



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Petrografia, Química Mineral, Geotermometria e Geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada, RR, Brasil

Trabalho Final de Curso

(IGL-U08)

MARIANA BARROSO COELHO

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cezar Mendes
Coorientadora: Dra. Lêda Maria Barreto Fraga

Rio de Janeiro
Novembro/2013



MARIANA BARROSO COELHO

**Petrografia, Química Mineral, Geotermometria e
Geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, Suíte
Pedra Pintada, RR, Brasil**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:
Prof. Dr. Júlio Cezar Mendes
Dra. Lêda Maria Barreto Fraga

Rio de Janeiro
Novembro/2013



FICHA CATALOGRÁFICA

Coelho, Mariana Barroso.

Petrografia, Química Mineral, Geotermometria e Geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada, RR, Brasil / Mariana Barroso Coelho – Rio de Janeiro: UFRJ/ IGeo, 2013.

XI, 114 p.

Monografia de Graduação do curso de Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2013.

Orientadores: Júlio Cezar Mendes, Lêda Maria Barreto Fraga.

1. Suíte Pedra Pintada. 2. Petrografia. 3. Litogeoquímica. 4. Química mineral. 5. Geotermometria. 6. Geobarometria. I. Júlio Cezar Mendes; Lêda Maria Barreto Fraga. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. III. Petrografia, Química Mineral, Geotermometria e Geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada, RR, Brasil.



MARIANA BARROSO COELHO

Petrografia, Química Mineral, Geotermometria e Geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada, RR, Brasil

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. Júlio Cezar Mendes

Dra. Lêda Maria Barreto Fraga

Aprovada em ____ de _____ de 2013.

Por:

Orientador: Dr. Júlio Cezar Mendes

Coorientadora: Dra. Lêda Maria Barreto Fraga

Dra. Cícera Neysi de Almeida

Dra. Isabel Pereira Ludka

UFRJ

Rio de Janeiro

Novembro/2013

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe, Gracilene Barroso de Oliveira, e ao meu padrasto, Ernandes Celestino de Oliveira, que com muita dificuldade permitiram que eu chegasse até aqui, confiando sempre na minha capacidade de superação.

Agradecimentos

Agradeço a Deus primeiramente por me conceder vida e inteligência para desenvolver este trabalho. À minha família por todo apoio e incentivo confiado a mim, principalmente à minha mãe, Gracilene Barroso de Oliveira e ao meu padrasto, Ernandes Celestino de Oliveira, aos quais dedico o presente trabalho. Aos meus orientadores e doutores preferidos, Júlio Cezar Mendes e Lêda Maria Barreto Fraga, quero agradecer pela paciência e dedicação que tiveram a mim durante este período, sempre me acrescentando com ótimas dicas e boas discussões sobre geologia.

Obrigada aos meus amigos de faculdade, em especial Victor Hugo Proença, Artur Iró e Taísa Santana dos Santos, que me proporcionaram muitas alegrias e muitos momentos inesquecíveis durante esses cinco de anos de graduação. Às minhas veteranas e amigas Patrícia Duffles e Fabiana Franco, pelas incansáveis conversas de geologia.

Agradeço aos “meus especiais” Nathália do Nascimento Miguel, Cláudio Soares, Mirella Verli e Eduardo Gonçalves de Lima, por sempre me incentivarem com palavras de carinho, me mostrando o quanto eu sou capaz! A presença de vocês foi fundamental para este trabalho acontecer.

Obrigada a minha linda orientadora acadêmica, Cícera Neysi, que está sempre a disposição dos seus alunos, orientando com todo o carinho que possui.

Obrigada ao pessoal do LabSonda da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que me ajudaram bastante durante os estágios laboratoriais deste trabalho, principalmente Isabel Ludka e Amanda Tosi.

Aos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho deixo aqui o meu muito obrigada.

Resumo

Coelho, Mariana Barroso. **Petrografia, Química Mineral, Geotermometria e Geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada, RR, Brasil.** 2013. XI, 114 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Na porção sul da Folha Vila de Tepequém ocorrem granitóides que compõem a Suíte Pedra Pintada (SPP). A SPP reúne um conjunto de rochas ígneas com composição predominantemente granodiorítica a granítica, bem pouco deformadas, compreendendo os corpos Trovão e Flechal. Esses corpos exibem zoneamento composicional assimétrico caracterizado pela presença de três fácies distintas: sul, central e norte. Estudos petrográficos aliados a análises de química mineral contribuíram para comprovação deste fato e para a caracterização destas fácies.

A classificação petrográfica de 26 lâminas foi realizada através de contagem modal de pontos. As doze lâminas de rochas do corpo Trovão foram classificadas como quartzo-dioritos e tonalito para a fácies sul, granodioritos e tonalitos integram a fácies central, enquanto granodioritos e monzogranito constituem a fácies norte. As quatorze lâminas de rochas do corpo Flechal foram classificadas como quartzo-diorito, quartzo-monzodiorito, granodiorito e monzogranito para a fácies sul, enquanto a fácies central é constituída por quartzo-diorito, quartzo-monzodiorito e granodiorito, e a fácies norte tem quartzo-sienito, granodioritos e predominantemente monzogranitos.

Corpo Trovão: Os quartzo-dioritos predominantes na fácies sul contém plagioclásio, quartzo intersticial, e cerca de 30% de componentes máficos como clinopiroxênio, anfibólio e biotita. Os granodioritos da fácies central são constituídos por plagioclásio fortemente zonado, quartzo intersticial, por vezes recristalizado, microclina e cerca de 20% de componentes máficos como biotita e anfibólio. O monzogranito da fácies norte possui localmente textura do tipo rapakivi e contém quartzo, plagioclásio zonado, microclina e cerca de 5% de componentes máficos representados predominantemente por biotita.

Corpo Flechal: O quartzo-diorito da fácies sul contém plagioclásio, quartzo intersticial, e cerca de 25% de componentes máficos como clinopiroxênio, anfibólio e biotita. O granodiorito da fácies central contém plagioclásio de mais de uma geração, quartzo em intercrescimento gráfico, microclina xenomórfica e cerca de 20% de componentes máficos como biotita e anfibólio. Os monzogranitos dominantes na fácies norte tem quartzo, plagioclásio extremamente saussuritizado, microclina e possuem cerca de 7% de componentes máficos representados essencialmente por biotita.

Os dados litogeoquímicos indicam que as rochas da SPP pertencem predominantemente à série cálcio-alcálica de alto K, são classificadas como subalcalinas, variando de rochas intermediárias a ácidas e metaluminosas a peraluminosas. O conjunto total de amostras analisadas exibe as mesmas tendências de empobrecimento em TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 e MnO , bem como de enriquecimento em K_2O em direção às fácies mais evoluídas.

Os minerais analisados por microsonda eletrônica foram: ilmenita, magnetita, clinopiroxênio, anfibólio, plagioclásio, biotita e K-feldspato para o corpo Trovão, e anfibólio, plagioclásio e biotita para o corpo Flechal. Os cristais de clinopiroxênio foram classificados como augita. Os anfibólios possuem composição predominantemente magnésio-hornblenda para ambos os corpos, porém 4 amostras do

corpo Trovão apontaram para composição entre hornblenda actinolita e actinolita. Estas últimas composições devem corresponder ao produto de alteração hidrotermal da augita para anfibólio com composição actinolítica – denominado uralita. Os cristais de biotita analisados da fácies sul apresentam maior teor de Fe do que os cristais da fácies central, que são mais ricos em Mg. O K-feldspato tem composição atingindo até 96,3% de ortoclásio.

Os intervalos mínimos e máximos de temperatura e pressão calculados para o par anfibólio/ plagioclásio forneceram média entre 777°C - 793°C e 4,2 Kbar, para as rochas da fácies sul, e 692°C - 703°C e 3,2 Kbar, para as da fácies central do corpo Trovão. O corpo Flechal possui faixas de temperatura entre 748°C - 764°C e 4,6 Kbar e 678°C - 686°C e 3 Kbar, para as rochas da fácies sul e central, respectivamente. As profundidades calculadas para a colocação na crosta das rochas do corpo Trovão são de 9,7 Km para fácies central e 12,5 Km para fácies sul, enquanto as profundidades para o corpo Flechal são de 8,4 Km para fácies central e 15,5 Km para fácies sul.

Os valores de temperatura obtidos para o par ilmenita/magnetita são baixos (~251°C) sugerindo reequilíbrio das fases minerais, possivelmente devido à processos hidrotermais. Os baixos valores de fO_2 sugerem a existência de um fluido de caráter redutor atuando durante o processo tardio de hidrotermalismo.

Sumário

| | |
|---|------|
| Dedicatória..... | v |
| Agradecimentos | vi |
| Resumo | vii |
| Sumário..... | ix |
| Índice de Tabelas | xi |
| Índice de Figuras | xiii |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2. OBJETIVO | 17 |
| 3. METODOLOGIA..... | 18 |
| 3.1. Etapas de laboratório | 18 |
| 3.1.1. Petrografia | 18 |
| 3.1.2. Geoquímica..... | 19 |
| 3.1.3. Química mineral | 19 |
| 3.2. Etapas de escritório..... | 21 |
| 3.2.1. Geotermometria e Geobarometria | 21 |
| 3.2.1.1. Anfibólio/plagioclásio | 21 |
| 3.2.1.2. Ilmenita/magnetita | 21 |
| 3.3. Terminologias e nomenclaturas utilizadas | 22 |
| 4. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO | 27 |
| 5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA | 28 |
| 5.1. O Cráton Amazônico | 28 |
| 5.2. Geologia da área estudada – Folha Vila de Tepequém | 33 |
| 6. PETROGRAFIA..... | 39 |
| 6.1. Introdução..... | 39 |
| 6.2. Caracterização macroscópica | 39 |
| 6.3. Caracterização microscópica do corpo Trovão | 41 |

| | |
|---|-----|
| 6.4. Caracterização microscópica do corpo Flechal | 52 |
| 7. GEOQUÍMICA | 63 |
| 7.1. Introdução | 63 |
| 7.2. Diagramas classificatórios | 71 |
| 7.3. Diagramas de Variação de Harker | 72 |
| 7.4. Diagrama normalizado de ETR | 73 |
| 7.5. Petrogênese e ambiente tectônico | 76 |
| 8. QUÍMICA MINERAL | 78 |
| 8.1. Clinopiroxênio | 78 |
| 8.2. Anfibólio | 81 |
| 8.3. Ilmenita/Magnetita | 87 |
| 8.4. Plagioclásio | 90 |
| 8.5. Biotita | 95 |
| 8.6. K-feldspato | 99 |
| 9. GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA | 101 |
| 9.1. Plagioclásio/anfibólio | 101 |
| 9.1.1. Pressão | 101 |
| 9.1.2. Temperatura | 102 |
| 9.2. Ilmenita/magnetita | 104 |
| 9.2.1. Temperatura | 104 |
| 9.2.2. Fugacidade de O ₂ | 104 |
| 10. CONCLUSÃO | 106 |
| 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 109 |
| ANEXO I – Mapa de pontos | 114 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Relação das lâminas das amostras estudadas ao microscópio. | 19 |
| Tabela 2 – Lâminas analisadas por microsonda eletrônica..... | 20 |
| Tabela 3: Granulação adotada a partir do tamanho dos cristais, segundo Williams <i>et al.</i> , (1982). .. | 22 |
| Tabela 4: Índice de cor, segundo a classificação de Le Maitre (2002), para rochas ígneas..... | 23 |
| Tabela 5: Classificação de Dana (1969) para grau de desenvolvimento dos cristais. | 23 |
| Tabela 6: Composição modal do corpo Trovão, Suíte Pedra Pintada. Legenda: Qt.- Quartzo; Pl.- Plagioclásio; K-fs.- K-feldspato; Bt.- Biotita; Ep.- Epidoto; Anf.- Anfibólio; Ttn.- Titanita; Prx.- Piroxênio; Clor.- Clorita; Ap.- Apatita; Opc.- Opacos; Act.-Actinolita; Zrn.- Zircão; Musc.- Muscovita. | 51 |
| Tabela 7: Composição modal do Corpo Flechal, Suíte Pedra Pintada. Legenda: Qt.- Quartzo; Pl.- Plagioclásio; K-fs.- K-feldspato; Bt.- Biotita; Ep.- Epidoto; Anf.- Anfibólio; Ttn.- Titanita; Prx.- Piroxênio; Clor.- Clorita; Ap.- Apatita; Opc.- Opacos; Act.-Actinolita; Zrn.- Zircão; Musc.- Muscovita. | 62 |
| Tabela 8: Análise química de elementos terras raras (% em peso), de amostras de rochas do Corpo Trovão. Extraído e modificado de Fraga <i>et al.</i> , (2010, In: CPRM 2010). QZ= Quartzo-diorito; GND= Granodiorito; TON=Tonalito; MZG= Monzogranito. FeO*-Calculado em base anidra a partir do Fe ₂ O ₃ | 65 |
| Tabela 9: Análise química de óxidos (% em peso), de amostras de rochas do corpo Trovão. Extraído e modificado de Fraga <i>et al.</i> , (2010, In: CPRM 2010). QZ= Quartzo- diorito; GND= Granodiorito; TON=Tonalito; MZG= Monzogranito. | 66 |
| Tabela 10: Análise química de elementos-traço (expresso em ppm) de amostras de rochas do corpo Trovão. Extraído e modificado de Fraga <i>et al.</i> , (2010, In: CPRM 2010). QZ= Quartzo-diorito; GND= Granodiorito; TON=Tonalito; MZG= Monzogranito. | 67 |
| Tabela 11: Análise química de elementos terras raras (% em peso) de amostras de rochas do corpo Flechal. Extraído e modificado de Fraga <i>et al.</i> , (2010, In: CPRM 2010). QZ-DI= Quartzo- diorito; QZ-MZDI=Quartzo-monzodiorito; GND= Granodiorito; MZG= Monzogranito; QZ- SNT=Quartzo-sienito. FeO*-Calculado em base anidra a partir do Fe ₂ O ₃ | 68 |
| Tabela 12: Análise química de óxidos (% em peso) de amostras de rochas do corpo Flechal. Extraído e modificado de Fraga <i>et al.</i> , (2010, In: CPRM 2010). QZ-DI= Quartzo-diorito; QZ-MZDI=Quartzo-monzodiorito; GND= Granodiorito; MZG= Monzogranito; QZ-SNT=Quartzo-sienito. | 69 |
| Tabela 13: Análise química de elementos-traço (expresso em ppm) de amostras de rochas do corpo Flechal. Extraído e modificado de Fraga <i>et al.</i> , (2010, In: CPRM 2010). QZ-DI= Quartzo- diorito; QZ-MZDI=Quartzo-monzodiorito; GND= Granodiorito; MZG= Monzogranito; QZ- SNT=Quartzo-sienito..... | 70 |
| Tabela 14: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e o membros finais, para os cristais de clinopiroxênio do Corpo Trovão. | 80 |

| | |
|--|------------|
| Tabelas 15 e 16: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de anfibólio do Corpo Trovão..... | 85 |
| Tabela 17: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de anfibólio do corpo Flechal. | 86 |
| Tabela 18: Análises químicas dos cristais de ilmenita do corpo Trovão..... | 88 |
| Tabela 19: Análises químicas dos cristais de magnetita do corpo Trovão..... | 89 |
| Tabela 20: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de plagioclásio do corpo Trovão..... | 92 |
| Tabela 21: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de plagioclásio do corpo Trovão (cont.)..... | 93 |
| Tabela 22: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de plagioclásio do corpo Flechal..... | 94 |
| Tabela 23: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de biotita do corpo Trovão. | 97 |
| Tabela 24: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de biotita do corpo Trovão (cont.). | 98 |
| Tabela 25: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de biotita do corpo Flechal. | 99 |
| Tabela 26: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de k-feldspato do corpo Trovão. | 100 |
| Tabela 27: Pressões e intervalos mínimos e máximos de temperatura encontrados para pares de hornblenda/plagioclásio de rochas da fácies sul e central do corpo Trovão. | 103 |
| Tabela 28: Pressões e intervalos mínimos e máximos de temperatura encontrados para pares de hornblenda/plagioclásio de rochas da fácies sul e central do corpo Flechal. | 103 |
| Tabela 29: Valores de temperatura e de fugacidade de O₂ obtidos para os pares de ilmenita/magnetita de quartzo-diorito da fácies sul do corpo Trovão..... | 105 |

Índice de Figuras

- Figura 1:** Diagrama QAP de Streckeisen (1976) para rochas plutônicas; 1a – Quartzolito; 1b – Granitóide rico em quartzo; 2 – Álcali-feldspato granito; 3a – Sienogranito; 3b – Monzogranito; 4 – Granodiorito; 5 – Tonalito; 6* - Quartzo álcali-feldspato sienito; 7* - Quartzo-sienito; 8* - Quartzo monzonito; 9*- Quartzo monzodiorito/Quartzo monzogabro; 10*- Quartzo diorito/Quartzo gabro/Quartzo anortosito; 6- Álcali-feldspato sienito; 7- Sienito; 8- Monzonito; 9- Monzodiorito / Monzogabro; 10- Diorito / gabro / anortosito. ...24
- Figura 2:** Classificação de diferentes tipos de intercrescimento peritítico presentes em feldspatos alcalinos, baseado na proposta de Spry (1969). 25
- Figura 3 –** Mapa de localização da Folha Vila de Tepequém. Modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). 27
- Figura 4:** Principais feições geotectônicas que compõem a Plataforma Sul-Americana de acordo com Almeida & Hasui (1984). 28
- Figura 5:** Localização da Folha Vila de Tepequém segundo o modelo de Províncias Geocronológicas e Geotectônicas de Tassinari & Macambira (1999) e de Santos *et al.*, (2000) e (2006b) e Santos (2003, In: CPRM 2003). 30
- Figura 6:** Mapa geológico com a localização da Folha Vila de Tepequém no contexto de Domínios litoestruturais, proposto por Reis *et al.*, (2003 e 2004), denominados: Parima, Guiana Central, Surumu e Uatumã-Anauá, todos pertencentes à Província Tapajós-Parima. Domínio Imeri pertence à Província Rio Negro. 32
- Figura 7:** Mapa geológico simplificado do Escudo das Guianas. Extraído de Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010. 33
- Figura 8:** Mapa geológico esquemático da Folha Vila de Tepequém. Extraído de Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010. 37
- Figura 9:** Modelo de evolução geotectônica para a porção central do Escudo das Guianas. Extraído de Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010. 38
- Figura 10:** Aspectos macroscópicos dos granitoides da Suíte Pedra Pintada. (a) Quartzo-diorito da fácies sul do corpo Trovão- amostra LM-34B. (b) Granodiorito da fácies central do corpo Trovão- amostra HG-124B. (c) Monzogranito da fácies norte do corpo Trovão- amostra MF-92. (d) Monzogranito da fácies sul do corpo Flechal- amostra HG-R-16B. (e) Quartzo-sienito da fácies norte do Corpo Flechal- amostra HG-R-69. 40
- Figura 11:** (a) Cristal de plagioclásio com geminação albíta e periclina. (b) Feições ígneas primárias bem preservadas. (c) Geminação levemente arqueada em plagioclásio. (d) microfraturas em plagioclásio e ao lado piroxênio com hábito nodular. 42
- Figura 12:** (a) Biotita incluindo cristal de piroxênio com borda de anfibólio. Nicóis //. (b) Biotita incluindo cristal de piroxênio com borda de anfibólio. Nicóis X. (c) Sobrecrecimento de anfibólio em piroxênio, envolvidos por cristal de biotita. (d) Textura poiquilítica formada a partir do crescimento de anfibólio, que engloba relíctos de piroxênio, plagioclásio e opacos. (e) reação entre piroxênio e anfibólio produz sílica residual que fica aprisionada em cristais de biotita. (f) Relíctos de piroxênios alterados envolvidos por biotita. 43
- Figura 13:** (a) Plagioclásio com zoneamento oscilatório, mostrando um núcleo rico em cálcio e um enriquecimento em sódio em direção à borda. (b) Pertita tipo flame, com lamelas de albíta em feldspato potássico. (c) *kink bands* em plagioclásio e quartzo com extinção ondulante e recristalizado nas bordas – *grain boundary migration*, evidenciando baixa deformação. (d) plagioclásio com geminação levemente deformada. 45

- Figura 14: (a) Zoneamento em anfibólio. Nicóis X. (b) Zoneamento em anfibólio. Nicóis // (c) Epidoto e titanita crescendo ao longo da clivagem da biotita. Nicóis X. (d) Epidoto e titanita crescendo ao longo da clivagem da biotita. Nicóis //. (e) Crescimento de Actinolita em zona de fratura de um cristal de biotita. Nicóis X. (f) Crescimento de Actinolita em zona de fratura de um cristal de biotita. Nicóis //.....47
- Figura 15: (a) plagioclásio com borda corroída. (b) Textura equigranular hipidiomórfica da rocha. (c) Cristais de plagioclásio zonados, “disputando” espaço para crescerem. (d) Biotita em processo de cloritização. (e) Cristal de microclina com textura rapakivi.49
- Figura 16: Gráfico QAP correspondente às rochas do corpo Trovão. Quadrado cheio: rochas da fácies sul; cruz: rochas da fácies central e círculo cheio: rochas da fácies norte.....50
- Figura 17: (a) Cristal de plagioclásio zonado em rocha com textura ígnea bem preservada e anfibólio euédrico. (b) Intercrescimento de quartzo vermicular na borda de cristais de plagioclásio. (c) Evidência de quartzo recristalizado em rochas da fácies sul. (d) Microclina anédrica ocupando espaços entre cristais de plagioclásio.53
- Figura 18: (a) Biotita cloritizada associada a cristais submilimétricos de titanita. Nicóis X. (b) Biotita cloritizada associada a cristais submilimétricos de titanita. Nicóis //. (c) Cristais de anfibólio sobrecrecidos em cristais de piroxênio alterado. Nicóis X. (d) Cristais de anfibólio sobrecrecidos em cristais de piroxênio alterado. Nicóis //.....54
- Figura 19: (a) Borda corroída de plagioclásio – feição de desequilíbrio. Nicóis X. (b) Microclina anédrica incluindo cristais de plagioclásio. (c) Intercrescimento gráfico no contato entre dois cristais de microclina. (d) Plagioclásio apresentando microfraturas. (e) Diferentes gerações de plagioclásio atestando para uma textura de desequilíbrio. (f) Diferentes gerações de plagioclásio. (g) Titanita com geminação arqueada.57
- Figura 20: (a) Cristais de titanita com hábito losangular inclusos em microclina. (b) Diferentes gerações de plagioclásio: incluso em cristal de microclina e sobrecrecido na borda do mesmo. (c) Plagioclásio com núcleo praticamente substituído por cristais secundários de epidoto e sericita. (d) Plagioclásio saussuritizado, incluso em fenocristal de microclina. (e) Inclusão de microclina em fenocristal de microclina.60
- Figura 21: Gráfico QAP correspondente às rochas do Corpo Flechal. Cruz: rochas da fácies sul; quadrado cheio: rochas da fácies central; e círculo cheio: rochas da fácies norte.61
- Figura 22: Diagramas discriminantes para as rochas da Suíte Pedra Pintada. A- Diagrama TAS para rochas plutônicas de Cox *et al.*, (1979). B- Diagrama $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$ de Peccerillo & Taylor (1976). C- An-Ab-Or (O'Connor, 1965). D- AFM (Irvine & Baragar, 1971). E- $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$72
- Figura 23: Diagramas de Harker para elementos maiores para as rochas do corpo Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada.74
- Figura 24: Diagramas de Harker para elementos-traço para as rochas do corpo Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada.75
- Figura 25: Diagrama de ETR normalizado para condrito para as rochas da SPP (Boynton, 1984).76
- Figura 26: Diagrama de Pearce *et al.*, (1996) para as rochas da SPP. Erro! Indicador não definido.
- Figura 27: Gráfico de classificação dos cristais de piroxênio. (a) Gráfico de Q x J. (b) Gráfico de classificação baseado nos teores de WO-EM-FS.79
- Figura 28: Gráficos de classificação para os anfibólios do corpo Trovão. (a) Gráfico de BNa versus BCa+BNa. (b) Gráfico de classificação com base nos teores de sílica (TSi) e a razão $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}_2)$82

| | |
|--|------------|
| Figura 29: Gráficos de classificação para os anfibólios do corpo Flechal. (a) Gráfico de BNa versus BCa+BNa. (b) Gráfico de classificação com base nos teores de sílica (TSi) e a razão Mg/(Mg+Fe₂). | 83 |
| Figura 30: Gráfico de classificação para os cristais de plagioclásio: (A) do corpo Trovão e (B) do corpo Flechal. | 91 |
| Figura 31: Gráfico de classificação para os cristais de biotita: (A) do corpo Trovão e (B) do corpo Flechal. | 96 |
| Figura 32: Gráfico de classificação para os feldspatos alcalinos do corpo Trovão. | 100 |

1. INTRODUÇÃO

A Folha Vila de Tepequém 1:100.000 (NA. 20-X-A-III) está situada na porção nordeste do Estado de Roraima, na parte norte do Cráton Amazonas, correspondente ao Escudo das Guianas. Trata-se de uma região pouco conhecida geologicamente, que abrange uma área com aproximadamente 8.894 km², sendo esta 70% encoberta por floresta tropical.

Ao sul da Folha, afloram granitóides cálcio-alcalinos do tipo I, com idade em torno de 1,96 Ga, período Orosiriano, que são reunidos na unidade geológica Suíte Pedra Pintada. A SPP compreende um conjunto de rochas ígneas, com composição predominantemente granodiorítica a granítica, geralmente pouco deformadas, que integram os corpos Trovão e Flechal. A denominação "pedra pintada" é dada a essa unidade geológica devido a abundância de inscrições rupestres existentes em sua superfície.

O trabalho é o resultado de parceria entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), esta última que forneceu dados de campo, análises químicas e lâminas petrográficas, permitindo a caracterização dos corpos ígneos e o melhor entendimento da evolução geológica da Suíte Pedra Pintada. Na UFRJ foram feitos estudos petrográficos e de química mineral por microsonda eletrônica. As análises de química mineral foram pela primeira vez realizadas nestas rochas.

O presente trabalho apresenta, portanto, descrição macro e microscópica, estudos litogeoquímicos, dados de química mineral, geotermometria e geobarometria dos corpos Trovão e Flechal, da Suíte Pedra Pintada.

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é contribuir com informações através de análise petrográfica detalhada, classificação de rochas por contagem modal de pontos, dados de química mineral e estudos de geotermometria e geobarometria, para o estabelecimento de condições físicas de cristalização e colocação dos corpos ígneos Trovão e Flechal, da Suíte Pedra Pintada. Tal estudo possibilitará também, em conjunto com dados de campo e geoquímicos, fornecidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a melhor caracterização das diferentes fácies observadas nestes corpos.

3. METODOLOGIA

O trabalho em questão envolveu a realização de duas etapas distintas: laboratório e escritório, que serão abordadas em maior detalhe a seguir. Além disso, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre estudos já realizados na área, a fim de obter maiores informações sobre a geologia local e o contexto geológico regional da área, além de bibliografia pertinente às análises de minerais e rochas.

3.1. Etapas de laboratório

Esta etapa foi subdividida em três fases: petrografia, geoquímica e química mineral, que serão descritas a seguir.

3.1.1. Petrografia

Foi cedido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) um acervo de vinte e seis lâminas delgadas de rochas da Suíte Pedra Pintada, das quais doze pertencem ao corpo Trovão e quatorze ao corpo Flechal (Tabela 1).

