioelementos, pois o processo de enriquecimento destes, dentro do corpo, ocorre com a diferenciação magmática e alteração hidrotermal, sendo o corpo ígneo mais evoluído aquele com concentrações maiores de K em relação às de Th e U, e os menos evoluídos com altos valores de U, Th e K. A diferença nas razões de U/K e Th/K é mais representativa que a razão U/Th, já que durante a gênese e evolução do corpo granítico o comportamento geoquímico não é uniforme (IZA *et al.*, 2018).

Recentemente, a introdução de gamaespectrômetros de alta resolução e a transformação das contagens por segundo (cps) em % de K, eU (urânio equivalente) e eTh (tório equivalente) em ppm, acompanhadas por um notável avanço das técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG e dos sistemas de processamento digital de imagens, além do posicionamento por satélite (Global Positioning System – GPS), têm permitido extrair informações valiosas dos dados gamaespectrométricos em correspondência à integração de dados exploratórios multifonte.

Uma das aplicações modernas da gamaespectrometria é a possibilidade de identificar áreas de alteração hidrotermal e estabelecer suas relações com processos de mineralização de metais base (Cu-Pb-Zn), (SHIVES; CHARNONNEAU, 2000). Além disso, tal método também contribui na identificação de possíveis zonas de mineralização em corpos pegmatíticos.

3.6.2 Magnetometria

A magnetometria é uma das técnicas mais utilizadas no mapeamento geofísico regional e pode auxiliar na avaliação estrutural e na identificação de estruturas magnéticas. Trata-se de um método geofísico que mede a magnitude e a orientação do campo geomagnético. Essa interação magnética, que depende principalmente do campo magnético primário gerado no núcleo da Terra e das magnetizações induzidas e remanentes das rochas que compõem a crosta terrestre, tende a ser variável conforme as propriedades físicas das rochas com as quais interagiu, como susceptibilidade magnética e campo magnético (LOWRIE, 2007).

Existem cinco comportamentos distintos dentro dos estudos de minerais magnéticos, que são o diamagnetismo, o paramagnetismo, o ferromagnetismo, o antiferromagnetismo e o ferrimagnetismo. Para o desenvolvimento deste trabalho só será relevante a utilização dos três primeiros (dia-, para- e ferro- magnetismo), pois alguns dos minerais da área de estudo possuem estes comportamentos.

Com base nessas propriedades, os materiais ou minerais são classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por ele. No primeiro caso, incluem-se os minerais magnéticos, e dentre estes tem-se os minerais ferromagnéticos, que são atraídos fortemente pelo campo, como por exemplo a magnetita, e os paramagnéticos, que são atraídos fracamente, como a ilmenita. No segundo caso, incluem-se aqueles que são repelidos pelo campo, denominados diamagnéticos ou não magnéticos, como quartzo, calcita, fluorita, dentre outros (LUZ; FRANÇA; BRAGA, 2018).

O processamento dos dados magnéticos visa a evidenciar da melhor forma as anomalias magnéticas, buscando realçar ou atenuar os comprimentos de ondas a depender do objetivo da investigação, evidenciando da melhor forma os contrastes que originam anomalias magnéticas as quais se deseja interpretar. O Campo Magnético Anômalo (CMA) representa influências da heterogeneidade magnética da região de pesquisa. Ele é composto pela superposição de diversas fontes magnéticas oriundas de diferentes profundidades. Havendo necessidade, é possível remover a influência das fontes profundas para as anomalias mais superficiais serem realçadas, processo conhecido como separação regional-residual.

Essa separação regional-residual é possível devido à utilização de filtragens, que neste caso é o filtro Gaussiano. Porém, outras técnicas de filtragem também podem ser utilizadas para melhorar o dado magnético, sendo as principais: Sinal analítico, Primeira Derivada, Redução ao Polo, Continuação para cima/para baixo, dentre outras.

O método magnético tem relevância para o estudo de corpos pegmatíticos, pois pode auxiliar principalmente nos aspectos estruturais da rocha, seja na identificação da direção desses corpos ou das características da rocha encaixante; ou até mesmo para observar se existe relação entre as direções dos pegmatitos ou dos diques e/ou outras estruturas que recobrem a região de estudo.

As anomalias magnéticas são alvos principais de pesquisas tanto de regiões superficiais quanto profundas (até a isoterma de Curie). A isoterma de Curie é o limite termal máximo em que materiais ainda apresentam qualquer tipo de magnetização conservada, localizada em média em aproximadamente 580°C (FROST; SHIVE, 1986; LOWRIE, 2007). Acima desta superfície é possível extrair importantes informações da crosta, que permitem o entendimento de suas características físicas e geodinâmicas, auxiliando na sua interpretação geológica e tectônica.

Os levantamentos magnetométricos podem ser terrestres ou aéreos, a depender da escala de detalhe com a qual são trabalhados. Normalmente os levantamentos terrestres são realizados

sobre áreas relativamente pequenas, sobre alvos predefinidos e com espaçamento pequeno entre as medidas; já para os dados aeromagnetométricos (Figura 9) o espaçamento entre as linhas de voo depende do grau de detalhe exigido para o alvo de exploração desejado e dos recursos financeiros disponíveis. Para o reconhecimento de áreas, geralmente são realizados espaçamentos maiores, e para levantamentos de detalhe as linhas são menos espaçadas. Cabe ressaltar que a altura do voo deve ser a mais baixa possível, de modo que não afete a segurança do levantamento.

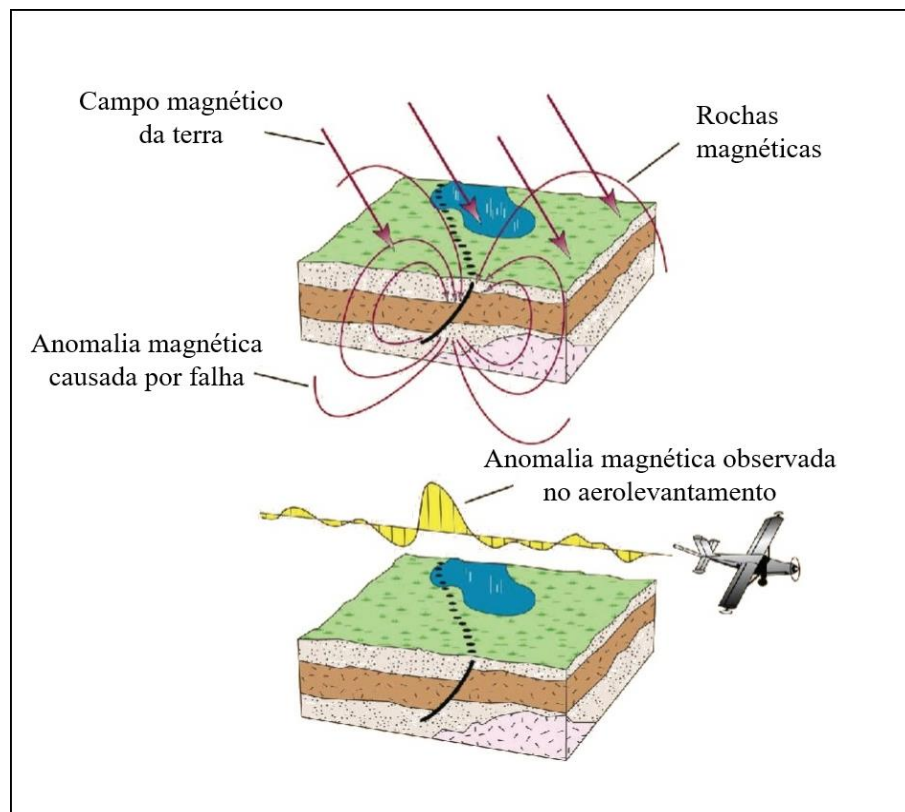


Figura 9: Aquisição de dado magnético através de aeromagnetômetro e identificação de anomalia magnética causada por uma falha geológica.
Fonte: Geosiam Geophysical Services Co. Ltd. (2021)

4 GEOLOGIA REGIONAL

4.1 PROVÍNCIA BORBOREMA

O Rio Grande do Norte é constituído, em sua predominância, pelos litotipos pertencentes à Província Borborema, como definida por Almeida *et al.* (1981) e Brito Neves *et al.* (2000), a qual compreende uma importante entidade geotectônica localizada no NE do Brasil. Limita-se a norte e a Leste com a Margem Continental Atlântica, a oeste com a Bacia do Parnaíba e a sul com o Cráton São Francisco (Figura 10).

Essa província contém em sua porção central uma faixa orogênica que teve sua origem decorrente da aglutinação do continente Gondwana Ocidental e um posterior desmembramento do supercontinente Pangea nos continentes que hoje conhecemos por África e América do Sul (SANTOS *et al.*, 2008). Essa sequência de eventos iniciou-se no Arqueano e teve seu clímax durante o Neoproterozoico Superior, tendo como consequência a colisão entre as placas São Francisco/Congo e São Luís/Oeste Africano, caracterizando o denominado Ciclo Brasileiro/Panafricano (0,75 – 0,55 Ga) (VAN SCHMUS *et al.*, 1995) e gerando a Província Borborema na porção sul-americana, sendo, dessa forma, um dos principais domínios para entender a evolução da Gondwana Ocidental.

Para Almeida *et al.* (1981), a geologia da Província Borborema é representada por um mosaico de blocos crustais, onde é possível identificar desde rochas de idade arqueana até paleoproterozoica, compondo o embasamento gnáissico-migmatítico a granulítico, coberto por sequências de rochas metasupracrustais proterozoicas, metamorfizadas em fácies xisto-verde a granulito.

Durante este evento houve a formação de importantes estruturas dúcteis, como grandes Zonas de Cisalhamento transcorrentes, que limitam blocos crustais, e dessa forma foram utilizadas para a divisão da Província Borborema em subdomínios (MEDEIROS, 2004). Além disso, essas Zonas de Cisalhamentos instauradas durante o evento brasileiro também proporcionaram a acomodação de um volumoso plutonismo de idade ediacarana (JARDIM DE SÁ *et al.*, 1998; ANGELIM; MEDEIROS; NESI, 2006; DANTAS *et al.*, 2013).

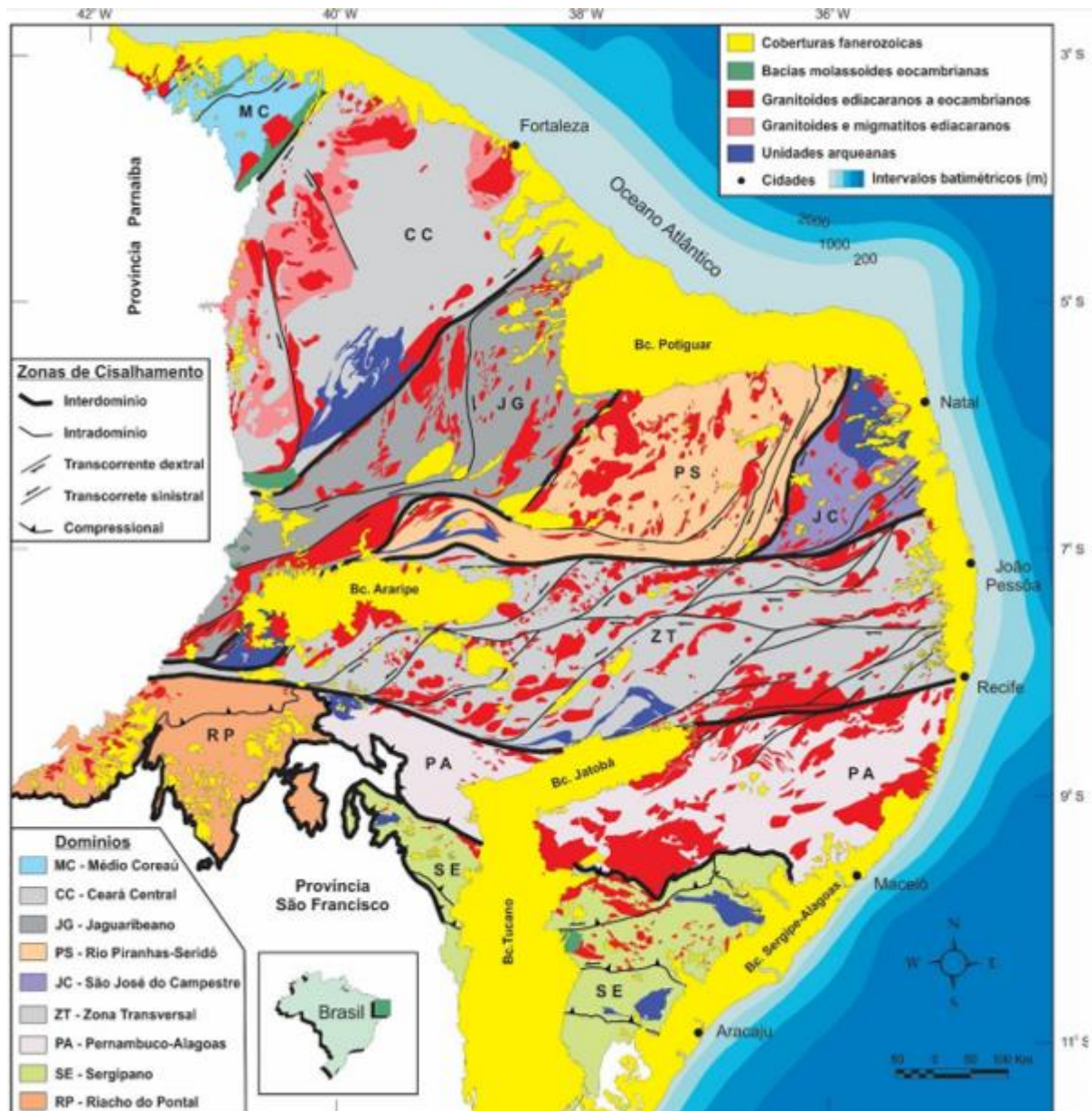


Figura 10: A Província Borborema. Observar a localização do domínio Rio Piranhas-Seridó (PS) no extremo nordeste.

Fonte: Medeiros *et al.* (2017)

4.2 DOMÍNIO RIO PIRANHAS-SERIDÓ (PS)

Segundo Angelim (2006), o domínio Rio Piranhas-Seridó limita-se tectonicamente a oeste com o Domínio Jaguaribeano pela zona de cisalhamento Portalegre, a leste com o Domínio São José do Campestre por meio da zona de cisalhamento Picuí-João Câmara, a norte com as rochas sedimentares da Bacia Potiguar e a sul com o Domínio Zona Transversal, através da zona de cisalhamento Patos (Figura 11).

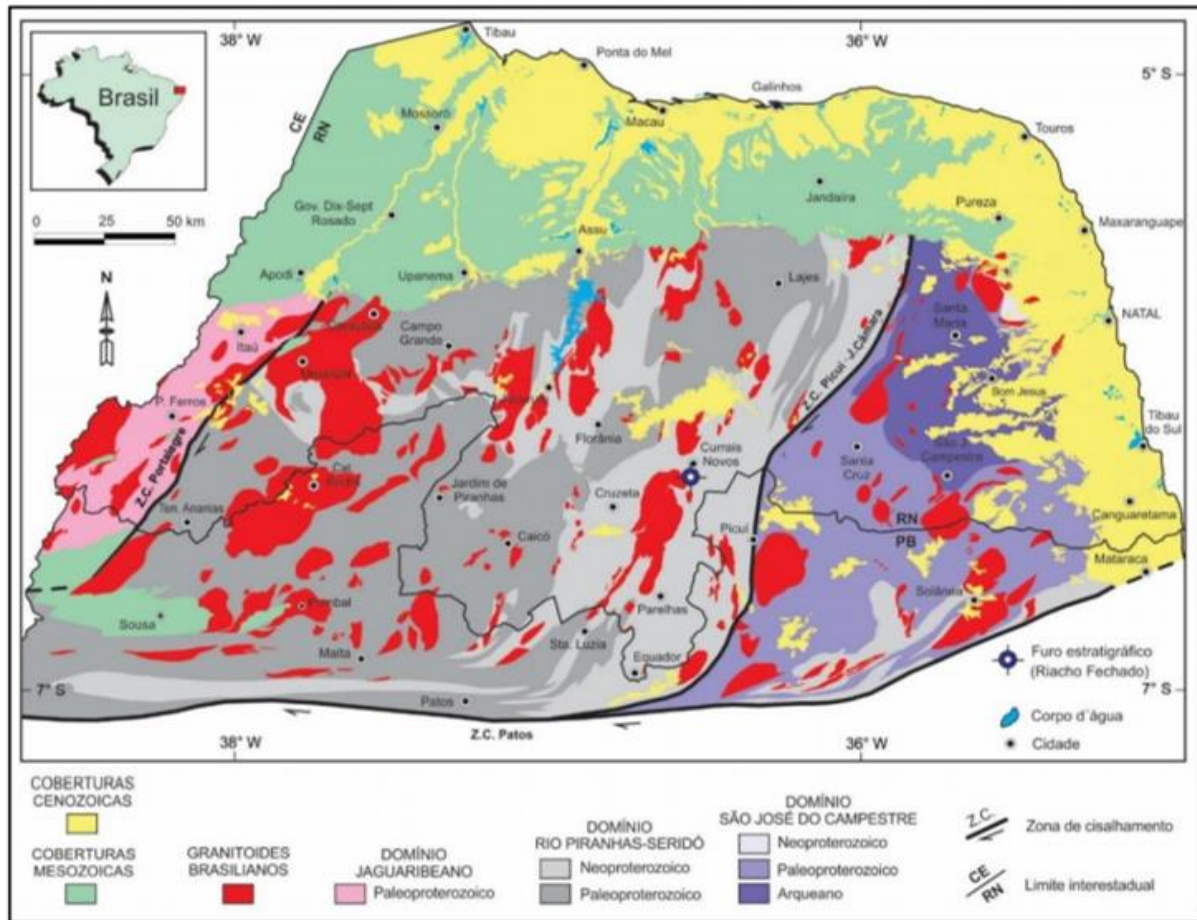


Figura 11: Compartimentação geológica do extremo nordeste da Província Borborema, com destaque para os domínios São José do Campestre, Rio Piranhas-Seridó e Jaguaribeano, citados de leste a oeste. Fonte: Medeiros *et al.* (2013)

O Domínio PS é constituído por um embasamento cristalino com rochas de idade paleoproterozoica caracterizadas como sendo um complexo gnáissico-migmatítico, conhecido por Complexo Caicó. Além dessas rochas, este domínio também apresenta uma cobertura com rochas metassupracrustais neoproterozoicas, designada de Grupo Seridó, onde se encontram as formações Serra dos Quintos, Jucurutu, Equador e Seridó, da base para o topo, respectivamente. Ambas as unidades foram afetadas pela deformação e metamorfismo polifásicos (JARDIM DE SÁ, 1984, 1994; JARDIM DE SÁ *et al.*, 1995).

4.2.1 Embasamento Gnáissico-Migmatítico (Complexo Caicó)

Na região do Seridó, o embasamento gnáissico-migmatítico foi inicialmente denominado de Complexo Caicó por Meunier (1964), abrangendo núcleos mais antigos, compostos por metavulcânicas e metassedimentos. Já Ferreira e Albuquerque (1969) o

definiram como sendo uma sequência litológica de alto grau metamórfico, constituída, basicamente, por gnaisses e migmatitos. De acordo com a revisão de Jardim de Sá (1994), critérios de campo foram analisados para definir o Complexo Caicó como embasamento do Grupo Seridó, abrangendo este conjunto de rochas gnáissico-migmatíticas, incluindo supracrustais mais antigas, em caráter subordinado. Mais recentemente, Souza *et al.* (2007) descreveram o Complexo Caicó como sendo o embasamento de alto grau metamórfico do Grupo Seridó, constituído principalmente por rochas paleoproterozoicas metaplutônicas, intrudidas e/ou intercaladas com unidades metassupracrustais mais antigas.

Regionalmente, o embasamento gnáissico-migmatítico paleoproterozoico é composto pelo complexo Caicó e pela Suíte Poço da Cruz, correspondente aos granitos G2 de Jardim de Sá (1978). Essa unidade geológica representa o embasamento sobre o qual houve a deposição dos protólitos vulcanossedimentares do Grupo Seridó (como descrito adiante). Segundo Jardim de Sá (1994), o contato entre o embasamento e as rochas supracrustais do Grupo Seridó é do tipo não conformidade, demarcado, em vários locais, pela ocorrência de metaconglomerado polimítico basal, contendo seixos de rochas granito-gnáissicas do Complexo Caicó.

Geologicamente, o Complexo Caicó foi subdividido em duas associações distintas: a primeira é composta por rochas metavulcanossedimentares (paragnaisses e anfíbolitos, com lentes de outros tipos de litologia, como anfíbólio-gnaisses, gnaisses calcissilicáticos, gnaisses xistosos, quartzitos ferríferos, formações ferríferas, mármore, gnaisses bandados, por vezes migmatizados, e migmatitos); a segunda é constituída por uma unidade metaplutônica mais jovem (ortognaisses tonalítico-granodiorítico, granito e leuco-ortognaisses graníticos com lentes de rochas anfíbolíticas e migmatitos, com textura média e equigranular, e aqueles de fácies porfirítica e composição granítica a granodiorítica), entretanto, em diversos locais essas unidades se encontram cartografadas de forma indivisa (JARDIM DE SÁ, 1994; SOUZA, 1991). Datações feitas pelo método U-Pb em zircões de ortognaisses, obtidas por Hackspacher *et al.* (1990), Legrand *et al.* (1991), Dantas (1992) e Souza *et al.* (2016) apontam o intervalo entre 2,25 a 2,10 Ga para a formação desta unidade.

No contexto das unidades ortoderivadas do Complexo Caicó, corpos de *augen* gnaisses graníticos são comumente encontrados nos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre. A designação suíte Poço da Cruz foi feita primeiramente por Ferreira (1997), caracterizando as rochas que apresentam composição quartzo monzonítica a granítica de granulação grossa com porfiroclastos de microclina em matriz quartzo-feldspática, além de biotita e anfíbólio como máficos (\pm muscovita). Ocorrem como intrusões tabulares (*sheets*) com

espessura variando de métrica a decamétrica, ou como corpos batolíticos de geometria ainda pouco conhecida.

Na Faixa Seridó, a suíte Poço da Cruz corresponde, apenas em parte, aos *augen* ortognaisses G2 de Jardim de Sá *et al.* (1981), estes não afetados pelo evento D1. Angelim (2006) reporta a Suíte Poço da Cruz como parte integrante do embasamento das metassupracrustais, além do Complexo Caicó, tendo-se por base os trabalhos de Hackspacher *et al.* (1997) e Van Schmus *et al.* (2003). Essa interpretação é baseada em dados geocronológicos obtidos para a deposição do Grupo Seridó e pelas datações existentes acerca dessa suíte. Sendo assim, essa unidade é pré-Grupo Seridó e pós-Complexo Caicó.

As primeiras datações Rb-Sr no Complexo Caicó forneceram idade Arqueana (BRITO NEVES, 1975). Posteriormente, ainda baseados no mesmo método, Macedo *et al.* (1984) e Jardim de Sá (1994, 1995) obtiveram idades isocrônicas de 2.007 ± 22 Ma e 2.086 ± 69 Ma para *augen* e ortognaisses de granulometria fina, e de 1.799 ± 30 Ma para metapegmatitos que são afetados pelo evento D2. Legrand *et al.* (1991), a partir de datações U-Pb em zircões de *augen* gnaisses da região de Angicos (RN), obtiveram idades de $1,93 \pm 12$ Ga para essa suíte, enquanto que Jardim de Sá (1994) obteve idades Pb-Pb em zircão de $1,95 \pm 0,05$ Ga em *augen* gnaisses na região de Cerro Corá (RN). Por outro lado, Hollanda *et al.* (2011) obtiveram idades riacianas de 2,25 Ga, 2,21 Ga e 2,17 Ga para os plútons São José do Seridó, Santana dos Matos e Antônio Martins, e de 1,75 Ga para o *augen* gnaiss de Serra Negra do Norte, que constitui um corpo batolítico afetado pelo evento D2.

Tais datações evidenciam que essa suíte é indistinguível, em termos isotópicos, do restante do Complexo Caicó. Além dessas, outras idades semelhantes foram obtidas por Medeiros *et al.* (2012) em *augen* gnaisses das regiões de Genezaré e Florânia. Esse conjunto de dados e as relações de campo atestam que o Complexo Caicó inclui corpos de *augen* gnaisses, mas que parte dessas rochas são tardias ou pós-tectônicas em relação ao evento D1.

4.2.2 Sequência Metassupracrustal (Grupo Seridó)

Em linhas gerais, Ferreira e Albuquerque (1969) denominam a unidade composta pelos metassedimentos e metavulcânicas que compreendem o pacote de rochas sobrepostas ao embasamento da região como Grupo Seridó, sendo essa a unidade metassupracrustal característica da Faixa de Dobramentos Seridó. Van Schmus *et al.* (2003) sugerem uma janela temporal de deposição dessa megassequência entre 650 e 610 Ma, com base nos dados obtidos

a partir de análises SHRIMP U-Pb em zircões detríticos, e que sua estruturação/deformação ocorreu em 600 Ma, durante a Orogênese Brasileira/Panafricana (JARDIM DE SÁ, 1984, 1994; JARDIM DE SÁ *et al.*, 1995).

Essas rochas são submetidas a metamorfismo variando da fácies xisto verde a anfibolito superior, e sua estratigrafia ainda constitui motivo de divergências na literatura da região. Os contatos supracrustais/embasamento são predominantemente marcados por zonas de cisalhamento (tangenciais ou transcorrentes). Contudo, em algumas regiões, são reconhecidas superfícies de não conformidade, representadas por metaconglomerados basais, nas supracrustais, e diques de rochas básicas anfibolitizados que truncam um bandamento restrito aos gnaisses Caicó, conforme interpretações de campo por Jardim de Sá (1978; 1984).

Há duas propostas vigentes para a estratigrafia das supracrustais: A de Jardim de Sá e Salim (1980), mais difundida e utilizada nos trabalhos sobre a Faixa Seridó; e a de Archanjo e Salim (1986). Para Jardim de Sá e Salim (1980) e Jardim de Sá (1984, 1994), o Grupo Seridó possui três unidades: a Formação Jucurutu na base, com paragneisses dominantes e intercalações de mármore, quartzitos, micaxistos, rochas calciossilicáticas, formações ferríferas, metavulcânicas e alguns metaconglomerados basais; a Formação Equador, intermediária, é composta principalmente por quartzitos, intercalados com metaconglomerados e paragneisses – essa unidade possui espessura muito variável e pode estar ausente em algumas regiões; e a Formação Seridó, no topo, composta por micaxistos diversos (aluminosos a feldspáticos, de baixo a alto grau metamórfico), com intercalações subordinadas de mármore, metavulcânicas, rochas calciossilicáticas e metaconglomerados, que ocorrem na base dessa formação. Esse empilhamento estratigráfico reflete uma evolução deposicional da mais antiga para a mais jovem. Por outro lado, relações de interdigitação/graduação nos contatos sugerem uma (pelo menos parcial) contemporaneidade entre essas unidades na bacia original.