As descrições das lâminas petrográficas foram realizadas no microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca *Zeiss*, modelo *Axioplan*, no laboratório de Microsonda Eletrônica (LABSONDA) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde se buscou identificar as principais feições como: mineralogia, textura, índice de cor, granulação e outros aspectos, de forma a possibilitar a classificação da rocha, a identificação de microestruturas e de possíveis transformações químicas secundárias. Durante a descrição, foram obtidas fotomicrografias das lâminas através de câmera AxioCam do Laboratório de Microsonda Eletrônica (LABSONDA) da UFRJ.

A classificação das rochas da Suíte Pedra Pintada foi definida através da contagem modal de 800 pontos, utilizando o contador automático Swift, modelo F.

| Lâminas | Classificação da rocha | Corpo | Fácies | Lâminas | Classificação da rocha | Corpo | Fácies |
|-----------|------------------------|---------|---------|-----------|------------------------|---------|---------|
| MF-92 | Monzogranito | Trovão | Norte | LM-R-25 | Monzogranito | Flechal | Norte |
| LM-R-91 | Granodiorito | Trovão | Norte | MF-R-191C | Monzogranito | Flechal | Norte |
| MF-100 | Granodiorito | Trovão | Norte | MF-160 | Granodiorito | Flechal | Norte |
| HG-R-01-A | Granodiorito | Trovão | Central | MF-R-193 | Granodiorito | Flechal | Norte |
| MF-162 | Granodiorito | Trovão | Central | HG-R-69 | Quartzo-sienito | Flechal | Norte |
| HG-R-01B | Tonalito | Trovão | Central | HG-R-47C | Monzogranito | Flechal | Norte |
| MF-135 | Tonalito | Trovão | Central | HG-R-66-A | Granodiorito | Flechal | Central |
| HG-R-124B | Granodiorito | Trovão | Central | HG-R-78 | Quartzo-monzodiorito | Flechal | Central |
| LM-R-93B | Granodiorito | Trovão | Central | HG-R-99-A | Quartzo-diorito | Flechal | Central |
| HG-R-122A | Tonalito | Trovão | Sul | HG-R-16B | Monzogranito | Flechal | Sul |
| LM-R-39 | Quartzo-diorito | Trovão | Sul | MF-R-07 | Granodiorito | Flechal | Sul |
| LM-R-34-A | Quartzo-diorito | Trovão | Sul | MF-R-01 | Quartzo-monzodiorito | Flechal | Sul |
| MF-R-191A | Monzogranito | Flechal | Norte | HG-R-23D | Quartzo-diorito | Flechal | Sul |

Tabela 1 – Relação das lâminas das amostras estudadas ao microscópio.

3.1.2. Geoquímica

As vinte e seis análises geoquímicas obtidas para as rochas da SPP foram extraídas do trabalho de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). Nas análises apenas foram considerados os dados referentes as amostras dos corpos Trovão e Flechal, sendo portanto descartadas as amostras de xenólitos e corpos menores avaliadas. Os elementos maiores e menores analisados foram: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ e MnO. Os elementos-traço analisados foram: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Sc, Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr e Y. Os elementos terras raras analisados foram: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu.

Os resultados obtidos foram tratados no programa *Geochemical Data Toolkit* (GCDKit), versão 3.0, permitindo a confecção de diagramas classificatórios de rochas plutônicas, de caracterização magmática e de ambiente tectônico.

3.1.3. Química mineral

As análises de química mineral foram realizadas no LabSonda do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), através da microsonda eletrônica EPMA modelo JXA-8230, da marca JEOL. Para isso, foram confeccionadas sete lâminas (Tabela 2) delgadas polidas, no Laboratório de Laminação (LAMIN) da

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)/Serviço geológico do Brasil. Em cada uma destas lâminas, foram selecionados e demarcados, através de microscópio petrográfico, os minerais e/ou pares de minerais escolhidos para análise com auxílio de uma caneta de tinta permanente. Os minerais selecionados foram: ilmenita, magnetita, clinopiroxênio, hornblenda, plagioclásio, biotita e K-feldspato. Todas as áreas demarcadas foram fotografadas, através da câmera AxioCam, e usadas para o reconhecimento do cristal durante as análises.

Após as demarcações terem sido fotografadas em lupa localizadora, modelo GA03320/2 da marca JEOL, as lâminas foram limpas com álcool e deixadas no ultrassom por cerca de 5 minutos, eliminando qualquer tipo de impureza. Em seguida, as lâminas passaram por um processo de carbonização, através de um evaporador de carbono, de modo a tornarem-se condutoras e adequadas para análise.

As condições analíticas foram:

- Corrente do feixe de 20mA;
- Voltagem: 15KV;
- As calibrações para os diversos elementos foram realizadas através da leitura de padrões certificados da *Astimex Scientific Limited*, Serial KM, MIMN 25-53.

| <u>Lâminas</u> | <u>Classificação da rocha</u> | <u>Corpo</u> | <u>Fácies</u> |
|----------------|-------------------------------|--------------|---------------|
| LM-R-34A | Quartzodiorito | Trovão | Sul |
| HG-R-16B | Monzogranito | Flechal | Sul |
| LM-R-93B | Granodiorito | Trovão | Central |
| HG-R-99A | Quartzo-diorito | Flechal | Central |
| HG-66A | Granodiorito | Flechal | Central |
| HG-R-124 B | Granodiorito | Trovão | Central |
| MF-92 | Monzogranito | Trovão | Norte |

Tabela 2 – Lâminas analisadas por microsonda eletrônica.

Os dados obtidos com as análises de microsonda foram tratados com o programa *MinPet* (Richard, 1995), versão 2.02, no qual foi possível calcular as

fórmulas estruturais para cada mineral analisado, assim como classificar através de diagramas próprios cada grupo de minerais.

3.2. Etapas de escritório

Durante esta etapa foram reunidos os dados obtidos nas fases anteriores, seguido de cálculos, tratamento de dados em softwares e interpretação dos resultados.

A presente monografia foi confeccionada no *software* Microsoft Office Word 2010 e as tabelas no *software* Microsoft Excel 2010. Os gráficos adquiridos com o programa *Geochemical Data Toolkit* (GCDKit), versão 3.0, foram editados no *software* CorelDraw, versão X6, com a finalidade de se obter um maior aperfeiçoamento da imagem.

3.2.1. Geotermometria e Geobarometria

3.2.1.1. Anfibólio/plagioclásio

O cálculo da pressão foi feito com base nos teores de Al (total), encontrados nas fórmulas estruturais, para cristais de hornblenda, através da fórmula:

$$P(\pm 0,6 \text{ kbar}) = - 3,01 + 4,76Al_{\text{hbl}}^{\text{tot}}, r^2 = 0,99.$$

Para o cálculo da temperatura, o método utilizado foi o de Blundy & Holland (1990), com o auxílio do programa AX, aplicativo Hb-Pl, que utiliza dos valores da análise química da hornblenda, juntamente com a do plagioclásio para estabelecer os limites de temperaturas de equilíbrio dessas fases minerais.

3.2.1.2. Ilmenita/magnetita

Os resultados obtidos com a análise de microsonda, para os cristais de ilmenita e magnetita, foram tratados no programa Quilf95, que permitiu o cálculo da fórmula estrutural de cada cristal analisado. Após isso, o próprio programa previu intervalos de temperatura e valores de fugacidade de oxigênio para as fases minerais em questão.

3.3. Terminologias e nomenclaturas utilizadas

Neste ítem estão especificados alguns termos utilizados no presente trabalho, com a finalidade de evitar ambiguidades e proporcionar um entendimento claro e objetivo ao leitor quanto aos termos tratados.

Para a descrição da granulação dos minerais que compõem a rocha, bem como sua nomenclatura textural, foi adotada a proposta de Williams *et al.*, (1970), que classifica as rochas em: faneríticas, que são aquelas em que os cristais são reconhecíveis a olho nu, e afaníticas, aquelas que não são reconhecíveis a olho nu ou com auxílio de uma lupa de 10x. Texturalmente as rochas são classificadas como: Equigranular - minerais apresentam tamanho semelhante; Inequigranular: Porfirítica - grãos maiores (fenocristais) envolvidos por uma matriz menor; Seriada: apresenta cristais com ampla variação de tamanho.

Para a granulação, Williams *et al.*, (1982), utiliza os termos fina, média, grossa e muito grossa, conforme intervalos granulométricos específicos (Tabela 3).

| GRANULAÇÃO | TAMANHO DOS CRISTAIS |
|--------------|----------------------|
| Fina | < 1 mm |
| Média | 1 a 5 mm |
| Grossa | 5 mm a 3 cm |
| Muito grossa | > 3 cm |

Tabela 3: Granulação adotada a partir do tamanho dos cristais, segundo Williams *et al.*, (1982).

O índice de cor é um dos parâmetros texturais fundamentais utilizados na classificação de rochas. Streckeisen (1976) o definiu como a soma dos minerais máficos (mica, anfibólio, piroxênio e olivina), opacos (pirita, magnetita e ilmenita) e alguns acessórios (zircão, apatita, titanita, epidoto, allanita, granadas, carbonatos primários, dentre outros), não incluindo, portanto, os minerais secundários. Nesse sentido, a determinação do mesmo obedeceu à proposta de Le Maitre *et al.*, 2002, que classifica as rochas como: Hololeucocrática, Leucocrática, Mesocrática, Melanocrática e Hipermelanocrática (Tabela 4).

Para o grau de desenvolvimento das faces dos cristais foram utilizados os termos propostos por Dana (1969): euédrico, subédrico e anédrico (Tabela 5).

| ÍNDICE DE COR | TEOR DE MINERAIS MÁFICOS |
|---------------------------|--------------------------|
| Hololeucocrática | 0 – 10% |
| Leucocrática | 10 – 35% |
| Mesocrática | 35 – 65% |
| Melanocrática | 65 – 90% |
| Hipermelanocrática | 90 – 100% |

Tabela 4: Índice de cor, segundo a classificação de Le Maitre (2002), para rochas ígneas.

| FORMA DOS CRISTAIS |
|--|
| Euédrico - Grão com faces bem formadas. |
| Subédrico - Grão com parte das faces bem formadas. |
| Anédrico - Grão com faces irregulares. |

Tabela 5: Classificação de Dana (1969) para grau de desenvolvimento dos cristais.

As abreviações utilizadas para os minerais nas fotomicrografias e nas tabelas 6 e 7 de composição modal, basearam-se na proposta de Whitney & Evans (2010).

A classificação petrográfica e a nomenclatura das rochas ígneas plutônicas foram adquiridas a partir do diagrama QAP de Streckeisen, onde foram considerados os teores modais de quartzo, álcali-feldspato e plagioclásio (Figura 1).

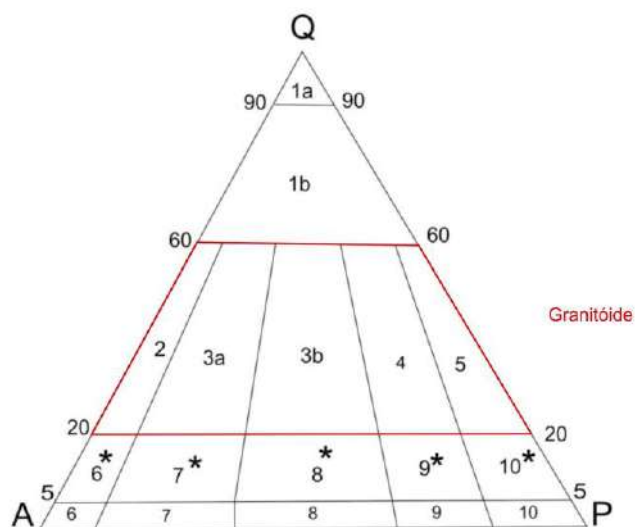


Figura 1: Diagrama QAP de Streckeisen (1976) para rochas plutônicas; 1a – Quartzolito; 1b – Granitóide rico em quartzo; 2 – Álcali-feldspato granito; 3a – Sienogranito; 3b – Monzogranito; 4 – Granodiorito; 5 – Tonalito; 6* - Quartzo álcali-feldspato sienito; 7* - Quartzo-sienito; 8* - Quartzo monzonito; 9*- Quartzo monzodiorito/Quartzo monzogabro; 10*- Quartzo diorito/Quartzo gabro/Quartzo anortosito; 6- Álcali-feldspato sienito; 7- Sienito; 8- Monzonito; 9- Monzodiorito / Monzogabro; 10- Diorito / gabro / anortosito.

A identificação e a classificação em relação ao intecrescimento perítico presente nos feldspatos alcalinos se baseou na proposta de Spry (1969), que considerou a ocorrência, a forma e o tamanho dos “blebs” para justificar sua classificação (Figura 2).

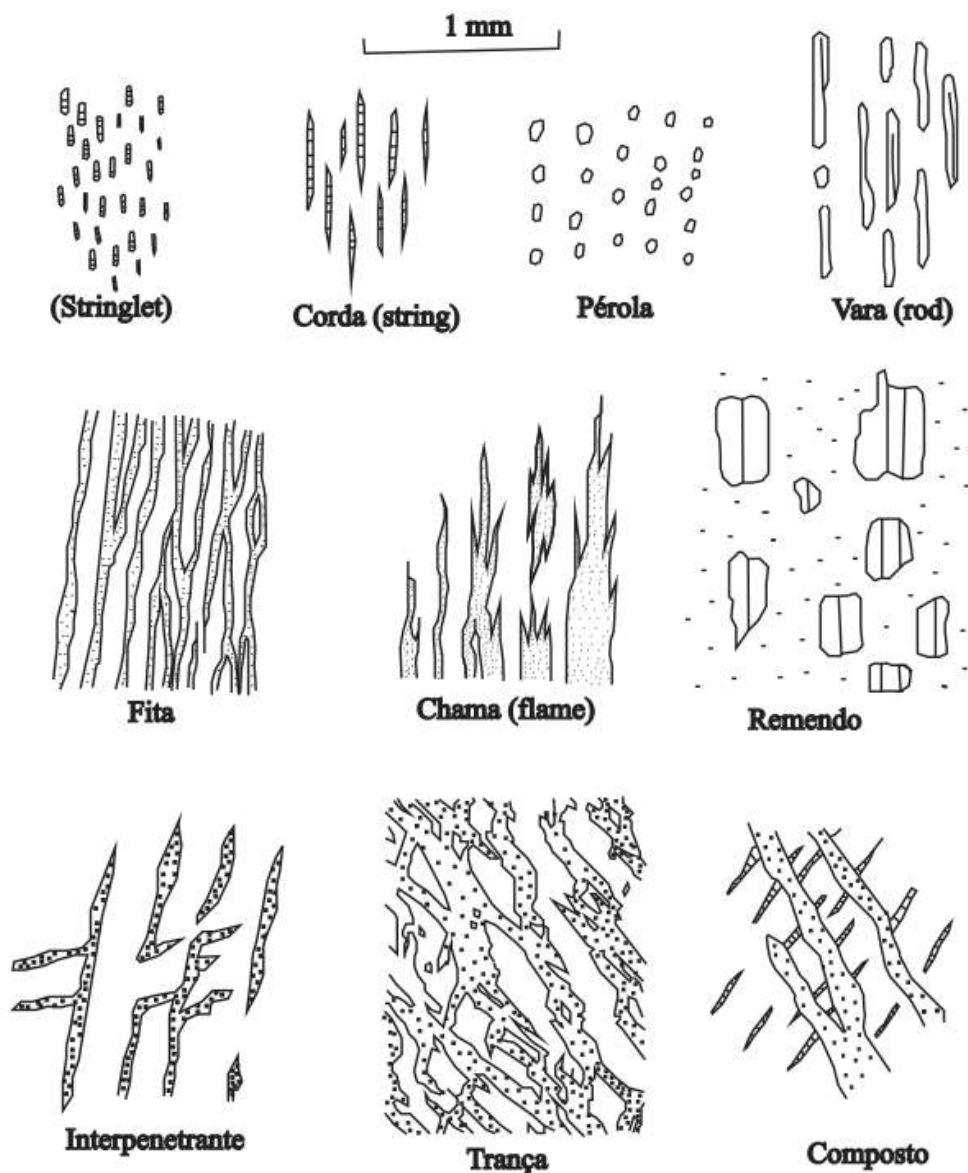


Figura 2: Classificação de diferentes tipos de intercrescimento perítico presentes em feldspatos alcalinos, baseado na proposta de Spry (1969).

Para a descrição de rochas magmáticas, foram utilizadas as seguintes nomenclaturas de texturas, de acordo com Wernick (2004):

- Textura mirmequítica – Dada pelo intercrescimento entre cristais de plagioclásio ou feldspato alcalino e, vênulas de quartzo em forma de bastões irregulares ou com forma de U, V ou Y.

- Textura gráfica – Definida pelo intercrescimento orientado entre feldspato alcalino e quartzo.
- Textura rapakivi – Textura maculada típica de certos granitos (granitos rapakivi) cujos megacristais de feldspato potássico apresentam anel externo de albita ou oligoclásio.
- Textura poiquilítica – Cristais maiores englobam numerosos cristais menores de uma ou mais espécies minerais.

4. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

Situada no norte do Estado de Roraima e a noroeste da capital Boa Vista, a área estudada está limitada a oeste e a leste, respectivamente, pelas reservas indígenas Ianomâmi e Raposa Serra do Sol, e a norte pela Venezuela. As drenagens mais expressivas na região correspondem aos rios Amajari, Trairão, Urariquera e Pacu, e as principais concentrações urbanas ocorrem na Vila Tepequém e Trairão.

Grande parte da área apresenta-se encoberta por floresta tropical, dificultando as vias de acesso. O principal acesso é pela estrada não pavimentada RR-203, que liga as Vilas Tepequém e Trairão à sede do Município de Amajari, mais conhecido por Vila Brasil, e a BR-174, que alcança Boa Vista. A área conta ainda com uma paisagem fascinante dominada pela Serra Tepequém, uma estrutura de relevo tabular com cerca de 1.110 m de altitude localizada ao centro da folha (Figura 33).

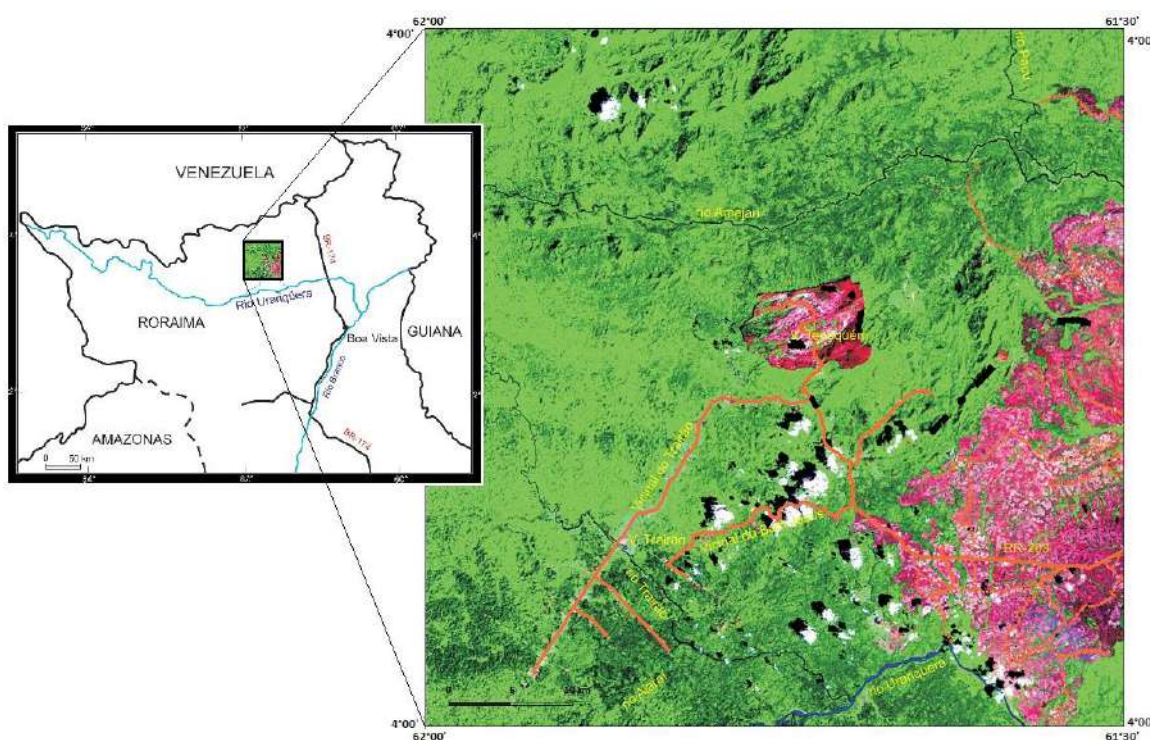


Figura 3 – Mapa de localização da Folha Vila de Tepequém. Modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010).

5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

5.1. O Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico distribui-se a norte pelo Escudo das Guianas e a sul pelo Escudo Guaporé ou Brasil Central, cuja separação é dada pelas bacias intracratônicas paleozoicas do Amazonas e do Solimões (Figura 4). O cráton em questão, com uma área de aproximadamente 430.000 Km², abrange parte do Brasil, da Venezuela, da Colômbia e da Bolívia e a totalidade dos territórios da Guiana Francesa, Guiana e Suriname. Está limitado a oeste pelo Cinturão Andino, a norte pela margem atlântica e em suas bordas oriental e meridional por faixas móveis neoproterozoicas (Paraguaia - Araguaia - Tocantins), geradas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro (Tassinari *et al.*, 2000).

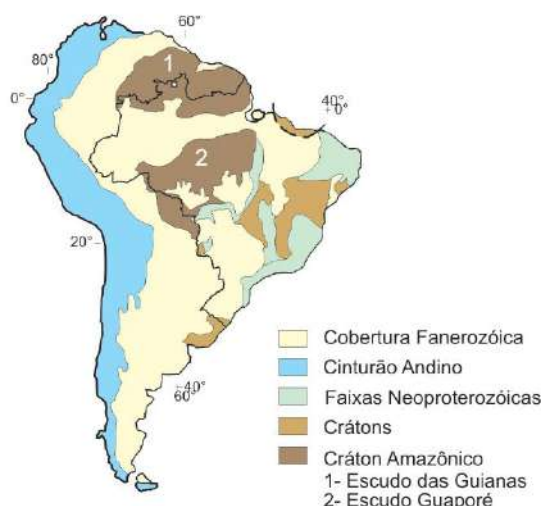


Figura 4: Principais feições geotectônicas que compõem a Plataforma Sul-Americana de acordo com Almeida & Hasui (1984).

De acordo com Brito Neves & Cordani (1991), o Cráton Amazônico representa uma grande placa litosférica continental, composta por várias províncias crustais de idades arqueanas a mesoproterozoicas, que foi estabilizada tectonicamente em torno de 1,0 Ga, tendo se comportado como uma placa estável no Neoproterozoico, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais brasileiras.

As propostas mais difundidas na literatura geológica para a evolução do Cráton Amazônico estão baseadas no conceito de províncias geocronológicas e defendem seu desenvolvimento a partir de sucessivos episódios de acreção crustal durante o Paleoproterozoico e Mesoproterozoico, em volta de um núcleo mais antigo, estabilizado no final do Arqueano (Tassinari & Macambira (1999); Tassinari *et al.*, 2000; Tassinari & Macambira, 2004).

Na concepção de Tassinari & Macambira (1999) o Cráton se divide nas seguintes províncias geocronológicas: Amazônia Central (> 2,5 Ga), compreendendo os núcleos arqueanos Carajás-Iricoumé e Roraima, e Maroni-Itacaiúnas (2,2 - 1,9 Ga), Ventuari- Tapajós (1,9 - 1,8Ga), Rio Negro-Juruena (1,8 - 1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55 - 1,3 Ga) e Sunsás (1,25 - 1,0Ga), compreendendo as províncias paleoproterozoicas e mesoproterozoicas. O modelo defendido por Tassinari & Macambira (1999) admite a existência de um protocráton arqueano, representado pelos blocos Carajás-Iricoumé e Roraima (Província Amazônia Central) que foram amalgamados durante o Paleoproterozoico, entre 2,2 Ga e 1,95 Ga, originando a Província Maroni-Itacaiúnas. Em seguida, a oeste do protocráton desenvolveram-se as Províncias Ventuari-Tapajós, Rio Negro-Juruena e parte da Rondoniana-San Ignácio. Estas províncias estariam relacionadas à processos de acreção de arcos magmáticos sucessivos, produzidos em função de subducção de litosfera oceânica para leste. Posteriormente, entre 1,4 Ga e 1,0 Ga, com a colisão continental entre o Cráton Amazônico e Laurentia, houve o estabelecimento das Províncias Rondoniana-San Ignácio e Sunsás.

Santos *et al.*, (2000), a partir de dados U-Pb e Sm-Nd, propuseram algumas modificações ao modelo anterior, sobretudo no que diz respeito à denominação e posicionamento de limites entre províncias. As principais modificações foram: a criação das Províncias Carajás (3,1- 2,53 Ga) e Transamazonas (2,25- 2,00 Ga); a redefinição da Província Tapajós-Parima (2,10- 1,87); subdivisão da Província Rio Negro-Juruena em Rio Negro (1,86- 1,52 Ga) e Rondônia-Juruena (1,75- 1,47); e a ampliação da Província Sunsás (1,33- 0,99 Ga), englobando parte da antiga Província Rondoniana-San Ignácio. O nome da Província Amazônia Central (1,88 - 1,77 Ga) se manteve o mesmo. De acordo com este modelo, os núcleos arqueanos são representados pelos blocos Carajás e Imataca, enquanto as Províncias Transamazonas, Tapajós-Parima e

Rondônia- Juruena foram geradas durante o Paleoproterozoico por acreção crustal de sistemas de arcos magmáticos. As associações de rochas da Província Amazônia Central são derivadas da fusão parcial de rochas crustais, supostamente arqueanas, retrabalhadas por *underplating* magmático. As Províncias Rio Negro e Sunsás foram produzidas durante eventos colisionais. Santos *et al.*, (2000) consideraram também a existência de uma zona de cisalhamento NE-SW de longa extensão, denominada K'Mudku (~1,2Ga), que produziu deformação e fusão em rochas das Províncias Transamazônica, Tapajós-Parima e Rio Negro, interpretada como colisional.