Uma idade Paleoproterozoica é atribuída por Jardim de Sá (1978, 1988, 1994) para o Grupo Seridó com base no posicionamento do *augen* gnaisses graníticos (denominado de G2 por Jardim de Sá *et al.* 1987; 1988), considerados como intrusivos nas formações Jucurutu e Equador, e de forma mais restrita na Formação Seridó. Datações destas rochas, pelos métodos Rb-Sr (rocha total), U-Pb e Pb-Pb, em zircões, indicam idade de cristalização entre 2,1 - 1,9 Ga (MACEDO *et al.*, 1984; JARDIM DE SÁ *et al.*, 1987; LEGRAND *et al.*, 1991; JARDIM DE SÁ *et al.* 1995). Considerando-se estes plútons como sin-tectônicos e intrusivos no Grupo Seridó, este intervalo de tempo estaria associado à deformação mais antiga que o afetou e, portanto, a idade mínima desta unidade.

Uma outra proposta (ARCHANJO; SALIM 1986; CABY; ARTHAUD; VAUCHEZ, 1991; CABY; ARTHAUD; ARCHANJO, 1995, entre outros) defende a presença de uma discordância estratigráfica entre o Grupo Jucurutu (formações Jucurutu na base, e Equador no topo) e o Grupo Seridó (com a inserção de uma fácies conglomerático basal – a Formação Parelhas, sotoposta aos micaxistos Seridó).

4.2.3 Plutonismo Ediacarano-Cambriano (Granitoides Brasileiros)

Na Faixa Seridó é possível identificar uma extensa granitogênese, imposta pelo evento Brasileiro, conhecida na região como os “granitoides G3” (JARDIM DE SÁ *et al.*, 1981; JARDIM DE SÁ, 1994) intrusivos tanto no embasamento da Faixa Seridó como nas supracrustais. Representa uma das feições mais importantes da Província Borborema, ocorrendo como batólitos, *stocks* e diques, cujas características petrográficas, químicas e geocronológicas diferem entre si. Nesse contexto, cabe destacar os trabalhos de Jardim de Sá (1994), Angelim (2006) e Nascimento *et al.* (2015) que classificaram essas rochas plutônicas com base em critérios de campo, estruturais e/ou geoquímicos.

Para Nascimento, Galindo e Medeiros (2015), na região do Domínio Rio Piranhas-Seridó, os principais períodos de atividade plutônica durante a orogênese Brasileira foram o Ediacarano (635 a 541 Ma) e o Cambriano (541 a 485 Ma), sendo o primeiro período o mais intenso. Jardim de Sá (1994) caracteriza essa granitogênese (os granitoides G3) como plútons sin a tardi-tectônicos ao evento D3. Esses granitoides são encontrados ao longo de toda a Faixa Seridó, truncando estruturas existentes (referentes às fases D2 e D1) impressas nas rochas do embasamento, nas supracrustais e nos *augen* gnaisses G2.

Com base em dados petrográficos, texturais, geoquímicos e geocronológicos de várias amostras, Nascimento, Galindo e Medeiros (2015) conseguiram individualizar seis diferentes suítes magmáticas, sendo elas: (i) Alcalina, constituída por álcali-feldspato granitos com álcali-feldspato quartzo sienitos e sienogranitos subordinados; (ii) Alcalina Charnoquítica, representada por quartzo mangeritos e charnoquitos; (iii) Cálcio-alcalina, de granodioritos a tonalitos, com fenocristais de plagioclásio; (iv) Cálcio-alcalina de alto K equigranular, que ocorre como enxames de diques, soleiras ou corpos isolados de monzogranitos; (v) Cálcio-alcalina de alto K porfirítica, que é uma suíte volumetricamente abundante, sendo caracterizada por fácies porfiríticas cujos fenocristais são de K-feldspato com coroas de plagioclásio, em

monzonitos, granodioritos e, subordinadamente, quartzo monzonito; por fim, (vi) a suíte Shoshonítica, que varia de gabros/dioritos a quartzo monzonitos.

Diversos trabalhos reportaram idades referentes a estes granitoides. Legrand *et al.* (1991) dataram o granito porfirítico do Maciço de Acari pelo método U-Pb em zircões, definindo uma idade de intrusão de 555±5 Ma, coincidente com datação Rb-Sr em rocha total (JARDIM DE SÁ, 1994), o qual propôs o intervalo de 580±30 Ma para o evento de cinemática transcorrente (D3) na Faixa Seridó.

4.2.4 Província Pegmatítica da Borborema

Esta província, localizada dentro do Domínio PS, mais especificamente na Faixa Seridó, compreende o que Scorza (1944) chamou de Província Pegmatítica da Borborema. Nesta província estão catalogados mais de 1.500 pegmatitos em uma área de ocorrência correspondente a cerca de 10.000 km², dentre os quais se incluem alguns granitos pegmatíticos (terminologia essa utilizada por Černý e Meintzer, 1988), podendo estar mineralizados em metais raros tais como Be, Ta-Nb, Li e Sn, gemas e minerais industriais, como feldspato cerâmico, caulim e quartzo, como mencionado por Da Silva (1993) e Da Silva *et al.* (1995).

Os pegmatitos da Província Borborema estão concentrados em uma área de aproximadamente 75 por 150 km, no sudeste da Faixa Seridó, localizada no Domínio PS, entre as coordenadas 5°45' e 7°15' de latitude sul 35°45' e 37° de longitude oeste. Sua área de ocorrência corresponde ao segmento oriental da Faixa Seridó. A maior parte dos pegmatitos graníticos mineralizados em elementos raros são intrusivos nos micaxistos da Formação Seridó, subordinadamente nos quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador, e os demais, nos gnaisses da Formação Jucurutu, nos granitos pós-tectônicos ou nos gnaisses e migmatitos paleoproterozoicos do embasamento (BEURLEN *et al.*, 2009).

Segundo DNPM/CPRM (1997), os pegmatitos do Grupo Seridó são classificados em dois tipos relacionados a idades relativas e a eventos tectônicos. O primeiro grupo de pegmatitos, mais antigos (pré fase F3), mostra um alto grau de deformação. O segundo grupo é de idade relativamente mais nova, tardi-tectônico ou pós fase F3. Este grupo de pegmatitos de idade neobrasiliana forma corpos alongados que truncam as unidades pré-cambrianas da região e são, provavelmente, geneticamente relacionados aos granitos de mesma idade.

A região de ocorrência da província pegmatítica foi afetada estruturalmente pela zona de cisalhamento Patos, a sul, e por zonas de cisalhamento NE-SW e N-S com até 30 km de

extensão, as quais são responsáveis pelo formato ovoide e alongado dos pegmatitos. Em regiões específicas a deformação plástica migra para uma deformação frágil em sítios transtracionais, os quais estão usualmente relacionados ao mecanismo principal de alojamento dos pegmatitos nessa região (SANTOS *et al.*, 2014). Essa tectônica frágil também controla a injeção de veios mineralizados e diques que truncam os corpos pegmatíticos.

Os primeiros trabalhos realizados na província pegmatítica da Borborema, realizados por Johnston Jr. (1945) e Rolff (1945), levaram em consideração a formação estrutural e a ocorrência destes corpos rochosos, de forma a classificar esses pegmatitos da PPB em três tipos (Figura 12): homogêneos, heterogêneos e mistos.

A caracterização dos pegmatitos homogêneos se dá pela distribuição regular de seus minerais essenciais (quartzo, feldspatos e micas) ao longo do corpo rochoso, onde a granulometria apresenta variação de centímetros a decímetros, com intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspatos que geralmente ocorre na zona III. Os corpos pegmatíticos podem atingir quilômetros de extensão, mantendo espessuras métricas e contatos bruscos com as rochas encaixantes.

Já nos pegmatitos heterogêneos os minerais se apresentam preferencialmente em cada uma das quatro zonas distintas, dispostas em relação ao centro do pegmatito, descritas como Zona I, Zona II, Zona III e Zona IV, propostas por Johnston Jr. (1945), sendo uma classificação similar àquela de Cameron *et al.* (1949), onde a zona I é *border zone*, a zona II é *wall zone*, a zona III é *intermediate zone* e a zona IV é *core zone*. Nos pegmatitos heterogêneos, a zona III de Johnston Jr. (1945) - *intermediate zone* de Cameron *et al.* (1949) - é a unidade econômica e nela estão berilos, tântalos, turmalinas, entre outros.

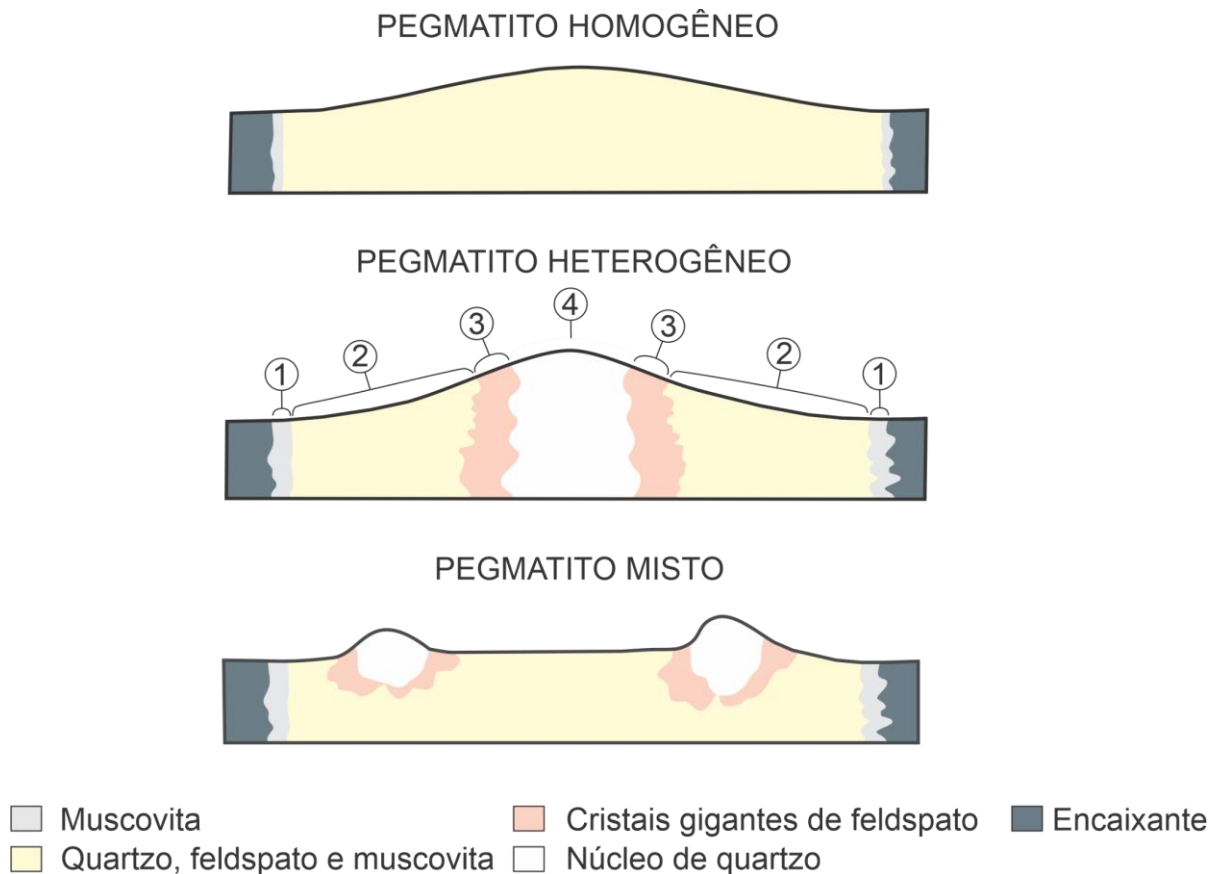


Figura 12: Classificação estrutural dos pegmatitos.
Fonte: Johnston Jr. (1945); Rolff (1945)

Rolff (1946) propôs a localização dos minerais acessórios dos heterogêneos, que ocorrem em grande variedade, distribuídos dentro das zonas deste tipo de pegmatito (Figura 13). Na sua concepção (Rolff, 1946 *apud* VIDAL; NOGUEIRA, 2005, p. 70) os pegmatitos mistos seguem as seguintes características: são intermediários entre os homogêneos e os heterogêneos; apresentam bolsões de quartzo, localizados na massa pegmatítica semelhante à Zona II dos pegmatitos heterogêneos; em torno desses bolsões existe uma zona semelhante à Zona III dos pegmatitos heterogêneos; e as mineralizações econômicas, nestes locais, são geralmente disseminadas.

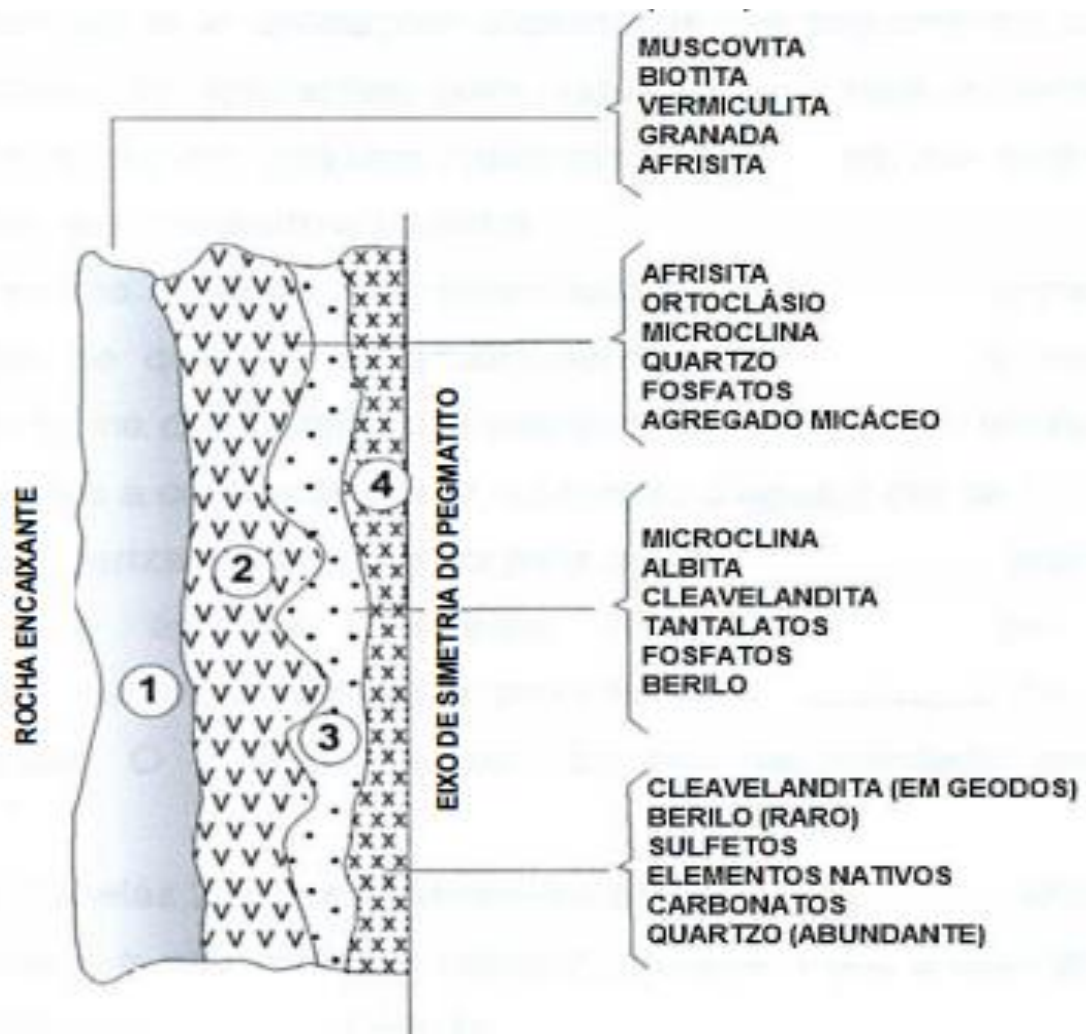


Figura 13: Posição relativa dos minerais nas zonas de pegmatitos.

Fonte: baseada em Rolff (1946)

É amplamente reconhecido que os pegmatitos graníticos são uma fonte de metais raros e elementos diversos, tais quais Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sc, Y, ETR, Sn, Nb, Ta, U, Th, Zr e Hf. Essa mineralização em metais raros pode ser entendida como resultado da concentração de alguns elementos que têm comportamentos incompatíveis com as rochas ígneas ácidas, concentrando-se nos líquidos residuais da diferenciação magmática. Desse modo, os pegmatitos demandam atenção como fonte de gemas ou mesmo por conter minerais industriais, a exemplo da aplicação de feldspato na cerâmica e de quartzo na indústria eletrônica (ČERNÝ, 1991a).

Os principais minerais de minério encontrados nos pegmatitos são: 1) minerais de Lítio: espodumênio, petalita, lepidolita, ambligonita e trifilita; 2) minerais de berílio: berilo; 3) minerais de nióbio-tântalo: columbita, tantalita; 4) minerais de tório e terras raras: monazita, torita, allanita, gadolinita, xenotímio; e 5) minerais-gemas: berilos (água-marinha, heliodoro,

morganita), fenaquita, topázio, espodumênio (kunzita), turmalinas (dravita, rubelita, schorlita) e safiras (BIONDI, 2003).

Com base na mineralogia e geoquímica, Baumgartner *et al.* (2006) classificam os pegmatitos da PPB como pegmatitos de elementos raros do tipo LCT, com base em estudos de pegmatitos heterogêneos e a geração mais nova dos pegmatitos com idades brasileiras, não deformadas. Os pegmatitos heterogêneos são caracterizados por elementos como Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ga e Ta e, subsidiariamente, B, P e F e $Ta > Nb$. Os mesmos autores confirmam uma composição mineralógica granítica, com K-feldspato, albita, quartzo, muscovita e esporádica biotita em ambos os corpos homogêneos e heterogêneos. É relatada também uma grande variedade de minerais acessórios, superior a uma centena de espécies diferentes, de ocorrência nos pegmatitos heterogêneos.

Para CPRM (2008), os pegmatitos correspondem aos últimos estágios do magmatismo Brasileiro, formando corpos alongados que truncam as unidades pré-cambrianas da região. Legrand *et al.* (1993) discorrem sobre o posicionamento dos pegmatitos, cujas intrusões se colocaram durante ou após o funcionamento dos cisalhamentos mais recentes, correspondente à fase de deformação F3 de Jardim de Sá (1978). Da Silva (1993) observou que alguns pegmatitos mineralizados são deformados pelo tectonismo regional, concluindo que eles constituem mais de uma geração de pegmatitos. Desta forma, Araújo *et al.*, (1998; 2001) identificaram, a partir de relações estruturais entre os pegmatitos e suas encaixantes, na região de Parelhas, duas formas de ocorrência de pegmatitos. Durante a fase tectônica D3, os pegmatitos teriam se alojado em duas etapas: numa precoce (sin-tectônica), com o alojamento dos pegmatitos homogêneos ao longo dos planos de heterogeneidade de S3, com orientação correspondente a estruturação regional (NE-SW); e em um episódio de colocação tardia, com o alojamento dos pegmatitos heterogêneos ao longo das juntas de distensão escalonadas, geradas pela movimentação tardia, dúctil-frágil das zonas de cisalhamento, com uma orientação E-W (Figura 14).

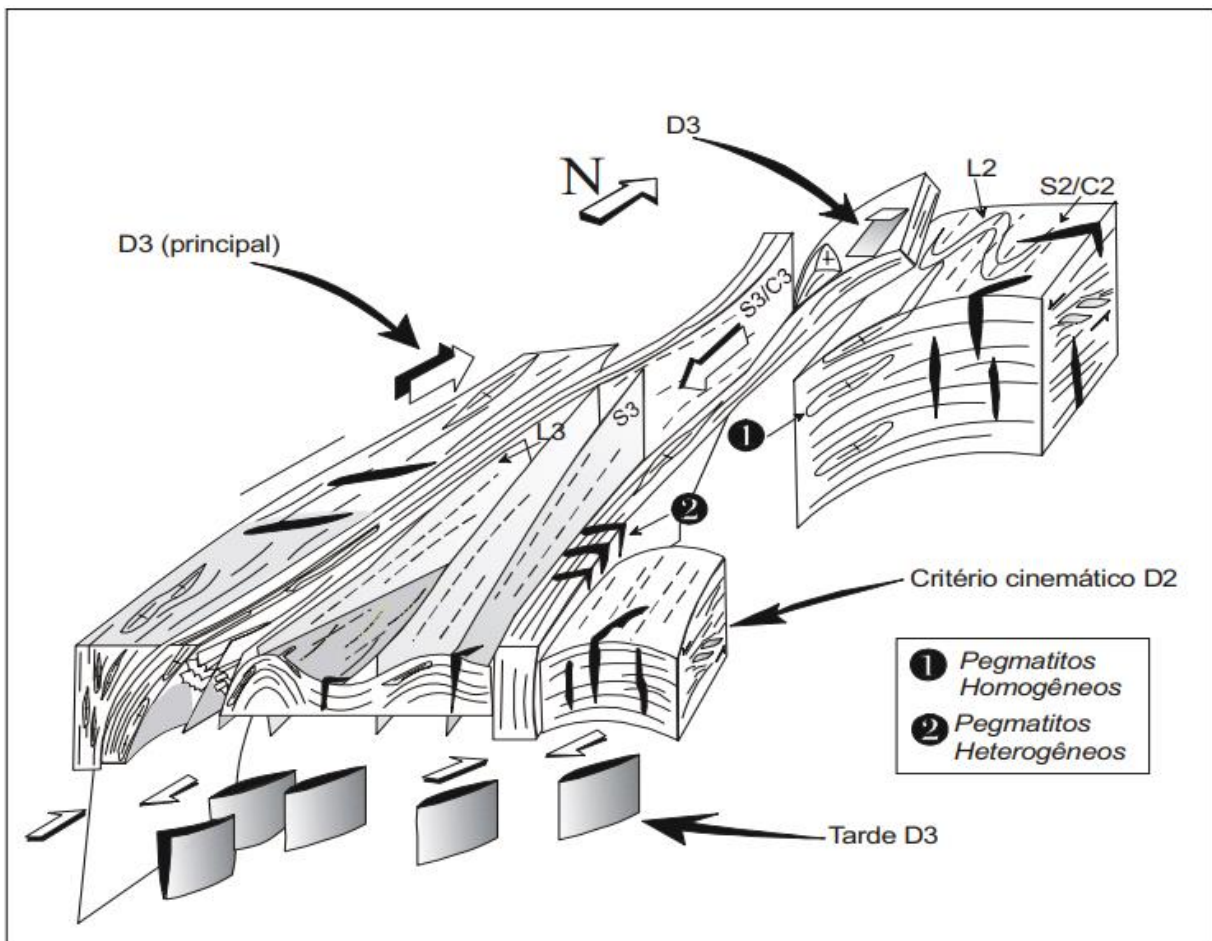


Figura 14: Relações estruturais entre pegmatitos e suas encaixantes.

Fonte: Araújo *et al.* (2001)

Os pegmatitos constituem conjuntos de rochas leucocráticas porfiríticas compostas essencialmente por quartzo, plagioclásios, microclíneo, muscovita, por vezes com biotitas, além de granadas e turmalina negra. Localmente, apresentam bandamento magmático com leitos de granulometria mais fina, ricos em cristais de granadas e/ou turmalina negra, alternados com bandas mais espessas quartzo-feldspáticas. Duas datações U-Pb obtidas em ferrocolumbita e manganocolumbita neste litotipo por Baumgartner *et al.* (2006) indicaram idades de $514,9 \pm 1,1$ Ma e $509,5 \pm 2,3$ Ma que aponta um magmatismo do cambriano inferior a médio, sendo interpretados como tardi- a pós-tectônicos.

Importante destacar que o maior volume de dados referente à datação das rochas no estado do Rio Grande do Norte está mais associado ao núcleo São José do Campestre, tendo importante contribuição de autores como Dantas *et al.* (2013), Van Schmus *et al.* (2003), dentre outros, mas esta unidade não será detalhada aqui, uma vez que as zonas pegmatíticas estão mais concentradas na faixa Seridó.

4.2.5 Magmatismo Básico Meso-Cenozoico

Com relação às suítes magmáticas básicas, Angelim, Medeiros e Nesi (2006) reportam o Basalto Rio Ceará Mirim e o Basalto Macau. No primeiro caso, esse tipo de rocha ocorre como diques de comprimento métrico a quilométrico, intrusivos no embasamento cristalino. Possuem direção preferencial E-W e correspondem a diabásios e basaltos de afinidade química toleítica e alcalinos, secundariamente. Ainda segundo esses autores, esse magmatismo ocorreu em dois pulsos, o mais antigo ca. 143 Ma e, o mais jovem, há 126-113 Ma. O Magmatismo Macau inclui o *neck* do Pico Cabugi, a oeste de Lajes, e vários outros centros intrusivos rasos. São basaltos alcalinos (olivina basaltos, basanitos etc.), possuindo raros xenólitos de peridotito. Ocorrem sob a forma de diques, derrames, *necks* e *plugs*. A idade sugerida para este magmatismo é de $29 \pm 0,6$ Ma a 26 ± 2 Ma (ARAÚJO *et al.*, 2001).

5 GEOLOGIA LOCAL

Tendo em vista o crescente interesse mundial para a exploração de minerais que contenham Lítio, uma substância conhecida atualmente como “petróleo branco”, diversos estudos buscam encontrar rochas as quais hospedem minerais de Li, por ser este um elemento incompatível, ou seja, que ocorre nas rochas que apresentam cristalização tardia, portanto, os pegmatitos. Dito isso, e buscando atender a essa demanda mundial, o desenvolvimento do presente trabalho buscou analisar essas rochas sob a luz de diversas metodologias, sendo assim subdividido em duas etapas: o trabalho de campo e o estudo de dados remotos multifonte, com o objetivo de identificar afloramentos com potencial econômico para exploração de Lítio.

O trabalho de campo, que contou com mapeamento, análise macroscópica das rochas e minerais e coleta de amostras, busca entender o contexto geológico local sob o qual os corpos pegmatíticos estão inseridos, sobretudo o corpo pegmatítico Alto do Tibiri (PAT), e obteve como resultado a produção de um mapa geológico local abrangendo os afloramentos visitados e descritos, além de um mapa geológico de detalhe do PAT, descrevendo aspectos petrográficos, mineralógicos e estruturais.