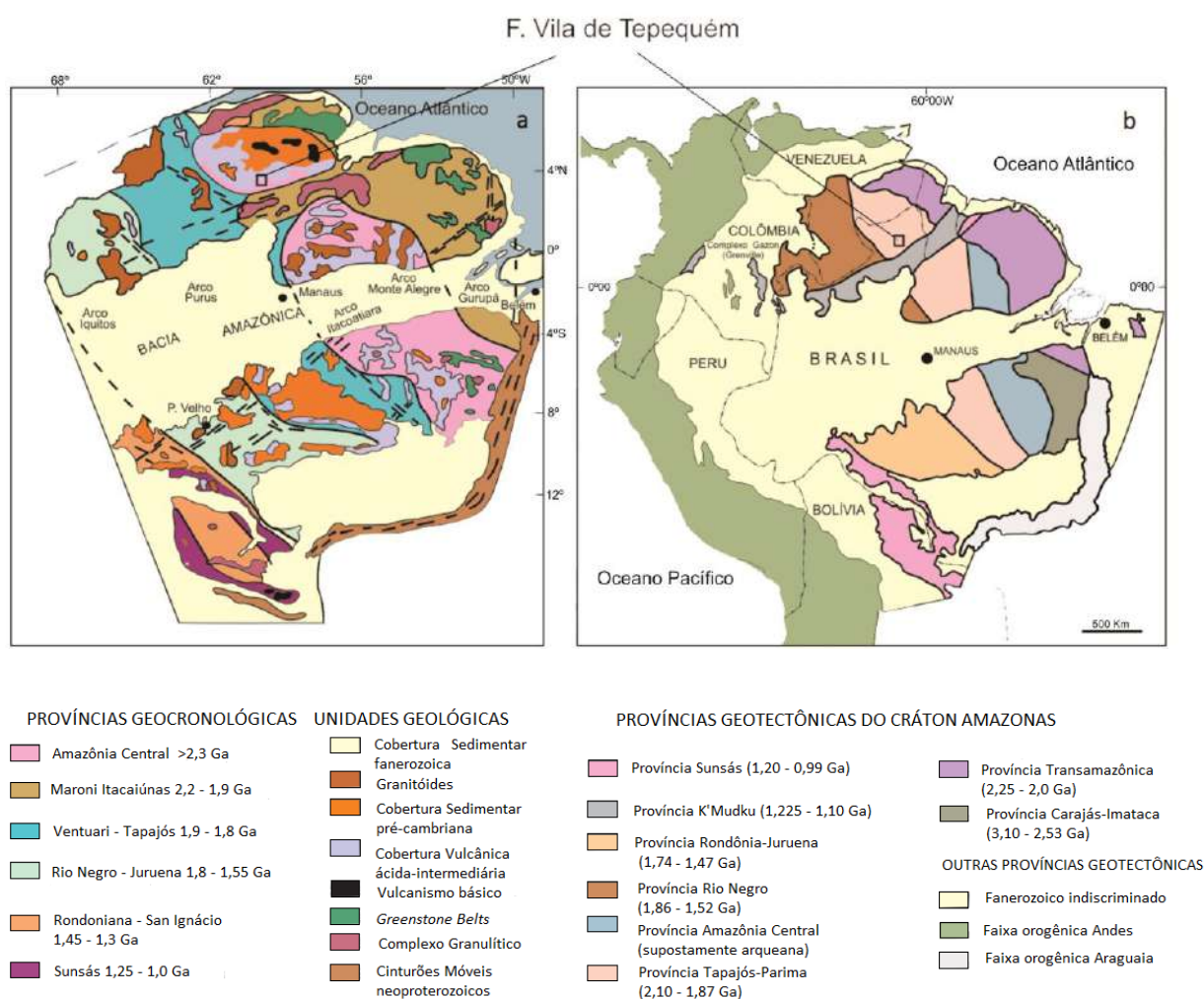


Figura 5: Localização da Folha Vila de Tepequém segundo o modelo de Províncias Geocronológicas e Geotectônicas de Tassinari & Macambira (1999) e de Santos *et al.*, (2000) e (2006) e Santos (2003, In: CPRM 2003).

Segundo os modelos de Províncias geocronológicas, as rochas estudadas na presente monografia, que integram parte da folha Vila do Tepequém, localizam-se na Província Amazônia Central, de Tassinari & Macambira (1999), e na Província Tapajós-Parima de Santos *et al.*, (2000) e (2006b) e Santos (2003, In: CPRM 2003), como ilustrado na Figura 5. Estes modelos partem de simplificações do quadro geológico do Cráton Amazônico, e por isso, muitas das vezes não esclarecem de forma detalhada algumas variações estruturais e litoestratigráficas (Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM). Neste contexto, Reis *et al.*, 2003, propuseram para o estado de Roraima uma compartimentação em Domínios litoestruturais denominados: Parima, Guiana Central, Urariquera e Anauá, tendo esses dois últimos sido renomeados por Reis *et al.*, (2004), respectivamente, como Surumu e Uatumã-Anauá. Considerando-se esta proposta, a área estudada situa-se no Domínio Surumu (Figura 6).

Mais recentemente Fraga *et al.*, (2009 a e b) caracterizaram a existência de um cinturão de rochas supracrustais de alto grau metamórfico na parte norte do Cráton Amazônico (Escudo das Guianas) – O Cinturão Cauarane-Curuni – e propuseram um modelo tectônico evolutivo para a região. De acordo com os autores, o Cinturão divide o Escudo das Guianas em dois domínios distintos (Figura 7), e representa a colisão de arcos magmáticos desenvolvidos em torno de 2,03 Ga, representados, em Roraima, pela Suíte Trairão e pelo Complexo Anauá. Após o fechamento das bacias Cauarane-Curuni, com intensa deformação e metamorfismo de alto grau (~2,00 Ga) um intenso magmatismo pós-colisional afetou a parte norte do cinturão entre 1,98 Ga e 1,96 Ga. Este magmatismo é marcado pelos granitóides e rochas vulcânicas cálcio-alcálicas de alto-K, da Suíte Pedra Pintada e do Grupo Surumu, e por rochas granitóides e vulcânicas do tipo-A, respectivamente representadas pela Suíte Aricamã e pela Formação Cachoeira da Ilha. Xenólitos das supracrustais de alto grau metamórfico ocorrem nos granitóides datados entre 1,98 Ga e 1,96 Ga.

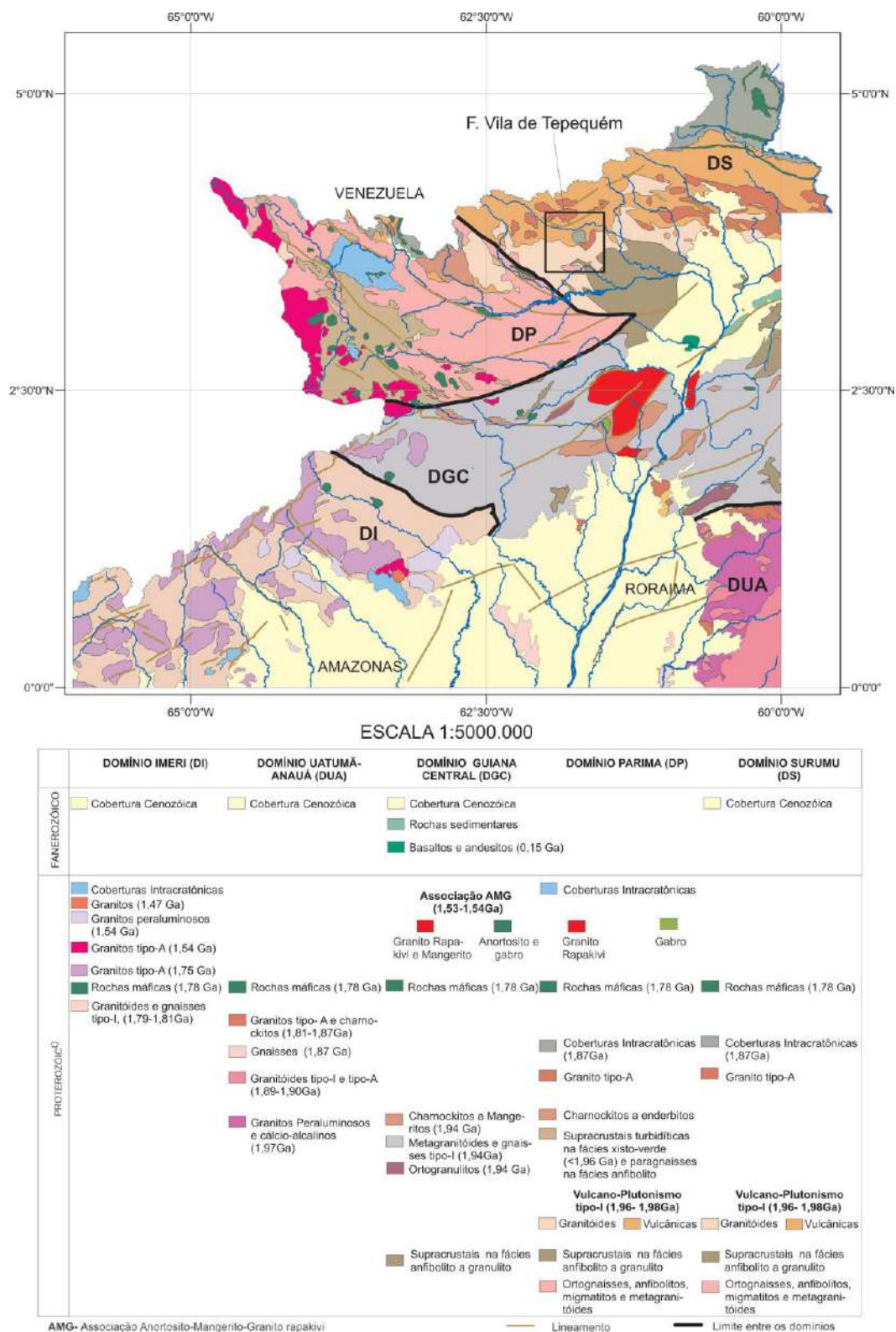
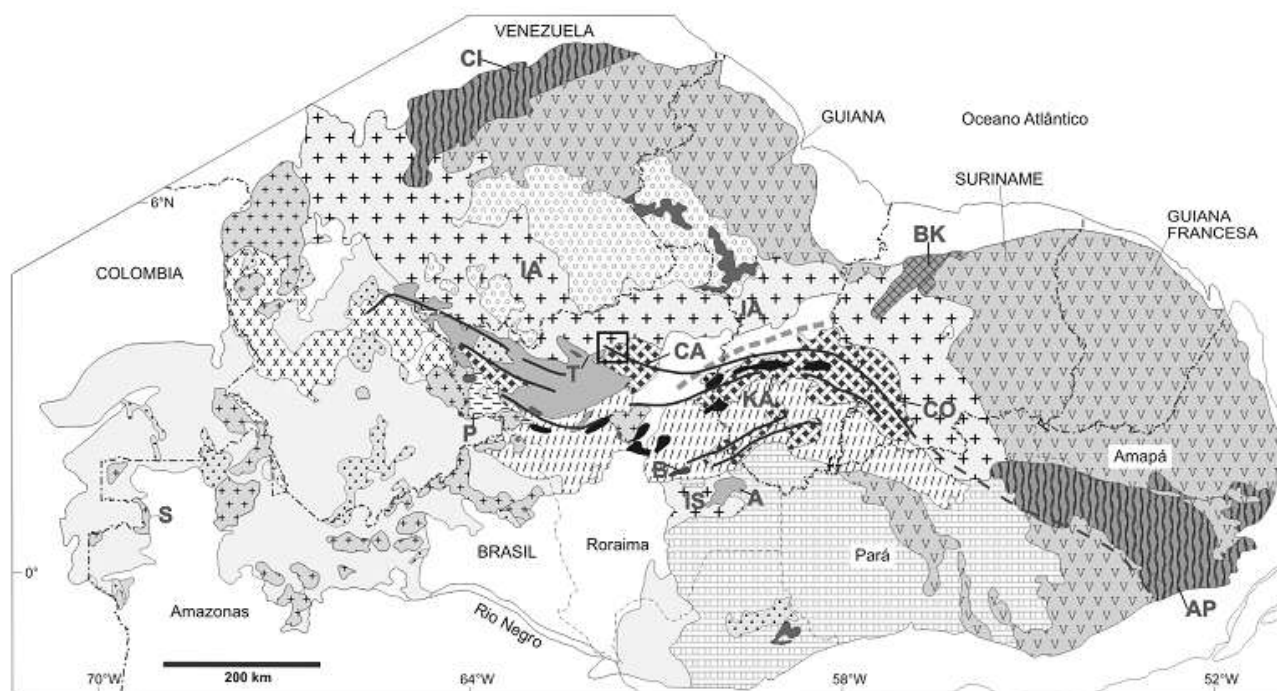


Figura 6: Mapa geológico com a localização da Folha Vila de Tepequém no contexto de Domínios litoestruturais, proposto por Reis *et al.*, (2003 e 2004), denominados: Parima, Guiana Central, Surumu e Uatumã-Anauá, todos pertencentes à Província Tapajós-Parima. Domínio Imeri pertence à Província Rio Negro.



- Coberturas sedimentares e metassedimentos mesoproterozóicos nas fácies xisto-verde e anfibólito
 - Granitos tipo-A (1.76-1.75; 1.52 Ga), granitos rapakivi (1.55-1.53 Ga) e tipo-S (S) (~1.52 Ga)
 - Anortosito e rochas máficas (1.78-1.50 Ga)
 - Rochas vulcânicas e plutônicas félsicas (<1.82 Ga)
 - Gnaisses e granitóides indiferenciados (1.88-1.70 Ga)
 - Coberturas sedimentares paleoproterozóicas (1.87 Ga)
 - Granitóides tipo-A e tipo-I e rochas vulcânicas, e charnoquitos (1.89-1.81 Ga)
 - Rochas charnoquíticas da Suíte Serra da Prata (1.94-1.93 Ga, no Brasil)
 - Granitóides, e gnaisses tipo-I (Suíte Rio Urubu) e granitos tipo-A foliados e Gnaisse Barauana (B) (1.95-1.93 Ga)
 - Sequências metavulcano-sedimentares na fácies xisto verde (P - Grupo Parima) (1.95 Ga)
 - Granitóides e rochas vulcânicas tipo-I e tipo-A (IA), e granitóides tipo-I e tipo-S (IS) (1.98-1.96 Ga), e granitos indiferenciados
 - Rochas supracrustais na fácies anfibólito a granulito e granitos tipo-S (2.00 Ga?)
 - Terrenos granito-gnáissicos, Complexo Anauá (A) e Suíte Trairão (T) (2.03Ga)
 - Granulitos e charnoquitos do Cinturão Bakhuis (BK) (2.06Ga)
 - Terrenos granito-greenstone e granito-gnáissicos (2.26-2.08 Ga) e granitóides indiferenciados
 - Bloco Amapá (AP) e Complexo Imataca (CI), arqueanos, retrabalhados no Riaciono
- CA - Grupo Cauarane; KA - Complexo Kanuku; CO - Grupo Coeroeni
 --- Graben do Tacutu (Mezosoico) — Cinturão Cauarane-Coeroeni □ Folha V. De Tepequém



Figura 7: Mapa geológico simplificado do Escudo das Guianas. Extraído de Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010.

5.2. Geologia da área estudada – Folha Vila de Tepequém

A Suíte Pedra Pintada integra parte da Folha Vila de Tepequém (NA. 20-X-A-III) (CPRM, 2010), que está situada na porção norte do Estado de Roraima, e que ocupa a região central do Escudo das Guianas, parte norte do Cráton Amazônico. O mapa

geológico da área (Figura 8), na escala 1:100.000, e a respectiva nota explicativa, foram recentemente divulgados, sendo um breve resumo da geologia, descrita por CPRM (2010), apresentado a seguir, com foco especial na Suíte Pedra Pintada. A Figura 9 mostra a evolução geotectônica para a porção central do Escudo das Guianas.

O embasamento regional é representado pela Suíte Trairão, que engloba quartzo-dioritos, tonalitos, granodioritos e subordinados monzogranitos aflorantes na parte centro-sul da folha. A suíte exhibe afinidade cálcio-alcálica, de médio a alto-K, e idades U-Pb em torno de 2,03 Ga, tendo sido interpretada como representante de um arco magmático.

O Grupo Cauarane aflora na parte sudeste da área e consiste de paragneisses aluminosos com intercalações de mica xistos, rochas calcissilicáticas, anfibolitos, metacherts e gondito. Estas rochas supracrustais registram três fases de deformação sob a fácies anfibolito superior, durante o Metamorfismo M_1 , sin-cinemático, representando, provavelmente, a fase colisional do orógeno Trairão. Um metamorfismo M_2 , estático na fácies, também foi caracterizado e interpretado como reflexo do intenso magmatismo (pós-colisional) representado pelas unidades Pedra Pintada, Surumu, Aricamã e Cachoeira da Ilha.

A Suíte Pedra Pintada inclui rochas de afinidade cálcio-alcálica, predominantemente de alto-K e aflora em dois grandes corpos (corpos Trovão e Flechal) que exibem um zoneamento composicional assimétrico caracterizado pela predominância de granitóides menos evoluídos e mais ricos em minerais máficos na porção sul e de granitos mais evoluídos na porção norte dos corpos, tendo sido individualizadas três fácies em cada corpo. No corpo Trovão, quartzo-dioritos e subordinados tonalitos ocorrem na fácies sul, enquanto granodioritos são as rochas mais frequentes na fácies central, seguidos por monzogranitos, tonalitos e quartzo-monzonitos, sendo que na fácies norte verifica-se um amplo domínio de monzogranitos, comumente hidrotermalizados. No corpo Flechal, quartzo-dioritos e quartzo-monzodioritos predominam sobre monzogranitos, granodioritos e tonalitos na fácies sul, monzogranitos são os tipos mais frequentes na fácies central com granodioritos e tonalitos subordinados, e monzo a sienogranitos, mais evoluídos e hidrotermalizados, ocorrem na fácies norte. As fácies graníticas mais evoluídas da parte norte dos corpos

Trovão e Flechal mantêm contato com os ignimbritos e lavas riolíticas do Grupo Surumu e representam as porções mais epizonais da SPP na área mapeada, contrastando com as fácies menos evoluídas e de jazimento mais profundo, localizadas na parte sul dos corpos. A colocação da porção norte dos corpos Trovão e Flechal em níveis mais superiores da crosta é evidenciada também pela presença de texturas gráficas/granofíricas e de cavidades preenchidas por zeólitas em parte das rochas.

Também exibindo afinidade cálcio-alcálica, predominantemente de alto-K, o Grupo Surumu é formado por ignimbritos e subordinados riolitos, andesitos, rochas subvulcânicas e sedimentares, e ocupa praticamente toda a metade norte da Folha Vila de Tepequém. A Suíte Aricamã e a Formação Cachoeira da Ilha mostram afinidades geoquímicas do tipo-A e envolvem respectivamente monzonitos e sienogranitos e ignimbritos.

As idades Pb-Pb por evaporação e U-Pb (SHRIMP) em zircão, obtidas para as unidades Pedra Pintada, Surumu, Aricamã e Cachoeira da Ilha variam de 1985 Ma a 1993 Ma, no entanto, o valor de 1986 Ma, (U-Pb, SHRIMP) é aqui preferencialmente admitido para este episódio de intenso magmatismo. Os dados isotópicos de Nd indicam um predomínio de fontes riacianas na evolução do magmatismo Pedra Pintada - Surumu - Aricamã - Cachoeira da Ilha, que é interpretado como pós-colisional.

A Formação Tepequém, correlacionável à base do Supergrupo Roraima forma um platô na parte central da folha sendo constituída por arenitos conglomeráticos e conglomerados de origem fluvial, além de argilitos e tufos.

Hornblenda gabros e hornblenditos relacionados à unidade Gabro Igarapé Tomás ocorrem em pequenos corpos. Rochas de afinidade lamprofírica, na forma de diques e em corpos de efusivas, foram pela primeira vez identificadas nesta porção do Cráton Amazônico e incluídas na unidade Lamprófiro Serra do Cupim. Diques do Diabásio Avanavero são bastante comuns na região.

Um acervo de feições estruturais desenvolvidas sob temperaturas baixas a moderadas (<400°C) foi relacionado ao Episódio K´Mudku (1,2 Ga). Durante este episódio zonas de cisalhamento sob condições da interface dúctil-rúptil desenvolveram-se nas unidades granitóides, e dobras foram formadas nas rochas vulcânicas Surumu e

Cachoeira da Ilha e nas rochas sedimentares da Formação Tepequém. Falhas também foram geradas ou reativadas. O Episódio K¹Mudku é interpretado como um reflexo intra-placas da tectônica colisional grenvilliana na borda da placa.

Quanto às potencialidades metalogenéticas Dreher & Grazziotin (2010, In: CPRM 2010) descrevem depósitos de diamante e ouro aluvionares da serra do Tepequém, que se encontram atualmente exauridos, derivados de paleoplaceres da Formação Tepequém. Os autores mencionam que não foram encontradas ocorrências de ouro primário, porém, a distribuição de indícios de ouro, em associação com o ambiente geológico, permite sugerir possíveis ocorrências de ouro dos tipos mesotermal, pórfiro e epitermal nos granitóides Trairão, Pedra Pintada e nas rochas vulcânicas, respectivamente. Dreher & Grazziotin (2010, In: CPRM 2010) ressaltaram ainda o potencial para jazidas de Sn-W do tipo greisen nos granitos da Suíte Aricamã, e para depósitos de sulfetos maciços de Pb-Zn (Ag) nas rochas metassedimentares do Grupo Cauarane.

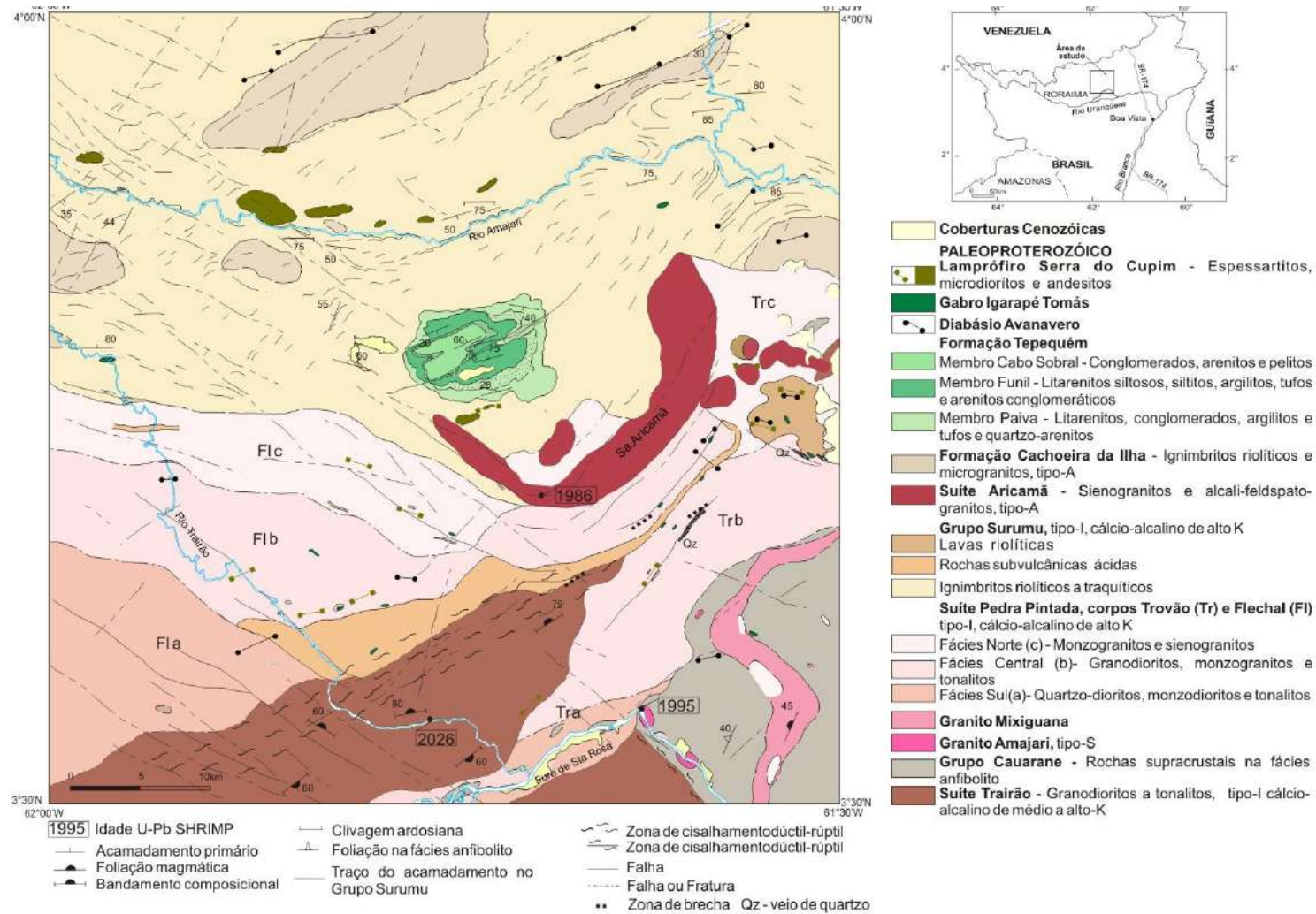


Figura 8: Mapa geológico esquemático da Folha Vila de Tepequém. Extraído de Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010.

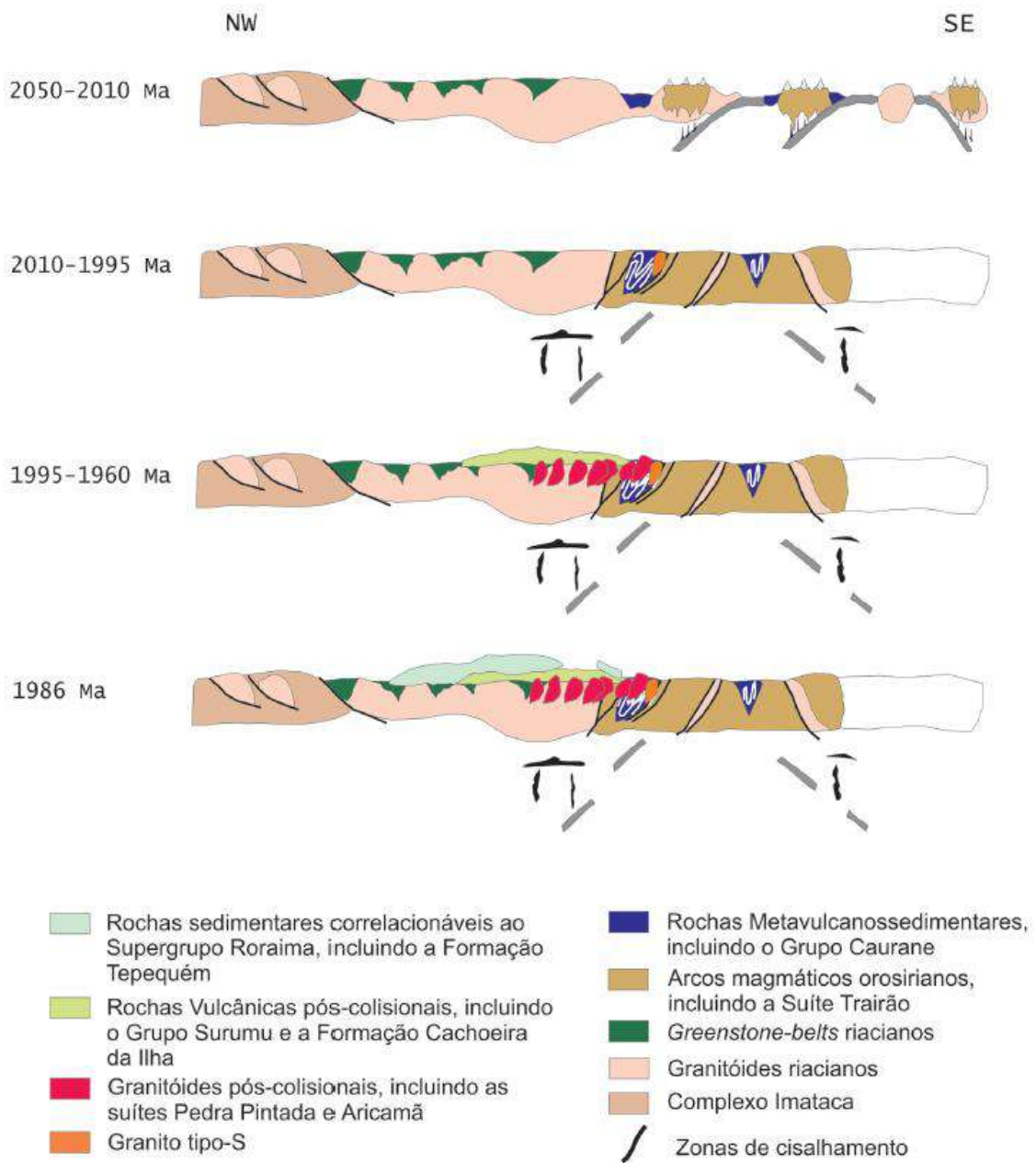


Figura 9: Modelo de evolução geotectônica para a porção central do Escudo das Guianas. Extraído de Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010.