Localmente, foi possível observar que os principais corpos pegmatíticos sugeridos para estudo, por apresentarem considerável potencial econômico para a extração de minério de Li e Ta, além de algumas gemas, já haviam sido explorados por garimpo, então isso dificultou a identificação da rocha sã e descrição dos principais aspectos mineralógicos e estruturais. Porém, com as informações que foram coletadas, foi possível estabelecer uma análise comparativa entre esses corpos pegmatíticos estudados, tornando assim possível a proposição de uma correlação genética ou zoneamento regional desses pegmatitos através das ocorrências minerais de cada um deles.

Já a análise dos dados remotos multifonte trouxe para o trabalho uma abordagem diferenciada ao fazer a integração de diversos produtos que utilizam metodologias distintas, mas que fornecem um resultado semelhante: o mapeamento e a identificação de eventuais afloramentos de corpos pegmatíticos em uma determinada região com potencialidade para ocorrência de minerais de Lítio, além de trazer um novo olhar para o estudo dos pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema.

O principal produto da etapa de campo, que foi a elaboração de um mapa geológico com quatro pontos de interesse plotados, todos eles cavas abertas por garimpeiros, conta com informações acerca de afloramentos tidos como alvos na busca por ocorrência de minerais de

Lítio, mas também de afloramentos que não apresentaram a resposta esperada pela pesquisa. Tendo essas informações como base, bem como os produtos remotos de geofísica e processamento digital de imagens de satélite (PDI), foi possível a elaboração de mapas geofísicos e de sensoriamento remoto a fim de analisar as anomalias geofísicas e assinaturas espectrais, tornando viável a interpolação desses resultados e a obtenção de um produto final multifonte, além de possibilitar o mapeamento de outros alvos com características semelhantes ainda desconhecidos.

5.1. MAPEAMENTO GEOLÓGICO

O mapeamento na área de estudo resultou na identificação de diversos corpos pegmatíticos com relativo interesse econômico para a exploração de minerais de Li e Ta, que apresentam largura de 80 metros e comprimento de 130 metros aflorantes, aproximadamente. Os corpos visitados e estudados já haviam sido explorados e, por isso, suas interpretações se tornaram mais desafiadoras. Dessa forma, com a etapa de campo foi possível observar que o corpo pegmatítico de maior interesse para a pesquisa, o PAT, não apresentou a potencialidade econômica esperada, pois não foram identificados na análise mesoscópica os minerais portadores de Lítio, como por exemplo, espodumênio, lepidolita, ambligonita ou petalita, além de minerais ricos em Ta, como é o caso da columbita-tantalita. Os demais corpos pegmatíticos abordados neste trabalho foram explorados de forma a encontrar afloramentos com ocorrência de alguns desses minerais supracitados.

Com esses dados de campo, aliados a informações geológicas da Folha Jardim do Seridó — SB-24-Z-B-V (LEGRAND *et al.*, 2009) e as fotolineações extraídas do SRTM TOPODATA, foi elaborado um mapa geológico local (Figura 15) no sistema de referência cartográfica WGS84, incluindo o contexto geológico local e a ocorrência dos afloramentos de pegmatito visitados. Esse mapa será utilizado como base para a elaboração do produto final, integrando informações geológicas, geofísicas e espectrais.

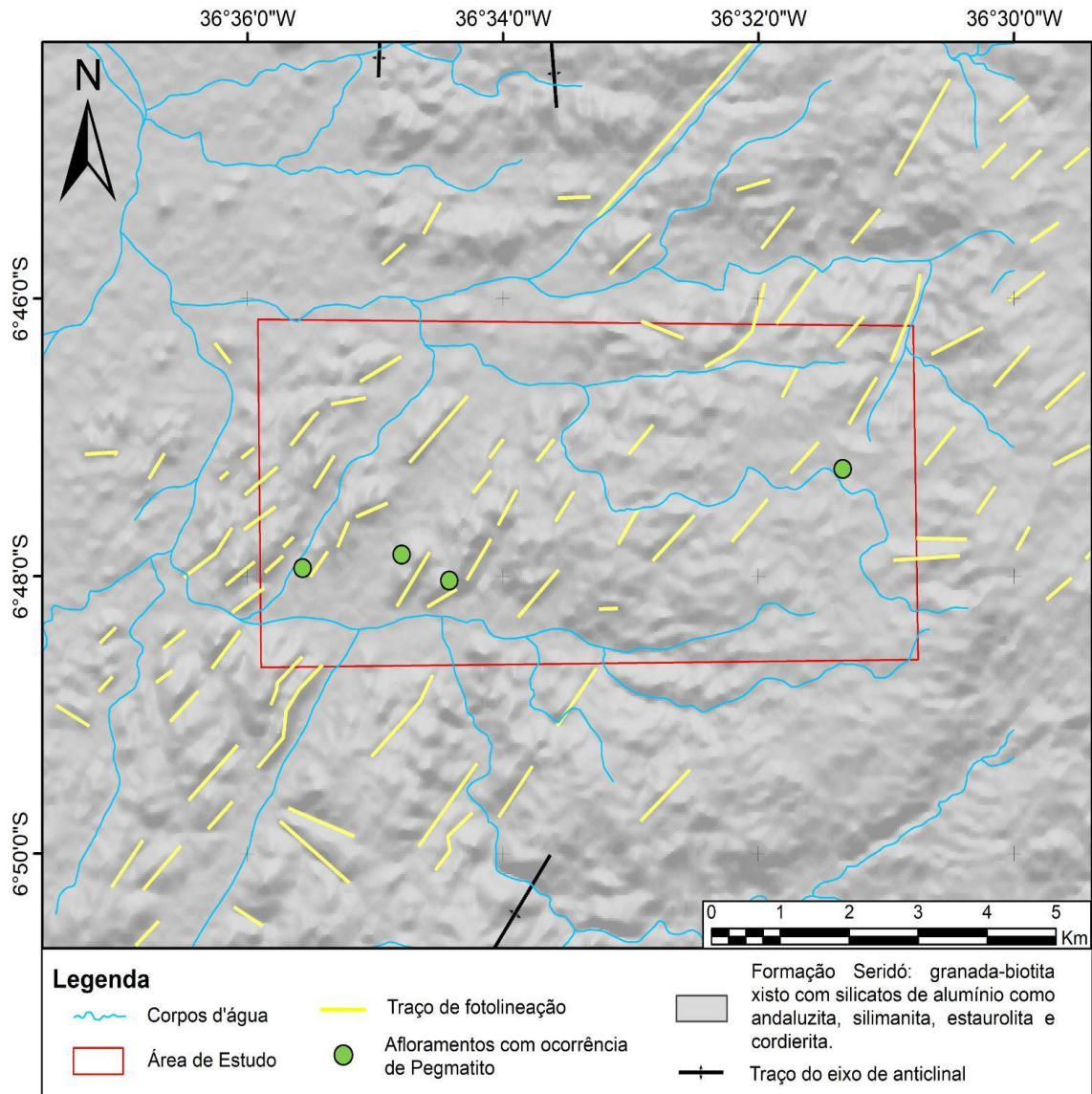


Figura 15: Mapa geológico local obtido da CPRM e utilizado como base na etapa de campo.
 Fonte: Carta Geológica Folha Jardim do Seridó: Legrand *et al.* (2009)

Dentro desse contexto, durante a execução do presente trabalho, foram realizados estudos mais detalhados no corpo pegmatítico Alto do Tibiri, como a execução de perfis transversais à direção do PAT (terminologia adotada daqui em diante), através dos quais pôde-se constatar que este corpo pegmatítico possui forma elíptica, orientada na direção ENE-WSW, em função da atividade de zonas de cisalhamento sinistrais relacionadas ao Lineamento Patos. Atualmente, boa parte da zona mineralizada já foi retirada pelo garimpo, preservando poucas feições da rocha original e restando apenas uma cava a céu aberto.

Ainda no PAT, foi feito um mapeamento geológico de detalhe descrevendo e caracterizando as feições geológicas e mapeando o zoneamento interno do corpo pegmatítico. Para a realização de tal atividade, o levantamento foi feito de maneira expedita, com uma

bússola, uma trena e duas hastes. Assim, à medida que os dados topográficos eram obtidos a cada estação, também foi feita uma descrição geológica. Essa atividade proporcionou a elaboração de um mapa geológico de detalhe da cava (Figura 16), no qual foram abordadas as características petrográficas e estruturais do afloramento.

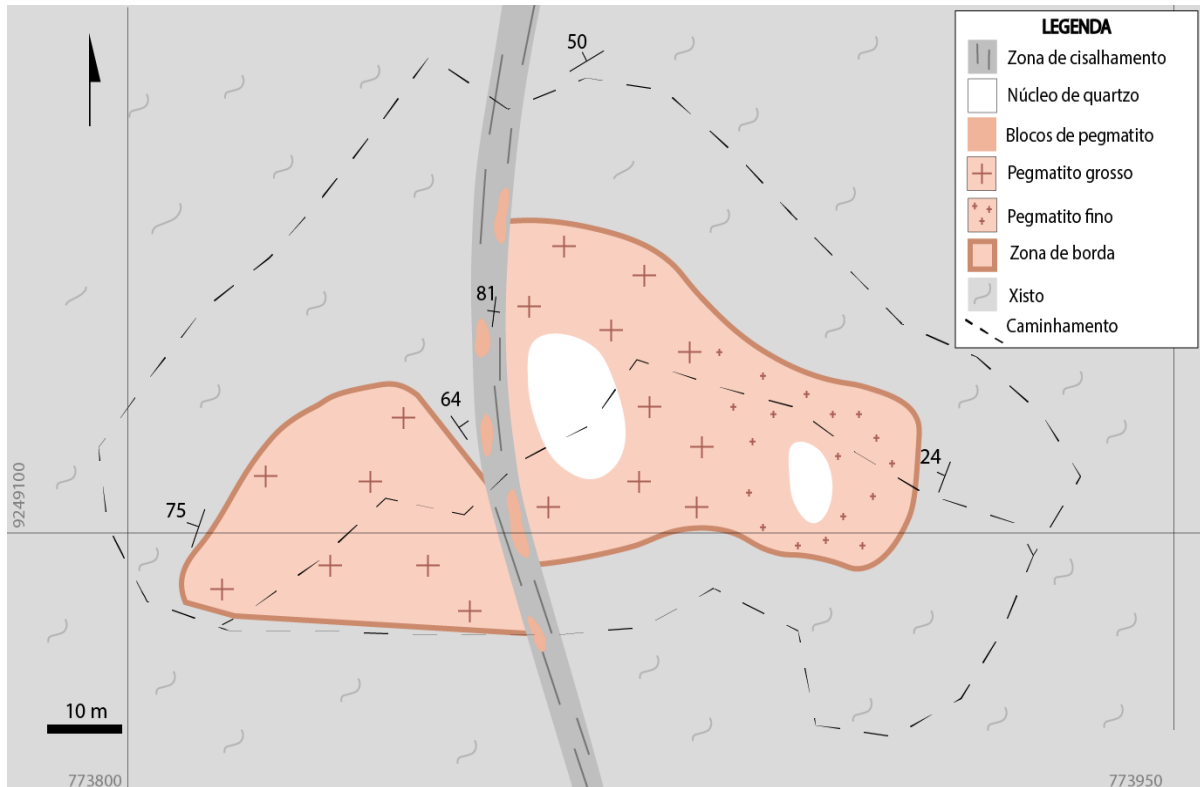


Figura 16: Mapa geológico de detalhe do corpo pegmatítico Alto do Tibiri.
Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

Os demais corpos estudados durante a etapa de campo estão localizados a uma distância de aproximadamente 6,5 km a oeste do PAT, nas proximidades do povoado Barra, sendo um deles pertencente à "Casa Grande Mineração Ltda.", e o outro uma cava de garimpo abandonada. Em ambos os corpos, foram feitas descrições geológicas das cavas e seu entorno, com coleta de amostras e de pontos de coordenadas, além de registros fotográficos.

De uma forma geral, durante o mapeamento geológico desses pontos de interesse, e lançando mão do entendimento acerca da geologia regional, foi observado que os corpos pegmatíticos ocorrem encaixados nos xistos da Formação Seridó e apresentam conteúdo mineralógico variante ao longo do mapeamento, podendo conter ora nódulos de cordierita cloritizada, ora granada, além de níveis de quartzo, biotita e veios de quartzo por vezes sigmoidais, de coloração cinza escura, granulação fina a média e textura inequigranular.

Os xistos que atuam como encaixantes dos corpos pegmatíticos da região apresentam uma foliação S_n e S_{n+1} , crenulações e veios de quartzo (Figuras 17 a e 17 c); também foi identificado um tipo de xisto com granada, e outro com cordierita. Neste último há uma maior quantidade de biotitas e a cordierita ocorre na forma de nódulos centimétricos cloritizados, nessas rochas também se verificam veios de quartzo, e é possível observar em alguns pontos o alinhamento dos nódulos de cordierita concordantes com o plano preferencial da zona de cisalhamento (Figura 17 d).

Em ambos os casos, nas regiões próximas ao contato com os corpos pegmatíticos, foi observado um aumento na quantidade de veios de quartzo e o aparecimento de um granito, de coloração esbranquiçada e granulação muito fina, com quartzo, muscovita, biotita e granada. Nos xistos também foi possível identificar diversos critérios que refletem uma estruturação regional (Figura 17 b) e contribuem para o entendimento e interpretação da alocação dos corpos pegmatíticos, como pequenas zonas de cisalhamento, fraturas, falhas, dobras e *boudins*.

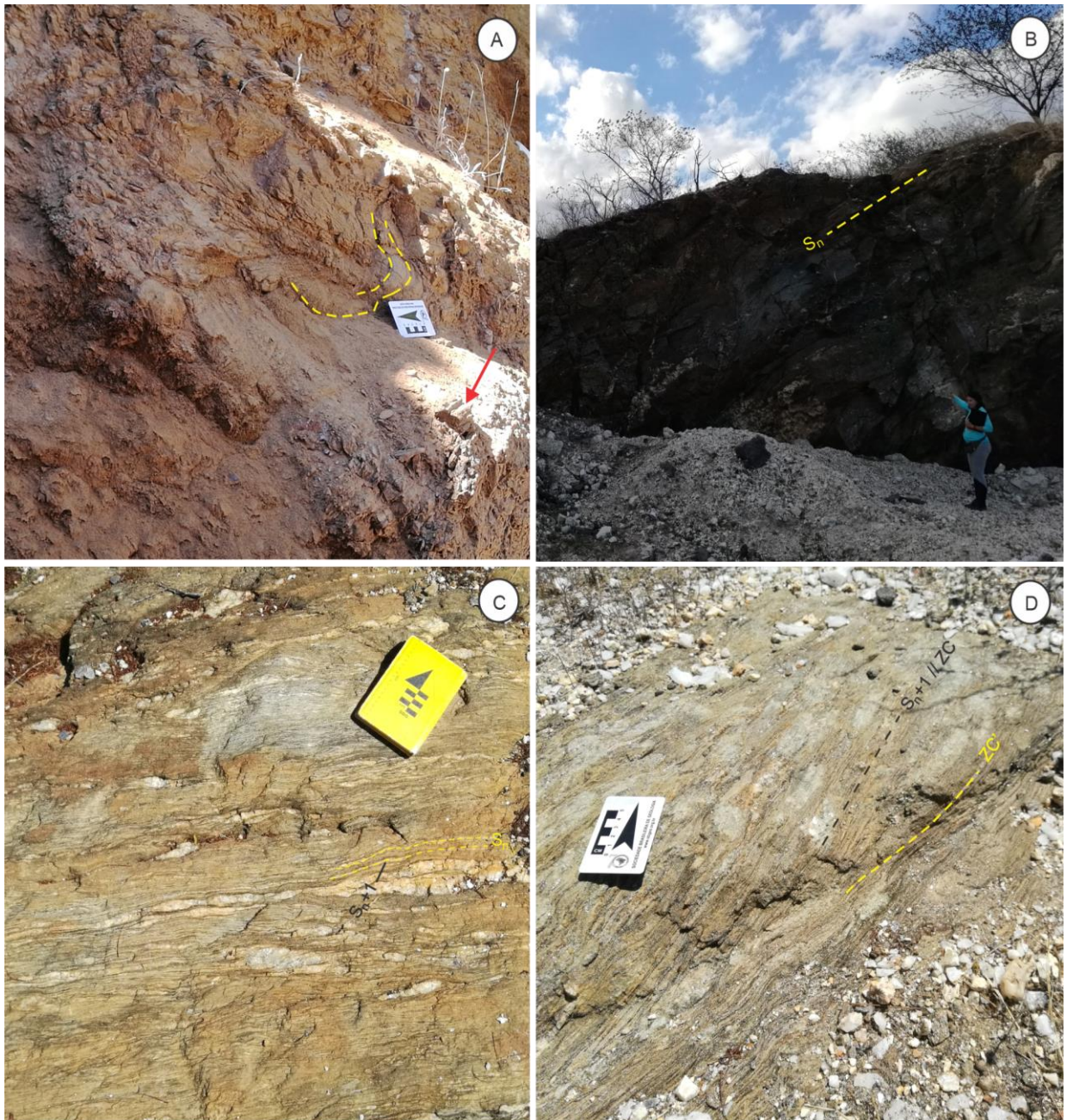


Figura 17: Feições do xisto. (a) Estrutura de crenulação e dobras; (b) Foliação S_n correspondente a estruturação regional; (c) Veios de quartzo boudinados acompanhando a foliação S_n ; (d) Nódulos de Cordieritas clortizadas ao longo da foliação S_{n+1} .

Fonte: Fotos da autora (2019)

Os corpos pegmatíticos mapeados e abordados neste trabalho são classificados como “misto” e “heterogêneo”, de acordo com a classificação de Johnston Junior (1945), apresentam zoneamento interno com bolsões de quartzo, mineralogia acessória mais diversificada e aspectos petrográficos típicos de pegmatitos com ocorrência de minerais de interesse econômico.

A análise mesoscópica indicou que esses pegmatitos apresentam, de forma geral, cristais com granulação grossa da ordem de dezenas de centímetros e textura fanerítica a pegmatítica. Possuem presença significativa de minerais félsicos, sendo, portanto, classificados como uma rocha predominantemente leucocrática. Em relação ao zoneamento interno, foram identificadas: I) Zona de borda ou Zona 1; II) Zona intermediária externa ou Zona 2, III) Zona intermediária interna ou Zona 3; e IV) Núcleos de Quartzo.

Na Zona de borda ou Zona 1 é possível observar o contato entre a rocha encaixante (no caso, são os xistos da Formação Seridó) com o pegmatito. Nos pegmatitos estudados essa zona é bem desenvolvida e contém bastante muscovita, associada com quartzo e pouco feldspato. Os cristais muscovita da zona de borda normalmente são grandes, de ordem centimétrica (Figura 18 a) e, em alguns afloramentos, também é possível observar a ocorrência de turmalina negra centimétrica (até 10 cm) de origem primária, se desenvolvendo perpendicularmente ao contato com a encaixante (Figura 18 b), e de alteração. Esta zona é caracterizada pela ocorrência de estruturas dúcteis referentes à foliação regional as quais são cortadas por veios e diques pegmatíticos enriquecidos em quartzo e feldspato potássico.



Figura 18: Feições da zona de contato. (a) Cristais centimétricos de muscovita (indicado pela seta vermelha); (b) Desenvolvimento de cristais centimétricos de turmalina preta de origem primária ao longo da zona de contato com a rocha encaixante (indicado pela seta vermelha).

Fonte: Fotos da autora (2019)

A Zona 2 apresenta granulometria, composição e textura similar a dos pegmatitos homogêneos e constitui a maior parcela do volume de um pegmatito. Frequentemente, é

perceptível o aumento progressivo no tamanho dos cristais de feldspato potássico em direção à Zona 3, bem como o frequente intercrescimento com cristais de quartzo. Já a Zona 3 caracteriza-se pela predominância de megacristais feldspato potássico, em dimensões métricas. Nesta zona cristaliza-se a maioria dos minerais de interesse econômico (berilo, tantalita, espodumênio). É frequente a ocorrência de corpos de substituição, caracterizados por aglomerados de micas mais finas, pouco quartzo e albita.

As Zonas 2 e 3 (porção intermediária) dos corpos pegmatíticos são caracterizadas pela mineralogia típica dos pegmatitos graníticos da província pegmatítica da Borborema. Estas zonas são compostas de quartzo, feldspato e muscovita. Esse segmento do afloramento apresenta um aumento gradativo de granulometria desde a zona de borda em direção ao centro do corpo, bem delimitadas apenas no afloramento do PAT (Figura 16), uma vez que o mesmo se apresenta como uma cava a céu aberto de dimensão métrica, atingindo mais de 100 metros no maior comprimento.

Mineralogicamente, essa zona intermediária é a mais diversificada e é a que apresenta as ocorrências minerais de maior importância econômica, como por exemplo o espodumênio e a tantalita. Neste caso, a granulação grada de média para muito grossa, com cristais bem desenvolvidos, variando de escala centimétrica a métrica e com mineralogia mais variada. O quartzo que ocorre nesta zona é predominantemente amorfo e pode ocorrer também como intercrescimento “vermiforme” com os cristais de feldspato (textura gráfica) (Figura 19 a; Figura 20 b), que é uma textura frequentemente associada ao crescimento em desequilíbrio de quartzo e feldspato nos últimos estágios de cristalização magmática.

Os feldspatos presentes nos pegmatitos são a albita e o feldspato alcalino, este último se apresenta róseo ou branco, pertítico ou sem lamelas, em cristais isolados e bem formados que podem atingir dimensões métricas, por vezes enriquecido com mineralizações de turmalina negra (variedade schorlita). A abundância de turmalina aparentemente apresenta uma estreita relação com a presença de feldspato potássico (Figura 19 b), sugerindo que o enriquecimento do primeiro depende da presença do segundo, revelando assim um possível guia prospectivo. Essa relação, ainda que empírica, sugere, portanto, um controle mineralógico para a ocorrência da turmalina. Por outro lado, a ausência de feldspato potássico tende a favorecer o desenvolvimento de cristais de albita, os quais são sempre acompanhados da associação muscovita \pm apatita (Figura 20 d).

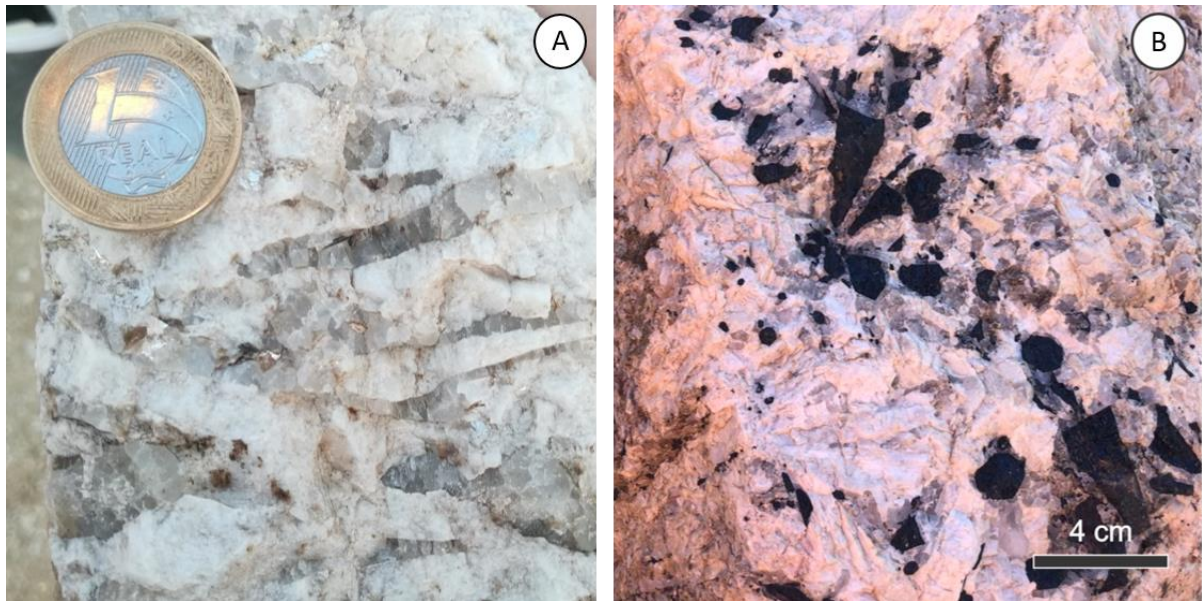


Figura 19: Feições da zona intermediária. (a) Textura gráfica; (b) Desenvolvimento de turmalina negra associado a feldspato potássico.

Fonte: Fotos da autora (2019)

As muscovitas ocorrem em pequenas placas de distribuição relativamente homogênea, associadas ao quartzo e à albita, e também nas proximidades dos núcleos de quartzo exibindo um hábito radial com estrutura conhecida como rabo-de-peixe (Figura 20 a). Ocorrem também, como minerais acessórios, a apatita, berilo, turmalina e granada (Figura 20 c; Figura 20 d), e uma assembleia mineral de maior interesse econômico, como por exemplo, tantalita e espodumênio (Figura 20 e; Figura 20 f), além de sericita e caulinita como minerais de alterações hidrotermal e intempérica.



Figura 20: Feições da zona intermediária. (a) Muscovita rabo-de-peixe; (b) Textura gráfica; (c) berilo (indicado pela seta amarela) e granada com turmalina negra secundária (indicado pela seta vermelha); (d) cristal de apatita associado a muscovita; (e) Cristal de espodumênio (indicado pela seta vermelha); (f) Amostras de tantalita.

Fonte: Fotos da autora (2019)

Ainda na zona intermediária é possível observar alguns xenólitos de xisto (Figura 21 a), nos quais também é notável a presença de uma alteração na zona de contato, com a presença de cristais grandes de muscovita (assim como na zona 1). Nos afloramentos em que foi observada a presença da zona de núcleo de quartzo, foram vistos bolsões de quartzo geralmente leitoso (ca. 10 m), e mais raramente da variedade *murion* (ou quartzo fumê, como é popularmente conhecido). O quartzo pode ocorrer como cristais euédricos nas cavidades miarolíticas (Figura 21 b), localizadas nesses bolsões.

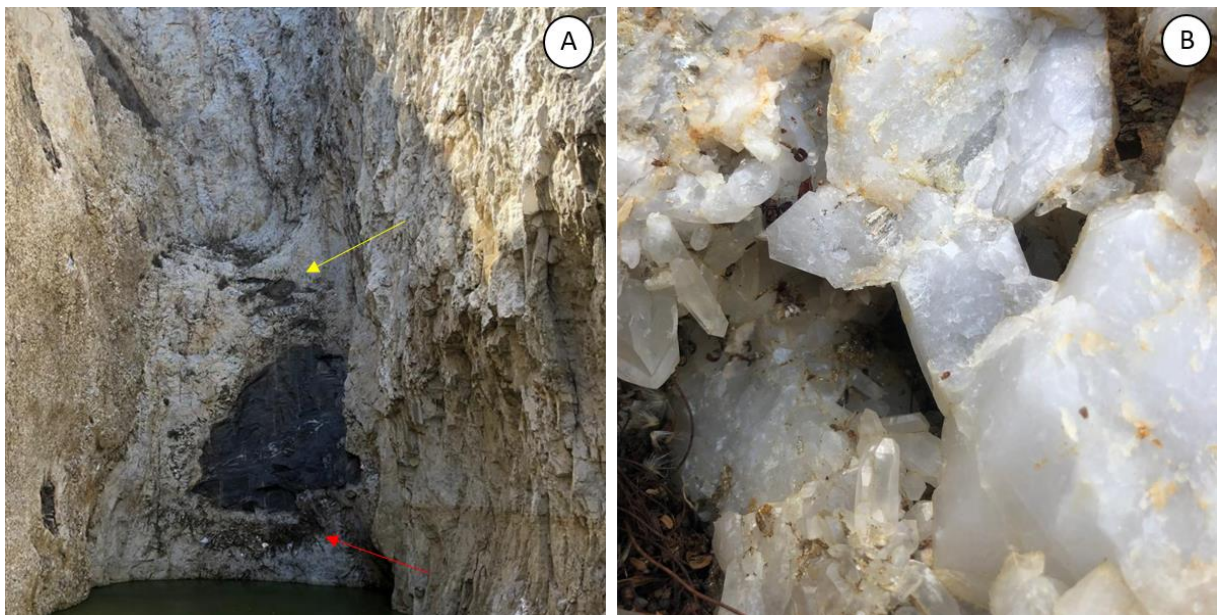


Figura 21: Feições dos pegmatitos visitados. (a) xenólito de xisto dentro do corpo pegmatítico com desenvolvimento de zona de borda com cristais de muscovita (indicado pela seta vermelha) e absorção parcial do xisto (indicado pela seta amarela); (b) Cavidade miarolítica presente nos bolsões de quartzo.
Fonte: Fotos da autora (2019)

As estruturas regionais conferem às rochas encaixantes e às regiões de borda dos corpos pegmatíticos estruturas de caráter dúctil, tais como foliação de médio a alto ângulo, associada a lineações horizontais a sub-horizontais e dobramentos em escala métrica a decimétrica com planos axiais subverticais, observados frequentemente nos xistos encaixantes. Por outro lado, os pegmatitos são cortados por zonas de cisalhamento e fraturas locais, algumas mapeáveis e outras observáveis apenas em escala de afloramento, sugerindo que uma fase deformacional rúptil desempenhou papel importante na formação deste pegmatito. No PAT, é possível observar que a colocação do corpo apresenta um controle estrutural significativo, devido à presença de uma zona de cisalhamento que atravessa o corpo (Figura 22 b).

Nessa porção correspondente à zona de cisalhamento encontram-se fragmentos de pegmatito (Figura 22 a), indicando que a alocação do corpo é sin- a pós-tectônica, podendo haver uma importante atividade hidrotermal associada às mineralizações.



Figura 22: Feições estruturais no PAT. (a) fragmento de pegmatito na zona de cisalhamento; (b) Zona de cisalhamento dobrada que atravessa o corpo pegmatítico.

Fonte: Fotos da autora (2019)

5.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Trabalhos recentes, como por exemplo o de Cardoso-Fernandes, Teodoro e Lima (2019), utilizaram uma metodologia interessante para a detecção de pegmatitos portadores de Lítio (Li) através das imagens obtidas pela missão Sentinel-2B, por apresentarem resoluções correspondentes à escala trabalhada, e buscaram desenvolver metodologias remotas inovadoras e eficazes na detecção e identificação de pegmatitos ricos em Li, por meio do mapeamento de alterações hidrotermais e identificação de minerais portadores de Li.

Nesses estudos, diferentes tipos de produtos de satélite com características distintas foram empregados, bem como diversos algoritmos de processamento de imagem que variam de operações lógicas ou matemáticas simples (razão de banda) a algoritmos mais evoluídos e complexos, como os algoritmos de aprendizado de máquina (MLA). Cada banda de uma imagem de satélite corresponde a uma faixa específica do espectro eletromagnético.

Desta forma, tomando como base a resposta espectral de cada tipo de rocha, que é função de sua composição química e mineralogia, é possível criar combinações de bandas que

realcem determinadas rochas. A razão de bandas é outra ferramenta importante no mapeamento geológico, pois permite a divisão dos valores espectrais de uma determinada banda, com características específicas, por outra banda, com valores espectrais diferentes. Esta ferramenta, além de reduzir os efeitos causados por grandes variações topográficas, tem como principal aplicação a identificação de determinados elementos nas rochas, como a presença de óxidos de Fe^{2+} ou Fe^{3+} , além de alterações hidrotermais e metassomáticas (AMARO, 1998; SABINS, 1999; HENRICH *et al.*, 2012).

Para a delimitação das principais unidades litoestratigráficas da região de estudo foram utilizadas as razões de bandas do satélite Sentinel-2B propostas por Cardoso-Fernandes, Teodoro e Lima (2019), inicialmente utilizadas para a prospecção de pegmatitos mineralizados em Lítio. Uma das composições utilizadas foi a C1: 3/8 - 4/3 - 4/2, ou seja, no canal vermelho foi empregada a razão entre bandas 3/8, utilizada originalmente para a identificação de espodumênio. No presente trabalho, esta razão de bandas pode estar relacionada a variações nos teores de Li das rochas estudadas. No canal verde, a razão 4/3 permite o realce de rochas enriquecidas em óxidos de ferro. Por fim, no canal azul foi utilizada a razão 4/2, que também vai permitir a identificação de rochas ricas em óxidos de ferro (HENRICH *et al.*, 2012).

Outras composições também foram feitas para tentar identificar a ocorrência de corpos pegmatíticos portadores de Lítio, sendo uma delas a C2: 4/12 - 4/3 - 4/2, cuja única diferença em relação à composição anterior é a razão de banda aplicada no canal vermelho. Nesse canal, a razão 4/12 irá marcar a ocorrência de micas de Li, como por exemplo, a lepidolita.

Para esses produtos, pode-se extrair algumas informações sobre as rochas que ocorrem na área de estudo e seus respectivos conteúdos mineralógicos. A razão de banda 3/8 (Figura 23) mostrou uma resposta espectral importante para a identificação de espodumênio, mineral portador de Lítio e que ocorre em rochas pegmatíticas, conseqüentemente evidenciando as rochas pegmatíticas que afloram na região. Essas ocorrências aparecem no mapa com alta reflectância, em tons de vermelho a amarelo, enquanto as demais rochas estão em verde; já os corpos d'água estão representados no mapa em azul. É possível observar também alguns pontos de cor vermelha intensa ao longo dos cursos d'água, estes são represamentos de água com desenvolvimento de vegetação ciliar.

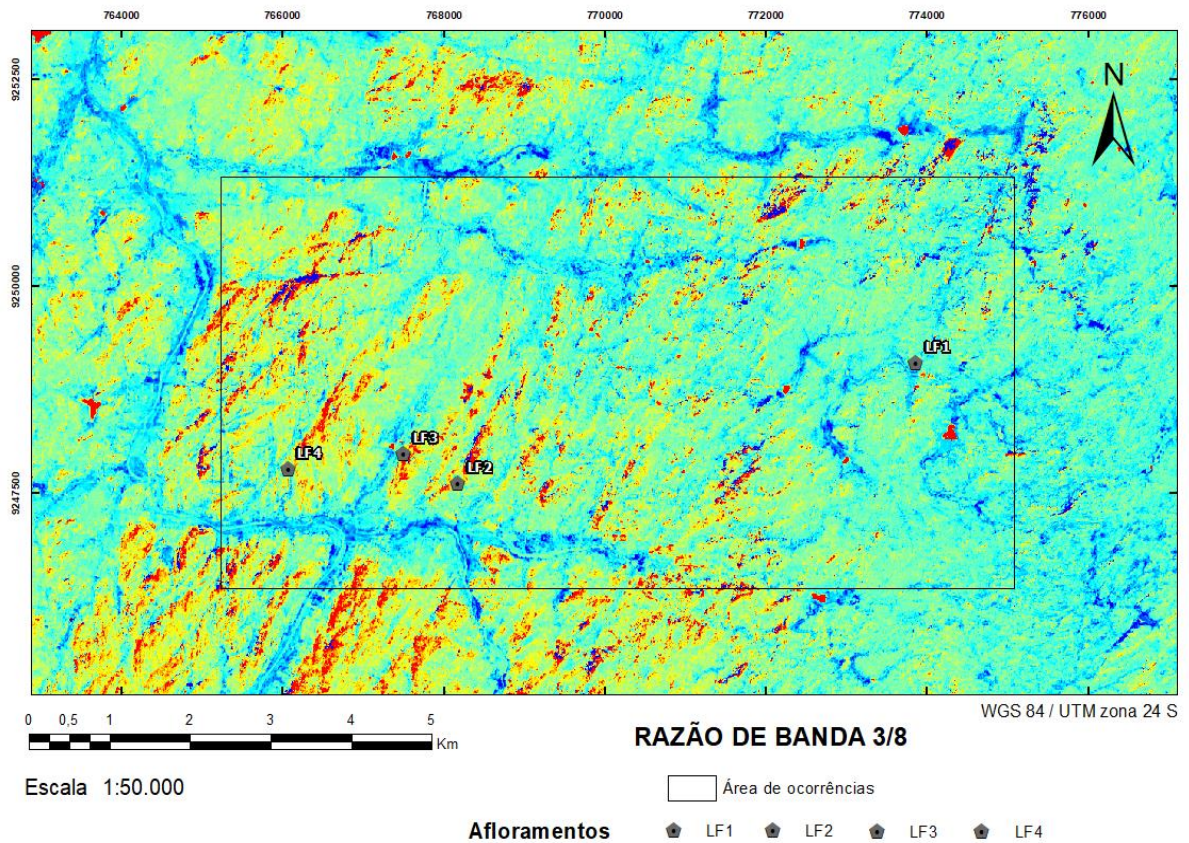


Figura 23: Mapa com razão de banda $\frac{3}{8}$ realçando a ocorrência de espodumênio.
Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

A composição C1: 3/8 - 4/3 - 4/2 (Figura 24) aliou as informações relacionadas às rochas pegmatíticas com as razões de banda que trazem informação sobre minerais que apresentem óxidos de ferro +2 e +3, permitindo identificar regiões de coloração esverdeada e azulada correspondentes aos metassedimentos, os quais estão atuando como rocha encaixante dos pegmatitos. Nessa composição, as ocorrências de rochas pegmatíticas apresentam cor laranja.

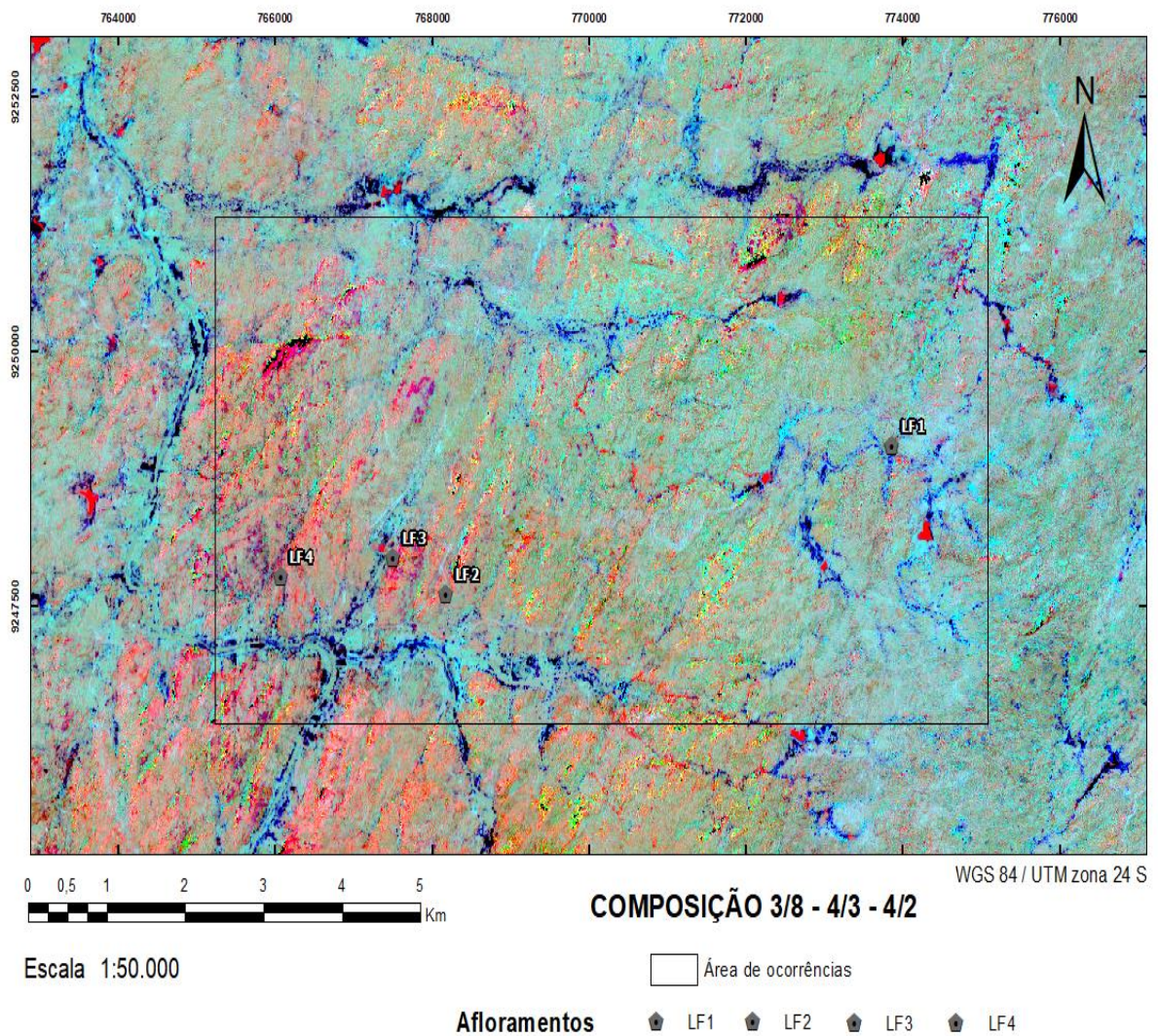


Figura 24: Mapa de composição de bandas C1, destacando a razão 3/8 no canal do vermelho.
 Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

A razão de banda 4/12 (Figura 25), que estava prevista para a identificação de outro mineral portador de Lítio, no caso a lepidolita, não mostrou uma resposta tão importante quanto a razão anterior, sendo possível observar apenas algumas poucas regiões em tons vermelhos (cor correspondente à resposta espectral esperada para a lepidolita), enquanto as demais rochas estão representadas em tons de azul.

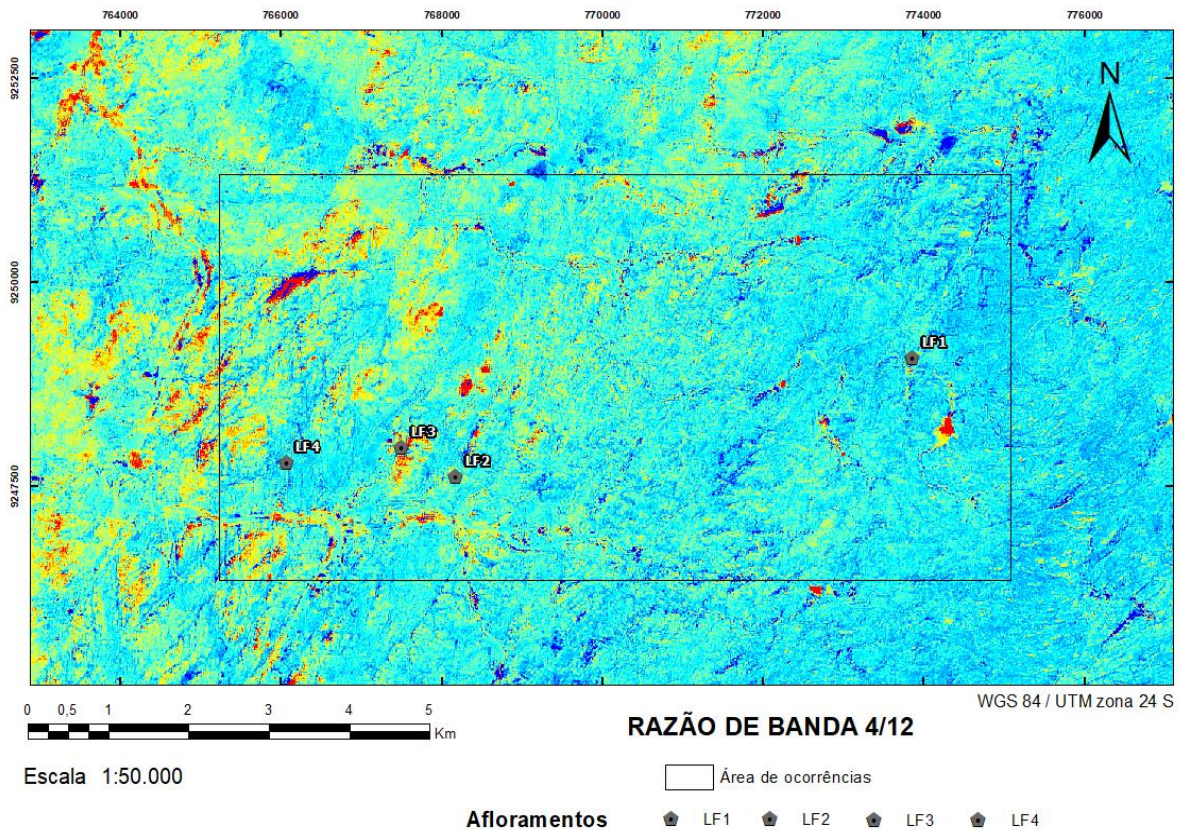


Figura 25: Mapa com razão de banda 4/12 realçando a ocorrência de lepidolita.
 Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

Já a composição C2: 4/12 - 4/3 - 4/2 (Figura 26), da mesma forma que a composição anterior, irá marcar a ocorrência dos metassedimentos em tons esverdeados e azulados, e as micas de Li na cor laranja. Dessa forma, é possível interpretar que a região de estudo abriga rochas com a ocorrência principal do espodumênio como mineral portador de Lítio.

Outro produto passível de abordagem para a região de estudo e que pode contribuir com a interpretação do contexto regional é o de composição C3: 3/8 - 11/12 - 4/3 (Figura 27), que irá seguir a mesma lógica das composições anteriores, esperando-se que as regiões em que afloram os pegmatitos apresentem tom vermelho, enquanto as regiões não aflorantes (i. e rochas que apresentam algum nível de alteração) apresentem cor roxa.

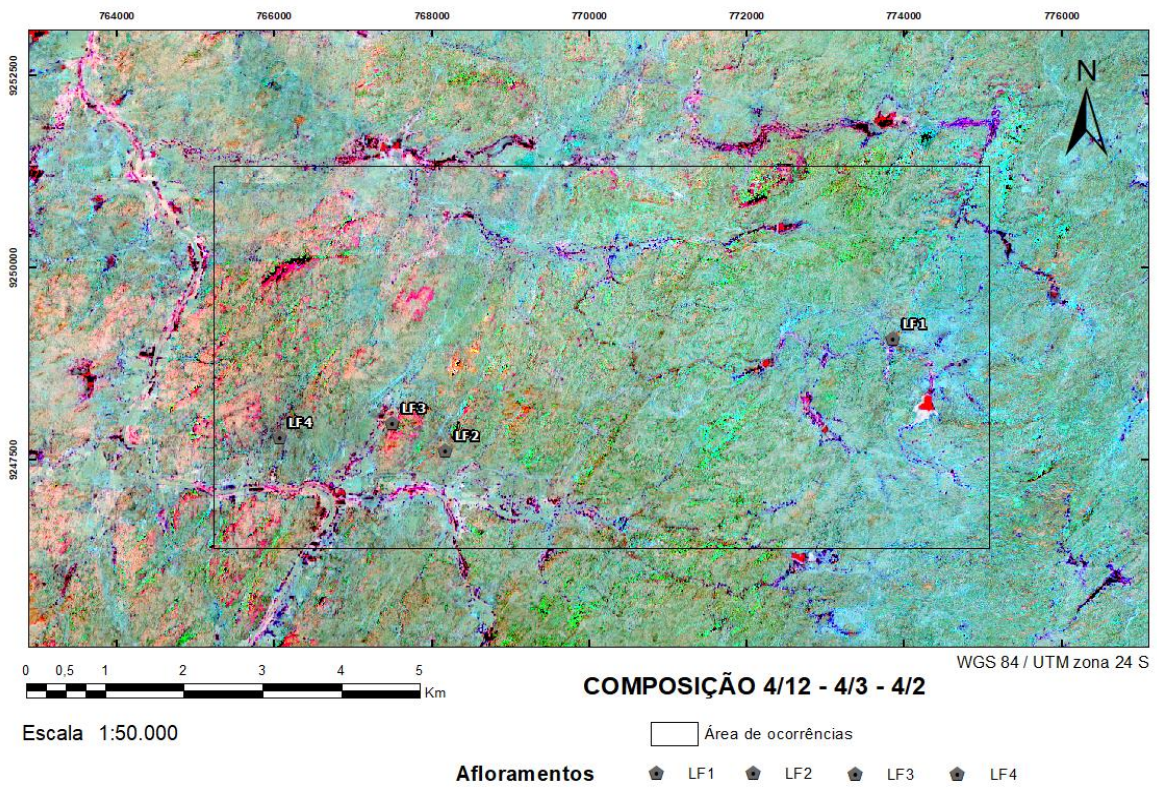


Figura 26: Mapa de composição de bandas C2, destacando a razão 4/12 no canal do vermelho.
 Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

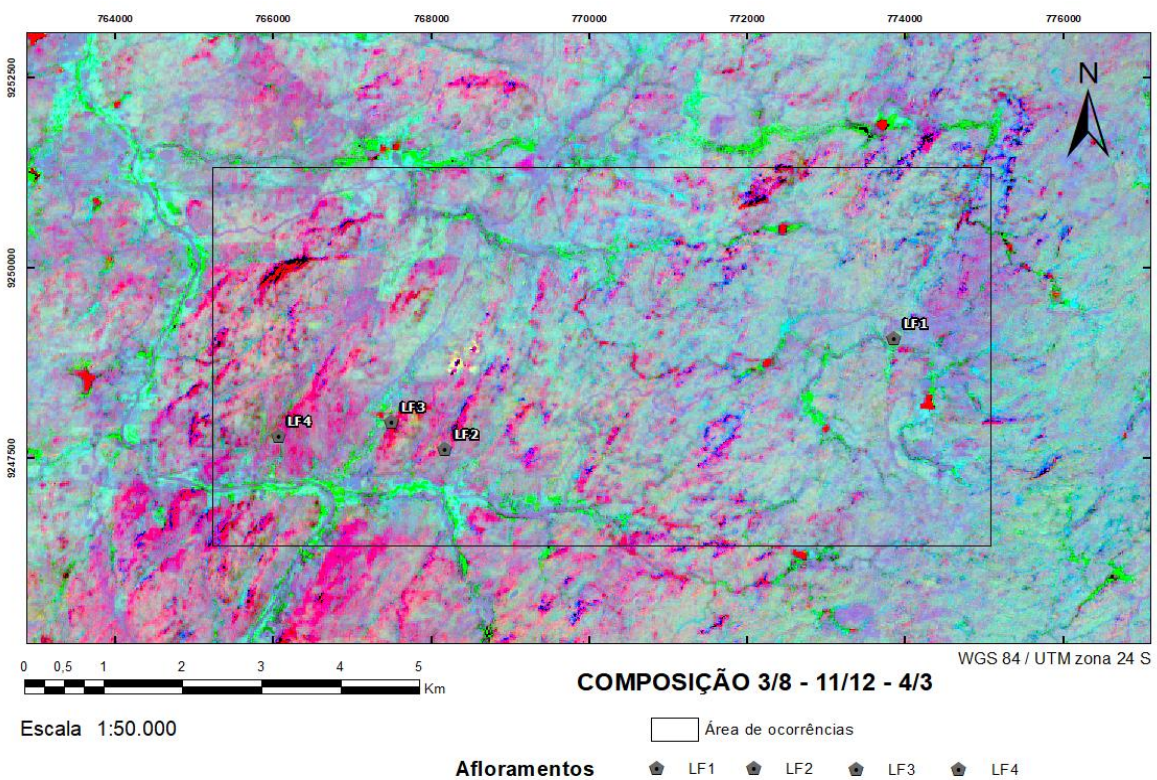


Figura 27: Mapa de composição de bandas C3, destacando as regiões que apresentam algum tipo de alteração.
 Fonte: Elaborada pela autora desta pesquisa (2021)

Por fim, o produto que apresentou o melhor resultado na identificação de rochas pegmatíticas utiliza composições IHS com transformações de intensidade - matiz - saturação, apresentando a razão 4/12 como intensidade e a razão 3/8 como pseudocolor (Figura 28). As composições IHS utilizam os parâmetros posicionais intensidade, matiz e saturação em vez de RGB (*red-green-blue*).

A intensidade se relaciona com o brilho e é desprovida de qualquer conteúdo de cor, mostrando o quão perto está da cor preta ou branca, por exemplo, a distinção entre um tom vermelho escuro e um vermelho claro. Matiz se refere ao comprimento de onda dominante de luz que contribui para uma cor que é refletida ou transmitida através do objeto, representa a cor real observada. A saturação especifica a “pureza” da cor e vai da cor cinza neutra/pastel até cores saturadas. Alta saturação significa que a cor é altamente pura (cores vivas), enquanto baixa saturação (cores claras ou pastel) significa que há muita diluição feita pela presença de componentes primários R, G e B (NASR *et al.*, 2012).