6. PETROGRAFIA

6.1. Introdução

A Suíte Intrusiva Pedra Pintada (SIPP) reúne um conjunto de rochas ígneas, muito pouco deformadas, variando de quartzo-dioritos até sienogranitos, que se distribuem ao sul da Folha Vila do Tepequém em dois corpos principais, denominados Trovão e Flechal, ambos exibindo um zoneamento composicional assimétrico (Fraga & Dreher 2010, In: CPRM 2010). Com base na descrição petrográfica de 125 lâminas delgadas e nos dados de campo e de geoquímica de rocha, as autoras caracterizaram a predominância de granitóides menos evoluídos e mais ricos em minerais máficos na porção sul dos corpos e de granitos mais evoluídos na porção norte, tendo sido individualizadas três fácies em cada corpo: fácies sul, central e norte.

Com o intuito de dar suporte à realização de análises de química mineral dos granitóides e de contribuir para a caracterização das fácies sul, central e norte dos corpos Trovão e Flechal, foram selecionadas 26 lâminas delgadas de rochas quimicamente analisadas, para um estudo detalhado da petrografia, que será apresentado a seguir. Dentre as lâminas selecionadas doze correspondem ao corpo Trovão e quatorze ao corpo Flechal. Cabe ressaltar que neste estudo detalhado, com contagem de pontos para cálculo modal, algumas disparidades foram identificadas em relação à classificação petrográfica que consta em Fraga & Dreher (2010, In: CPRM 2010), por outro lado, o reduzido acervo de 26 lâminas estudadas no presente trabalho, não abrange convenientemente todo o espectro de rochas descrito pelas autoras (125 lâminas).

6.2. Caracterização macroscópica

As rochas da SIPP foram descritas macroscopicamente por Fraga & Dreher (2010, In: CPRM 2010) como granitóides de granulação predominantemente média a grossa, por vezes, fina a média com presença de pórfiros. Possuem coloração acinzentada com tonalidades mais escuras para os quartzo-dioritos e tonalitos (Figura 10-a,b) e apresentam-se bastante magnéticos. Em direção a fácies mais evoluída ocorrem granitos de cor cinza claro ou róseo (Figura 10-c,d,e). Os granitóides são predominantemente isotrópicos, porém em alguns afloramentos identificou-se a

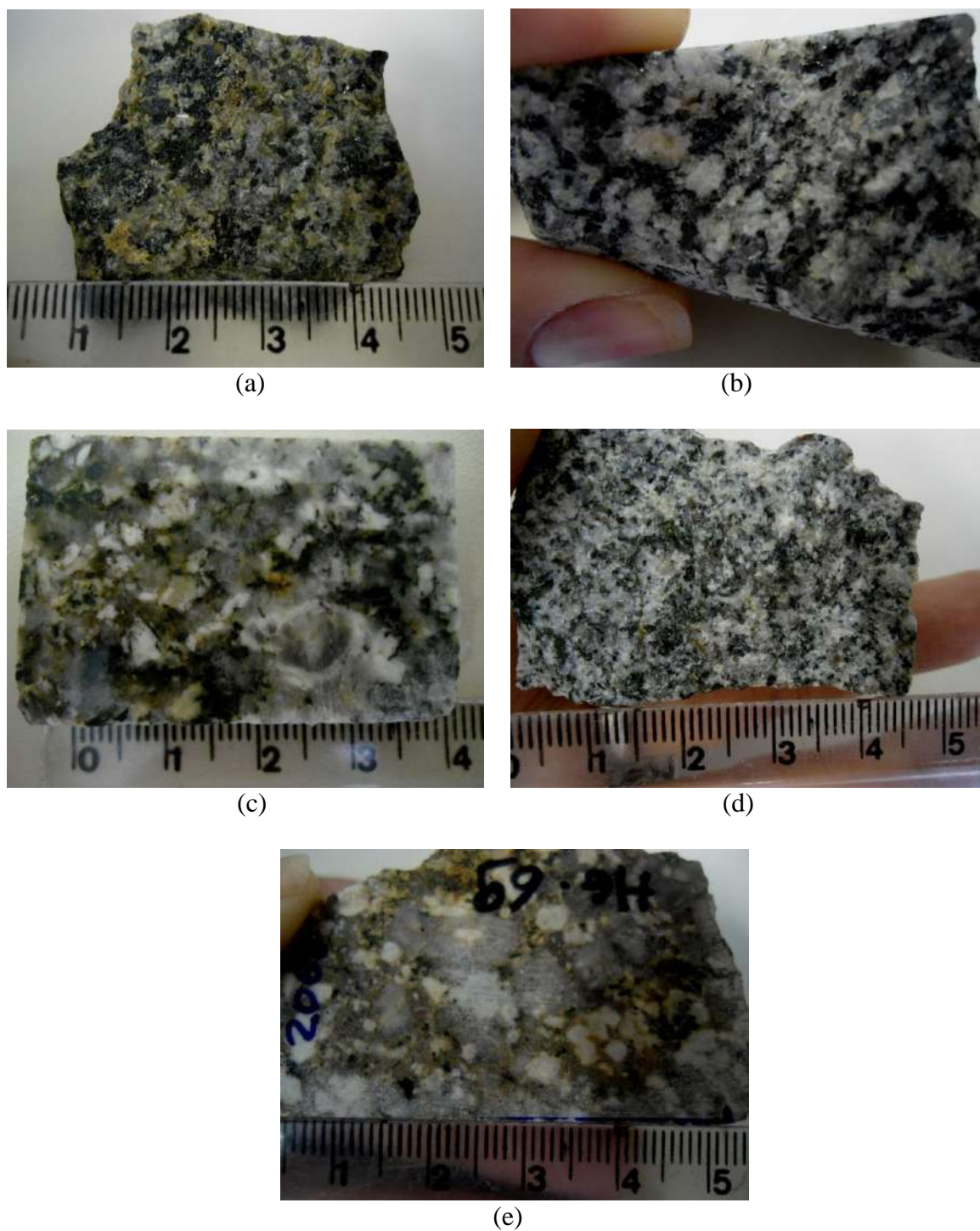


Figura 10: Aspectos macroscópicos dos granitoides da Suíte Pedra Pintada. (a) Quartzo-diorito da fácies sul do corpo Trovão- amostra LM-34B. (b) Granodiorito da fácies central do corpo Trovão- amostra HG-124B. (c) Monzogranito da fácies norte do corpo Trovão- amostra MF-92. (d) Monzogranito da fácies sul do corpo Flechal- amostra HG-R-16B. (e) Quartzo-sienito da fácies norte do Corpo Flechal- amostra HG-R-69.

presença de foliação magmática dada pela orientação preferencial de minerais máficos e cristais idiomórficos de feldspatos.

6.3. Caracterização microscópica do corpo Trovão

O estudo microscópico permitiu classificar as rochas do corpo Trovão como: faneríticas holocristalinas leucocráticas, com um índice de cor variando entre 5 e 27%.

As doze lâminas de rochas do corpo Trovão foram aqui classificadas como: quartzo-dioritos e tonalito para a fácies sul, granodioritos e tonalitos integram a fácies central, enquanto granodioritos e monzogranito constituem a fácies norte.

Os quartzo-dioritos predominantes na fácies Sul apresentam textura equigranular hipidiomórfica, com granulação média e índice de cor entre 19 e 27%, com minerais máficos representados predominantemente por clinopiroxênio, hornblenda e biotita. Os demais minerais essenciais que os compõem são plagioclásio e quartzo; os acessórios são apatita e opacos; e os secundários são clorita e carbonato.

Os cristais de plagioclásio possuem geminação polissintética e menos frequentemente as geminações de periclina e albita ocorrem num só cristal (Figura 11-a). O plagioclásio predominante é andesínico, com hábito tabular alongado, preservando uma típica textura primária ígnea (Figura 11-b), na qual os cristais são predominantemente euédricos, atingindo tamanhos de até 5 mm. É possível observar ainda, alguns cristais de plagioclásio fracamente arqueados (Figura 11-c), alguns apresentando microfraturas (Figura 11-d) evidenciando uma deformação no estado sólido sob baixas condições de temperatura, inferiores à 400°C (Passchier & Trouw, 1996).

O quartzo mostra-se anédrico com tamanho variando desde submilimétrico até 4 mm. Em algumas lâminas, os cristais apresentam uma extinção levemente ondulante. Ocorre também a formação de quartzo residual, aprisionado em cristais de biotita como resultado da reação entre piroxênio e anfibólio (Figura 12-e).

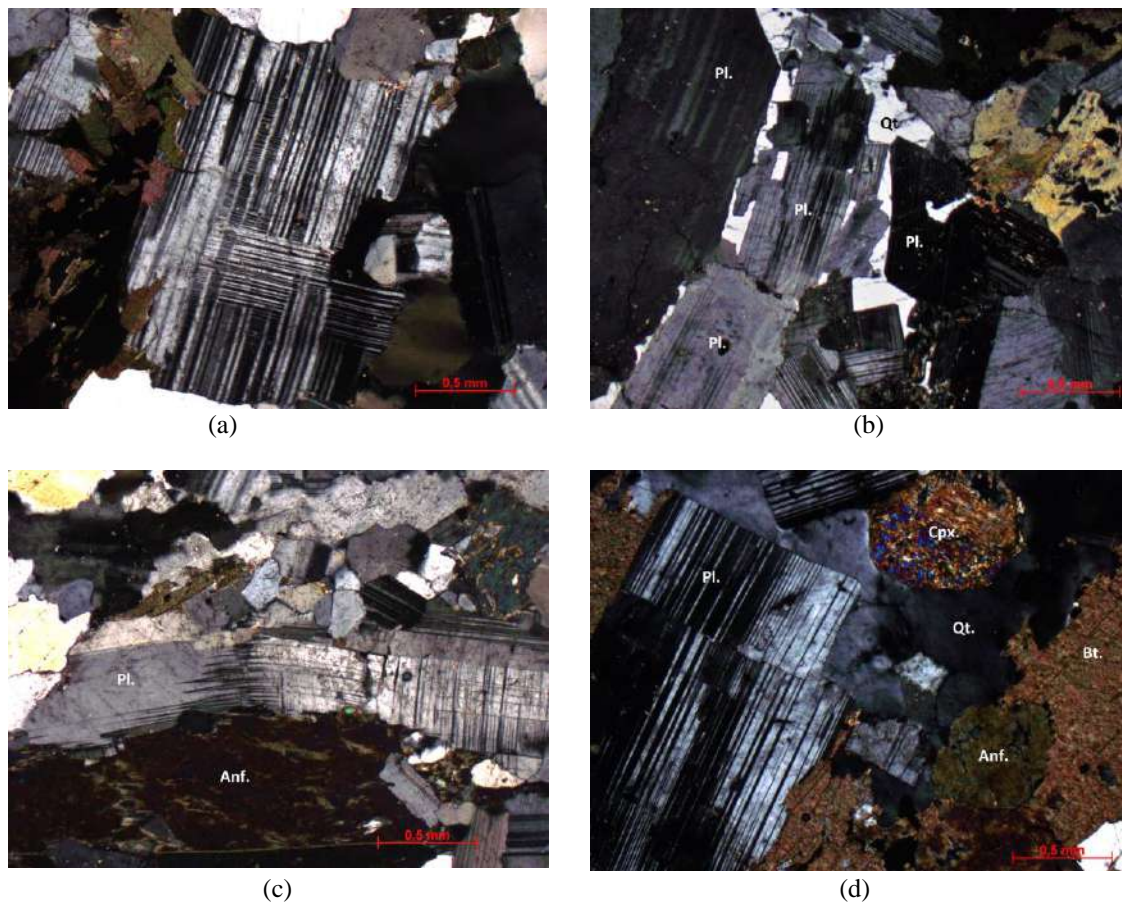


Figura 11: (a) Cristal de plagioclásio com geminação albita e periclina. (b) Feições ígneas primárias bem preservadas. (c) Geminação levemente arqueada em plagioclásio. (d) microfraturas em plagioclásio e ao lado piroxênio com hábito nodular.

A biotita ocorre com hábito subédrico, normalmente sobrecrecendo cristais de anfibólio e/ou piroxênio, uma cristalização primária em desequilíbrio (Figura 12-a, b), e menos frequentemente, ocorre como aglomerado de cristais. Os cristais variam desde euédricos a subédricos, com tamanho médio de 5 mm, apresentando inclusões de apatita e minerais opacos. O pleocroísmo varia desde bege a marrom escuro devido aos diferentes teores de Fe e Ti presentes nos cristais.

O anfibólio apresenta pleocroísmo verde claro a escuro, duas direções de clivagens distintas posicionadas a 60° e ocorrem comumente englobando opacos, relíctos de clinopiroxênio e plagioclásio, produzindo uma textura localmente poiquilítica (Figura 12-d), ou podem ocorrer também sobrecrecendo cristais de

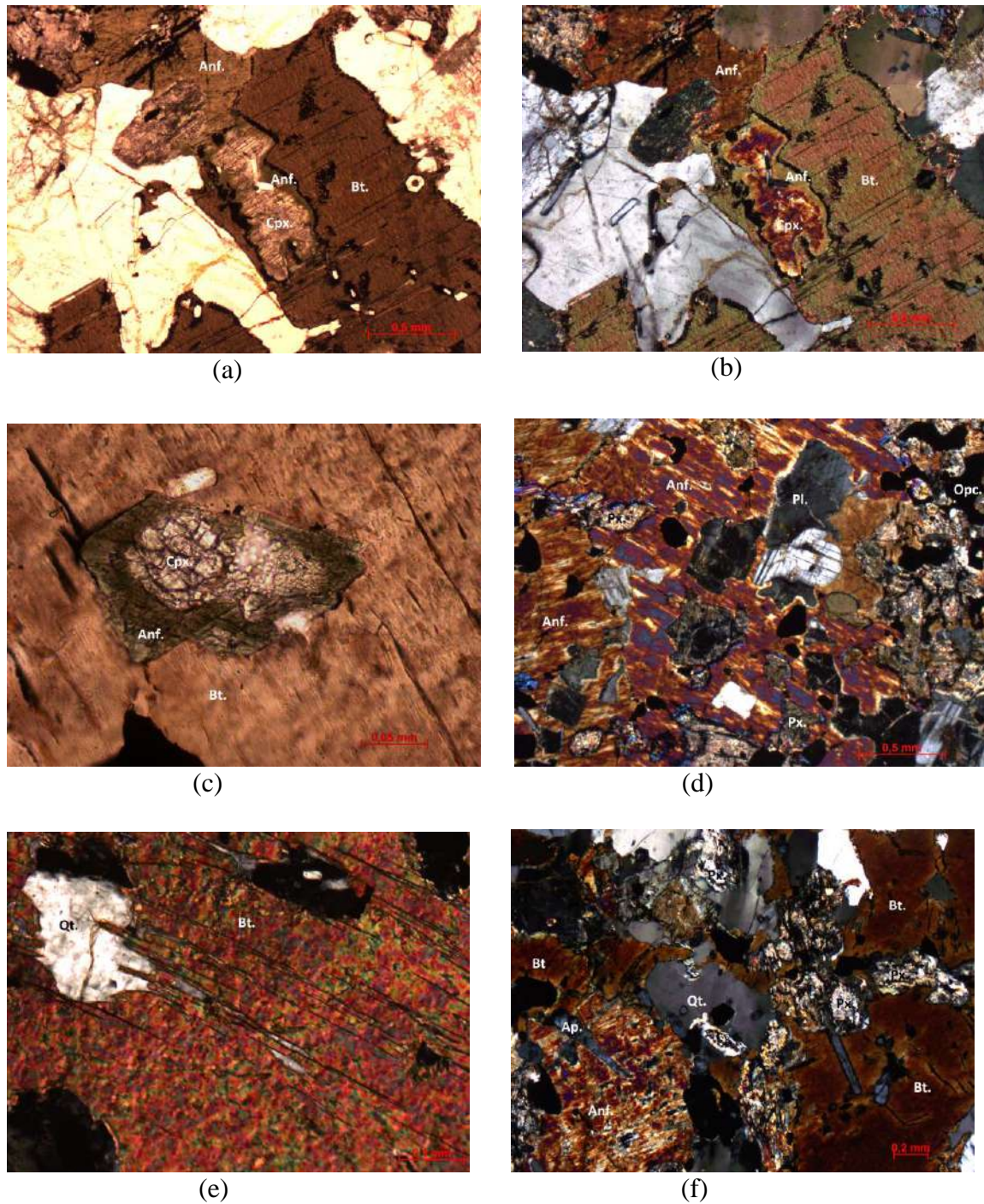


Figura 12: (a) Biotita incluindo cristal de piroxênio com borda de anfibólio. Nicóis //. (b) Biotita incluindo cristal de piroxênio com borda de anfibólio. Nicóis X. (c) Sobrecrescimento de anfibólio em piroxênio, envolvidos por cristal de biotita. (d) Textura poiquilítica formada a partir do crescimento de anfibólio, que engloba relíctos de piroxênio, plagioclásio e opacos. (e) reação entre piroxênio e anfibólio produz sílica residual que fica aprisionada em cristais de biotita. (f) Relíctos de piroxênios alterados envolvidos por biotita.

piroxênios (Figura 12-c). Os cristais são subédricos, geralmente tabulares, com tamanhos de até 5 mm.

O piroxênio presente na lâmina é o clinopiroxênio, e ocorre exclusivamente como relícto em cristais de anfibólio e biotita (Figura 12-f). Os cristais atingem em média 1 mm e apresentam-se predominantemente arredondados (Figura 11-d) e alterados para clorita e/ou calcita.

A apatita aparece em tamanhos submilimétricos como inclusões nos minerais essenciais, principalmente plagioclásio, biotita e piroxênio. Apresentam hábito prismático e cristais euédricos a subédricos. Os minerais opacos ocorrem na rocha como inclusões e mais raramente como cristais isolados, geralmente com hábito granular a octaédrico, tratando-se provavelmente de cristais de ilmenita e magnetita.

Os granodioritos predominantes na fácies central apresentam textura inequigranular porfirítica e menos frequentemente equigranular, com granulação fina a média e índice de cor entre 10 e 16%, sendo as fases máficas representadas por anfibólio e biotita. Os demais minerais essenciais que os compõem são: plagioclásio, k-feldspato e quartzo; os acessórios são: titanita, apatita e opacos; e os secundários são: epidoto, clorita, sericita e actinolita.

O plagioclásio possui geminação polissintética, porém em alguns cristais há ausência de geminação, devido à sua alteração por processos de saussuritização, que acabam mascarando-a. Os cristais podem ocorrer em uma matriz fina/média ou como fenocristais, alguns fortemente zonados, caracterizando um enriquecimento de albita em direção à borda (Figura 13-a). Zoneamento oscilatório, observado em alguns cristais, atesta mudanças nas condições físico-químicas (particularmente T) durante a cristalização do magma (Sial & McReath, 1984). Seu hábito é tabular, variando desde euédricos a subédricos atingindo até 5 mm. Algumas estruturas originadas a partir de descontinuidade de grãos, como *kink bands* são vistas (Figura 13-c), assim como a presença de fraca extinção ondulante e geminação levemente arqueada (Figura 13-d), indicando baixas magnitudes de strain.

O feldspato alcalino mais frequente é a microclina, apresentando geminação *tartan* e intercrescimento pertítico do tipo flame (Figura 13-b). As pertitas flame são

feições deformacionais que registram deformação em estado sólido sob baixas temperaturas ($\sim 350^{\circ}\text{C}$). Os cristais de feldspato possuem ainda hábito tabular, ocorrem numa matriz fina/média com cristais submilimétricos e como fenocristais subédricos, com tamanhos variados atingindo até 1 cm.

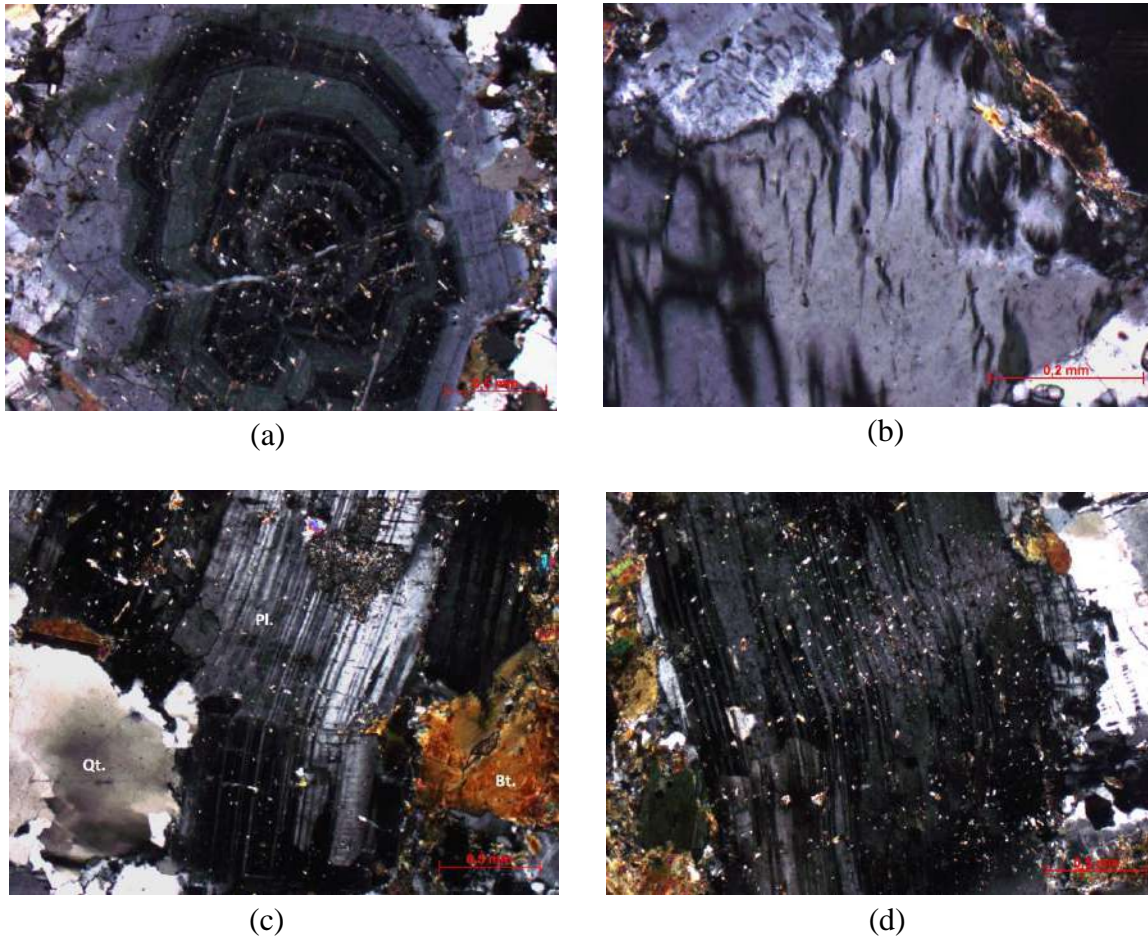


Figura 13: (a) Plagioclásio com zoneamento oscilatório, mostrando um núcleo rico em cálcio e um enriquecimento em sódio em direção à borda. (b) Pertita tipo flame, com lamelas de albita em feldspato potássico. (c) *kink bands* em plagioclásio e quartzo com extinção ondulante e recristalizado nas bordas – *grain boundary migration*, evidenciando baixa deformação. (d) plagioclásio com gemação levemente deformada.

Os cristais de quartzo mostram-se anédricos, variando desde submilimétricos a 2 mm, apresentando extinção ondulante e localmente subgrãos e novos grãos de tamanhos distintos e limites serrilhados, sugerindo atuação discreta de *grain boundary migration* (Figura 13-c) – Passchier & Trouw, 1996.

A biotita apresenta-se subédrica/anédrica, com hábito variado e atingindo tamanhos entre 1 e 3 mm. Ocorre comumente substituindo anfibólio, onde é possível observar a clivagem deste último mineral ainda preservada, ou associada à titanita, epidoto e actinolita (Figura 14-e, f).

Os cristais de anfibólio apresentam pleocroísmo variando entre verde claro e verde escuro, ocorre na forma de cristais isolados ou associados à biotita, alguns poucos encontram-se zonados (Figura 14-a,b) e com suas direções de clivagens difíceis de serem reconhecidas.

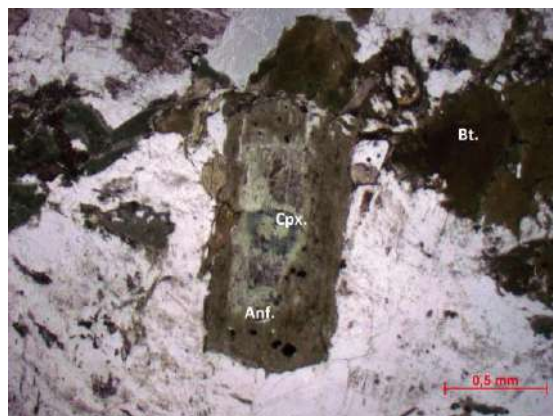
A titanita ocorre de duas formas: como cristais primários prismáticos euédricos, ou como cristais secundários anédricos crescendo nos planos de clivagem da biotita (Figura 14-c, d). Seu tamanho varia desde submilimétrico a 1 mm.

A apatita aparece com tamanhos submilimétricos, como inclusão nos minerais essenciais.

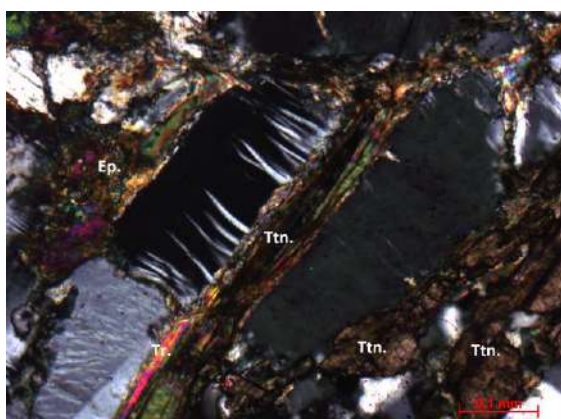
O epidoto ocorre predominantemente associado à sericita, como produto de alteração hidrotermal, ao longo de fraturas e clivagens do plagioclásio (saussuritização). Cristais de epidoto também são encontrados ao longo da clivagem de alguns cristais de biotita. Essas transformações mineralógicas que levam a geração de fases secundárias de titanita, epidoto e sericita podem estar associadas a processos tardi a pós-magmáticos, onde, durante e após a cristalização final, soluções hidrotermais percolam a rocha ainda sob alta temperatura, podendo corresponder a condições subsolidus, reagindo com os minerais já formados e originando esses minerais secundários. Outra hipótese a ser considerada seria o desequilíbrio das fases primárias a partir de reações metamórficas de baixo grau, associadas a um possível evento metamórfico regional de fácies xisto verde, formando uma paragênese que inclui titanita, sericita, epidoto e talvez biotita e calcita (Yardley, 1989).