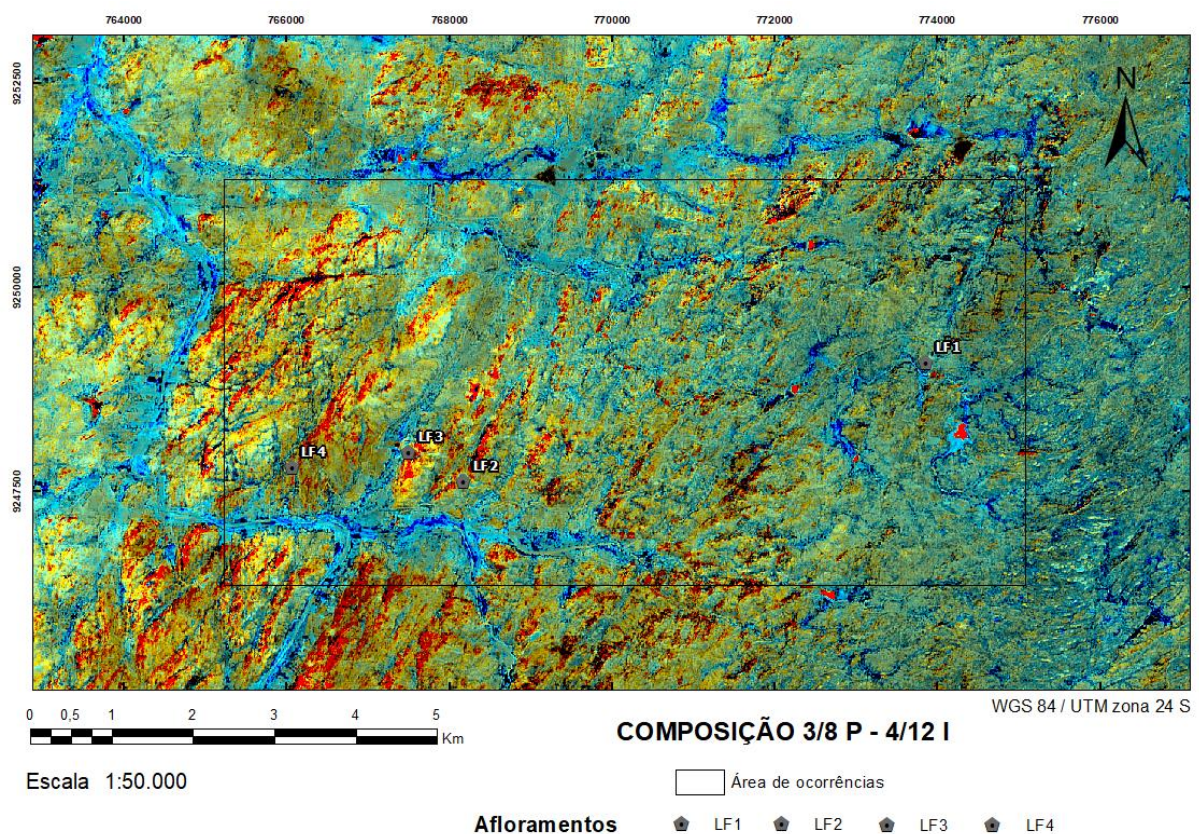


Figura 28: Mapa de composição IHS utilizando a razão 3/8 como pseudocolor e a razão 4/12 como intensidade. Ocorrência de pegmatito representada no mapa como um quadrado vermelho.

Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa (2021)

Dessa forma, a composição IHS 3/8p - 4/12i atendeu ao objetivo da pesquisa, pois delimita bem as localidades de maior interesse econômico para a exploração de Lítio, destacando as regiões em que ocorrem os minerais espodumênio e lepidolita, refletindo assim nos afloramentos de pegmatitos portadores de Li. Isso é possível porque a razão 3/8 se sobrepõe à razão 4/12. O canal “pseudocolor” é a matiz da composição IHS e, dessa forma, o produto final será parecido com o que é oferecido pela razão 3/8 (espodumênio), potencializado pela razão 4/12 (lepidolita), que está atuando como intensidade da composição. Regiões com alta reflectância nas duas razões vão aparecer em tom vermelho intenso, correspondente aos pegmatitos ricos em espodumênio e lepidolita. Já as regiões em tom vermelho escuro são os pegmatitos que apresentam apenas espodumênio como mineral portador de Lítio. As cores esverdeadas ainda correspondem aos metassedimentos encaixantes, e os locais demarcados em azul estão representando os corpos d’água.

Assim, os produtos remotos atuaram como uma ferramenta interessante para o mapeamento da ocorrência de rochas pegmatíticas portadoras de Li para a área de estudo, correspondendo à expectativa de delimitar esses corpos. Além disso, é válido citar a importante estruturação regional também observada em todos os produtos apresentados, que se reflete em um alinhamento das respostas espectrais correspondentes a essas ocorrências minerais, mostrando que a alocação desses corpos foi controlada estruturalmente.

5.3 PRODUTOS GEOFÍSICOS

Os produtos geofísicos podem ser utilizados tanto de forma qualitativa na geração de mapas litogeofísicos, de domínios magnéticos e interpretação de estruturas magnéticas, quanto de forma quantitativa através de caracterização tridimensional dos parâmetros físicos de anomalias (contraste de susceptibilidade magnética). Os resultados dos dados geofísicos serão apresentados abaixo.

5.3.1 Dados Magnéticos

Os resultados referentes aos dados magnéticos foram baseados em dois mapas produzidos através de alguns tipos de filtragem, que foram o mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e mapa de Derivada Vertical (DZ). Ambos os produtos têm como principal

objetivo realçar estruturas que venham a ocorrer na área de estudo, além de destacar também possíveis corpos que revelem um contraste de susceptibilidade magnética.

5.3.1.1 Filtragem Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

O mapa da Amplitude do Sinal Analítico (Figura 29) realçou anomalias magnéticas com valores de 0,0041 a 0,0532 nT. A oeste do mapa, as assinaturas magnéticas mostram uma distribuição mais orientada, acompanhando dois *trends* preferenciais, um NE-SW e outro E-W. Já na porção leste do mapa, é possível observar uma grande anomalia magnética “mascarando” possíveis orientações estruturais, mas é possível também observar algumas lineações cujo sinal está atenuado. Para uma melhor análise, as anomalias foram separadas de acordo com a paleta de cores expressas no mapa, nas quais, a cor azul corresponde a baixos valores da susceptibilidade magnética, a cor verde a valores médios e a cor vermelha, valores altos.

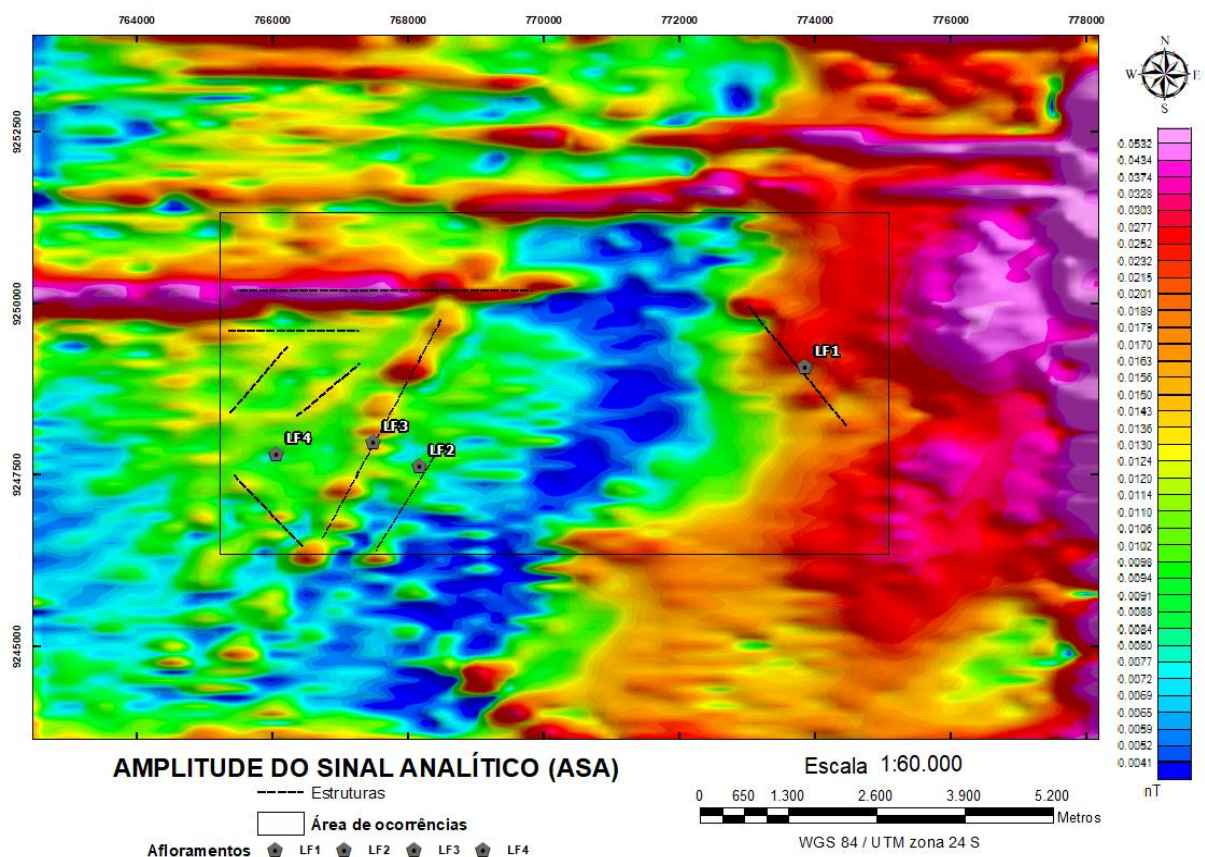


Figura 29: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA).

Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa com dados processados por Asmminey A. Silva Nascimento (2021)

É possível observar que os afloramentos visitados, plotados no mapa, estão localizados em pontos que acompanham as estruturas da região, bem como apresentam valores de susceptibilidade magnética que são considerados “altos magnéticos”. Além disso, as estruturas mais marcantes observadas através da filtragem de amplitude do sinal analítico foram demarcadas para facilitar as discussões. Vale ressaltar também que as anomalias magnéticas que ocorrem na área apresentam um formato elíptico, com um alinhamento correspondente ao *trend* estrutural NE-SW, mas a direção do maior comprimento acompanha o *trend* E-W.

5.3.1.2 Filtragem Derivada Vertical (DZ)

Outro produto proveniente dos dados magnéticos foi o mapa de Derivada Vertical (Figura 30), cujas assinaturas magnéticas expressas por essa filtragem mostram lineamentos magnéticos correspondentes aos apresentados no mapa anterior, porém agora não é possível observar a anomalia magnética a leste do mapa, sendo substituída por um baixo magnético cuja estrutura acompanha o padrão já observado na região. O mapa de Derivada Vertical realçou anomalias magnéticas com valores de $-0,0365$ a $0,0264$ nT/m.

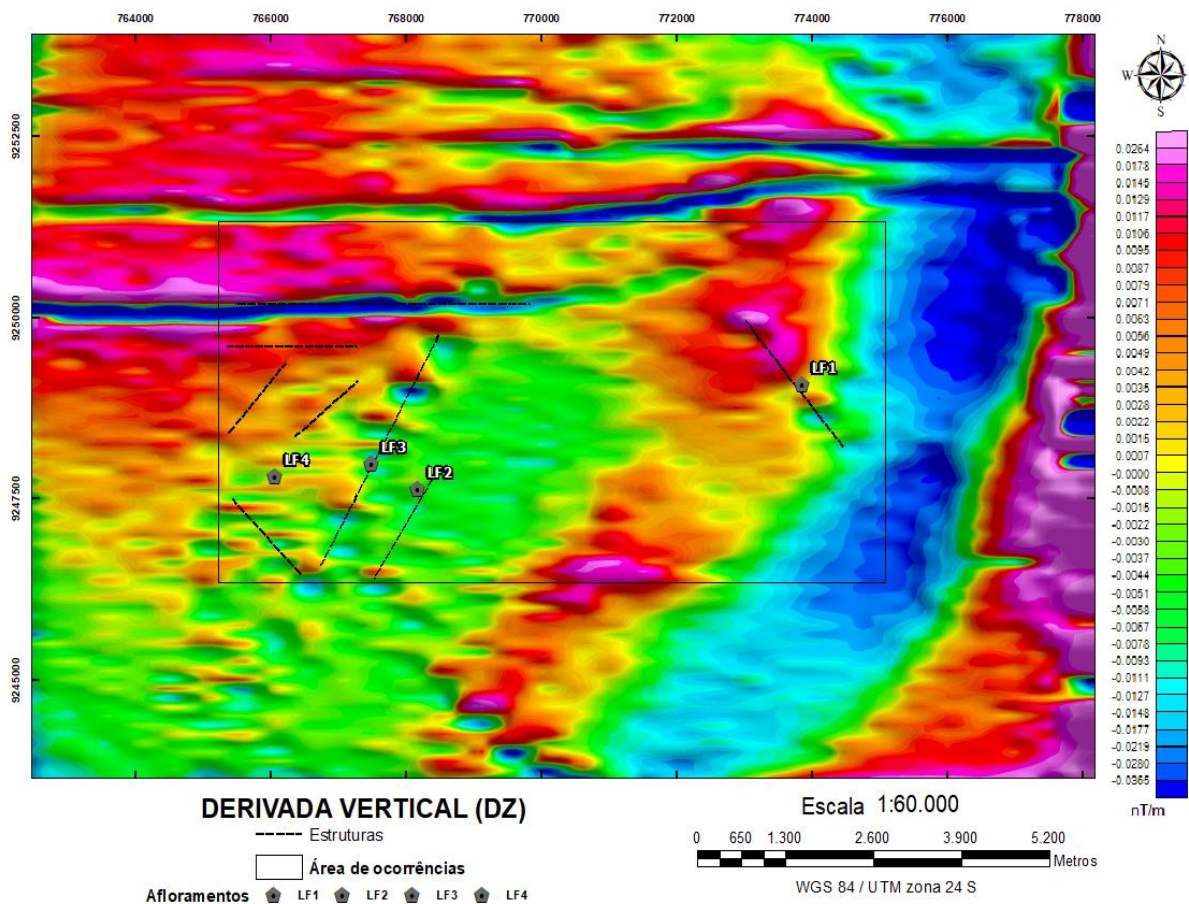


Figura 30: Mapa de Derivada Vertical (DV).

Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa com dados processados por Asmminey A. Silva Nascimento (2021)

Nesse mapa, é perceptível que os pontos plotados a oeste, que representam os afloramentos visitados, estão localizados em médios magnéticos, mas ainda assim acompanhando as estruturas destacadas pelo produto; já o ponto que está a leste no mapa, está localizado em um alto magnético notável na área de estudo.

5.3.2 Dados Radiométricos

Os resultados referentes aos dados radiométricos foram baseados em três mapas confeccionados: mapa de Potássio (K), mapa de Urânio (eU) e mapa de Tório (eTh). Esses produtos fornecem informações superficiais sobre a rocha estudada, permitindo assim a obtenção de dados sobre a radiação emitida naturalmente pelos radioelementos utilizados.

5.3.2.1 Elemento Potássio (K)

O mapa de potássio oferece informações sobre o teor deste elemento na superfície, cujos valores dispostos variam de 1.1% a 2.5% de concentração de potássio para a área estudada (Figura 31). Observa-se que as anomalias de potássio estão dispostas de uma forma desorganizada ao longo do mapa, mas ainda assim é possível perceber um certo controle estrutural, acompanhando um *trend* NE-SW. Além disso, o ponto do afloramento LF1 encontra-se em uma região com baixas concentrações de potássio, enquanto os demais pontos apresentam-se em locais cuja concentração de potássio está mais elevada.

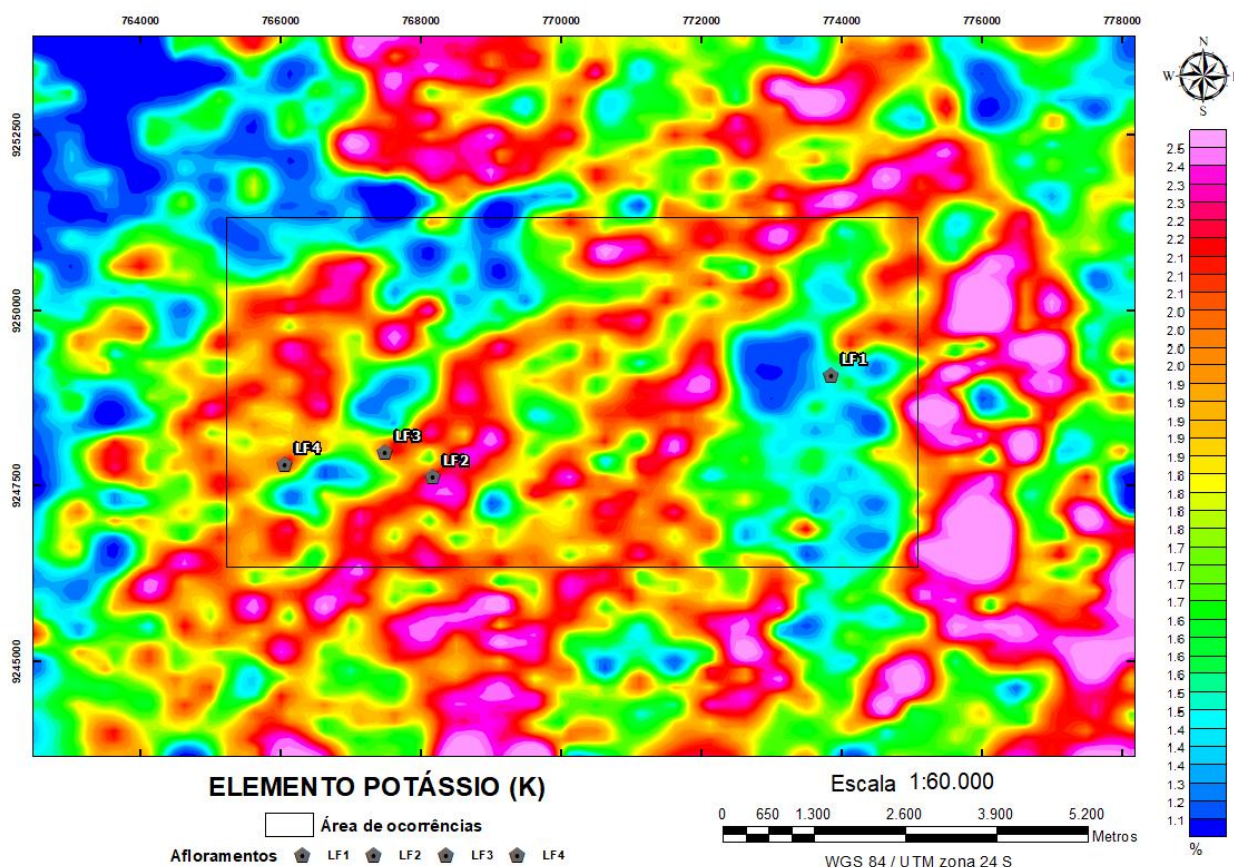


Figura 31: Mapa de Concentração do Elemento Potássio (K).

Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa com dados processados por Asmminey A. Silva Nascimento (2021)

5.3.2.2 Elemento Urânio (U)

O mapa de concentração do elemento Urânio (eU) apresenta concentrações em ppm, por não ser um elemento tão abundante quanto o anterior. Dessa forma, as anomalias

apresentadas no mapa variam de 0,9 a 2,5 ppm e ocorrem de forma mais dispersa, mas ainda assim é possível notar um lineamento incipiente, que corresponde às estruturas já observadas nos demais produtos (Figura 32). Porém, é notável a presença de uma anomalia na porção leste da área de estudo, destacada pela coloração em tons mais quentes (vermelho a rosa). Diferentemente do produto anteriormente citado, o ponto correspondente ao afloramento LF1 encontra-se em uma região com altas concentrações de urânio, enquanto os demais pontos apresentam-se em locais cuja concentração de urânio está mais baixa.

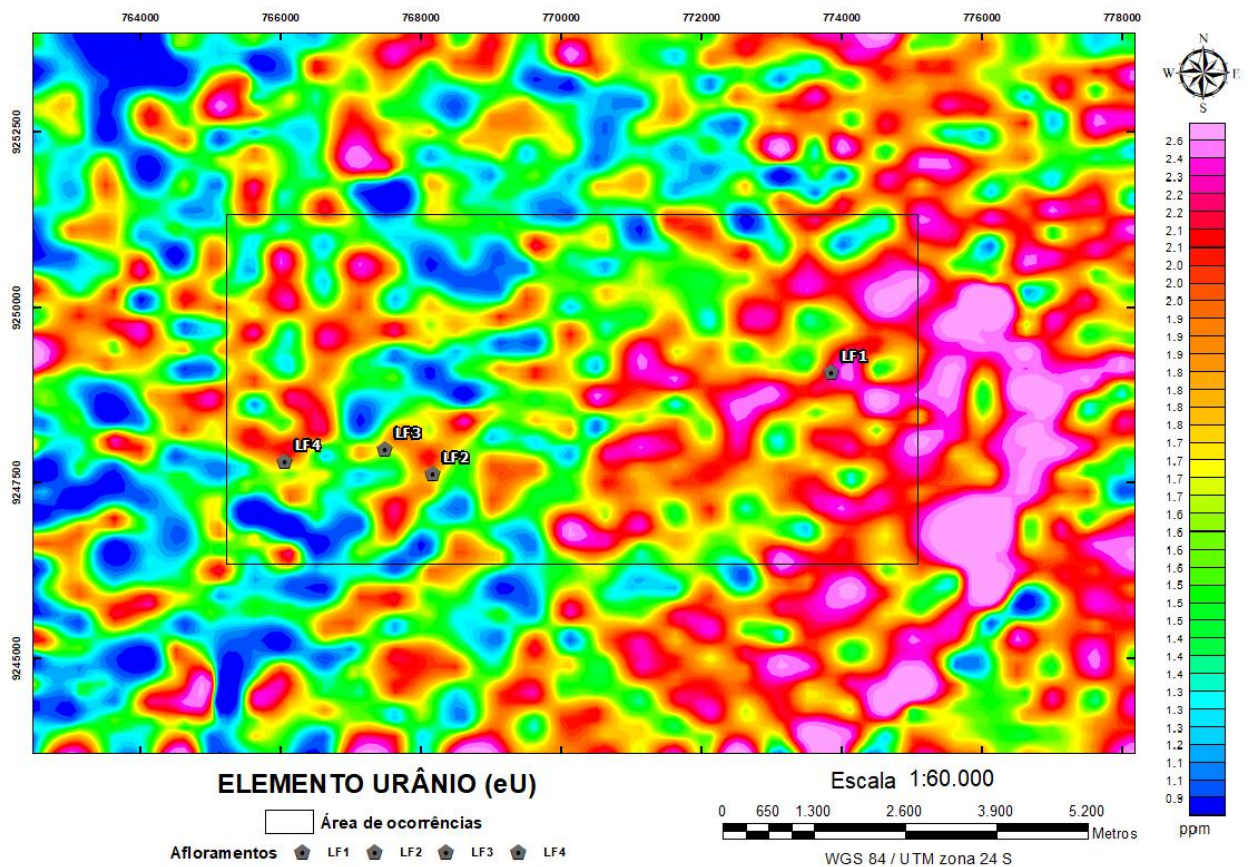


Figura 32: Mapa de Concentração do Elemento Urânio (U).

Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa com dados processados por Asmminey A. Silva Nascimento (2021)

5.3.2.3 Elemento Tório (Th)

Por fim, o mapa de concentração do elemento Tório (Th) apresenta valores dispostos que variam entre 5,8 a 11,6 ppm, concentrações muito marcantes caso se leve em consideração a abundância desse elemento na superfície e os demais produtos radiométricos (Figura 33). Além disso, nesse mapa também é possível observar alguns lineamentos demarcados pelas anomalias, acompanhando a estruturação da região, já percebida anteriormente. Nesse produto,

assim como no mapa de concentração do elemento urânio, é notável a presença de uma anomalia na porção leste da área de estudo, local onde está plotado o ponto referente ao afloramento LF1. Já a porção oeste do mapa apresenta pequenas anomalias correspondentes às estruturas que obedecem aos *trends* NE-SW e E-W, e nessa região estão plotados os pontos correspondentes aos demais afloramentos visitados na etapa de campo.

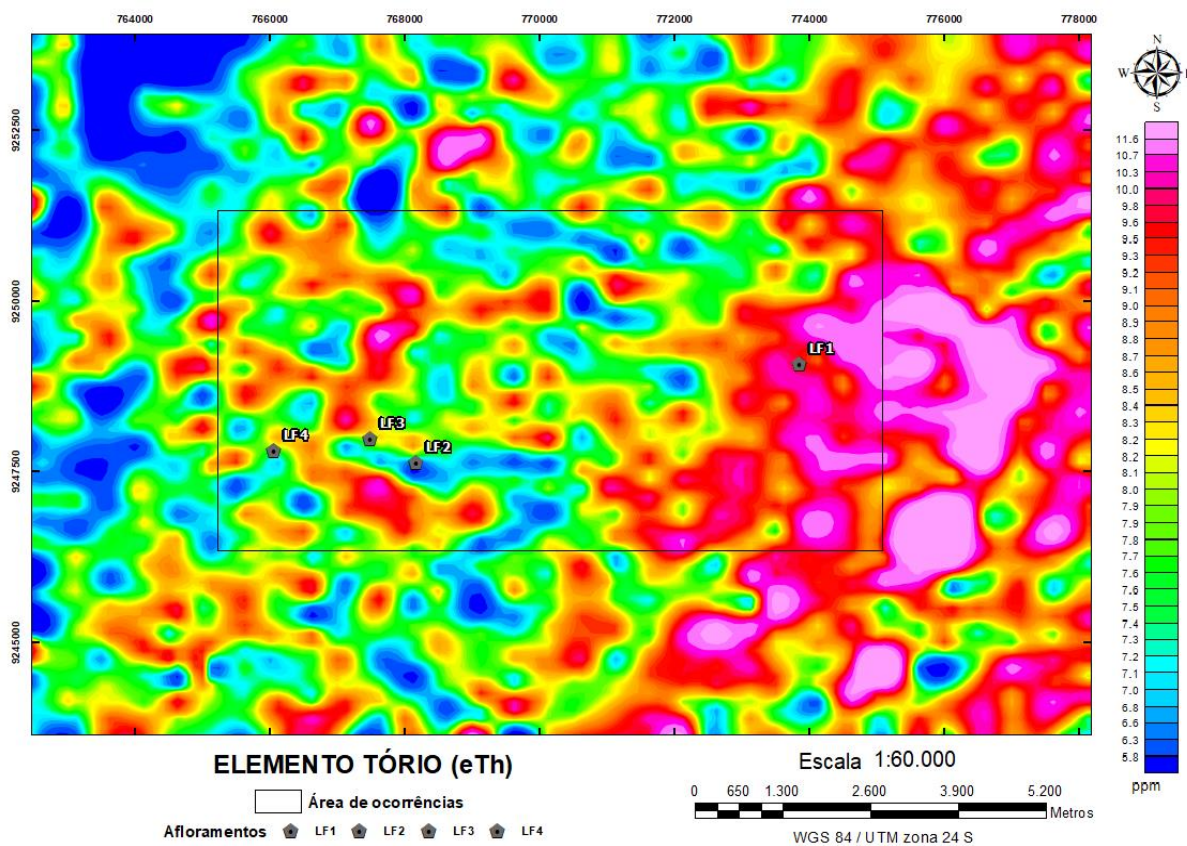


Figura 33: Mapa de Concentração do Elemento Tório (Th)

Fonte: Elaborado pela autora desta pesquisa com dados processados por Asmminey A. Silva Nascimento (2021)

6 DISCUSSÕES

A província da Borborema é marcada pela intensa granitogênese, principalmente no que diz respeito aos pegmatitos, constituindo assim uma terminologia conhecida como província pegmatítica da Borborema. Nesse contexto, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos nessa região que tem rochas de muita importância econômica, as quais abrigam uma grande variedade mineralógica de interesse para a indústria da mineração. Dito isso, e com base na compilação de dados de mapeamento geológico, sensoriamento remoto e aerogeofísica apresentada nos resultados, foi possível elencar diversos tópicos interessantes para serem discutidos à luz da geologia regional e sua potencialidade econômica.