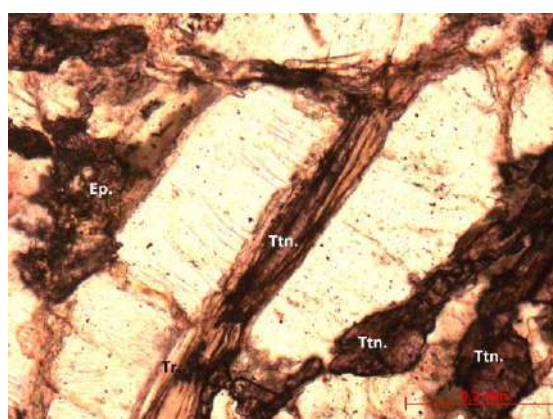
(a)



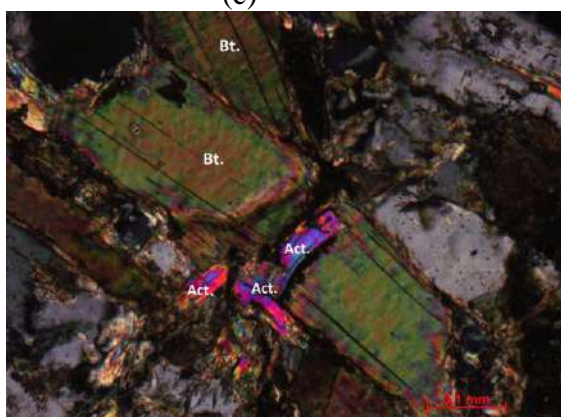
(b)



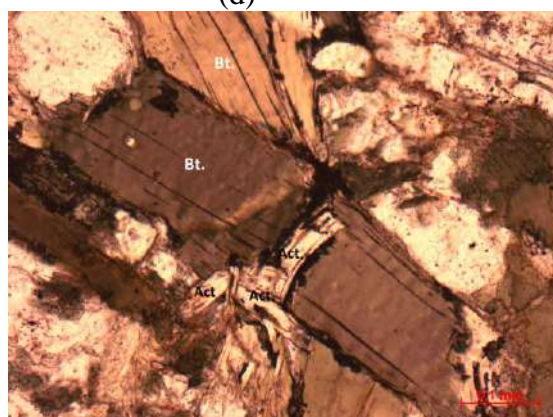
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 14: (a) Zoneamento em anfibólio. Nicóis X. (b) Zoneamento em anfibólio. Nicóis //. (c) Epidoto e titanita crescendo ao longo da clivagem da biotita. Nicóis X. (d) Epidoto e titanita crescendo ao longo da clivagem da biotita. Nicóis //. (e) Crescimento de Actinolita em zona de fratura de um cristal de biotita. Nicóis X. (f) Crescimento de Actinolita em zona de fratura de um cristal de biotita. Nicóis //.

O monzogranito predominante na fácies norte apresenta textura equigranular hipidiomórfica (Figura 15-b), com granulação média e índice de cor entre 3 e 5%, representados predominantemente por biotita e ocasionalmente por anfibólio. Os minerais essenciais que os compõem são: plagioclásio, k-feldspato e quartzo; os acessórios são: titanita, apatita e opacos; e os secundários são: epidoto, clorita e sericita

Os cristais de plagioclásio possuem geminação polissintética, encontram-se em grande maioria saussuritizados e por vezes, zonados (Figura 15-c). Tem hábito tabular alongado, são euédricos apresentando tamanhos de até 7 mm. É comum a presença de textura rapakivi, representada por núcleo de microclina e borda de albita ou oligoclásio (Figura 15-e). Esta textura é uma evidência de desequilíbrio mineral e representa um aporte de um líquido mais rico em sódio e/ou cálcio durante a evolução do magma, provocando assim o sobrecrescimento de plagioclásio sódico no K-feldspato previamente cristalizado. Uma das possibilidades para a geração deste tipo de textura é a mistura entre magmas contrastantes (Hibbard, 1995).

O feldspato alcalino é mais frequente nas lâminas da fácies norte. O mais comum é a microclina, que é facilmente reconhecida devido a sua típica geminação *tartan*. Ocorre como cristais isolados, com hábito tabular, subédricos com tamanhos de até 8 mm ou como cristais intersticiais, anédricos. É possível observar no contato entre alguns grãos de plagioclásio e microclina uma reação de borda, apontando para um possível desequilíbrio no sistema (Figura 15-a).

O quartzo mostra-se subédrico com tamanhos desde submilimétricos até 5 mm e hábito granular, às vezes apresentando leve extinção ondulante.

Os cristais de biotita possuem pleocroísmo variando entre bege e marrom escuro, apresentam-se lamelares, subédricos com tamanho variando desde submilimétrico até 2 mm. Ocorrem como cristais isolados, por vezes alterados para clorita e preservando a clivagem do anfibólio. Podem ocorrer, menos frequentemente como aglomerados associados a opacos e titanita.

A titanita apresenta tamanho submilimétrico, às vezes com geminação, os cristais ocorrem sob a forma de prismas ou associados a aglomerados de biotita e

opacos. A clorita ocorre preferencialmente como mineral de alteração hidrotermal de minerais ferromagnesianos primários (Figura 15-d).

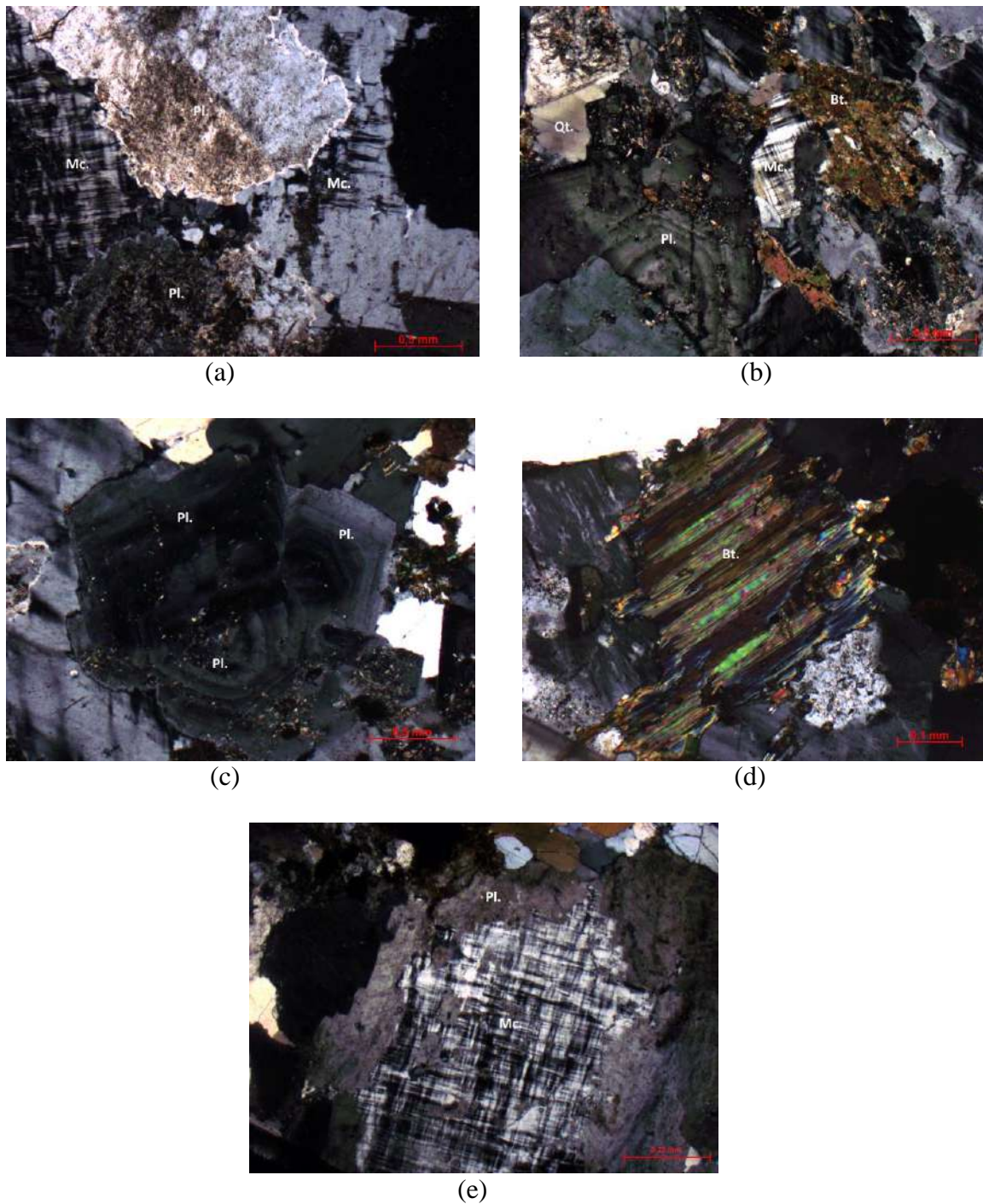


Figura 15: (a) plagioclásio com borda corroída. (b) Textura equigranular hipidiomórfica da rocha. (c) Cristais de plagioclásio zonados, “disputando” espaço para crescerem. (d) Biotita em processo de cloritização. (e) Cristal de microclina com textura rapakivi.

A classificação das rochas do corpo Trovão foi determinada de acordo com a composição, obtida por contagem modal, feita com 800 pontos e que possibilitou a confecção da tabela a seguir (Tabela 6).

Os resultados obtidos com a composição modal permitiram a elaboração do gráfico QAP abaixo (Streckeisen, 1979) (Figura 16), com as porcentagens normalizadas de quartzo (Q), K-feldspato (A) e plagioclásio (P). O gráfico mostra variação na composição de acordo com a fácies, em consonância com a existência de um fracionamento magmático que resultou em três principais grupos de rochas distintas. É possível observar no gráfico um aumento na acidez das rochas, expresso quimicamente por um acréscimo nos teores de SiO_2 e aumento no teor de álcalis, em direção à fácies norte. As rochas da fácies norte estão associadas a uma maior diferenciação magmática sendo representadas por granodioritos e monzogranito, enquanto as rochas da fácies central são compostas essencialmente por granodioritos e tonalitos subordinadamente. As rochas que compõe a fácies sul apresentam-se associadas à baixa diferenciação magmática e são predominantemente representadas por quartzo dioritos.

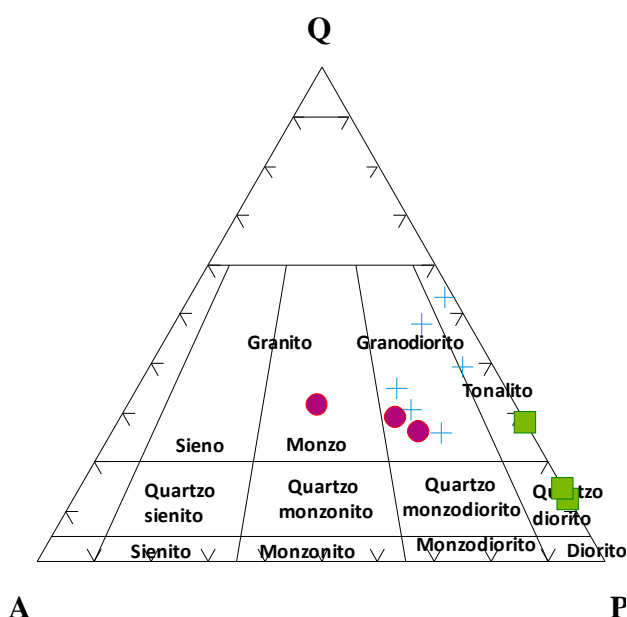


Figura 16: Gráfico QAP correspondente às rochas do corpo Trovão. Quadrado cheio: rochas da fácies sul; cruz: rochas da fácies central e círculo cheio: rochas da fácies norte.

| Fácies | Lâminas | Litologia | % Qt. | % Pl. | % K-fs. | % Bt. | % Ep. | % Anf. | % Ttn. | % Prx. | % Clor. | % Ap. | % Opc. | % Act. | % Zrn. | % Musc. | Q | A | P |
|---------|-----------|-----------------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|--------|---------|------|------|------|
| Sul | LM-R-34A | Quartzo diorito | 8,8 | 62 | 0,2 | 13,2 | 0,1 | 4,7 | 0,1 | 2 | 2,3 | 0,7 | 3,3 | 2,2 | - | - | 12,4 | 0,3 | 87,3 |
| Sul | LM-R-39 | Quartzo diorito | 10,2 | 60,1 | 0,1 | 16,8 | - | 7,6 | - | 3,3 | 0,1 | 0,8 | 1,2 | - | - | - | 14,7 | 0,1 | 85,2 |
| Sul | HG-R-122A | Tonalito | 19,8 | 50,6 | 0,1 | 17 | 0,8 | 9,3 | - | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 1 | - | - | - | 28,1 | 0,1 | 71,8 |
| Central | LM-R-93B | Granodiorito | 26 | 42,6 | 15,8 | 10,3 | 0,1 | 3,2 | 0,3 | - | 1,1 | - | 0,2 | - | - | - | 30,8 | 18,7 | 50,5 |
| Central | HG-R-124B | Granodiorito | 20,2 | 45,1 | 12,2 | 10,5 | 1,2 | 8,6 | 0,5 | - | 0,3 | - | 1,1 | - | - | - | 26 | 15,8 | 58,2 |
| Central | MF-135 | Tonalito | 33,3 | 28,1 | 1,1 | 22,2 | 10,2 | 2,1 | 0,7 | - | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,5 | - | - | 53,3 | 1,7 | 45 |
| Central | HG-R-01B | Tonalito | 23,7 | 48,6 | 3,3 | 11,2 | 6,6 | 0,8 | 1 | - | 1,6 | 0,2 | 1,3 | 1 | 0,1 | 0,1 | 31,3 | 4,4 | 64,3 |
| Central | MF-162 | Granodiorito | 40,6 | 37 | 6,8 | 11,3 | 1,1 | 0,6 | 0,2 | - | 1,2 | - | 0,7 | - | - | - | 48,1 | 8,1 | 43,8 |
| Central | HG-R-01A | Granodiorito | 28,6 | 37,3 | 15,6 | 11,1 | 4,5 | - | 0,6 | - | 0,5 | - | - | 1,6 | - | - | 35,1 | 19,2 | 45,7 |
| Norte | MF-100 | Granodiorito | 25,2 | 41,6 | 19 | 8,1 | 3,1 | 0,8 | 0,1 | - | 0,5 | 0,3 | 1 | - | - | - | 29,3 | 22,2 | 48,5 |
| Norte | LM-R-91 | Granodiorito | 24,2 | 49,6 | 18 | 2,6 | 0,1 | 1,2 | 1 | - | 1,1 | 0,3 | 1,3 | - | - | - | 26,4 | 19,6 | 54 |
| Norte | MF-92 | Monzogranito | 28,2 | 29,8 | 30,8 | 7 | 1,2 | 0,7 | 0,7 | - | 1 | 0,5 | 0,6 | - | - | - | 31,7 | 34,8 | 33,5 |

Tabela 6: Composição modal do corpo Trovão, Suíte Pedra Pintada. Legenda: Qt.- Quartzo; Pl.- Plagioclásio; K-fs.- K-feldspato; Bt.- Biotita; Ep.- Epidoto; Anf.- Anfibólio; Ttn.- Titanita; Prx.- Piroxênio; Clor.- Clorita; Ap.- Apatita; Opc.- Opacos; Act.-Actinolita; Zrn.- Zircão; Musc.- Muscovita.

6.4. Caracterização microscópica do corpo Flechal

As quatorze lâminas estudadas, correspondentes às rochas do corpo Flechal, permitiram classificar essas rochas como faneríticas holocristalinas leucocráticas, com um índice de cor variando entre 3 e 23%. Considerando-se este acervo de lâminas as fácies sul, central e norte do corpo Flechal encontram-se assim representadas:

Fácies sul – Quartzo-diorito, quartzo-monozodiorito e granodiorito. São formados essencialmente por plagioclásio andesínico, quartzo intersticial, por vezes recristalizado, e componentes máficos representados por clinopiroxênio, anfibólio e biotita.

Fácies central – Granodiorito, quartzo-diorito e quartzo-monozodiorito constituídos por plagioclásio de mais de uma geração, quartzo em intercrescimento gráfico, microclínio xenomórfico e componentes máficos como biotita e hornblenda.

Fácies norte – Quartzo-sienito, granodioritos e monzogranitos com mineralogia integrada por quartzo hipidiomórfico, plagioclásio saussuritizado e microclínio xenomórfico e componentes máficos representados essencialmente por biotita.

O quartzo-diorito da fácies sul exhibe textura equigranular hipidiomórfica com granulação média a fina, contendo entre 14 e 23% de componentes máficos constituídos essencialmente por clinopiroxênio, hornblenda e biotita. Os demais minerais essenciais que os compõem são plagioclásio, quartzo e K-feldspato, este último como componente menos frequente. Os acessórios são apatita, titanita e opacos, enquanto os secundários são clorita, epidoto e carbonato.

Os cristais de plagioclásio exibem típica geminação polissintética, alguns podem apresentar zoneamento composicional (Figura 17-a) e por vezes, pode-se observar intercrescimento de quartzo e plagioclásio, definindo uma textura mirmequítica (Figura 17-b). O plagioclásio possui hábito tabular alongado, ocorrendo como cristais subédricos com tamanhos de até 5 mm, caracterizando uma textura ígnea primária bem preservada. Não foi observada a presença de microfraturas ou de cristais arqueados, como observado no corpo Trovão.

O quartzo apresenta-se anédrico com tamanho variando desde submilimétrico a 2 mm, ocorre principalmente como mineral intersticial e/ou em mirmequita. É possível

observar leve extinção ondulante e, por vezes, encontra-se recristalizado, como mostra a Figura 17-c.

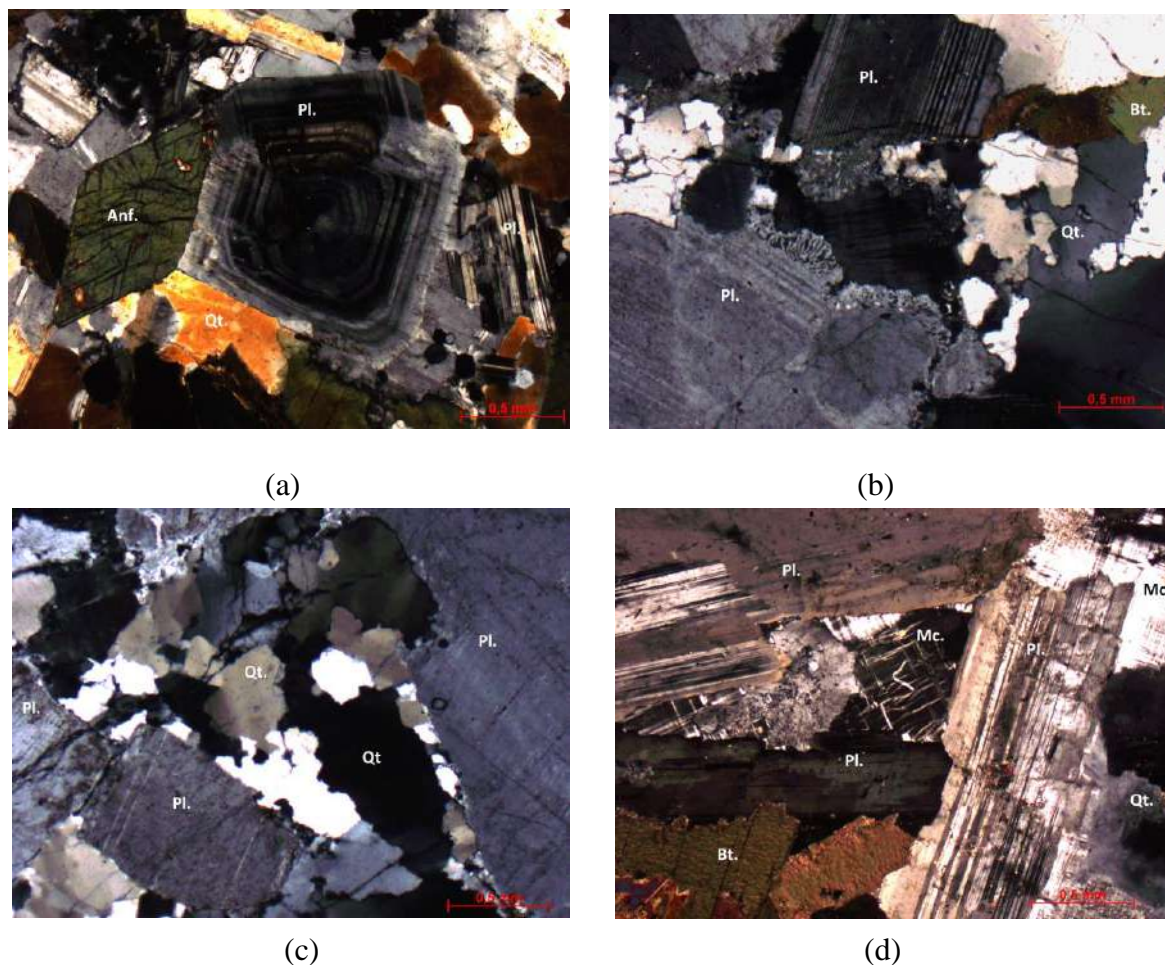


Figura 17: (a) Cristal de plagioclásio zonado em rocha com textura ígnea bem preservada e anfibólio euédrico. (b) Intercrescimento de quartzo vermicular na borda de cristais de plagioclásio. (c) Evidência de quartzo recristalizado em rochas da fácies sul. (d) Microclina anédrica ocupando espaços entre cristais de plagioclásio.

O feldspato alcalino é menos frequente nessas rochas, ocorrendo sob forma anédrica (Figura 17-d) como mineral de preenchimento de interstício, exibe típica geminação *tartan*, pode atingir tamanhos de até 3 mm e incluir cristais de plagioclásio, biotita e anfibólio.

A biotita ocorre como cristais subédricos sobre crescendo cristais de anfibólio, ou como cristais isolados comumente alterados para clorita preferencialmente nos planos de clivagem e associados a minerais secundários, como epidoto e titanita (Figura 18-a,b). O

tamanho dos cristais varia desde submilimétrico a 3 mm, exibem pleocroísmo variando desde marrom a castanho esverdeado e apresentam inclusões de opacos e apatita.

O anfibólio predominante é a hornblenda. Os cristais exibem pleocroísmo variando entre castanho e verde escuro, apresentam-se frequentemente geminados e ocorrem preferencialmente isolados com hábito losangular mostrando duas direções distintas de clivagens (Figura 17-a) ou como cristais subédricos sobrecrescidos em relíctos de piroxênios (Figura 18-c,d). Os grãos atingem tamanhos de até 2 mm.

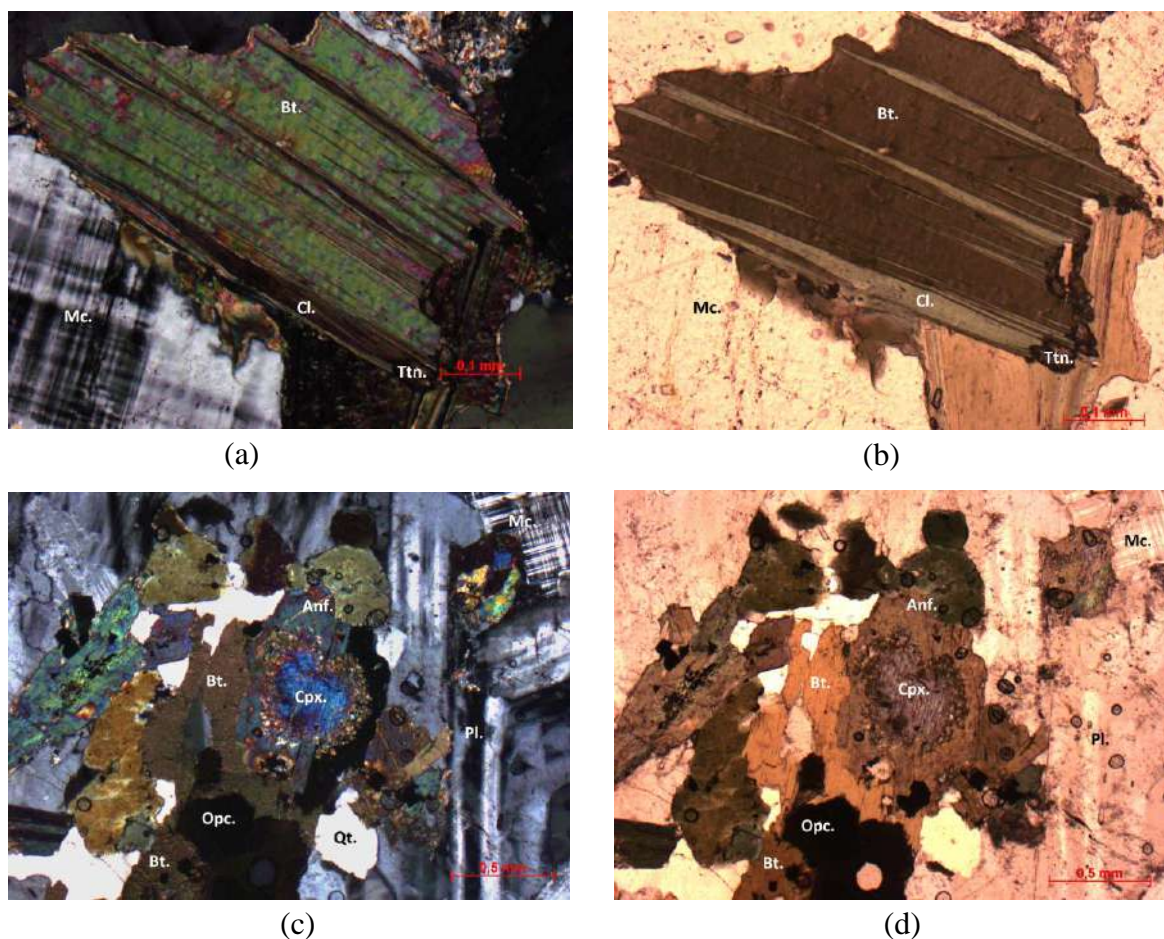


Figura 18: (a) Biotita cloritizada associada a cristais submilimétricos de titanita. Nicóis X. (b) Biotita cloritizada associada a cristais submilimétricos de titanita. Nicóis //. (c) Cristais de anfibólio sobrecrescidos em cristais de piroxênio alterado. Nicóis X. (d) Cristais de anfibólio sobrecrescidos em cristais de piroxênio alterado. Nicóis //.

O piroxênio predominante nessas rochas é o clinopiroxênio, que frequentemente ocorre alterado, com hábito nodular e preservado em cristais de anfibólio. Também ocorrem como cristais isolados subédricos de tamanhos submilimétricos alterados para carbonato e associados a minerais opacos, possivelmente ilmenita e magnetita.

A titanita ocorre como mineral acessório nessas rochas, mas pode ser vista como mineral secundário associado à biotita, epidoto e clorita. Os cristais primários de titanita apresentam-se prismáticos euédricos com tamanhos desde submilimétrico até 1 mm, enquanto os secundários apresentam-se subédricos e com tamanho submilimétrico.

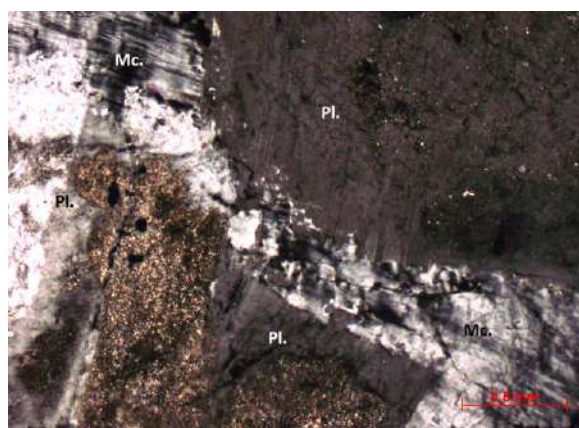
A apatita ocorre sob a forma de inclusões em alguns minerais essenciais como plagioclásio e biotita e possui tamanho submilimétrico. O epidoto aparece como mineral secundário pouco frequente, presente principalmente em cristais de plagioclásio ou associado à biotita e titanita.

O granodiorito pertencente à fácies central apresenta textura equigranular, granulação média e índice de cor entre 11 e 15%, sendo as fases máficas representadas por anfibólio e biotita. Os demais minerais essenciais que os compõem são plagioclásio, K-feldspato e quartzo; os acessórios são titanita, apatita e opacos; e os secundários são epidoto, clorita e sericita.

O plagioclásio apresenta-se subédrico, com hábito tabular alongado, tamanho variando de 3 a 6 mm, exibe geminação polissintética e em determinados cristais, principalmente em seus núcleos, ocorre a presença de minerais de alteração como sericita e epidoto, devido ao processo de saussuritização. A existência de microfraturas e microfalhas é pouco frequente (Figura 19-d). É comum a ocorrência de algumas texturas de desequilíbrio como corrosão da borda de grãos (Figura 19-a) e gerações diferentes de plagioclásio (Figura 19-e,f).

O feldspato alcalino, reconhecido como microclina pela presença de geminação *tartan*, apresenta-se anédrico, atingindo tamanhos de até 4 mm e incluindo cristais de plagioclásio (Figura 19-b), biotita, anfibólio e titanita. É possível observar no contato entre grãos de microclina o intercrescimento com quartzo.

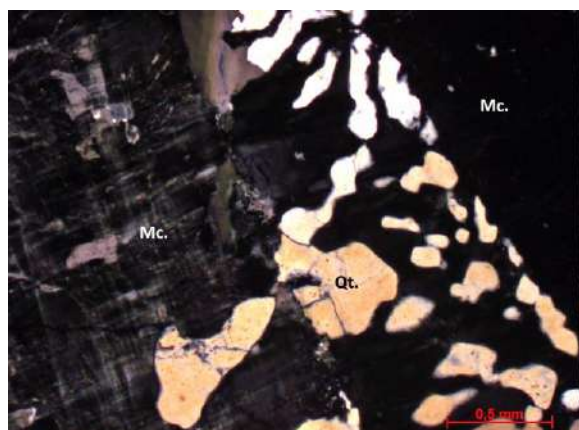
Os cristais de quartzo possuem tamanho médio de aproximadamente 2 mm, são anédricos com hábito granular, às vezes apresentando extinção ondulante. Podem estar fraturados e ocorrerem intercrescidos com feldspato alcalino definindo uma textura gráfica (Figura 19-c).



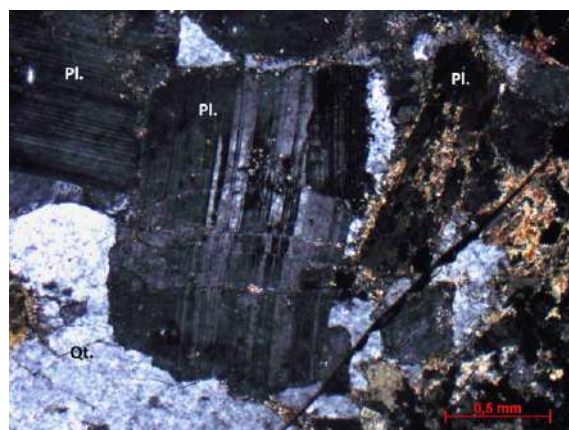
(a)



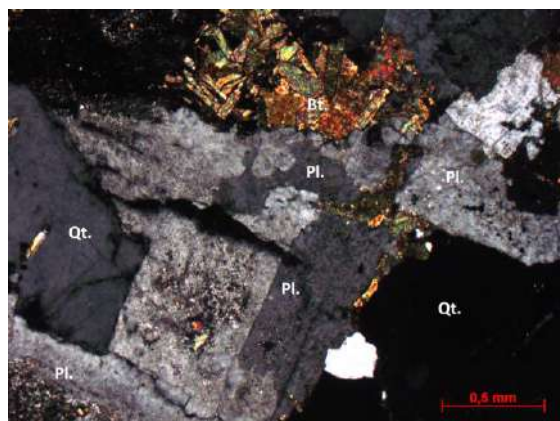
(b)



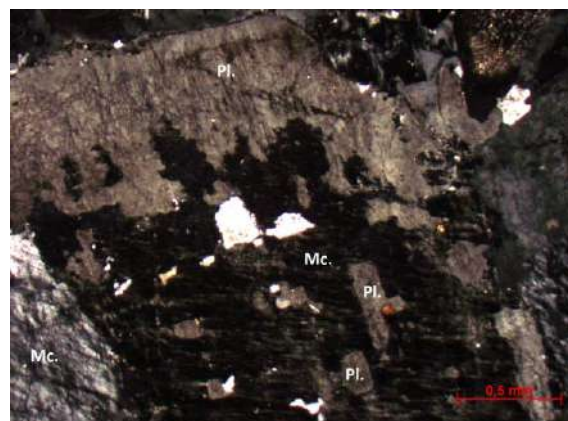
(c)



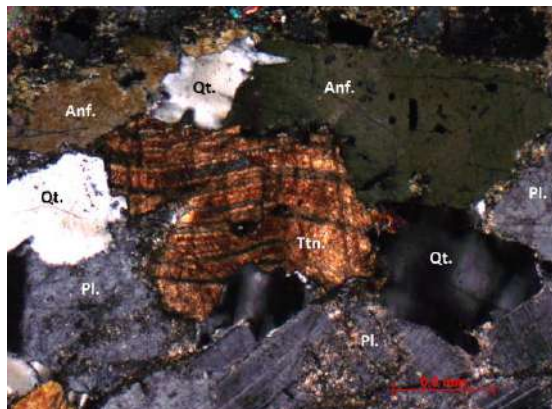
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 19: (a) Borda corroída de plagioclásio – feição de desequilíbrio. Nicóis X. (b) Microclina anédrica incluindo cristais de plagioclásio. (c) Intercrescimento gráfico no contato entre dois cristais de microclina. (d) Plagioclásio apresentando microfraturas. (e) Diferentes gerações de plagioclásio atestando para uma textura de desequilíbrio. (f) Diferentes gerações de plagioclásio. (g) Titanita com geminação arqueada.

A biotita ocorre em aglomerados ou isoladamente e não define nenhuma orientação preferencial de grãos. Os cristais são lamelares, variam desde subédricos a anédricos, possuem pleocroísmo bege e apresentam tamanhos de aproximadamente 2 mm.

Os cristais de anfibólio são anédricos e frequentemente apresentam-se geminados, exibem pleocroísmo verde e possuem dimensões que variam de 0,5 mm a 1 mm. São de hábito granular e abrigam inclusões de titanita e minerais opacos. Podem ocorrer isoladamente ou em aglomerados associados à biotita e epidoto, normalmente aparece como mineral acessório nessas rochas.

Os cristais de titanita variam de subédricos a euédricos, com tamanhos que variam de submilimétrico a 1 mm. Podem ocorrer isoladamente, assumindo algumas vezes hábito losangular, ou associados à biotita e hornblenda em agregados. É possível observar em raros grãos a presença de geminação levemente arqueada (Figura 19-g), bem como a presença de veios de epidoto (clinozoisita). Possuem inclusões de apatita e opacos. A apatita ocorre como mineral acessório incluso em cristais de plagioclásio, titanita e biotita.

Epidoto, clorita e sericita ocorrem como minerais secundários. O epidoto é produto de alteração hidrotermal de plagioclásio associado à sericita, e também preenche veios que cortam minerais como microclina e titanita. A clorita ocorre como alteração de minerais ferromagnesianos.

A fácies norte compreende predominantemente monzogranitos e subordinadamente quartzo-sienito e granodioritos. Os monzogranitos apresentam textura inequigranular porfirítica, por vezes equigranular, possui granulação variando entre média e fina, e índice de cor entre 3 e 7%, sendo as fases máficas representadas predominantemente por biotita e anfibólio subordinadamente. Os demais minerais essenciais que os compõem são plagioclásio, K-feldspato e quartzo; os acessórios são titanita, apatita e opacos e os secundários são epidoto, clorita, muscovita e sericita.

Os cristais de plagioclásio são subédricos, com hábito tabular alongado e atingem tamanhos de até 6 mm. Alguns cristais exibem geminação polissintética, porém a grande maioria dos cristais apresentam seus núcleos substituídos por minerais secundários, principalmente epidoto e sericita, devido ao processo de saussuritização (Figura 20-c), impedindo o reconhecimento das geminações. É possível identificar nessas rochas a ocorrência de pelo menos duas gerações de plagioclásio, representadas por cristais primários saussuritizados, por vezes, inclusos em fenocristais anédricos de microclina (Figura 20-d) e cristais de plagioclásio sobrecrecidos na microclina (Figura 20-b).

O feldspato alcalino presente nessas rochas é a microclina com sua típica geminação *tartan* e mais raramente *carlsbad*, ocorre como fenocristais anédricos, com tamanhos de até 1,3 cm, incluindo cristais de plagioclásio saussuritizado, microclina, quartzo, biotita, anfibólio e titanita. A existência de microclina inclusa em fenocristais de microclina (Figura 20-e) indica que este mineral pode ter sido formado em etapas distintas de resfriamento do magma. A presença de pertita flame é comum, bem como a presença de alguns minerais de alteração, como sericita.

O quartzo mostra-se subédrico, com tamanho variando de submilimétrico a 3,0 mm e hábito granular. Em algumas lâminas, os cristais apresentam-se fraturados e com extinção levemente ondulante. Apresentam inclusões de apatita, plagioclásio e minerais

opacos. Observa-se localmente em intercrescimento mirmequítico na borda de cristais de plagioclásio.

Os cristais de biotita exibem pleocroísmo variando entre bege e marrom, ocorrem isoladamente com hábito granular, por vezes cloritizada e associada a epidoto, e/ou pode aparecer em aglomerado, com hábito lamelar e associada a anfibólio e opacos. Seu tamanho varia desde submilimétrica a 1 mm.

O anfibólio ocorre como mineral acessório nessas rochas, possui tamanho submilimétrico e pode ocorrer subédrico associado a opacos e biotita e menos frequentemente com hábito losangular.

A titanita aparece em cristais euédricos, com hábito losangular e ocorre como inclusão em plagioclásio e microclina (Figura 20-a). Seu tamanho varia de submilimétrico a 1,0 mm. Alguns cristais apresentam inclusões de opacos.

O epidoto é frequentemente encontrado nas rochas da fácies norte, principalmente como produto de alteração hidrotermal de plagioclásio. A maioria das rochas pertencentes a esta fácies encontra-se hidrotermalizada, o que é atestado por grãos de plagioclásio recobertos por epidoto e sericita, assim como biotita cloritizada.

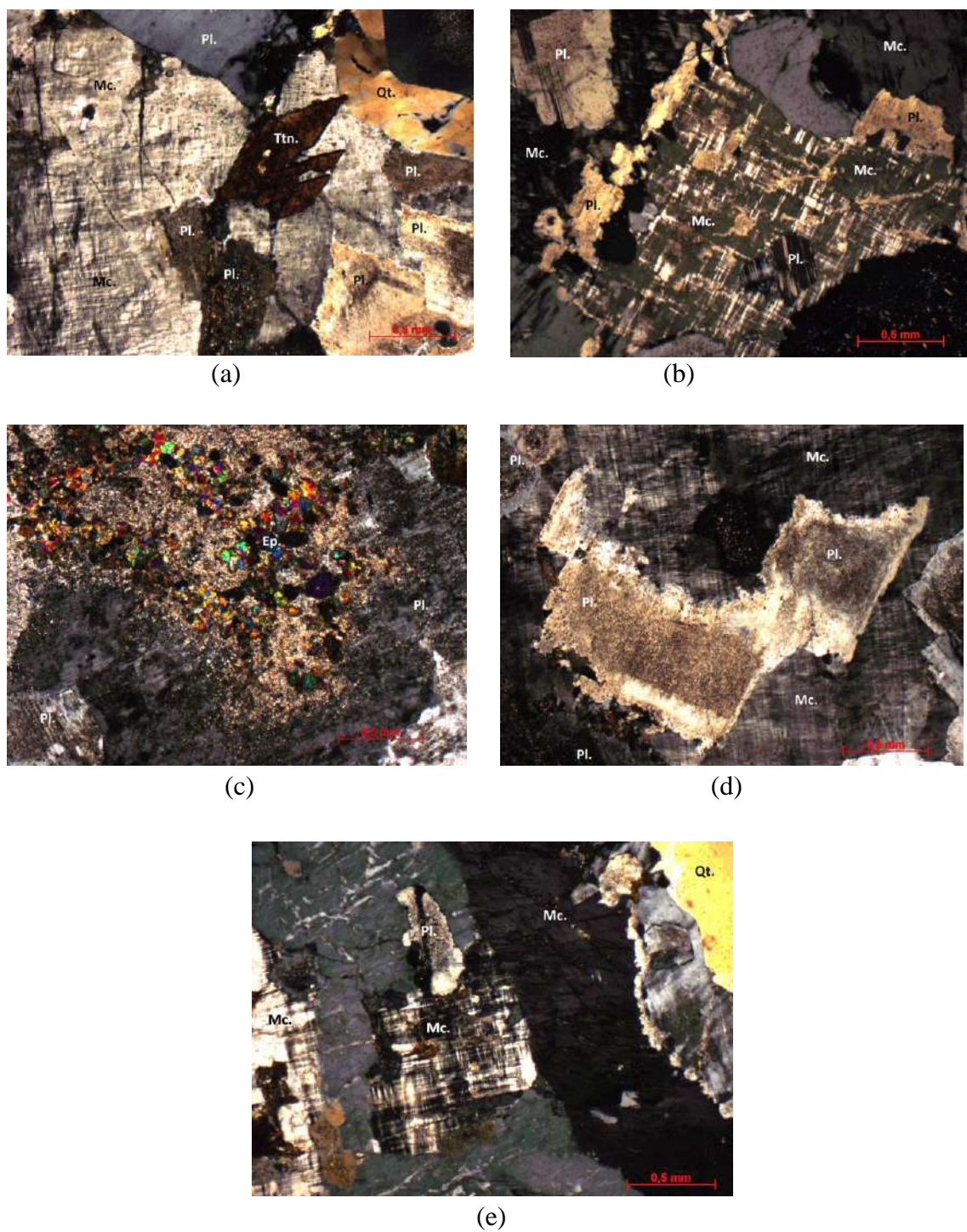


Figura 20: (a) Cristais de titanita com hábito losangular inclusos em microclina. (b) Diferentes gerações de plagioclásio: incluído em cristal de microclina e sobrecrecido na borda do mesmo. (c) Plagioclásio com núcleo praticamente substituído por cristais secundários de epidoto e sericita. (d) Plagioclásio saussuritizado, incluído em fenocristal de microclina. (e) Inclusão de microclina em fenocristal de microclina.

A classificação das rochas do corpo flechal foi determinada de acordo com a composição, obtida por contagem modal feita com 800 pontos e que possibilitou a confecção da Tabela 7.

Os resultados obtidos com a composição modal permitiram a elaboração do gráfico QAP (Figura 21), com as porcentagens normalizadas de quartzo (Q), K-feldspato (A) e plagioclásio (P). O gráfico mostra diferentes grupos de rochas de acordo com a mudança de fácies, porém todas com tendência cálcio-alcálica, como observado também nas rochas do corpo trovão (Lameyre & Bowden, 1982). A diferença na composição das rochas sugere a existência de um fracionamento magmático, caracterizado por um aumento da acidez das rochas e aumento do teor de álcalis em direção a fácies norte. As rochas da fácies norte estão associadas a uma maior diferenciação magmática sendo representadas por granodioritos, monzogranitos e quartzo sienito subordinadamente, enquanto as rochas da fácies central são compostas por granodiorito, quartzo-diorito e quartzo-monzodiorito. As rochas que compõem a fácies sul são menos evoluídas e representadas por quartzo-diorito, quartzo-monzodiorito, granodiorito e monzogranito.

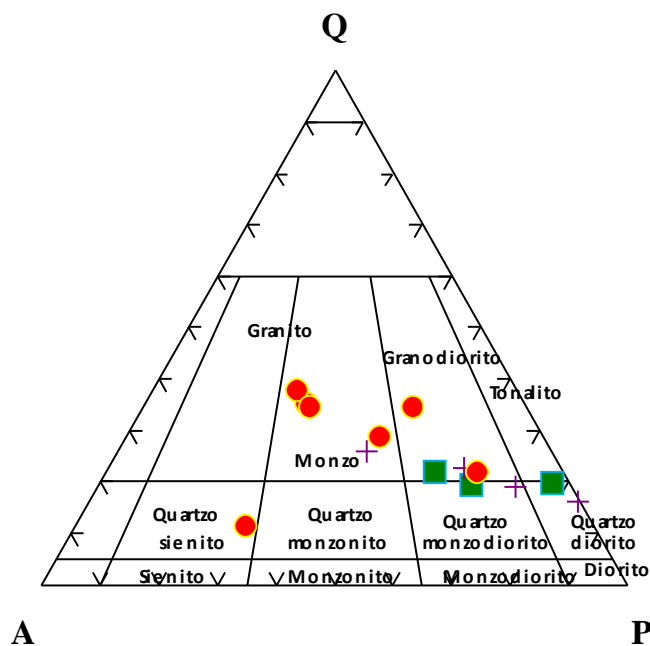


Figura 21: Gráfico QAP correspondente às rochas do Corpo Flechal. Cruz: rochas da fácies sul; quadrado cheio: rochas da fácies central; e círculo cheio: rochas da fácies norte.

| Fácies | Lâminas | Litologia | % Qtzo. | % Plag. | % K-felds. | % Biot. | % Epid. | % Anfib. | % Titan. | % Prx. | % Clor. | % Apat. | % Opac. | % Trem. | % Zirc. | % Musc. | Q | A | P |
|---------|-----------|----------------------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|
| Sul | HG-R-23D | Quartzo-diorito | 11,3 | 57,7 | 0,1 | 6,5 | 1,7 | 13 | - | 0,3 | 4,3 | 0,2 | 2,3 | 2 | 0,1 | 0,1 | 16,3 | 0,1 | 83,5 |
| Sul | MF-R-01 | Quartzo-monzodiorito | 14 | 52,1 | 6,8 | 7,6 | - | 17 | - | 0,3 | 0,5 | - | 1,5 | - | - | - | 19,2 | 9,2 | 71,4 |
| Sul | MF-R-07 | Granodiorito | 18,1 | 48,7 | 13,2 | 6,1 | - | 10,2 | - | 1,1 | 0,5 | 0,3 | 1,2 | - | 0,2 | - | 22,6 | 16,6 | 60,8 |
| Sul | HG-R-16B | Monzogranito | 21 | 34,3 | 25,2 | 5,8 | 1,1 | 8,8 | 1,5 | - | 0,6 | 0,1 | 1,2 | - | - | - | 26 | 31,4 | 42,6 |
| Central | HG-R-99A | Quartzo-diorito | 14,1 | 55 | 2,1 | 9,1 | 1,1 | 12,6 | 2 | 0,1 | 1,3 | 0,2 | 2,1 | - | - | - | 19,8 | 3 | 77,2 |
| Central | HG-R-78 | Quartzo-monzodiorito | 17,3 | 56,7 | 15,3 | 2,8 | 0,1 | 2,1 | 2,2 | - | 1,3 | 0,2 | 1,5 | - | - | - | 19,4 | 17,1 | 63,5 |
| Central | HG-R-66A | Granodiorito | 19,7 | 50,5 | 19,8 | 2,5 | - | 3,3 | 1,8 | - | 0,1 | 0,1 | 1,7 | - | - | - | 21,8 | 22 | 56,2 |
| Norte | HG-R-47C | Monzogranito | 26,1 | 39,3 | 25,1 | 4,2 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | - | 0,8 | - | 0,7 | - | - | - | 28,8 | 27,8 | 43,4 |
| Norte | HG-R-69 | Quartzo-sienito | 10,7 | 27,7 | 56,1 | 1,5 | 0,1 | 1,2 | 0,5 | 0,3 | 0,7 | - | 0,8 | - | - | - | 11,3 | 59,4 | 29,3 |
| Norte | MF-R-193 | Granodiorito | 20,6 | 60,1 | 14 | 0,2 | 0,6 | - | 0,7 | - | 1,7 | 0,5 | 1 | 0,3 | 0,1 | - | 21,8 | 14,8 | 63,4 |
| Norte | MF-160 | Granodiorito | 30 | 40 | 17 | 4,2 | 2,7 | - | 1 | - | 3,5 | 0,2 | 1,1 | - | 0,1 | - | 34,5 | 19,5 | 46 |
| Norte | MF-R-191C | Monzogranito | 31,7 | 26,1 | 33,8 | 4,5 | 0,8 | - | - | - | 0,8 | 0,2 | 1,6 | - | - | - | 34,6 | 36,9 | 28,5 |
| Norte | LM-R-25 | Monzogranito | 33,5 | 26 | 35,2 | - | 2,1 | - | - | - | 2,1 | 0,2 | 0,6 | - | 0,1 | - | 35,4 | 37,2 | 27,4 |
| Norte | MF-R-191A | Monzogranito | 37,7 | 24,6 | 37,7 | 0,3 | - | - | - | - | - | - | 1,7 | - | - | 0,2 | 37,7 | 37,7 | 24,6 |

Tabela 7: Composição modal do Corpo Flechal, Suíte Pedra Pintada. Legenda: Qt.- Quartzo; Pl.- Plagioclásio; K-fs.- K-feldspato; Bt.- Biotita; Ep.- Epidoto; Anf.- Anfibólio; Ttn.- Titanita; Prx.- Piroxênio; Clor.- Clorita; Ap.- Apatita; Opac.- Opacos; Act.-Actinolita; Zrn.- Zircão; Musc.- Muscovita.

7. GEOQUÍMICA

7.1. Introdução

Os resultados geoquímicos aqui apresentados para os corpos Trovão e Flechal, foram extraídos de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010), com o intuito de se obter dados geoquímicos representativos e comparativos entre os dois corpos, possibilitando o esclarecimento de suas principais características litogeoquímicas.

Fraga & Dreher (2010 In: CPRM, 2010) descreveram os aspectos geoquímicos da Suíte Pedra Pintada a partir da avaliação de 33 análises químicas de elementos maiores, menores e traços, incluindo terras raras. De acordo com as mencionadas autoras, o alto Al_2O_3 e CaO, as baixas razões $FeO^*/(FeO^*+MgO)$ e razões $A/CNK < 1,1$, dentre outras características, permitem classificar a suíte como cálcio-alcálica, predominantemente de alto K_2O . O caráter enriquecido em elementos LIL (Rb, Ba, Th, U e K) em relação às ETR leves e elementos HFS, e o empobrecimento de ETR pesadas em relação às leves, típicos de suítes cálcio-alcálicas (Brown *et al.*, 1984) também são características observadas na SPP. Fraga & Dreher (2010, In CPRM 2010) interpretaram a variação composicional verificada nos corpos Trovão e Flechal como decorrente da atuação de diversos processos, sendo preponderante a cristalização fracionada. As autoras defendem que o empobrecimento gradativo em TiO_2 , FeO^* , MnO , MgO , CaO e P_2O_5 com o aumento do conteúdo em sílica deve refletir o fracionamento de plagioclásio, silicatos máficos, óxidos de Fe-Ti e apatita. O comportamento dos elementos-traço, em especial das razões Sr/Ba, Rb/Sr e Rb/Ba sugerem que o fracionamento de plagioclásio, e talvez também de piroxênios e anfibólio, foi importante na evolução das amostras com menos de 65% de sílica, enquanto para as amostras mais enriquecidas em sílica o fracionamento de feldspato alcalino passou a controlar a evolução magmática da SPP. O comportamento dos ETR sugere o fracionamento mais pronunciado de piroxênios e apatita (esta especialmente no corpo Trovão onde o fracionamento de P_2O_5 é mais acentuado) que, de acordo com Hanson (1978), pode contribuir para a evolução de anomalias positivas de Eu contrabalançando o efeito do fracionamento de feldspatos. O fracionamento de piroxênios deve ter contribuído para o maior empobrecimento em ETR médias e pesadas observado nas fácies sul e central. Por outro lado, o efeito da cristalização

fracionada de hornblenda, ao empobrecer o líquido em ETR médias (Hanson, 1978), deve estar relacionado aos padrões observados em algumas amostras das fácies norte dos corpos Trovão e Flechal (Figuras 4.5.8 e 4.5.9).

No presente trabalho serão rapidamente abordadas 26 análises químicas do acervo de dados apresentados em Fraga & Dreher (2010, In: CPRM 2010) que se referem às amostras petrograficamente estudadas no capítulo 6. Vale ressaltar que o enfoque deste trabalho corresponde ao detalhamento petrográfico, estudos de química mineral, de geotermometria e geobarometria destas rochas.

As tabelas 8, 9 e 10 ilustram os resultados analíticos aqui considerados sendo doze pertencentes ao corpo Trovão (três da fácies sul: LM-34A, LM-39 e HG-122A; seis da fácies central: LM-93B, HG-124B, MF-135, HG-01B, MF-162 e HG-01A; e três da fácies norte: MF-100, LM-91 e MF-92). As outras quatorze amostras pertencem ao corpo Flechal, das quais quatro são da fácies sul (HG-R-23D, MF-R-01, MF-R-07 e HG-G-16B), três da fácies central (HG-R-99A, HG-R-78 e HG-R-66A) e sete da fácies norte (HG-R-47C, HG-R-69, MF-R-193, MF-160, MF-R-191C, LM-R-25 e MF-R-191A), como mostram as tabelas 11,12 e 13.

Como previamente caracterizado, os corpos Trovão e Flechal mostram um aumento progressivo no conteúdo de SiO_2 , bem como um decréscimo evidente dos teores de Fe_2O_3 , MgO e CaO e acréscimo de K_2O em direção aos granitóides mais evoluídos das fácies norte dos corpos Trovão e Flechal. As médias aritméticas encontradas para estes óxidos, nos dois corpos, apresentaram valores contrastantes. Os valores obtidos de Fe_2O_3 , MgO , CaO e K_2O foram, respectivamente, de 4,47%; 1,8%; 3,56% e 3,67% para o corpo Flechal e de 5,42% ; 2,35%; 4,64% e 2,80%, para o corpo Trovão. Para os teores de SiO_2 notam-se intervalos com grande variação que vão de 52,06% a 67,30% para o corpo Trovão e de 56,56% a 73,64% para o corpo Flechal. As médias obtidas para determinados elementos-traços como Ba, Rb e Sr, apresentaram uma considerada diferença, representada por valores, respectivamente, de 1117,8 ppm, 159,4 ppm e 445,84 ppm para o corpo Flechal e de 939,85 ppm, 98,3 ppm e 640,3 ppm para o corpo Trovão.