As discussões realizadas serão sumarizadas e descritas nos tópicos abaixo para melhor organização e entendimento das reflexões abordadas, nos quais os resultados obtidos através de dados remotos serão correlacionados com as informações obtidas em campo e discutidos individualmente para melhor análise e compreensão.

6.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O reconhecimento de áreas mineralizadas é principalmente realizado por meio da identificação de minerais portadores de Lítio, como espodumênio e lepidolita, e dos halos de alteração associados às rochas estudadas. Os minerais mais comuns associados a essas zonas de alteração são óxidos de ferro e minerais de argila (SABINS, 1999). Então, vários métodos de processamento digital de imagens conhecidos foram aplicados a fim de identificar esses locais de interesse, lançando mão de técnicas como filtragem com as composições RGB e IHS, e razão de bandas, identificando regiões onde ocorrem os minerais portadores de Lítio e as zonas hidrotermalmente alteradas na área de estudo.

Em geral, as combinações RGB são a técnica mais difícil de interpretar porque a mistura de sinais para minerais distintos gera uma mistura de cores muitas vezes bem diferente dos resultados relatados na literatura, porém foi possível extrair algumas respostas que puderam ser utilizadas como argumento para validar a teoria proposta. As razões de banda também foram aplicadas para destacar zonas de alterações hidrotermais, através da discriminação de minerais normalmente associados a essas áreas.

Nos produtos obtidos através do sensoriamento remoto, o primeiro resultado exibido é baseado na razão de banda 3/8, que foi proposta considerando o comportamento espectral do

espodumênio e que apresenta uma resposta espectral que destaca a possível ocorrência desse mineral. Sendo assim, esse produto realçou também a principal rocha que hospeda o espodumênio, de acordo com o contexto geológico regional e o mapeamento realizado: os pegmatitos zonados. É importante ressaltar também que as regiões que apresentaram alta reflectância para essa razão de banda, além de corresponderem às cavas visitadas na etapa de campo, também coincidem com os altos topográficos, corroborando com a interpretação de que essas regiões correspondem aos corpos pegmatíticos, uma vez que é sabido que essas rochas apresentam maior resistência intempérica, constantemente sendo caracterizadas e nomeadas como “altos”.

A fim de abordar outros aspectos da geologia da região, mas utilizando as informações já obtidas no produto anterior, foi feita uma composição RGB (C1) que traz informações da rocha pegmatítica, mas também das rochas encaixantes. Esse produto mostrou um resultado satisfatório, uma vez que destaca as rochas portadoras de espodumênio e também as rochas metassedimentares que atuam como encaixante, que, no caso da área de estudo, são os xistos da Formação Seridó.

Nesse produto, foi observado que há uma concentração maior de respostas espectrais de interesse no setor a oeste do mapa, mostrando tonalidades mais avermelhadas, enquanto no setor a leste do mapa há uma predominância de tonalidades mais azuladas. Com isso, pode-se sugerir que há a ocorrência de dois padrões espectrais na área de estudo: um que apresenta uma boa resposta espectral para o elemento estudado, e outro que não apresenta essa resposta espectral satisfatória, mas, ainda assim, é observada a presença de pegmatitos zonados e de interesse econômico.

Já no mapa que apresenta a razão de banda 4/12, é esperado o comportamento espectral correspondente à ocorrência de lepidolita, outro mineral portador de Lítio. Mas para a região de estudo, não foi observada uma resposta espectral satisfatória ao utilizar esse método de processamento da imagem de satélite. Além disso, nas cavas visitadas não foi observada a ocorrência de micas de Lítio, então é de se esperar que o mapa de razão de banda 4/12 também não apresente alta reflectância nessas regiões.

Porém, foi observado um setor a noroeste do mapa onde há uma pequena área destacada em vermelho (alta reflectância), sugerindo que pode haver a ocorrência de um corpo pegmatítico rico em lepidolita. Essa zona em destaque também é observada no mapa de razão de banda 3/8, mas em menor intensidade. Então a integração dessas informações indica que ainda existem outros corpos pegmatíticos ricos em minerais portadores de Lítio inexplorados

na área de estudo, denotando que essa região apresenta alta potencialidade econômica para a exploração de Lítio.

Da mesma forma que o mapa de composição RGB anterior (utilizando a razão de banda 3/8 no canal do vermelho), também foi feito um mapa de composição RGB utilizando-se como base a razão de banda para o mineral lepidolita (4/12), porém esse mapa não trouxe interpretações novas se comparado com os produtos anteriormente apresentados, mas ainda assim trouxe informações sobre as rochas portadoras de lepidolita (tons rosados) e as rochas que atuam como encaixante (tons esverdeados).

Além dessas composições, também foi produzido um mapa de composição RGB (C3), que é capaz de identificar rochas alteradas hidrotermalmente, trazendo informações sobre zonas de alteração com óxidos de ferro e minerais de argila. Na área de estudo, é notável que há uma resposta espectral interessante no mapa correspondente aos canais de água, que se apresenta na cor verde. No canal verde da composição RGB foi aplicada a razão de banda 11/12, que mapeia a ocorrência de argilominerais como caulinita, alunita e montmorilonita. Em geral, nenhum mineral de argila é identificado nas áreas onde há a ocorrência de mineralizações de Lítio.

Por fim, o último mapa produzido através de dados de sensoriamento remoto foi o mapa de composição IHS, que traz a razão de banda 3/8 como componente de cor, destacando a ocorrência de pegmatitos em tons de vermelho. Já a razão de banda 4/12 foi aplicada no canal da intensidade, destacando também a ocorrência de pegmatitos, mas agora portadores de lepidolita. No mapa, as regiões que apresentam alta reflectância em ambas as razões de banda mostram um tom vermelho intenso, observado apenas na região mais a oeste da área de estudo.

A etapa de campo, que teve como resultado o mapeamento geológico, constatou que o principal mineral de Lítio encontrado nos afloramentos visitados é o espodumênio, não sendo encontrado em escala mesoscópica a ocorrência de outros minerais portadores de Lítio, como por exemplo a lepidolita, a petalita e a ambligonita.

Analisando todos os resultados obtidos, eles indicam que de fato alguns processos de alteração estão relacionados aos pegmatitos portadores de Li. Porém, outros algoritmos da literatura testados (que foram definidos para outros tipos de depósitos minerais) não funcionaram bem neste estudo. Isso enfatiza a necessidade de desenvolver algoritmos específicos para mineralizações de Lítio, porque até agora apenas algoritmos de classificação de imagem foram aplicados para selecionar áreas alvo de Li (MENDES *et al.*, 2017; PERROTTA *et al.*, 2005).

6.2 AEROGEOFÍSICA

Os produtos aerogeofísicos forneceram informações intrigantes e que possibilitaram algumas discussões sobre a geologia da área de estudo, principalmente no que diz respeito à mineralogia e estruturas, e possível gênese dos pegmatitos estudados. Para melhor compreensão, as discussões referentes aos métodos aerogeofísicos serão abordadas separadamente.

6.2.1 Magnetometria

Através dos dados de magnetometria, foi possível obter dois produtos que auxiliaram no entendimento do contexto estrutural no qual a área de estudo está inserida, além de permitir delimitar alguns corpos que apresentaram contraste de susceptibilidade magnética.

Para esse trabalho, os filtros utilizados para inferir a identificação de anomalias geofísicas associadas ao depósito corpos pegmatíticos foram: filtro de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e Derivada Vertical (DZ). Vale salientar que, através dos mesmos, se tornou possível delinear corpos anômalos realçando alterações de susceptibilidade magnética.

6.2.1.1 Filtragem Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

Segundo Li (2006), o filtro de Amplitude do Sinal Analítico é utilizado no mapeamento de bordas de corpos anômalos. Particularmente em locais onde a fonte é rasa, onde a latitude magnética é baixa e onde a magnetização remanescente é significativa, os resultados são satisfatórios e trazem informações relevantes sobre a sua geometria (NABIGHIAN, 1974).

Esse filtro possui a característica de ter as amplitudes máximas em cima das bordas, principalmente quando os corpos são rasos; e com o aumento da profundidade, os valores máximos são deslocados (LI, 2006). Wemegah *et al.* (2015) complementam que a amplitude do sinal analítico maximiza o limite das estruturas magnéticas e foi usada para delinear os limites das unidades litológicas. A equação abaixo representa o ASA, onde A são os valores do campo magnético anômalo.

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial Y}\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial Z}\right)^2}$$

Baseado no que foi visto nos resultados, o mapa de amplitude do sinal analítico evidencia, principalmente, as estruturas que recobrem a região e delimita alguns corpos. As concentrações positivas estão associadas às lineações com *trends* variados, mas que ocorrem principalmente seguindo a direção E-W e NE-SW. Esse padrão pode ser observado ao longo de todo o mapa.

É importante destacar que o mapa apresenta duas regiões com padrões geofísicos distintos: A região oeste do mapa é destacada pelas marcantes anomalias magnéticas acompanhando as lineações, e pode-se inferir que estas lineações correspondem a estruturas geológicas (falhas ou fraturas) nas quais há a concentração de minerais magnéticos devido à percepção de fluidos, ou então, nos locais onde essas anomalias apresentam formas circulares, pode-se concluir que estão demarcando os corpos pegmatíticos. Algumas cavas que estão localizadas nessa região encontram-se sobrepostas a essas anomalias circulares, corroborando com a interpretação anteriormente apresentada e ainda permitindo deduzir-se que há a ocorrência de outros corpos pegmatíticos na área de estudo que ainda não foram descobertos e/ou explorados.

A região leste do mapa também apresenta lineações obedecendo ao padrão estrutural já abordado, porém ela é marcada por um grande corpo que apresenta contraste de susceptibilidade magnética bastante expressiva, essa anomalia faz com que as demais informações magnéticas fiquem atenuadas, dificultando a delimitação de estruturas ou corpos pegmatíticos.

Algumas teorias foram levantadas no que diz respeito a essa anomalia. Uma delas aponta a possibilidade de ela estar associada a uma estrutura regional de grande porte que não aparece no mapa, mas que é observada na Folha Jardim do Seridó SB-24-Z-B-V como sendo uma dobra anticlinal. Outra possibilidade para essa anomalia é a existência de intrusões granitoides que podem conter uma quantidade maior de minerais magnéticos comparada às rochas encaixantes.

6.2.1.2 Filtragem Derivada Vertical (DZ)

O filtro de derivada vertical é aplicado nos dados de campos potenciais para realçar as fontes geológicas rasas (BELLO, 2014). Este filtro amplifica as respostas de baixo comprimento de onda e alta frequência, e minimiza as anomalias de grande comprimento de onda e baixa frequência. De acordo com Wemegah *et al.* (2015), o cálculo da primeira derivada vertical é utilizado para remover características de longo comprimento de onda do campo

magnético, otimizando a resolução de anomalias espaçadas e sobrepostas. O filtro DZ consiste da derivada da anomalia em relação à direção vertical, onde A é a amplitude da anomalia, representada pela equação a seguir (MILLIGAN; GUNN, 1997):

$$DZ = \frac{\partial A}{\partial Z}$$

As assinaturas magnéticas destacadas pelo filtro da Derivada Vertical mostram lineamentos magnéticos semelhantes aos apresentados no mapa de sinal analítico, com a diferença na concentração da anomalia, uma vez que algumas estruturas que apareciam como anomalias positivas no mapa de ASA se apresentam como anomalias negativas no mapa DV, e vice-versa. Os valores de susceptibilidade magnética negativa (-0,0365 a -0,008) podem estar associados à concentração de minerais diamagnéticos ao longo dos planos de fraqueza das rochas.

Ao fazer um comparativo com o mapa anterior, é notável que a grande anomalia positiva que ocorria na porção leste do mapa de ASA não tenha sido registrada no mapa de DZ, dando espaço para uma estrutura de *trend* NE-SW com anomalia magnética negativa. Além disso, o afloramento LF1 encontra-se localizado em uma anomalia positiva, diferentemente dos demais afloramentos visitados em campo (LF 2, 3 e 4), sugerindo, mais uma vez, que esses corpos pegmatíticos apresentam alguma distinção entre eles. Lembrando que esse tipo de filtragem é utilizado para caracterizar os contrastes de susceptibilidade magnética de corpos que estão mais próximos à superfície.

6.2.2 Gamaespectrometria

Para a International Atomic Energy Agency - IAEA (1979), os métodos que visam classificar em bases quantitativas os fenômenos naturais não observáveis a olho nu fornecem a possibilidade de subdividir em um mesmo ambiente geológico diferentes litologias de acordo com suas respostas gamaespectrométricas, possuindo assim, grande aplicabilidade no estudo geológico e enriquecendo o detalhamento da área estudada, podendo ser realizados em solo, poços e acoplados em aeronaves.

Ainda com base no IAEA (1979), a detecção dos radioelementos ocorre a baixas profundidades, em torno de 50 cm, e sem perder sua resolução. Sendo assim, os produtos radiométricos são importantes para uma melhor compreensão das rochas estudadas, uma vez que estas se encontram na forma de cavas e apresentam uma assembleia mineralógica

importante no que diz respeito aos aspectos radiométricos analisados por esse método. Portanto, as discussões referentes aos dados aeroradiométricos serão fundamentadas nos mapas confeccionados com base nas concentrações de potássio (K), Urânio (U) e Tório (Th).

6.2.2.1 Elemento Potássio (K)

O potássio (K) é o elemento que possui maior abundância na crosta (2,35%); se apresenta constante por não possuir fracionamentos significativos com o radioisótopo K40. Seus minerais mais representativos são os feldspatos potássicos (~13% K) seguidos das micas biotita e moscovita (8% K) (DICKSON; SCOTT, 1997).

O mapa do elemento K demonstrou a disposição das suas concentrações na área de estudo em porcentagem. Com base nele, foi possível observar que as anomalias acompanham um padrão de distribuição análogo à estruturação regional, já observada em diversos produtos discutidos anteriormente. Além disso, também há uma relação destoante entre as concentrações de potássio que ocorrem nas cavas localizadas a oeste do mapa, estando essas indicadas pelas anomalias positivas, e na cava que está situada a leste do mapa, onde as concentrações de potássio são bem inferiores.

Essas informações trazem a reflexão de que a composição das rochas é diferente, mesmo se tratando de um mesmo tipo de rocha, que são os pegmatitos. Uma possível discussão a ser levantada sobre isso é que, por se tratar de um método que obtém informações superficiais, e os afloramentos visitados são cavas que já foram exploradas em níveis de profundidade diferentes, o dado geofísico pode ter captado informações de zonas distintas em cada um dos pontos visitados. Essa é uma conclusão plausível, uma vez que, como foi visto, os pegmatitos visitados apresentam zonas onde há a ocorrência de minerais ricos em potássio, como por exemplo os k-feldspatos da Zona intermediária, e outras pobres em potássio, como os núcleos de quartzo.

No entanto, vale ressaltar que o K é um elemento muito abundante na natureza, podendo estar presente em uma grande variedade de rochas. Dessa forma, as anomalias exibidas no mapa do elemento K não servem para delimitar os corpos pegmatíticos, pois o elemento não é exclusivo desse tipo de rocha. Porém foi um produto importante para discutir a possibilidade da existência de uma variedade composicional dentre os pegmatitos visitados.

6.2.2.2 Elemento Urânio (U)

O urânio (U) é considerado o elemento com menor abundância na crosta (~3 ppm); apresenta dois estados de valência predominantes U^{4+} (mais comum em minerais insolúveis) e U^{6+} , podendo ser encontrado na natureza em minerais como uraninita (UO_2), uranotorita [$Th(U)SiO_4$] e em substituições em minerais como zircão [$Zr(U, Th)SiO_4$] e monazita [$Ce(Ce, La, Nd, Th, U, Y)PO_4$] (DICKSON; SCOTT, 1997).

Conforme mencionado por Boyle (1982), comumente, o elemento U possui semelhanças químicas entre alguns elementos, como: zircônio (Zr), háfnio (Hf), ítrio (Y), cério (Ce) e outros lantanídeos. No geral, os pegmatitos da região de Parelhas apresentam índices radioativos tanto devido ao urânio disperso nas malhas cristalinas de diferentes minerais (albita, microclínio, turmalina, lepidolita, quartzo e apatita, minerais fosfatados), como pela presença de minerais primários e secundários de urânio.

O mapa do elemento U demonstrou a disposição das concentrações desse radioelemento na área de estudo em ppm. Ao fazer a análise deste produto, percebeu-se que as concentrações de urânio apresentam uma distribuição na qual as anomalias mais significativas estão localizadas na porção leste do mapa. Porém, é possível notar também que, nos pontos correspondentes às cavas visitadas e também acompanhando os lineamentos apresentados nos produtos magnetométricos, o mapa do elemento urânio apresenta pequenas anomalias positivas.

Em relação aos padrões de distribuição das concentrações de urânio, há um certo controle estrutural das anomalias, demonstrando uma orientação baseada nos *trends* preferenciais que controlam a geologia da região. No entanto, isso não é o que mais está em evidência nesse produto, pois a principal informação que pode ser extraída do mapa de urânio é a grande anomalia do lado leste do mapa, pois as grandes concentrações de urânio nesta região mostram que há uma potencialidade econômica considerável para exploração de minérios de interesse.

Alguns trabalhos voltados para o estudo de columbita-tantalita (COLTAN) em pegmatitos da província Borborema observaram que esses minerais apresentaram valores significativos para as concentrações de elementos radioativos, corroborando com a discussão abordada sobre os produtos geofísicos dos elementos U e Th (MOURA *et al.*, 2005). Porém, na grande maioria, os corpos pegmatíticos que abrigam esses minerais são explorados como garimpo, de forma arcaica, artesanal, predatória e bastante insegura. Esses processos são de

alto risco para os trabalhadores devido à grande exposição, além de apresentarem baixo rendimento econômico e de aproveitamento inadequado do depósito.

6.2.2.3 Elemento Tório (Th)

O tório (Th) é o elemento que possui baixa abundância na crosta (~12 ppm), ocorre naturalmente no estado de valência Th^{4+} , pode ocorrer em minerais como torianita (ThO_2), sendo este o mineral mais representante, seguido de minerais como allanita [$(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Y}, \text{Th})_2 (\text{Al}, \text{Fe})_3 (\text{SiO}_4) (\text{SiO}_7) \text{O} (\text{OH})$], zircão [$\text{Zr} (\text{U}, \text{Th}) \text{SiO}_4$] e monazita [$\text{Ce} (\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}, \text{U}, \text{Y}) \text{PO}_4$] que podem possuir Th^{4+} em menores proporções (DICKSON; SCOTT, 1997).

Assim como o elemento eU, o tório também pode ocasionar uma substituição nos minerais zirconita [$\text{Zr} (\text{U}, \text{Th}) \text{SiO}_4$] e monazita [$\text{Ce} (\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}, \text{U}, \text{Y}) \text{PO}_4$] e também possui semelhanças químicas com os elementos zircônio (Zr), háfnio (Hf), ítrio (Y), cério (Ce) e outros lantanídeos, conforme mencionado por Boyle (1982).

O mapa do elemento Th foi o produto que apresentou maiores concentrações em ppm, refletindo em anomalias radiométricas de expressões relevantes para a análise da potencialidade econômica dos pegmatitos da área de estudo e possibilitando uma discussão importante sobre a heterogeneidade dos corpos pegmatíticos que aparecem na área de estudo.

A distribuição das anomalias de Th também mostra resultados de concentrações seguindo alguns padrões de estruturas que já foram destacadas nos produtos magnetométricos, especialmente na porção a oeste do mapa, onde é possível observar as anomalias acompanhando os *trends* NE-SW e E-W. E mais uma vez, apresentando altas concentrações do elemento da porção leste do mapa, causando assim uma grande anomalia de Th.

Com essa informação, e baseando-se em todos os produtos anteriormente citados, é notável que há alguma fonte que influencia o comportamento das rochas localizadas mais a leste da área de estudo, podendo ser de origem estrutural, a qual possibilita a percolação de fluidos enriquecidos em elementos incompatíveis, ou então de origem granítica, associada ao enriquecimento mineral em decorrência da influência de uma câmara magmática.

7 CONCLUSÃO

A região do Seridó apresenta uma formação geológica com grande potencial para extração de recursos minerais. Os dados apresentados destacaram que os pegmatitos presentes nesta região possibilitam uma atividade mineral com viabilidade econômica, e certamente esta atividade deve focar nos minerais metálicos e industriais com maior valor econômico. A partir do mapeamento geológico realizado na região a leste de Parelhas/RN, foi possível identificar diversos corpos pegmatíticos de interesse econômico, bem como analisar aspectos petrográficos, mineralógicos e estruturais dessas rochas.

A realização do presente trabalho possibilitou diversas abordagens sobre as rochas estudadas, resultando na apresentação de novos dados cartográficos para a região, baseados na atividade de campo, além dos produtos remotos multifonte, que confirmaram algumas hipóteses levantadas em campo, apontaram áreas alvos de interesse prospectivo (leste da área analisada) e proporcionaram outras discussões de caráter genético e mineralógico com relação aos corpos estudados, auxiliando assim na compreensão do contexto geológico regional.

Diante da análise dos produtos remotos utilizados, que trouxeram informações geofísicas e espectrais das rochas presentes na área de estudo, foi possível elencar algumas regiões que apresentaram um resultado satisfatório para o objetivo da pesquisa, além de contribuir com diferentes interpretações mediante cada um dos métodos utilizados, auxiliando assim na realização de discussões mais embasadas. Porém, algumas lacunas ainda ficaram pendentes para o entendimento pleno da geologia da área de estudo e adjacências.

Com base no que foi visto nos produtos aerogeofísicos, não foi possível explicar a origem da anomalia observada na região a leste dos mapas, pois a área de estudo não engloba todo o contexto geológico no qual ela está inserida. Porém, algumas hipóteses foram levantadas a fim de esclarecer essa questão, envolvendo a possibilidade de origem estrutural para a anomalia detectada, o que possibilitou o enriquecimento dos elementos detectados através dos métodos utilizados. Outra possibilidade para a origem dessas anomalias é a influência de intrusões situadas mais a leste da área de estudo, mas que não foram vistas na etapa de campo ou através dos mapas produzidos.

No entanto, os mapas geofísicos, aliados aos mapas produzidos por meio do sensoriamento remoto, foram fundamentais para observar o comportamento dos pegmatitos da região a leste de Parelhas em cada um dos métodos, possibilitando assim a delimitação desses corpos através dos produtos multifonte utilizados e proporcionando o melhor entendimento do

contexto geológico, além de confirmar a potencialidade econômica da região para exploração mineral, na perspectiva do desenvolvimento econômico.

As seções delgadas que foram confeccionadas a partir das amostras coletadas em campo não puderam ser descritas devido à impossibilidade de utilizar o Laboratório de Microscopia Estudantil em decorrência da pandemia da Covid-19, porém podem ser uma ferramenta interessante para caracterizar melhor os afloramentos visitados, possibilitando uma descrição mineralógica mais detalhada. Essas informações podem contribuir para a compreensão de aspectos geoquímicos dos pegmatitos, auxiliando na especificação do zoneamento regional ao qual essas rochas são submetidas.

Em trabalhos futuros, sugere-se que seja realizada uma investigação mais detalhada de aspectos que expliquem as discrepâncias das anomalias observadas em cada uma das filtragens. Esse estudo pode ser feito através de atividades de campo, nas quais sejam coletadas amostras que possam vir a representar melhor o tipo de rocha que está causando essas anomalias. Além disso, as descrições das seções delgadas e execução de química mineral também podem contribuir de forma expressiva para o entendimento do cenário geológico como um todo, uma vez que a abordagem geoquímica é fundamental nos estudos dos pegmatitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian Structural Provinces: an introduction. **Earth Science Review**, [S.L], v. 17, n. 1-2, p. 1-29, abr. 1981.

AMARO, V. E. **Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da Província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis neoproterozoicas**. 1998. 431 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 1998.

ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C.; NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil (PGB). Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala. 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.

ARAÚJO, M. G.; ALVES DA SILVA, F. C.; JARDIM DE SÁ, E. F. Pegmatitos da Faixa Seridó: marcadores da movimentação tardia das transcorrências Brasileiras. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998. p. 42.

ARAÚJO, M. G. S.; BRITO NEVES, B. B.; ARCHANJO, C. J. Idades 40AR/39AR do magmatismo básico Meso-Cenozoico da Província Borborema oriental, Nordeste do Brasil. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 19., 2001, Natal. **Resumos...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 2001. p. 260-261.

ARCHANJO, C. J.; SALIM, J. Posição da Formação Seridó no contexto estratigráfico regional (RN-PB). In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 12., 1986, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, 1986. p. 270-281.

ARROBAS, D. L. P.; HUND, K. L.; MCCORMICK, M. S.; NINGTHOUJAM, J.; DREXHAGE, J. R.. **O papel crescente dos minerais e metais para um futuro de baixo carbono**. Washington: Banco Mundial, 2017.

AHTOLA, T.; KUUSELA, J.; KÄPYAHO, A.; KONTONIEMI, O. Overview of lithium pegmatite exploration in the Kaustinen area in 2003–2012. **Geological Survey of Finland**, Report of Investigation 220. 2015.

BAUMGARTNER, R.; ROMER, R. L.; MORITZ, R.; SALLET, R.; CHIARADIA, M. Columbite-Tantalite-bearing granitic pegmatites from the Seridó Belt, NE Brazil: Genetic constraints from U-Pb dating and Pb isotopes. **Canadian Mineralogist**, [SL], v. 44, p. 69-86, 2006.