Os corpos Trovão e Flechal são, portanto, algo distintos entre si, sobretudo em relação aos teores de SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Ba, Rb e Sr. Entretanto, de uma

forma geral, o conjunto total de amostras analisadas exibe as mesmas tendências de empobrecimento em TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 e MnO , bem como de enriquecimento em K_2O em direção às fácies mais evoluídas.

| Amostras | Fácies Sul | | | Fácies Central | | | | | Fácies Norte | | | |
|----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | LM-34A QZ-DI | LM-39 QZ-DI | HG-122A TON | LM-93B GND | HG-124B GND | MF-135 TON | HG-01B TON | MF-162 GND | HG-01A GND | MF-100 GND | LM-91 GND | MF-92 MZG |
| La | 56,50 | 55,10 | 25,30 | 89,80 | 45,30 | 47,30 | 28,10 | 20,10 | 32,40 | 46,60 | 52,30 | 59,90 |
| Ce | 124,70 | 133,20 | 54,30 | 145,10 | 99,00 | 93,50 | 57,30 | 83,70 | 71,80 | 96,50 | 122,70 | 116,80 |
| Pr | 15,59 | 15,49 | 6,64 | 17,64 | 10,07 | 10,79 | 6,59 | 5,50 | 7,64 | 9,72 | 12,55 | 11,95 |
| Nd | 66,90 | 64,70 | 27,10 | 62,90 | 37,20 | 39,00 | 21,70 | 20,20 | 27,80 | 32,90 | 45,40 | 39,40 |
| Sm | 12,80 | 12,70 | 4,80 | 10,00 | 6,10 | 6,90 | 4,00 | 4,30 | 5,20 | 5,00 | 8,60 | 5,70 |
| Eu | 3,23 | 3,08 | 1,65 | 1,84 | 1,23 | 1,41 | 0,86 | 1,07 | 0,99 | 1,18 | 1,31 | 0,99 |
| Gd | 9,82 | 10,24 | 3,62 | 6,92 | 4,47 | 4,79 | 2,81 | 3,74 | 3,92 | 3,35 | 6,97 | 4,72 |
| Tb | 1,55 | 1,59 | 0,49 | 1,09 | 0,73 | 0,75 | 0,48 | 0,69 | 0,52 | 0,56 | 1,37 | 0,77 |
| Dy | 8,58 | 8,82 | 2,51 | 5,95 | 3,68 | 4,38 | 2,76 | 4,04 | 3,22 | 3,01 | 7,99 | 4,17 |
| Ho | 1,56 | 1,61 | 0,41 | 1,08 | 0,70 | 0,84 | 0,52 | 0,83 | 0,68 | 0,57 | 1,84 | 0,86 |
| Er | 4,58 | 4,46 | 1,15 | 3,06 | 2,16 | 2,81 | 1,66 | 2,59 | 1,72 | 1,91 | 5,51 | 2,54 |
| Tm | 0,65 | 0,62 | 0,17 | 0,48 | 0,36 | 0,42 | 0,25 | 0,45 | 0,25 | 0,29 | 0,80 | 0,45 |
| Yb | 3,63 | 3,75 | 1,16 | 2,80 | 2,29 | 2,62 | 1,83 | 2,59 | 1,73 | 2,11 | 5,11 | 2,58 |
| Lu | 0,59 | 0,55 | 0,13 | 0,40 | 0,35 | 0,40 | 0,35 | 0,44 | 0,24 | 0,39 | 0,78 | 0,45 |
| FeO*/(FeO* + MgO) | 0,72 | 0,72 | 0,66 | 0,56 | 0,65 | 0,57 | 0,66 | 0,69 | 0,67 | 0,71 | 0,69 | 0,68 |
| FeO* | 10,46 | 9,49 | 5,34 | 5,47 | 5,15 | 5,10 | 4,09 | 2,54 | 3,00 | 2,88 | 3,44 | 2,65 |
| K2O/Na2O | 0,34 | 0,48 | 0,24 | 0,87 | 1,01 | 1,01 | 0,53 | 0,88 | 0,55 | 0,61 | 0,96 | 1,23 |
| Rb/Sr | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,16 | 0,23 | 0,29 | 0,10 | 0,22 | 0,13 | 0,12 | 0,33 | 0,67 |
| Rb/Ba | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,14 | 0,15 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,14 | 0,18 |
| Sr/Ba | 1,17 | 0,73 | 2,69 | 0,46 | 0,60 | 0,54 | 0,93 | 0,46 | 0,72 | 0,64 | 0,42 | 0,28 |
| La/YbN | 10,41 | 9,83 | 14,58 | 21,45 | 13,23 | 12,07 | 10,27 | 5,19 | 12,52 | 14,77 | 6,84 | 15,53 |
| La/SmN | 2,72 | 2,68 | 3,25 | 5,54 | 4,58 | 4,23 | 4,33 | 2,88 | 3,84 | 5,75 | 3,75 | 6,48 |
| Gd/YbN | 2,16 | 2,18 | 2,49 | 1,97 | 1,56 | 1,46 | 1,22 | 1,15 | 1,81 | 1,27 | 1,09 | 1,46 |
| Eu/Eu* | 0,88 | 0,83 | 1,21 | 0,68 | 0,72 | 0,75 | 0,78 | 0,82 | 0,67 | 0,88 | 0,52 | 0,58 |
| Ga/Al | 2,66 | 2,57 | 2,15 | 2,00 | 2,24 | 2,24 | 2,51 | 1,91 | 2,52 | 2,11 | 2,20 | 1,97 |

Tabela 8: Análise química de elementos terras raras (% em peso), de amostras de rochas do Corpo Trovão. Extraído e modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). QZ= Quartzo-diorito; GND= Granodiorito; TON=Tonalito; MZG= Monzogranito. FeO*-Calculado em base anidra a partir do Fe₂O₃.

| Amostras | Fácies Sul | | | Fácies Central | | | | | Fácies Norte | | | |
|--------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | LM-34A QZ-DI | LM-39 QZ-DI | HG-122A TON | LM-93B GND | HG-124B GND | MF-135 TON | HG-01B TON | MF-162 GND | HG-01A GND | MF-100 GND | LM-91 GND | MF-92 MZG |
| SiO ₂ | 52,06 | 53,97 | 58,04 | 58,78 | 63,44 | 63,63 | 64,62 | 66,70 | 66,71 | 65,25 | 66,05 | 67,30 |
| Al ₂ O ₃ | 16,75 | 16,55 | 18,89 | 15,41 | 15,08 | 14,70 | 16,29 | 17,10 | 16,49 | 17,29 | 15,71 | 15,61 |
| Fe ₂ O ₃ | 11,41 | 10,35 | 5,83 | 5,95 | 5,63 | 5,59 | 4,45 | 2,80 | 3,29 | 3,16 | 3,76 | 2,90 |
| MgO | 3,67 | 3,47 | 2,51 | 4,05 | 2,61 | 3,75 | 1,97 | 1,11 | 1,40 | 1,12 | 1,42 | 1,16 |
| CaO | 7,86 | 7,36 | 6,88 | 5,85 | 4,52 | 3,94 | 3,52 | 3,24 | 3,35 | 3,68 | 3,20 | 2,35 |
| Na ₂ O | 3,60 | 3,48 | 4,51 | 3,71 | 3,28 | 3,33 | 4,29 | 4,13 | 4,43 | 4,85 | 3,94 | 3,84 |
| K ₂ O | 1,23 | 1,66 | 1,07 | 3,22 | 3,32 | 3,37 | 2,27 | 3,63 | 2,45 | 2,98 | 3,77 | 4,73 |
| TiO ₂ | 1,42 | 1,23 | 0,64 | 0,67 | 0,64 | 0,59 | 0,63 | 0,37 | 0,46 | 0,40 | 0,54 | 0,50 |
| P ₂ O ₅ | 1,05 | 0,93 | 0,44 | 0,66 | 0,23 | 0,20 | 0,19 | 0,18 | 0,23 | 0,26 | 0,21 | 0,25 |
| MnO | 0,20 | 0,20 | 0,08 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,08 |
| P.F | 0,50 | 0,60 | 0,90 | 1,20 | 1,00 | 0,60 | 1,40 | 0,40 | 0,80 | 0,70 | 1,00 | 1,10 |
| Total | 99,77 | 99,81 | 99,80 | 99,64 | 99,85 | 99,84 | 99,69 | 99,74 | 99,70 | 99,77 | 99,70 | 99,82 |

Tabela 9: Análise química de óxidos (% em peso), de amostras de rochas do corpo Trovão. Extraído e modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). QZ= Quartzo-diorito; GND= Granodiorito; TON=Tonalito; MZG= Monzogranito.

| Amostras | Fácies Sul | | | Fácies Central | | | | Fácies Norte | | | | |
|----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | LM-34A QZ-DI | LM-39 QZ-DI | HG-122A TON | LM-93B GND | HG-124B GND | MF-135 TON | HG-01B TON | MF-162 GND | HG-01A GND | MF-100 GND | LM-91 GND | MF-92 MZG |
| Mo | 0,50 | 0,40 | 0,10 | 0,70 | 0,10 | 0,10 | < 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,70 | 0,20 |
| Cu | 64,10 | 67,90 | 43,40 | 169,60 | 50,80 | 34,90 | 9,60 | 26,60 | 11,60 | 24,50 | 12,10 | 49,70 |
| Pb | 2,50 | 2,50 | 1,10 | 4,90 | 8,20 | 7,50 | 2,60 | 4,10 | 3,30 | 4,50 | 9,60 | 12,60 |
| Zn | 83,00 | 81,00 | 49,00 | 29,00 | 52,00 | 60,00 | 64,00 | 37,00 | 61,00 | 51,00 | 46,00 | 43,00 |
| Ni | 28,00 | 26,00 | 16,00 | 40,00 | 9,00 | 54,00 | 45,00 | 14,00 | 19,00 | 9,00 | 11,00 | 10,00 |
| Sc | 29,00 | 30,00 | 11,00 | 18,00 | 15,00 | 14,00 | 8,00 | 8,00 | 7,00 | 7,00 | 13,00 | 8,00 |
| Ba | 664,50 | 1023,60 | 453,70 | 1295,00 | 822,40 | 797,00 | 815,90 | 1241,80 | 931,30 | 1063,10 | 980,40 | 1189,50 |
| Be | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 3,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00 |
| Co | 25,90 | 25,40 | 16,90 | 17,50 | 15,10 | 19,50 | 12,30 | 6,50 | 7,90 | 6,40 | 8,40 | 6,70 |
| Cs | 1,50 | 2,10 | 1,90 | 3,90 | 3,90 | 6,90 | 3,40 | 6,00 | 4,40 | 2,10 | 3,00 | 7,00 |
| Ga | 23,60 | 22,50 | 21,50 | 16,30 | 17,90 | 17,40 | 21,60 | 17,30 | 22,00 | 19,30 | 18,30 | 16,30 |
| Hf | 3,20 | 4,90 | 3,00 | 5,40 | 7,50 | 5,60 | 5,20 | 6,90 | 5,20 | 6,80 | 8,00 | 11,90 |
| Nb | 12,60 | 14,00 | 3,70 | 9,50 | 12,80 | 15,30 | 8,10 | 12,50 | 12,90 | 9,90 | 16,40 | 17,70 |
| Rb | 35,80 | 52,40 | 32,90 | 95,40 | 114,80 | 122,80 | 73,80 | 124,70 | 87,60 | 83,20 | 137,00 | 219,60 |
| Sn | 1,00 | 2,00 | <1,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | <1,00 | 3,00 | 2,00 |
| Sr | 775,20 | 746,60 | 1220,70 | 601,80 | 495,30 | 428,90 | 755,60 | 569,80 | 670,10 | 679,60 | 409,60 | 328,20 |
| Ta | 0,80 | 0,70 | 0,30 | 0,60 | 1,00 | 1,40 | 0,60 | 1,30 | 0,90 | 0,90 | 1,10 | 1,30 |
| Th | 8,80 | 8,30 | 2,50 | 13,30 | 19,50 | 13,50 | 6,30 | 17,00 | 9,20 | 12,50 | 20,00 | 29,30 |
| U | 1,70 | 2,00 | 0,90 | 3,60 | 2,70 | 3,50 | 2,40 | 1,50 | 1,30 | 2,00 | 4,10 | 4,00 |
| V | 178,00 | 168,00 | 102,00 | 158,00 | 112,00 | 93,00 | 78,00 | 39,00 | 45,00 | 39,00 | 56,00 | 60,00 |
| W | 0,60 | 0,50 | 0,40 | 1,50 | 0,20 | 0,50 | 0,80 | 0,50 | 0,50 | 1,70 | 0,30 | 1,10 |
| Zr | 117,60 | 179,90 | 109,70 | 198,70 | 282,70 | 207,70 | 175,60 | 232,00 | 190,40 | 270,90 | 248,80 | 424,50 |
| Y | 45,80 | 46,60 | 12,30 | 32,70 | 21,80 | 26,90 | 16,40 | 26,30 | 18,40 | 19,60 | 63,60 | 27,10 |

Tabela 10: Análise química de elementos-traço (expresso em ppm) de amostras de rochas do corpo Trovão. Extraído e modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). QZ= Quartzo-diorito; GND= Granodiorito; TON=Tonalito; MZG= Monzogranito.

| Amostras | Fácies Sul | | | | Fácies Central | | | | Fácies Norte | | | | | |
|-------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|----------------|
| | HG-23D QZ-DI | MF-01 QZ-MZDI | MF-07 GND | HG-16B MZG | HG-99A QT-DI | HG-78 QZ-MZDI | HG-66A GND | HG-47C MZG | HG-69 QZ-SNT | MF-193 GND | MF-160 GND | MF-191C MZG | LM-25 MZG | MF-191A MZG |
| La | 29,00 | 45,20 | 49,50 | 23,10 | 54,50 | 55,10 | 60,40 | 50,30 | 55,60 | 171,10 | 25,20 | 64,60 | 90,30 | 69,30 |
| Ce | 61,00 | 102,60 | 113,60 | 106,40 | 119,40 | 131,40 | 108,10 | 81,40 | 116,30 | 173,70 | 92,10 | 161,40 | 166,40 | 97,60 |
| Pr | 7,38 | 11,77 | 13,76 | 8,93 | 14,25 | 13,72 | 12,65 | 8,62 | 12,77 | 37,71 | 8,28 | 13,50 | 19,46 | 13,20 |
| Nd | 28,20 | 42,20 | 49,50 | 32,30 | 52,40 | 55,60 | 42,90 | 31,60 | 44,30 | 139,00 | 30,50 | 45,80 | 70,90 | 42,40 |
| Sm | 5,20 | 8,30 | 10,00 | 6,90 | 10,30 | 9,60 | 7,70 | 5,10 | 7,80 | 25,10 | 5,20 | 8,10 | 12,90 | 6,20 |
| Eu | 1,41 | 1,88 | 1,90 | 1,58 | 2,06 | 1,84 | 1,55 | 0,95 | 1,36 | 4,78 | 0,84 | 1,23 | 1,86 | 1,01 |
| Gd | 4,15 | 6,16 | 7,39 | 4,64 | 8,30 | 7,25 | 6,42 | 4,25 | 5,82 | 22,51 | 3,52 | 5,35 | 10,88 | 3,56 |
| Tb | 0,71 | 0,91 | 1,08 | 0,89 | 1,37 | 1,26 | 1,03 | 0,73 | 1,01 | 4,22 | 0,64 | 1,00 | 1,94 | 0,71 |
| Dy | 3,65 | 5,76 | 5,74 | 4,72 | 7,18 | 7,30 | 6,52 | 3,98 | 5,71 | 22,21 | 3,22 | 5,74 | 11,49 | 4,28 |
| Ho | 0,74 | 1,08 | 1,03 | 0,95 | 1,50 | 1,45 | 1,27 | 0,89 | 1,21 | 4,42 | 0,60 | 1,16 | 2,35 | 0,84 |
| Er | 2,01 | 3,02 | 3,20 | 3,25 | 4,94 | 4,19 | 4,45 | 2,63 | 3,85 | 12,13 | 1,75 | 4,13 | 7,70 | 3,38 |
| Tm | 0,27 | 0,42 | 0,48 | 0,46 | 0,72 | 0,64 | 0,71 | 0,40 | 0,60 | 1,96 | 0,29 | 0,73 | 1,21 | 0,68 |
| Yb | 2,02 | 3,21 | 2,78 | 3,08 | 4,52 | 3,96 | 4,38 | 2,99 | 3,93 | 11,79 | 1,72 | 4,89 | 7,64 | 5,22 |
| Lu | 0,31 | 0,51 | 0,41 | 0,49 | 0,69 | 0,61 | 0,75 | 0,50 | 0,69 | 1,81 | 0,28 | 0,83 | 1,28 | 1,00 |
| FeO*/(FeO* + MgO) | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,72 | 0,71 | 0,72 | 0,70 | 0,69 | 0,72 | 0,72 | 0,70 | 0,74 | 0,75 | 0,82 |
| FeO* | 7,68 | 6,51 | 7,18 | 5,24 | 6,10 | 3,70 | 3,42 | 2,72 | 3,33 | 3,13 | 2,63 | 1,99 | 2,84 | 0,84 |
| K2O/Na2O | 0,38 | 0,50 | 0,96 | 0,89 | 0,77 | 0,83 | 0,96 | 1,06 | 1,06 | 1,04 | 1,09 | 1,06 | 1,03 | 1,31 |
| Rb/Sr | 0,04 | 0,07 | 0,18 | 0,22 | 0,16 | 0,21 | 0,46 | 0,51 | 0,69 | 0,63 | 0,39 | 0,82 | 0,84 | 4,84 |
| Rb/Ba | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,20 | 0,14 | 0,30 | 0,28 | 1,51 |
| Sr/Ba | 1,21 | 1,10 | 0,49 | 0,32 | 0,35 | 0,30 | 0,38 | 0,34 | 0,36 | 0,32 | 0,34 | 0,37 | 0,34 | 0,31 |
| La/YbN | 9,60 | 9,42 | 11,91 | 5,02 | 8,06 | 9,30 | 9,22 | 11,25 | 9,46 | 9,70 | 9,80 | 8,83 | 7,90 | 8,88 |
| La/SmN | 3,44 | 3,36 | 3,05 | 2,07 | 3,26 | 3,54 | 4,84 | 6,09 | 4,40 | 4,21 | 2,99 | 4,92 | 4,32 | 6,90 |
| Gd/YbN | 1,64 | 1,53 | 2,12 | 1,20 | 1,46 | 1,46 | 1,17 | 1,13 | 1,18 | 1,52 | 1,63 | 0,87 | 1,14 | 0,54 |
| Eu/Eu* | 0,93 | 0,80 | 0,68 | 0,85 | 0,68 | 0,67 | 0,87 | 0,34 | 0,62 | 0,61 | 0,60 | 0,37 | 0,34 | 0,31 |
| Ga/Al | 2,17 | 2,35 | 2,24 | 2,00 | 2,30 | 2,24 | 2,19 | 2,33 | 2,40 | 2,37 | 2,34 | 2,14 | 2,50 | 2,32 |

Tabela 11: Análise química de elementos terras raras (% em peso) de amostras de rochas do corpo Flechal. Extraído e modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). QZ-DI= Quartzo-diorito; QZ-MZDI=Quartzo-monzodiorito; GND= Granodiorito; MZG= Monzogranito; QZ-SNT=Quartzo-sienito. FeO*-Calculado em base anidra a partir do Fe₂O₃.

| Amostras | Fácies Sul | | | Fácies Central | | | Fácies Norte | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------|--------------|----------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|----------------|
| | HG-23D QZ-DI | MF-01 QZ-MZDI | MF-07 GND | HG-16B MZG | HG-99A QT-DI | HG-78 QZ-MZDI | HG-66A GND | HG-47C MZG | HG-69 QZ-SNT | MF-193 GND | MF-160 GND | MF-191C MZG | LM-25 MZG | MF-191A MZG |
| SiO ₂ | 56,56 | 57,65 | 58,27 | 61,09 | 58,94 | 63,51 | 65,57 | 68,80 | 67,86 | 68,00 | 68,73 | 68,82 | 69,22 | 73,64 |
| Al ₂ O ₃ | 16,36 | 16,73 | 14,57 | 16,51 | 16,77 | 17,05 | 15,98 | 14,71 | 14,54 | 14,98 | 15,12 | 15,93 | 14,49 | 14,35 |
| Fe ₂ O ₃ | 8,34 | 7,15 | 7,86 | 5,70 | 6,62 | 4,05 | 3,74 | 2,97 | 3,64 | 3,39 | 2,87 | 2,19 | 3,10 | 0,93 |
| MgO | 4,07 | 3,77 | 4,44 | 1,86 | 2,28 | 1,34 | 1,34 | 1,12 | 1,21 | 1,06 | 1,02 | 0,65 | 0,86 | 0,18 |
| CaO | 7,22 | 7,16 | 6,33 | 4,62 | 4,75 | 4,09 | 3,12 | 2,57 | 2,04 | 1,84 | 1,99 | 2,02 | 1,68 | 0,46 |
| Na ₂ O | 3,43 | 3,82 | 3,27 | 3,79 | 4,26 | 4,29 | 4,23 | 3,75 | 4,16 | 3,88 | 3,78 | 4,30 | 4,11 | 4,13 |
| K ₂ O | 1,29 | 1,91 | 3,14 | 3,38 | 3,29 | 3,55 | 4,05 | 3,99 | 4,43 | 4,02 | 4,13 | 4,54 | 4,23 | 5,39 |
| TiO ₂ | 0,71 | 0,82 | 0,86 | 0,89 | 0,84 | 0,63 | 0,53 | 0,41 | 0,55 | 0,52 | 0,59 | 0,51 | 0,50 | 0,15 |
| P ₂ O ₅ | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,43 | 0,31 | 0,25 | 0,18 | 0,20 | 0,17 | 0,12 | 0,17 | 0,14 | 0,03 |
| MnO | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,04 | 0,11 | 0,11 | 0,05 |
| P.F | 1,10 | 0,20 | 0,40 | 1,30 | 1,30 | 0,80 | 0,90 | 1,30 | 1,10 | 1,90 | 1,40 | 0,60 | 1,40 | 0,70 |
| Total | 99,68 | 99,82 | 99,74 | 99,67 | 99,63 | 99,72 | 99,81 | 99,88 | 99,83 | 99,84 | 99,79 | 99,84 | 99,85 | 100,00 |

Tabela 12: Análise química de óxidos (% em peso) de amostras de rochas do corpo Flechal. Extraído e modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010).

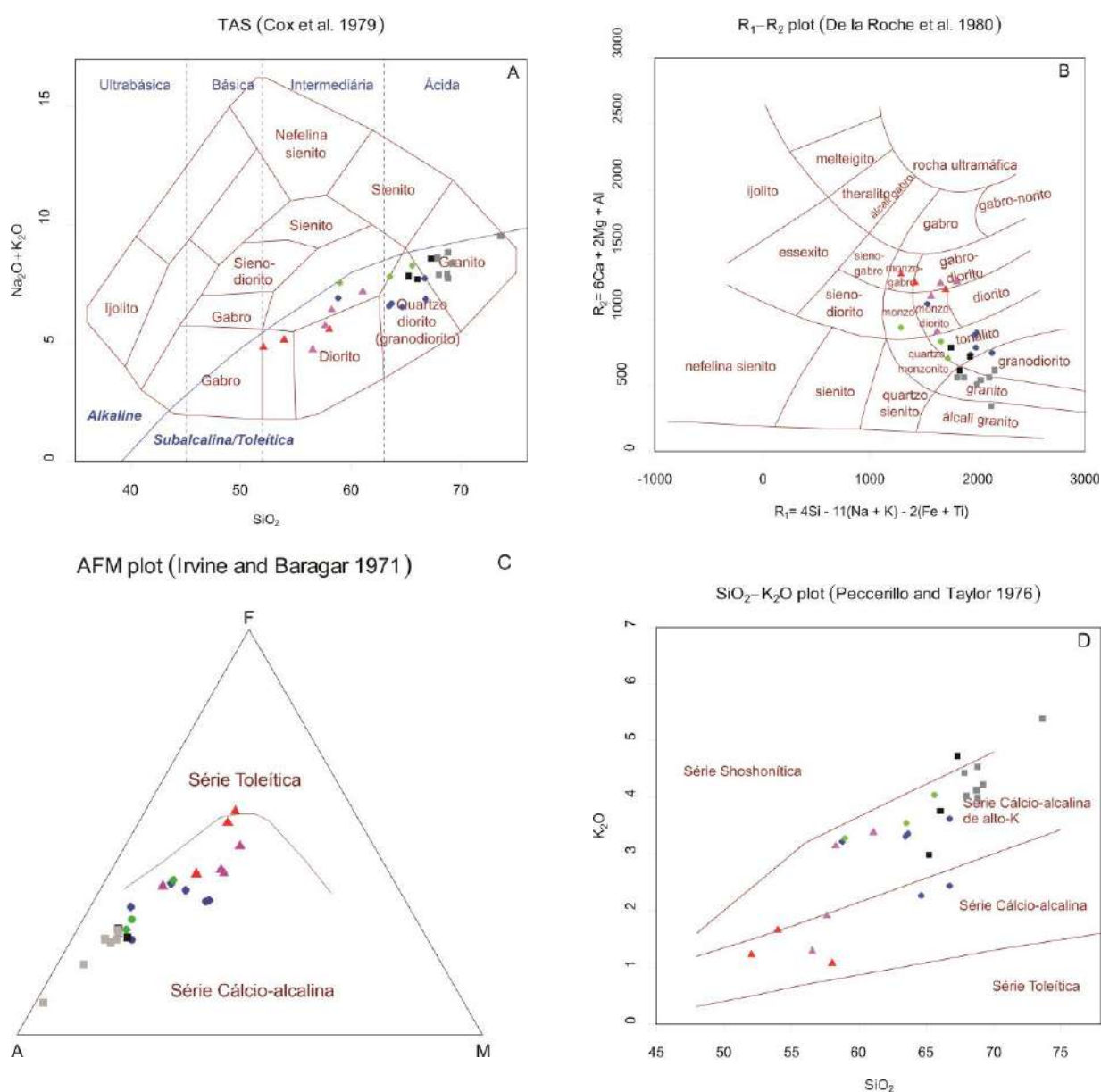
QZ-DI= Quartzo-diorito; QZ-MZDI=Quartzo-monzodiorito; GND= Granodiorito; MZG= Monzogranito; QZ-SNT=Quartzo-sienito.