BELLO, A. M. **Avaliações comparativas de filtros espaciais para mapeamento de contatos geológicos com contrastes de densidades e suscetibilidades magnéticas**. 2014. 69 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Geofísica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

BEURLIN, H.; BARRETO, S.; MARTIN, R.; MELGAREJO, J.; SILVA, M. R. R.; SOUZA NETO, J. A. The Borborema pegmatite province, NE-Brazil revisited. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 2, n. 19, p. 62-66, 2009.

BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 529 p.

BOYLE, R. W. **Geochemical prospecting for uranium and thorium deposits**. Amsterdam: Elsevier, 1982. 498 p.

BRADLEY, D. C.; MCCAULEY, A. D.; STILLINGS, L. L. Mineral-deposit model for lithium-cesium-tantalum pegmatites. **US Geological Survey**, 2017.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. 1975. 198p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 1975.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. **Tectonic Evolution of South America**, v. 1, p. 151-182, 2000.

CABY, R.; ARTHAUD, M. H.; ARCHANJO, C. J. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 3-4, p. 235-246, 1995.

CABY, R.; ARTHAUD, M. H.; VAUCHEZ, A. Crustal evolution and the Brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: **The west African orogens and circum-Atlantic correlatives**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1991. p. 373-397.

CAMERON, E. N.; JAHNS, R. H.; MCNAIR, A. H.; PAGE, L. R. Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology*, Monograph 2, 1949.

CARDOSO-FERNANDES, J.; LIMA, A.; TEODORO, A. C. Potential of Sentinel-2 data in the detection of lithium (Li)-bearing pegmatites: a study case. In: *Earth resources and environmental remote sensing/GIS applications*, 9., Berlim. **Abstracts...** Berlim: International Society for Optics and Photonics, 2018.

CARDOSO-FERNANDES, J.; TEODORO, A. C.; LIMA, A. Remote sensing data in lithium (Li) exploration: A new approach for the detection of Li-bearing pegmatites. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 76, p. 10-25, 2019.

ČERNÝ, P. Anatomy and classification of granitic pegmatites. **Granitic pegmatites in science and industry**, p. 1-39, 1982a.

ČERNÝ, P. Distribution, affiliation and derivation of rare-element granitic pegmatites in the Canadian Shield. **Geologische Rundschau**, v. 79, n. 2, p. 183-226, 1990.

ČERNÝ, P. Rare-element granitic pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatitic deposits. **Geoscience Canada**, n. 18, p. 49-67, 1991a.

ČERNÝ, P. Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. **Geoscience Canada**, n. 18, p. 68-81. 1991b.

ČERNÝ P.; ERCIT T. S. Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites. **Bulletin de Minéralogie**, v. 108, n. 3, p. 499-532, 1985.

ČERNÝ P.; ERCIT T. S. The classification of granitic pegmatites revisited. **The Canadian Mineralogist**, v. 43, n. 6, p. 2005-2026, 2005.

ČERNÝ, P.; MEINTZER, R. E. Fertile granites in the Archean and Proterozoic fields of rare-element pegmatites: crustal environment, geochemistry and petrogenetic relationships. **Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits**, p. 170-207, 1988.

CHRISTMANN, P. *et al.* **Capítulo 1 - Recursos globais de Lítio e questões de sustentabilidade**. CHAGNES, A., ŚWIATOWSKA, J. (ed.). **Na Química do Processo de Lítio**. Elsevier: Amsterdã, Holanda, 2015. p. 1-40.

COOK, S. E.; CORNER, R.J.; GROVES, P.R.; GREALISH, G.J. Use of airborne gamma radiometric data for soil mapping. **Soil Research**, v. 34, n. 1, p. 183-194, 1996.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Sousa SB.24-X-A. Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará**. Recife, 2008. 312 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Paraíba-Rio Grande do Norte**. 2009.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais de Lí da Província Pegmatítica da Borborema**. 2018.

DA SILVA, M. R. R. Petrographical and geochemical investigations of pegmatites in the Borborema Pegmatitic Province of Northeastern Brazil. 1993. Thesis (Doctor) - Muenchen University, Muenchen, Germany, 1993.

DA SILVA, M. R. R.; HÖLL, R.; BEURLEN, H. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 3-4, p. 355-364, 1995.

DANTAS, E. L. **Evolução tectono-magmática do maciço polidiapírico São Vicente/Florânia-RN**. 1992. 272 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

DANTAS, E. L.; SOUZA, Z. S.; WERNICK, E.; HACKSPACHER, P. C.; MARTIN, H.; XIAODONG, D.; LI, J-W. Crustal growth in the 3.4–2.7 Ga São José de Campestre Massif, Borborema Province, NE Brazil. **Precambrian Research**, v. 227, p. 120-156, 2013.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 187-200, 1997.

DNPM/CPRM. **Principais Depósitos Minerais do Brasil**. Vol. IV, parte B, capítulo 41, Província Pegmatítica da Borborema – Seridó, Paraíba e Rio Grande do Norte. Brasília: DNPM, 1997. p. 441-467.

FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. **Sinopse da geologia da Folha Seridó**. Recife: SUDENE, 1969. 52p. (Série Geologia Regional, 18)

FERREIRA, C. A. **Programa Levantamentos geológicos básicos do Brasil: Caicó**. Folha SB. 24-ZB. Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Escala 1: 250.000. Geologia e Metalogênese. 1997.

FERSMAN, A. E. **Les pegmatites leur importance scientifique et pratique**. S.l.: Academia de Ciências da URSS. 1931. Traduzido para o francês em 1951 por R. du Trien de Terdonck e Thoureau. Bélgica: Univ. de Louvain, Bélgica, 1951. 3 V. 675 p.

FROST, B. R.; SHIVE, P. N. Magnetic mineralogy of the lower continental crust. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 91, n. B6, p. 6.513-6.521, 1986.

GEOSIAM. Geophysical Services Co. Airborne Magnetic Survey. Disponível em <https://geosiamservices.com/services/airborne-services/airborne-magnetic-survey/>, Acesso em: 24 mar. 2021.

GINSBURG, A. I. Specific geochemical features of the pegmatitic process. In: **International Geological Congress Session Norden Report**, 21. 1960. p. 111-121.

GINSBURG, A. I.; TIMOFEYEV, I. N.; FELDMAN, L. G. Principles of geology of the granitic pegmatites. **Nedra, Moscow**, v. 296, 1979.

GRASTY, R. L.; HOLMAN, P. B.; BLANCHARD, Y. B. Transportable Calibration Pads for Ground and Airborne Gamma-Ray Spectrometers: **Geological Survey of Canada**, Open File 90-23, 1991b.

GROSJEAN, C.; MIRANDA, P. H.; PERRIN, M.; POGGI, P. Avaliação dos recursos mundiais de Lítio e consequências de sua distribuição geográfica no desenvolvimento esperado da indústria de veículos elétricos. **Renovable and Sustenable Energy Rev.**, n. 16, p. 1735–1744, 2012.

GUNN, P. J. Interpretation of airborne magnetic and radiometric surveys. Course. **AGSO**. 150 p, 1998.

HACKSPACHER, P. C.; VAN SCHMUS, W. R.; DANTAS, E. L. Um embasamento transamazônico na Província Borborema. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36., Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. p. 2.683-2.696.

HACKSPACHER, P. C.; DANTAS, E. L.; BRITO NEVES, B. B.; LEGRAND, J. M. Northwestern overthrusting and related lateral escape during the Brasiliano orogeny north of the Patos Lineament, Borborema Province, Northeast Brazil. **International Geology Review**, v. 39, n. 7, p. 609-620, 1997.

HEINRICH, E. W. Zoning in pegmatite districts. **American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials**, v. 38, n. 1-2, p. 68-87, 1953.

HENRICH, V., KRAUSS, G., GÖTZE, C., SANDOW, C. **Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungsindizes**. Bochum: AK Fernerkundung, 4.-5.10, 2012. IDB. Disponível em: www.indexdatabase.de. Acesso em: 24 mar. 2021.

HOLLANDA, M. H. B. M. *et al.* Long-lived paleoproterozoic granitic magmatism in the Seridó-Jaguaribe domain, Borborema Province–NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 32, n. 4, p. 287-300, 2011.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Gamma ray Surveys in Uranium Exploration**, Technical Reports Series n. 186, IAEA, Vienna, 1979.

IZA, E. R. H. F.; HORBE, A. M. C.; CASTRO, C. C.; HERRERA, I. L. I. E. Integration of Geochemical and Geophysical Data to Characterize and Map Lateritic Regolith: An Example in the Brazilian Amazon. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 19, p. 3.254–3.271, 2018.

JAHNS R. H. The study of pegmatites. **Economic Geology**, 50th Anniversary Volume, p. 1.025-1.130, 1955.

JAHNS R. H.; BURNHAM C. W. Experimental studies of pegmatite genesis; I, A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. **Economic Geology**, v. 64, n. 8, p. 843-864, 1969.

JARDIM DE SÁ, E. F. Revisão preliminar sobre a “Faixa Dobrada do Seridó” e eventuais correlatos no Nordeste. **Revista Ciência**. UFRN, p. 77-83, 1978a.

JARDIM DE SÁ, E. F. 1984. Geologia da região do Seridó: reavaliação de dados. In: **Simpósio de Geologia do Nordeste**, v. 11, p. 278-296, 1984.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-africana**. 1994. (unpublished Doctorate thesis) Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

JARDIM DE SÁ, E. F.; SALIM, J. Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó (RN-PB). **Mineração e Metalurgia**, v. 80, n. 421, p. 16-28, 1980.

JARDIM DE SÁ, E. F., LEGRAND, J. M., McREATH, I. "Estratigrafia" de rochas granitoides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 1, p. 50-57, 1981.

JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. F.; TORRES, H. H. F.; KAWASHITA, K. **Geochronology of metaplutonics and the evolution of supracrustal belts in the Borborema Province, NE Brazil**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988.

JARDIM DE SÁ, E. F.; *et al.* Pre-Brasiliano orogenic evolution in the Seridó Belt, NE Brazil: conflicting geochronological and structural data. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 307-314, 1995.

JARDIM DE SÁ, E. F.; MATOS, R. M. D.; OLIVEIRA, D. C. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**, Escala 1:50.000. DNPM/UFRN/PETROBRAS/CRM, 1998.

JOHNSTON JR., W. D. Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil. **Boletim**, Rio de Janeiro: DNPM-DFPM, v. 72, 1945. 85p.

JOHNSTON JR., W. D. **Pegmatitos ambligonita, berilo, tantalíferos do Ceará, nordeste do Brasil**. 1945.

KALINOWSKI, A.; OLIVER, S. ASTER mineral index processing manual. **Remote Sensing Applications, Geoscience Australia**, v. 37, p. 36, 2004.

LANDES, K. K. Origin and classification of pegmatites. **American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials**, v. 18, n. 2, p. 33-56, 1933.

LEGRAND, J. M.; LIEGEOIS, J. P.; DEUTSCH, S. Datação U/Pb e Rb/Sr das rochas precambrianas da região de Caicó. Reavaliação da definição de um embasamento arqueano. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 14., 1991, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1991. v. 12, p. 276-279.

LEGRAND, J. M.; MARTINS SÁ, J.; NEVES MAIA, H.; DE SOUZA, L. C. **Carta Geológica Folha Jardim do Seridó SB-24-Z-B-V**. Brasília: CPRM, 2009. Escala: 1:100.000

LEGRAND, J. M.; MELO JR. M. G.; ARCHANJO, C. J.; SALIM, J.; SOUZA, L. C.; MAIA, H. N., Mineralizações da Faixa Seridó: um processo hidrotermal do fenômeno tectono-magmático brasileiro. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 15., Natal. **Atas...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 185-187.

LI, X. Understanding 3D analytic signal amplitude. **Geophysics**, vol. 71, 2, B13-B16, 2006.

LINNEN R.L.; VAN LICHTERVELDE M.; ČERNÝ P. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. **Elements**, v. 8, n. 4, p. 275-280, 2012.

LONDON D. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites. **The Canadian Mineralogist**, v. 30, n. 3, p. 499-540, 1992.

LONDON D. Geochemistry of alkali and alkaline earth elements in ore-forming granites, pegmatites, and rhyolites In: LINNEN R.L.; SAMPSON I.M. (eds.). **Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits**. St. Catharines: Geological Society, Short Course Notes, 17, 2005. p. 175-199.

LONDON D. Pegmatites: the canadian mineralogist special publication 10. **Mineralogical Association of Canada**, Quebec, Canadá, p. 347, 2008a.

LONDON D. The transition from granite to pegmatite. **Geological Society of America, Abstract Programs**, v. 40, n. 6, p. 336, 2008b.

LONDON, D., MORGAN, G. B., PAUL, K. A., GUTTERY, B. M. Internal evolution of miarolitic granitic pegmatites at the Little Three mine, Ramona, California, USA. **The Canadian Mineralogist**, v. 50, n. 4, p. 1025-1054, 2012.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2. ed. Cambridge University Press, 2007.

LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap. 8.

MACEDO, M. H. F.; JARDIM DE SÁ, E. F.; PEUCAT, SÁ, J. M. Datações Rb-Sr em ortognaisses e a idade do Grupo Seridó. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 11., 1984, Natal. **Atas...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. p. 253-262.

MEDEIROS, V. C. **Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos Terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeau, domínio da Zona Transversal, NE do Brasil**. 2004. 190 f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. UFRN. 2004.

MEDEIROS, V. C.; NASCIMENTO, M. A. L.; GALINDO, A. C.; DANTAS, E. L. Augen gnaisses riacianos no Domínio Rio Piranhas-Seridó-Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 12, n. 2, p. 3-14, 2012.

MEDEIROS, V. C. **Geologia da Província Seridó**. In: CPRM/UnB/SEBRAE I Seminário das Províncias Metalognéticas Brasileiras: A Província de W-Au Seridó. 2013

MEDEIROS, V. C., CAVALCANTE, R., CUNHA, A. L. C., DANTAS, A. R., COSTA, A. P., BRITO, A. A., RODRIGUES, J. B., SILVA, M. A. 2017. O furo estratigráfico de Riacho Fechado (Currais Novos/RN), Domínio Rio Piranhas-Seridó (Província Borborema, NE Brasil): Procedimentos e Resultados. **Estudos geológicos (UFPE)**, v. 27(3), p. 3-44.

MENDES, D., PERROTTA, M. M., COSTA, M. A. C., PAES, V. J. C. Mapeamento espectral para identificação de assinaturas espectrais de minerais de Lítio em imagens ASTER (NE/MG). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18., Santos. **Anais...** Santos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. p. 28-29.

MEUNIER, A. R. Succession stratigraphique et passages lateraux dus au metamorphisme dans la Série Ceará, Antecambrien du Nord-Est brésilien. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris**, v. 259, p. 3796-3799, 1964.

MILLIGAN, P. R.; GUNN, P. J. Enhancement and Presentation of Airborne Geophysical Data. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, p. 63-75, 1997.

MINTY B.R.S. **A Review of Airborne Gamma-Ray Spectrometric Data-Processing Techniques**. Report 255. Canberra: Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, 1988.

MINTY, B. R. S.; LUYENDYK, A. P. J.; BRODIE, R. C. Calibration and Data Processing for Airborne Gamma-Ray Spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 51-62, 1997.

MOURA, J. C. SILVA, L.F., PEREIRA, V., Pegmatitos radioativos da Serra da Borborema: mineralogia e geoquímica de radiominerais e de minerais radioativos. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, X.; e Simpósio de Geoquímica do MERCOSUL, II. **Anais....** Porto de Galinhas, Recife, Brazil, 2005. CD-ROM abstracts. 2005.

- NABIGHIAN, M.N. Additional comments on the analytic signal of twodimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. **Geophysics**, v. 39, n. 1, p. 85-92, 1974.
- NASR, A. N. H.; DARWISH, A. M.; SHAHEEN, S. I. Use of intensity-hue-saturation (IHS) transformations in change detection of multitemporal remotely sensed data. In: **Image and Signal Processing for Remote Sensing VII**. International Society for Optics and Photonics, 2002. p. 318-327.
- NASCIMENTO, M. A. L.; GALINDO, A. C.; DE MEDEIROS, V. C. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 58, p. 281-299, 2015.
- PERROTTA, M. M.; SOUZA FILHO, C. R.; LEITE, C. A. S. Mapeamento Espectral De Intrusões Pegmatíticas Relacionadas a Mineralizações De Lítio, Gemas E Minerais Industriais Na Região Do Vale Do Jequitinhonha (MG) a Partir De Imagens ASTER. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005, p. 1.855–1.862.
- RAJESH, H. M. Application of remote sensing and GIS in mineral resource mapping—An overview. **Journal of mineralogical and Petrological Sciences**, v. 99, n. 3, p. 83-103, 2004.
- RIBEIRO, V. B.; MANTOVANI, M. S. M.; LOURO, V. H. A. Aerogamaespectrometria e Suas Aplicações no Mapeamento Geológico. **Terra e Didática**, v.10. p. 29-51, 2013.
- ROLFF, P. A. M. A. **Contribuição ao estudo de cassiterita no Nordeste**. Rio de Janeiro: DNPM, 1945.
- ROLFF, P. A. M. A. **Minerais de pegmatitos da Borborema**. Rio de Janeiro: DNPM, 1946.
- SABINS, F. F. Remote sensing for mineral exploration. **Ore Geology Reviews**, v. 14, n. 3-4, p. 157-183, 1999.
- SANTOS, T. J. S.; FETTER A. H.; NETO J. A. N. Comparisons between the northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the southwestern Pharusian Dahomey Belt, SW Central Africa. **Geological Society**, London, Special Publications; v. 294; p.101-120, 2008. doi:10.1144/SP294.6
- SANTOS, E.J. *et al.* Metalogênese das porções norte e central da Província Borborema. In: SILVA, M. da G. Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras. Belo Horizonte: CPRM, 2014. p.343 - 388.
- SCHETSELAAR, E.; CHUNG, C. J. F.; KIM, K. E. Integration of Landsat TM, Gamma-Ray, Magnetic, and Field Data to Discriminate Lithological Units in Vegetated Granite–Gneiss Terrain. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, p. 89–105, 2000.
- SCORZA, E. P. **Província Pegmatítica da Borborema (Nordeste do Brasil)**. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão da Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, 1944. 55p.

SHIVES R. B. K.; CHARNONNEAU B. W., Ford K.L. The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry – Recognition of alteration related to mineralization. **Geophysics**, v. 65, p. 2.001-2.011, 2000.

SILVA, S. M. P.; CRÓSTA, A. P. Mapeamento de pegmatitos da Faixa Seridó (FSe) com base na análise por componentes principais de imagens TM/Landsat-5 e Terra/ASTER e o apoio da espectroscopia de reflectância. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. Curitiba. **Anais...** Curitiba- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 3597.

SIMMONS W. B.; WEBBER K. L. Pegmatite genesis: state of the art. **European Journal of Mineralogy**, v. 20, n. 4, p. 421-438, 2008.

SOARES, D. R. **Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos e elbaítas gemológicas**. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SOUZA, Z. S. Petrogénese des metagranitoides du Complexe de Caicó, Province Borborema (Etat du Rio Grande do Norte, Brésil). *Mém. DESS, Inst. Géol. Univ. Rennes I*, 1991. 87p.

SOUZA, Z. S.; MARTIN, H.; PEUCAT, J. J.; JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. D. F. Calc-alkaline magmatism at the archean-proterozoic transition: the Caicó Complex basement (NE Brasil). **Journal of Petrology**, v. 48, n. 11, p. 2149-2185, 2007.

SOUZA, Z. S.; KALSBECK, F.; DENG, X. D.; FREI, R.; KOKFELT, T. F.; DANTAS, E. L.; GALINDO, A. C. Generation of continental crust in the northern part of the Borborema Province, northeastern Brazil, from Archean to Neoproterozoic. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 68, p. 68-96, 2016.

SWEETAPPLE, M. **Mineralogy meets economics**: how does pegmatology interface with the mineral industry, society, and market forces. In: 6th International Symposium on Granitic Pegmatites, p. 139-140, 2013.

TELFORD, W. M. W.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. Cambridge university press, 1990.

TRUEMAN, D. L.; ČERNÝ, P. Exploration for rare-metal granitic pegmatites. In: **Granitic Pegmatites in Science and Industry**. Černý, P. (ed.). Short Course Handbook. Quebec, QC, Canada: Mineralogical Association of Canada, 1982. p. 463–493.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. **South American Earth Sciences.**, v. 8, p. 267-288, 1995.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; WILLIAMS, I. S.; HACKSPACHER, P. C.; FELTER, A. H.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M. The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. **Precambrian Research**, v. 127, n. 4, p. 287- 327, 2003.

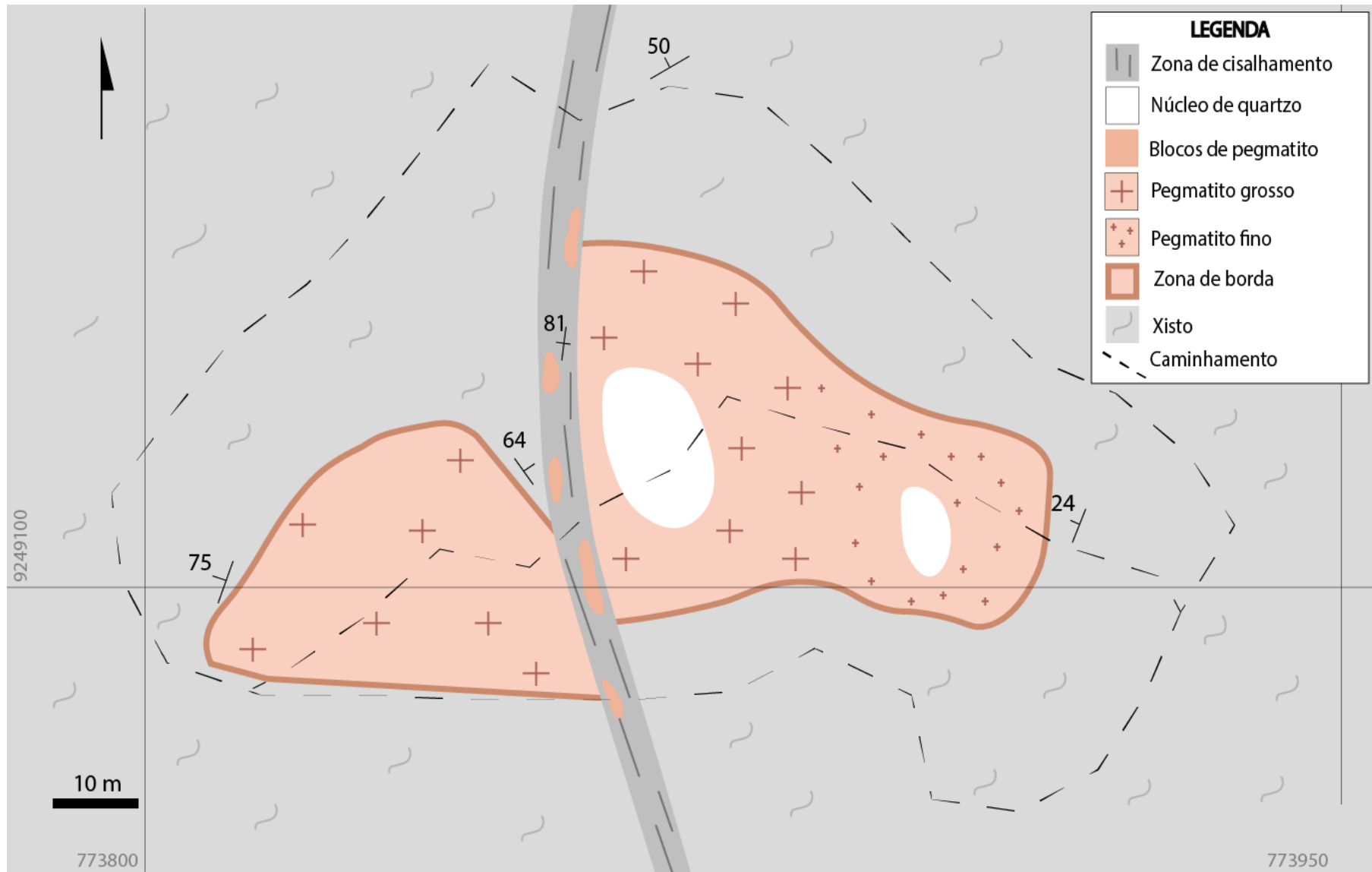
VASCONCELOS, S. A. **O uso do território do município de Pedra Lavrada-PB pela mineração**. 2006. 216 f. (Dissertação) Programa de pós-graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas geografia. UFPE, Recife, 2006.

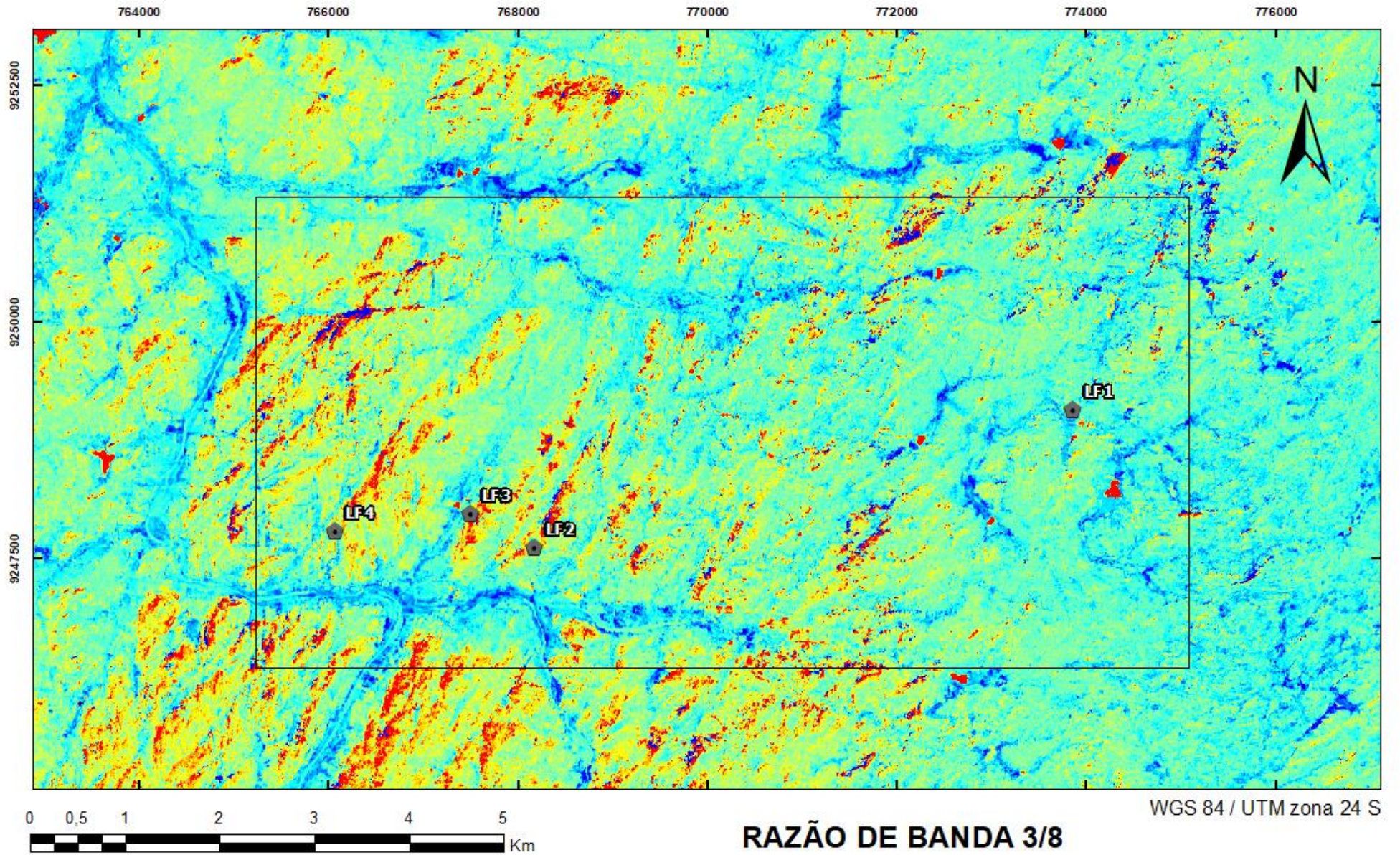
VERAS, J. D. D.; CÔNEGO JUNIOR, D.; SOUZA NETO, J. A. Avaliação do Potencial de Lítio na Província Pegmatítica da Borborema através de Estudos Mineralógicos, Geofísicos e Geoquímicos. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, 8., Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Agência para o Desenvolvimento e Inovação do Setor Mineral Brasileiro, 2018.

VIDAL, F. W. H. & NOGUEIRA NETO, J. A. Minerais de Pegmatitos. In: VIDAL, F.W.H.; SALES, F.A.C.B.; ROBERTO, F.A.C.; SOUZA, J.F. & MATTOS, I.C. (Org.). **Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará**. 1º ed., Fortaleza. Realce Editora & Ind. Gráfica Ltda., 2005, p. 67-81.

WEMEGAH, D. D. *et al.* Geophysical Interpretation of Possible Gold Mineralization Zones in Kyerano, South-Western Ghana Using Aeromagnetic and Radiometric Datasets. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 3, p. 67-82, 2015.

ANEXO – MAPAS



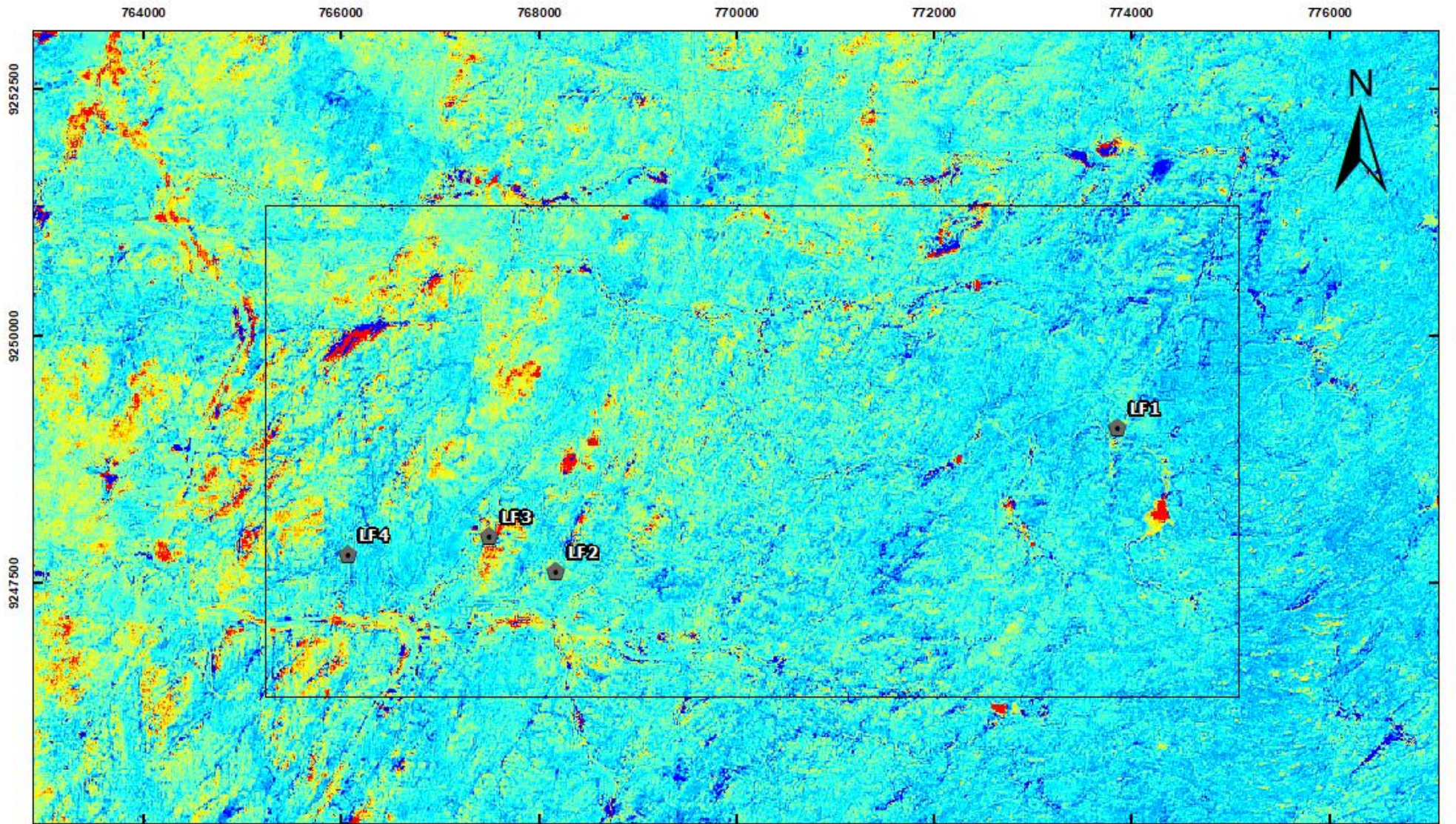


Escala 1:50.000

Área de ocorrências

Afloramentos

- LF1
- LF2
- LF3
- LF4



WGS 84 / UTM zona 24 S



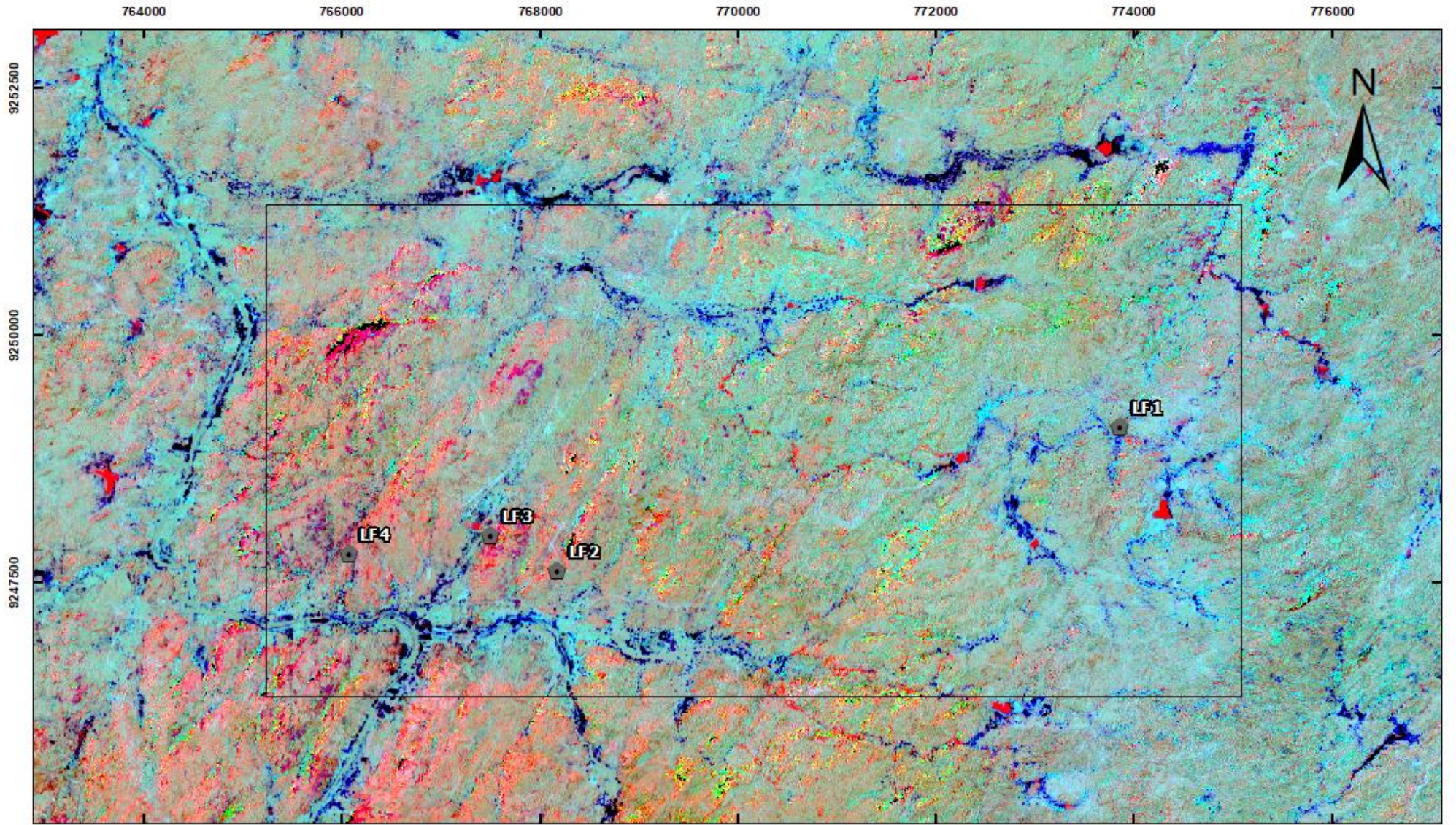
Escala 1:50.000

RAZÃO DE BANDA 4/12

Área de ocorrências

Afloramentos

- LF1
- LF2
- LF3
- LF4



WGS 84 / UTM zona 24 S



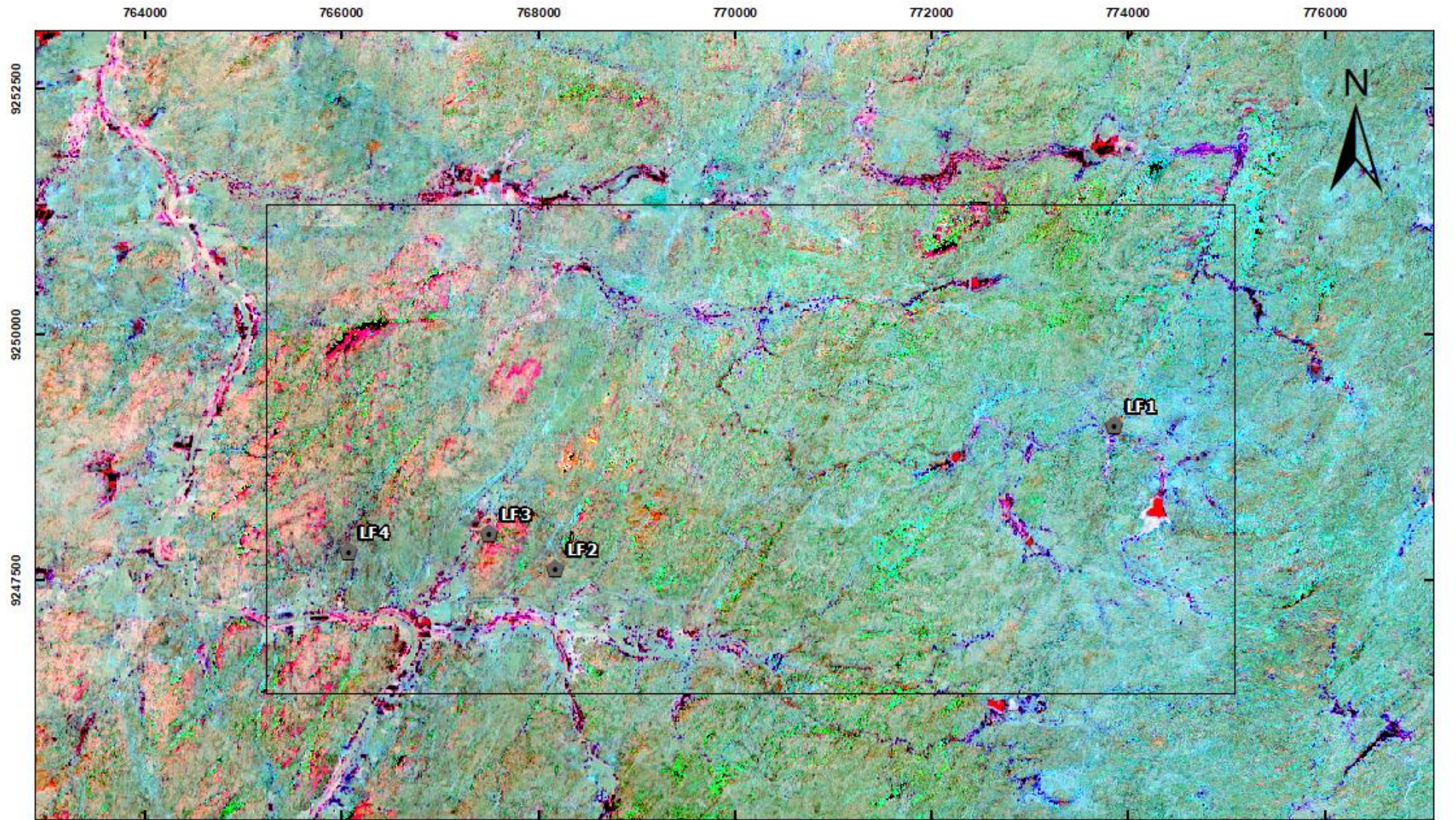
COMPOSIÇÃO 3/8 - 4/3 - 4/2

Escala 1:50.000

Área de ocorrências

Afloramentos

-  LF1
-  LF2
-  LF3
-  LF4



WGS 84 / UTM zona 24 S



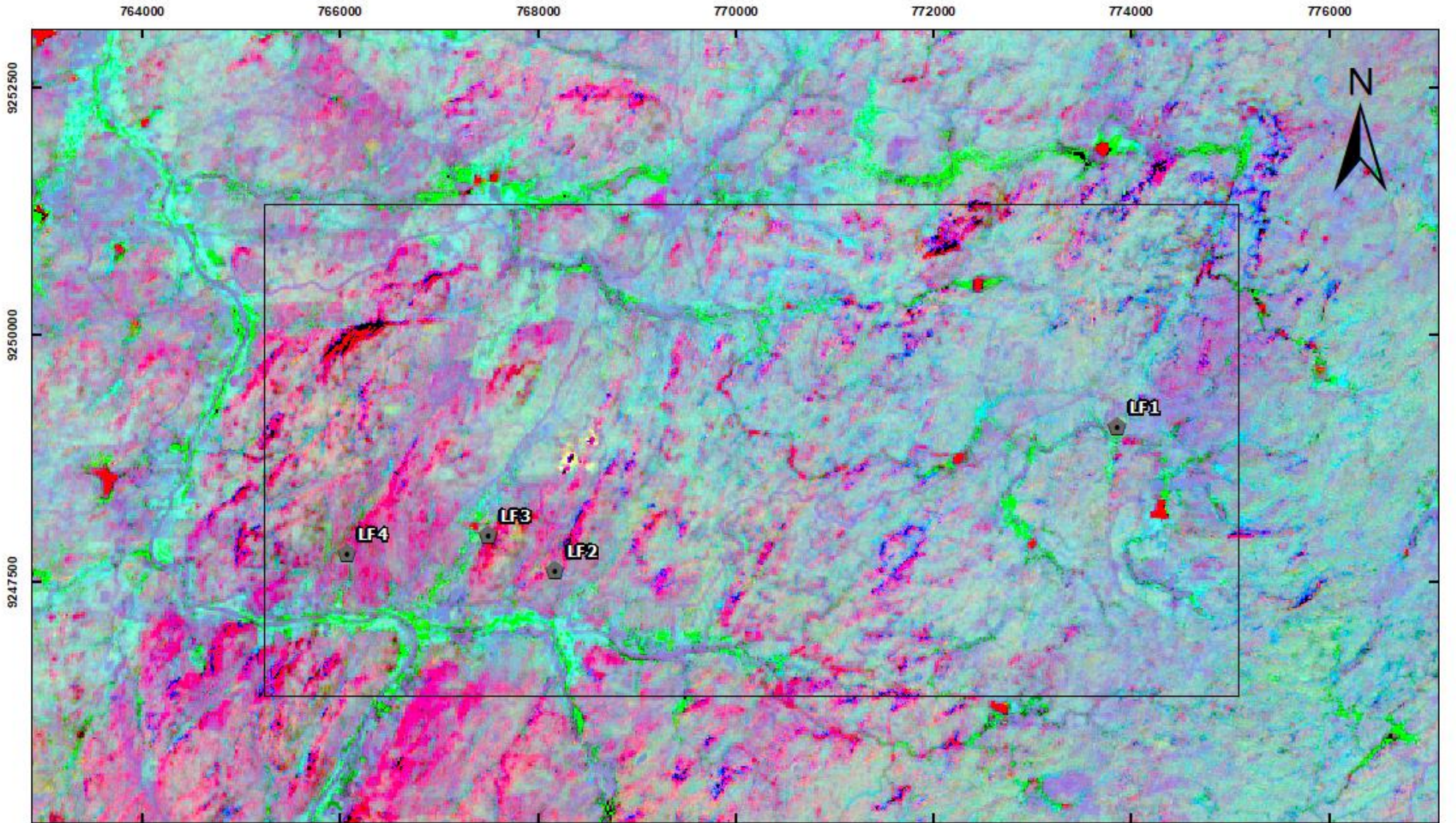
COMPOSIÇÃO 4/12 - 4/3 - 4/2

Escala 1:50.000

Área de ocorrências

Afloramentos

-  LF1
-  LF2
-  LF3
-  LF4



WGS 84 / UTM zona 24 S



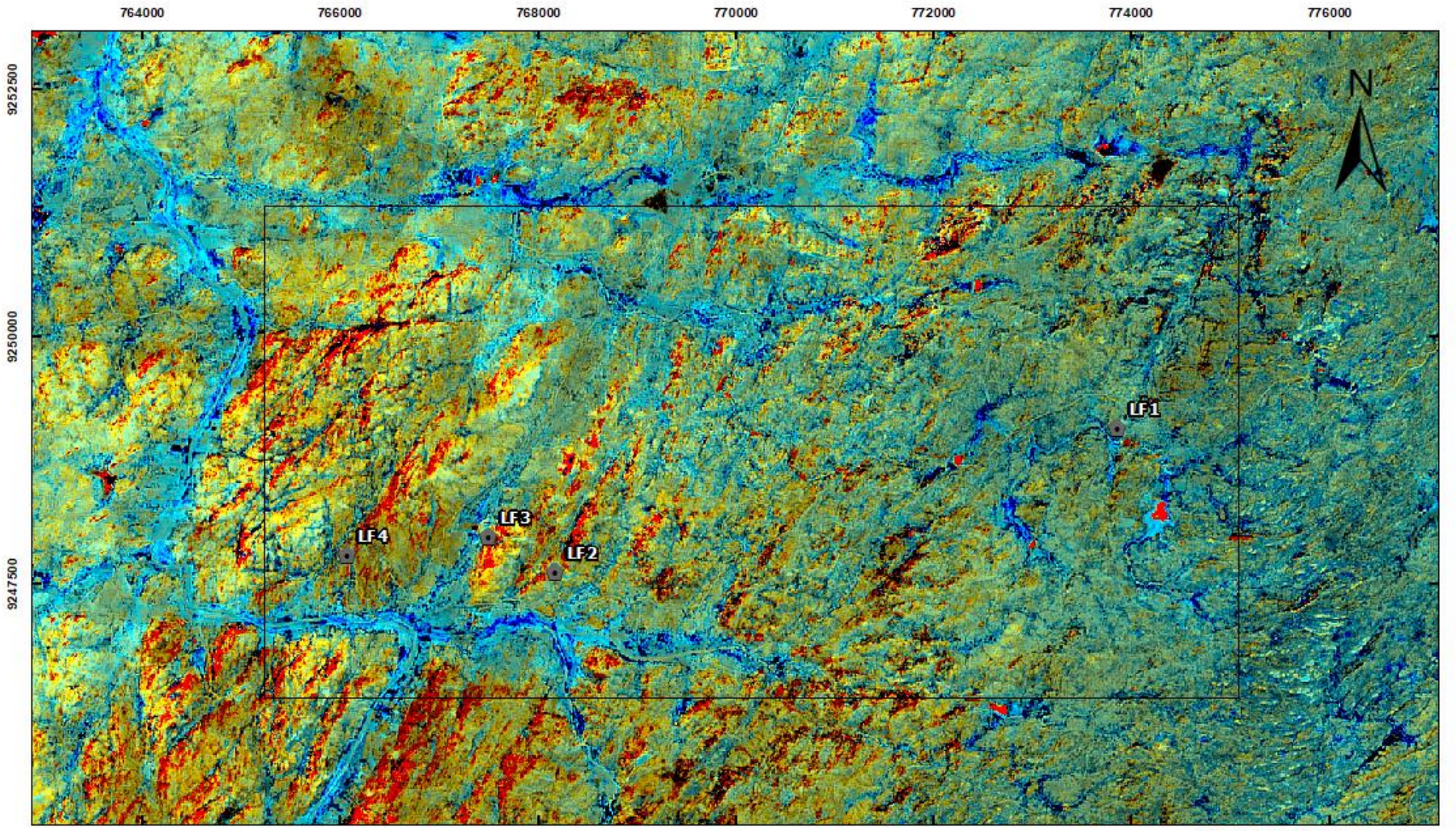
COMPOSIÇÃO 3/8 - 11/12 - 4/3

Escala 1:50.000

Afloramentos

- Área de ocorrências

- LF1
- LF2
- LF3
- LF4



WGS 84 / UTM zona 24 S



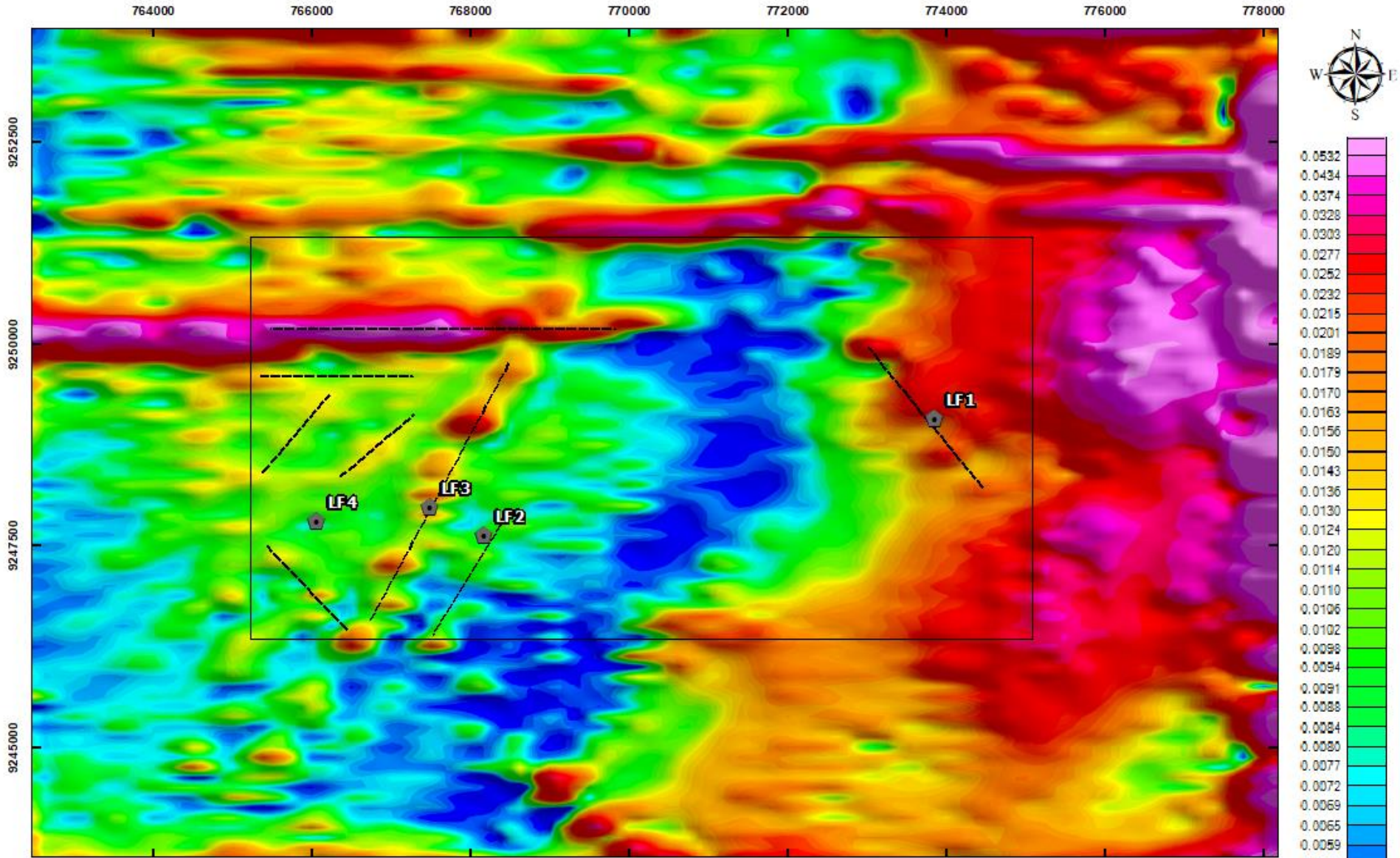
COMPOSIÇÃO 3/8 P - 4/12 I

Escala 1:50.000

Afloramentos

Área de ocorrências

- LF1
- LF2
- LF3
- LF4



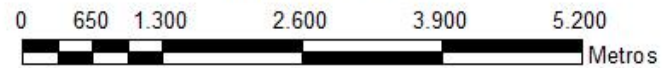
AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO (ASA)

----- Estruturas

Área de ocorrências

Afloramentos LF1 LF2 LF3 LF4

Escala 1:60.000



WGS 84 / UTM zona 24 S

nT