| Amostras | Fácies Sul | | | | Fácies Central | | | | Fácies Norte | | | | | |
|----------|-----------------|------------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|----------------|
| | HG-23D QZ-DI | MF-01 QZ-MZDI | MF-07 GND | HG-16B MZG | HG-99A QT-DI | HG-78 QZ-MZDI | HG-66A GND | HG-47C MZG | HG-69 QZ-SNT | MF-193 GND | MF-160 GND | MF-191C MZG | LM-25 MZG | MF-191A MZG |
| Mo | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,80 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,30 | 2,40 | 1,60 | 0,30 | 0,40 | 1,00 | 0,10 |
| Cu | 31,90 | 30,50 | 96,00 | 30,20 | 8,70 | 14,40 | 4,50 | 3,10 | 52,40 | 4,30 | 50,30 | 2,80 | 16,80 | 0,30 |
| Pb | 1,70 | 2,70 | 8,10 | 6,10 | 5,10 | 5,40 | 11,00 | 11,90 | 12,60 | 12,80 | 11,00 | 15,40 | 33,40 | 19,30 |
| Zn | 49,00 | 32,00 | 39,00 | 53,00 | 86,00 | 50,00 | 48,00 | 51,00 | 48,00 | 99,00 | 50,00 | 58,00 | 131,00 | 25,00 |
| Ni | 41,00 | 25,00 | 31,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 5,00 | 13,00 | 25,00 | 15,00 | 9,00 | 5,00 | 9,00 | 5,00 |
| Sc | 19,00 | 21,00 | 28,00 | 13,00 | 17,00 | 11,00 | 11,00 | 7,00 | 10,00 | 8,00 | 7,00 | 6,00 | 7,00 | 3,00 |
| Ba | 661,90 | 671,00 | 1202,50 | 1661,80 | 1668,10 | 1869,40 | 976,00 | 930,10 | 902,00 | 1016,60 | 1300,60 | 891,20 | 731,00 | 227,80 |
| Be | 2,00 | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 3,00 | 2,00 | 3,00 | 5,00 | 2,00 | 5,00 | 2,00 | 3,00 |
| Co | 24,00 | 19,40 | 22,70 | 14,20 | 16,50 | 9,60 | 9,10 | 7,10 | 6,80 | 7,10 | 7,70 | 4,90 | 5,80 | 1,50 |
| Cs | 2,70 | 3,20 | 4,80 | 3,70 | 2,30 | 2,70 | 2,40 | 3,00 | 4,70 | 4,60 | 3,80 | 9,50 | 11,30 | 5,70 |
| Ga | 18,80 | 20,80 | 17,30 | 17,50 | 20,40 | 19,30 | 18,50 | 18,10 | 18,50 | 18,80 | 18,70 | 18,00 | 19,20 | 17,60 |
| Hf | 5,20 | 11,90 | 4,30 | 7,60 | 12,70 | 7,50 | 8,90 | 7,10 | 9,70 | 7,40 | 9,70 | 8,60 | 9,20 | 5,30 |
| Nb | 5,30 | 11,40 | 11,80 | 15,30 | 12,70 | 12,10 | 12,20 | 13,20 | 18,00 | 21,20 | 14,30 | 22,70 | 24,20 | 21,40 |
| Rb | 30,80 | 49,80 | 104,10 | 116,40 | 92,30 | 117,60 | 169,00 | 160,60 | 189,50 | 203,40 | 176,00 | 271,30 | 207,30 | 343,60 |
| Sn | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 3,00 | 2,00 | 3,00 | 5,00 | 3,00 | 2,00 |
| Sr | 801,70 | 740,00 | 592,70 | 534,60 | 583,60 | 564,20 | 371,30 | 313,20 | 323,30 | 323,30 | 447,20 | 329,40 | 246,30 | 71,00 |
| Ta | 0,40 | 0,70 | 0,80 | 1,20 | 0,70 | 0,80 | 1,20 | 1,00 | 1,50 | 1,60 | 1,10 | 2,30 | 2,30 | 2,30 |
| Th | 3,60 | 12,50 | 18,00 | 15,30 | 11,10 | 8,30 | 27,10 | 30,10 | 29,50 | 23,00 | 12,70 | 31,90 | 31,10 | 58,10 |
| U | 0,80 | 2,70 | 1,60 | 7,40 | 2,30 | 3,20 | 5,60 | 6,30 | 7,00 | 7,30 | 6,60 | 9,90 | 9,40 | 19,30 |
| V | 140,00 | 136,00 | 158,00 | 110,00 | 106,00 | 65,00 | 55,00 | 48,00 | 45,00 | 47,00 | 48,00 | 33,00 | 31,00 | 6,00 |
| W | 0,70 | 3,90 | 4,20 | 0,90 | 0,30 | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 4,80 | 0,60 | 1,00 | 0,90 | 3,30 | 1,70 |
| Zr | 216,40 | 395,70 | 131,90 | 279,90 | 524,90 | 266,10 | 293,50 | 221,90 | 285,20 | 220,00 | 325,10 | 273,50 | 293,10 | 125,80 |
| Y | 19,90 | 30,60 | 32,10 | 22,80 | 47,60 | 39,60 | 43,50 | 30,60 | 37,10 | 135,70 | 15,50 | 35,60 | 84,70 | 28,90 |

Tabela 13: Análise química de elementos-traço (expresso em ppm) de amostras de rochas do corpo Flechal. Extraído e modificado de Fraga *et al.*, (2010, In: CPRM 2010). QZ-DI= Quartzo-diorito; QZ-MZDI=Quartzo-monozodiorito; GND= Granodiorito; MZG= Monzogranito; QZ-SNT=Quartzo-sienito.

7.2. Diagramas classificatórios

As rochas da Suíte Pedra Pintada (SPP) se posicionam, de acordo com o diagrama TAS de Cox *et al.*, (1979) nos campos do granito, quartzo diorito e diorito. Ao fazer uso do diagrama R1-R2 de La Roche *et al.*, (1980) elas variam de gabro e diorito a granodiorito e granito (Figura 22-B). São classificadas como subcalcinas, pertencente a Série Cálcio-alcálica (Figura 22-C), variando de rochas intermediárias a ácidas (Figura 22-A), são metaluminosas a marginalmente peraluminosas (Figura 22-E) e a maioria pertence à série cálcio-alcálica de alto K (Figura 22-D).



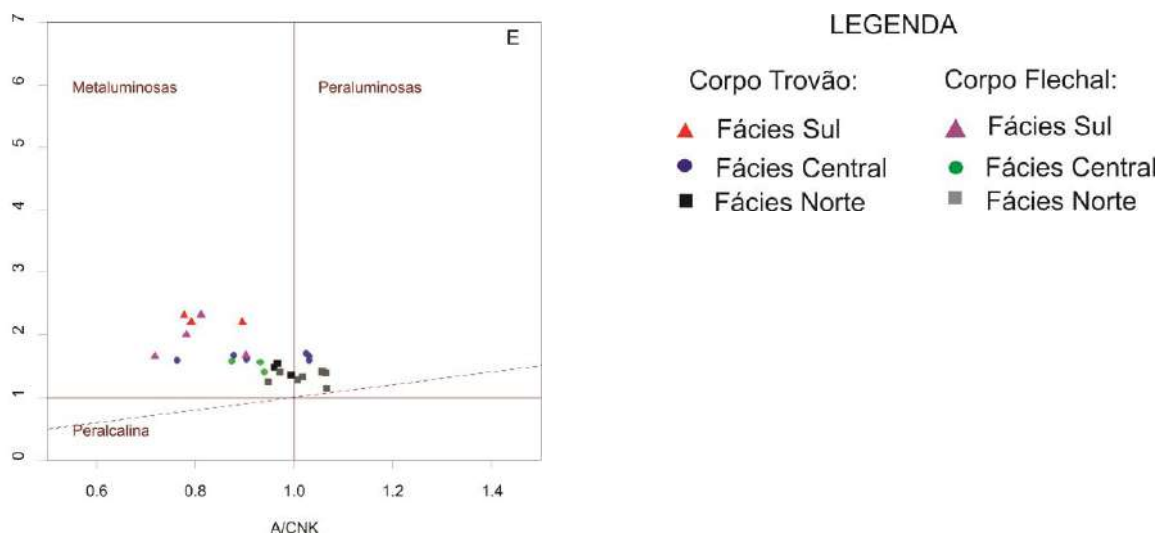


Figura 22: Diagramas discriminantes para as rochas da Suíte Pedra Pintada. A- Diagrama TAS para rochas plutônicas de Cox *et al.*, (1979). B- Diagrama $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$ de Peccerillo & Taylor (1976). C- An-Ab-Or (O'Connor, 1965). D- AFM (Irvine & Baragar, 1971). E- $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$.

7.3. Diagramas de Variação de Harker

De maneira geral, observa-se nos diagramas de variação de Harker, para as rochas do corpo Trovão e Flechal (Figura 23), uma disposição de *trends* negativos para TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 e FeO , e positivo para K_2O . Para os diagramas de Na_2O e Al_2O_3 a dispersão é alta, impedindo o estabelecimento de um padrão para as amostras. Foram constatados nos diagramas de TiO_2 , CaO , P_2O_5 , FeO , MgO e K_2O dois diferentes *trends* a partir do aumento de SiO_2 , que encontram-se dispostos entre os intervalos 50-60% e 61-75%. Há uma diferença na declividade da reta que ilustra essas tendências nestes intervalos, marcando assim uma quebra no *trend*. Essas diferentes tendências podem indicar a evolução de um magma que teve como principal processo atuante a cristalização fracionada. Provavelmente, quando o magma atingiu concentrações de SiO_2 próximas de 60% houve uma modificação da proporção das fases fracionadas. Baseado neste fato sugere-se possível fracionamento inicialmente em maiores proporções de minerais como ilmenita/titanomagnetita ou titanita, apatita, óxidos de ferro, piroxênio, plagioclásio, hornblenda e biotita. O aumento da concentração de K_2O , marcado no intervalo de 61-75% de SiO_2 , evidencia enriquecimento progressivo do magma nesse elemento, que a partir deste momento, passou a controlar a evolução magmática culminando com as amostras da fácies norte.

A correlação negativa de Sr (Figura 24) é similar ao comportamento do cálcio em função da afinidade geoquímica entre esses elementos. Tendências positivas para Rb sugere que durante a evolução do magma minerais enriquecidos nesses elementos não foram extraídos em grande proporção. Para os diagramas de Ba e Zr existe uma dispersão alta.

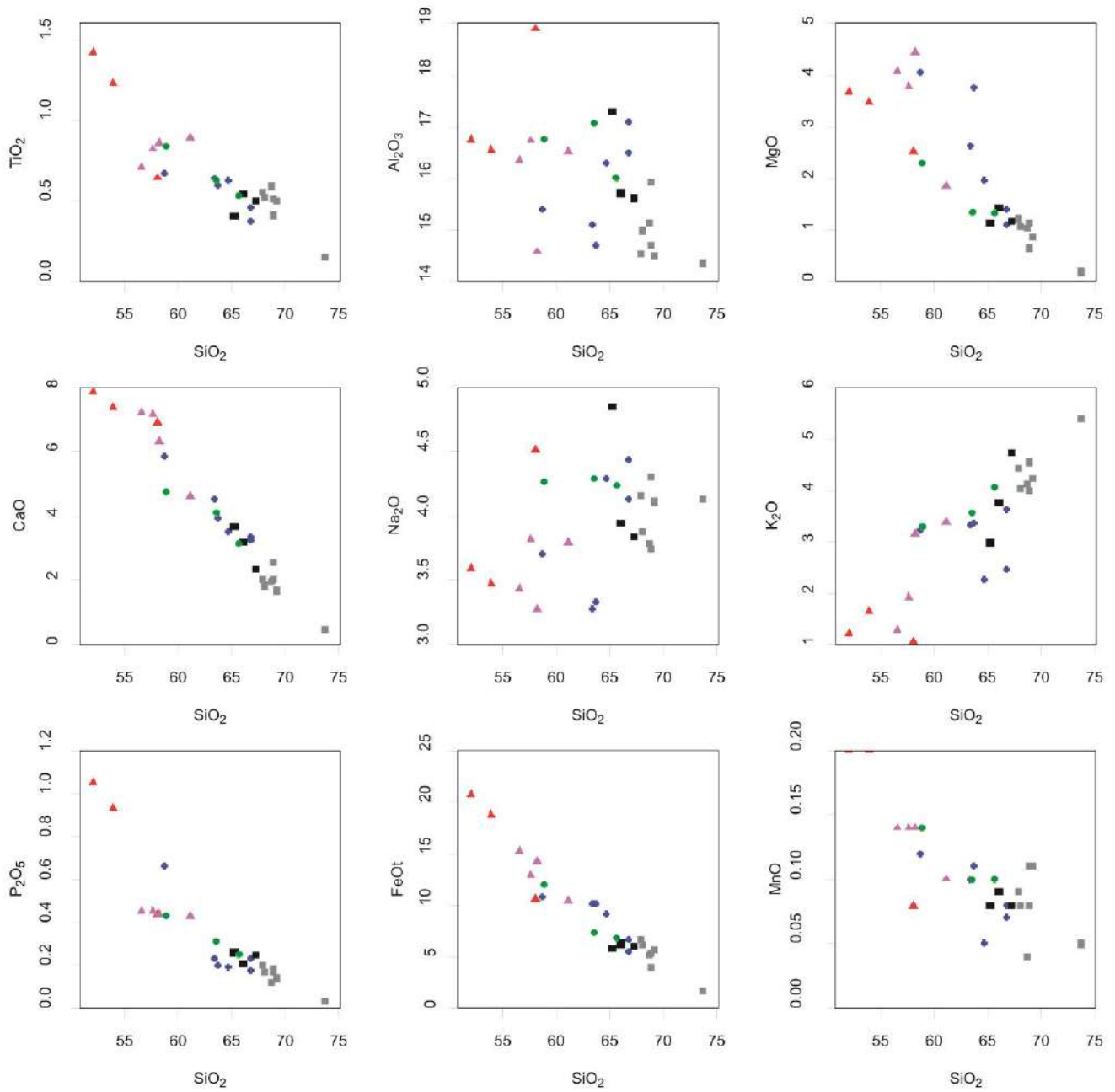
Através dos diagramas de variação consegue-se observar uma similaridade geoquímica no conjunto de amostras dos corpos Trovão e Flechal. Essas semelhanças indicam cogeneticidade entre os litotipos, permitindo inferir processos semelhantes na formação dessas rochas, que provavelmente tiveram sua evolução a partir de um mesmo magma primário.

7.4. Diagrama normalizado de ETR

Na Figura 25 é possível observar o comportamento dos elementos terras raras (ETRs) para as rochas da SPP. Os gráficos mostram um enriquecimento de ETRs leves em relação aos ETRs pesados, com razões La/Yb_N variando entre 7,5 e 17,8 para as rochas do corpo Flechal, e 7,76 e 32,1 para as rochas do corpo Trovão.

Os diagramas permitem a identificação de anomalias de Eu, que são mais proeminentes nas amostras da fácies norte e menos relevantes em direção às fácies central e sul, diferindo apenas em uma amostra da fácies sul. Estas anomalias podem estar associadas ao fracionamento de feldspato, já que o Eu é um elemento que substitui principalmente o Ca e o Sr em condições de baixa fugacidade de oxigênio, pois se torna bivalente, entrando assim na estrutura do plagioclásio. Outra possibilidade é a retenção de plagioclásio na fonte.

De uma forma geral, os padrões analisados para as rochas da fácies sul, central e norte dos dois corpos são bastante similares, sugerindo a existência de uma mesma fonte geradora para tais rochas.



LEGENDA

- | | |
|------------------|------------------|
| Corpo Trovão: | Corpo Flechal: |
| ▲ Fácies Sul | ▲ Fácies Sul |
| ● Fácies Central | ● Fácies Central |
| ■ Fácies Sul | ■ Fácies Norte |

Figura 23: Diagramas de Harker para elementos maiores para as rochas do corpo Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada.

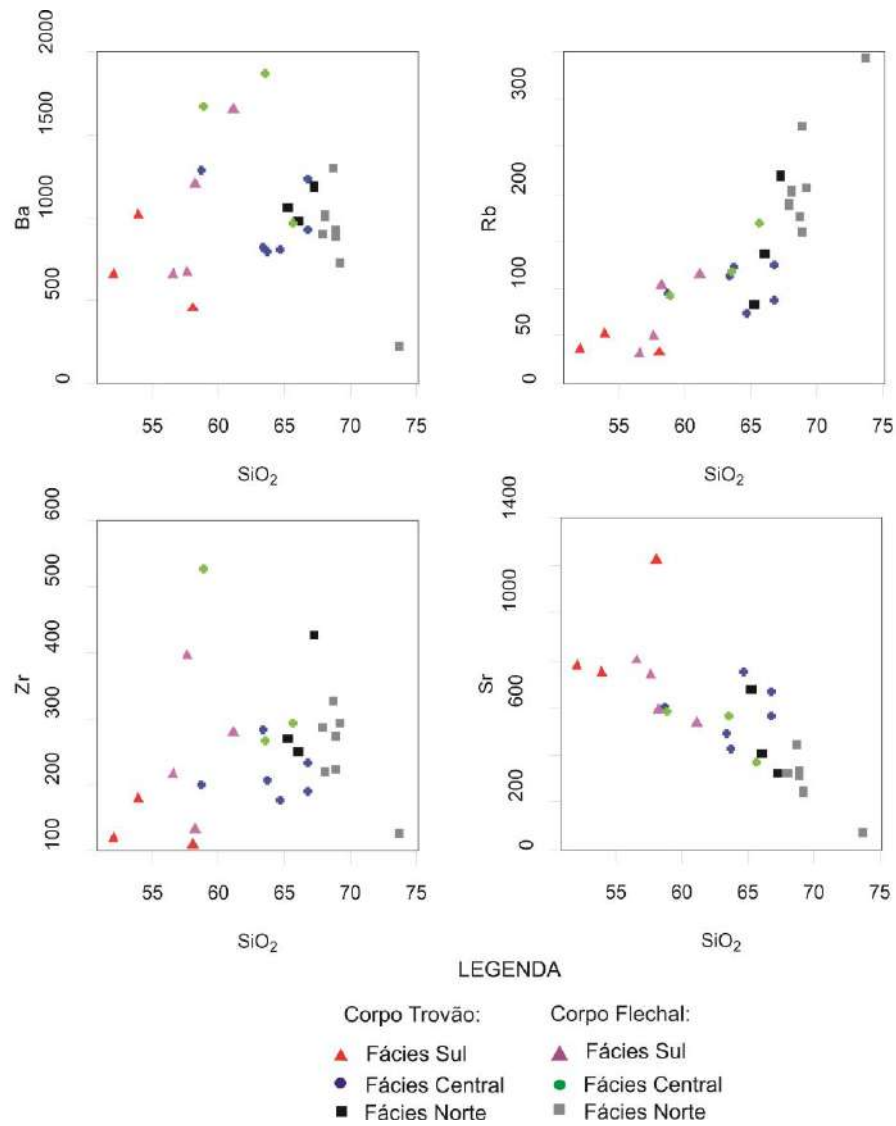
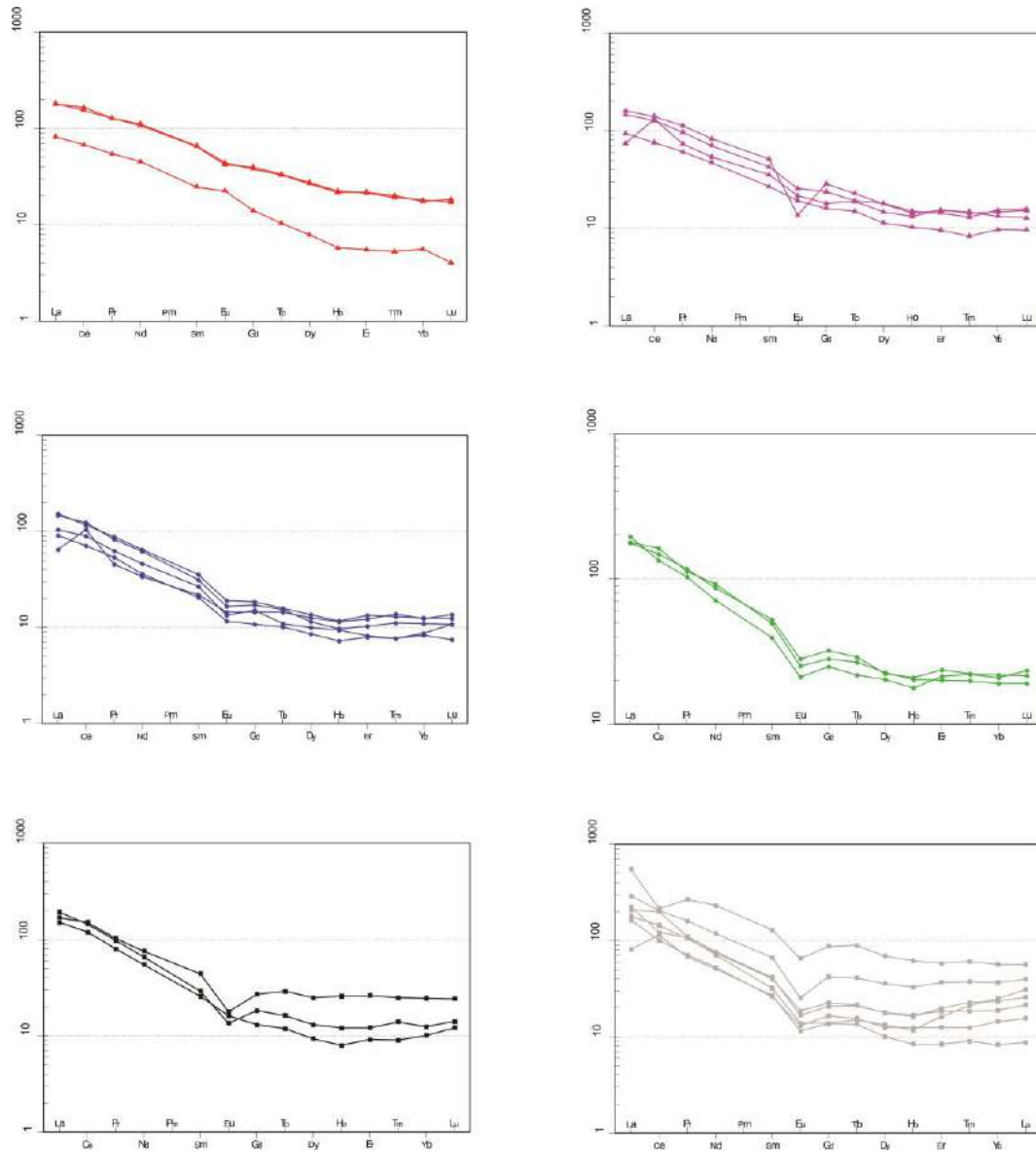


Figura 24: Diagramas de Harker para elementos-traço para as rochas do corpo Trovão e Flechal, Suíte Pedra Pintada.



LEGENDA

- | | |
|------------------|------------------|
| Corpo Trovão: | Corpo Flechal: |
| ▲ Fácies Sul | ▲ Fácies Sul |
| ● Fácies Central | ● Fácies Central |
| ■ Fácies Norte | ■ Fácies Norte |

Figura 25: Diagrama de ETR normalizado para condrito para as rochas da SPP (Boynton, 1984).

7.5. Petrogênese e ambiente tectônico

De acordo com o diagrama de Pearce *et al.*, (1984), as amostras apresentam-se distribuídas principalmente nos campos de granitóides de ambientes de arco vulcânico e intraplacas, e adicionalmente, segundo Perce (1996), compreendem o campo de rochas de ambiente pós colisionais (Figura 26).

O comportamento observado das amostras sugere que as mesmas possuem possivelmente uma herança de fonte gerada em ambiente de arco. Observa-se ainda que uma parte significativa das amostras das fácies norte dos corpos Trovão e Flechal encontram-se no campo das rochas intraplacas, em consonância com a proposta de que estas representam os termos mais evoluídos da Suíte Pedra Pintada.

De acordo com Fraga & Dreher (2010, In: CPRM 2010), as idades TDM Sm-Nd de 1978 e 2273 Ma e os valões de $\epsilon_{Nd}(T)$ entre +0,6 e +3,8, associadas a presença de zircões com herança riaciana, sugerem a participação de fontes crustais riacianas na formação do magma Pedra Pintada, sendo admitida também a contribuição de material juvenil. A assinatura de arco observada na SPP deve refletir a fusão parcial de material crustal com assinatura de subducção herdada do estágio pré-colisional representado pelo arco Trairão (Fraga & Dreher, 2010, In: CPRM 2010).

O intenso magmatismo cálcio-alcálico de alto K, típico do estágio pós-colisional em diversos orógenos, relaciona-se, de acordo com Bonin (2004) à instabilidade térmica no manto gerada pelo *slab breakoff* após a colisão. Este magmatismo se concentra ao longo de estreitas faixas alinhadas a importantes feições tectônicas (Oyhantçabal *et al.*, 2007 apud Fraga *et al.*, 2010, In: CPRM 2010). Tendo em vista tal cenário, o magmatismo cálcio-alcálico de alto K representado pela SPP no norte do estado de Roraima, se dispõe ao longo de uma faixa contínua ladeada a sul por um importante cinturão de rochas metassedimentares na fácies anfíbolito a granulito, o cinturão Cauarane-Curuni (Fraga *et al.*, 2010 In: CPRM 2010).

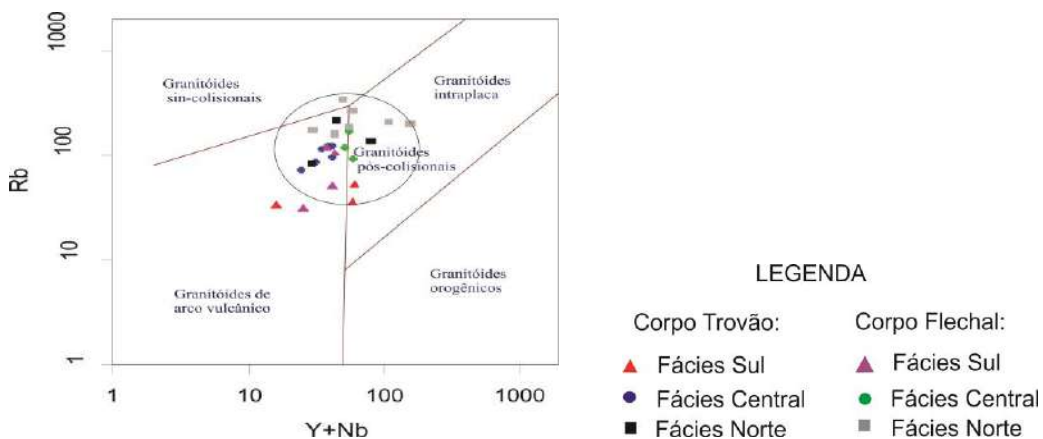


Figura 26: Diagrama de Pearce (1996) para as rochas da SPP.

8. QUÍMICA MINERAL

Por meio de microsonda eletrônica foram obtidas análises químicas dos principais minerais constituintes das rochas do corpo Trovão e Flechal. Neste estudo foram selecionadas sete lâminas, das quais quatro pertencem ao corpo Trovão: uma lâmina da fácies sul (LM-R-34A), duas da fácies central (LM-R-93B e HG-124B) e uma da fácies norte (MF-92); e três lâminas do corpo Flechal: uma da fácies sul (HG-16B) e duas da fácies central (HG-66B e HG-99A).

Nas lâminas do corpo Trovão foram analisadas as seguintes fases minerais: clinopiroxênio, anfibólio, plagioclásio, biotita e k-feldspato, enquanto no corpo Flechal analisaram-se cristais de anfibólio, plagioclásio e biotita. Em ambos os corpos, foram selecionados pares de cristais de anfibólio/plagioclásio a fim de que fossem calculadas as temperaturas de equilíbrio dessas fases minerais, como será visto no capítulo a seguir. Em pares de cristais de ilmenita/magnetita do corpo Trovão também foram realizados estudos de geotermometria e geobarometria.

A maioria dos cristais selecionados foram analisados com amostragens pontuais no núcleo e na borda dos grãos, possibilitando a identificação de qualquer zoneamento.

As fórmulas estruturais dos minerais foram calculadas através do Programa *Minpet*, versão 2.02, exceto para os cristais de ilmenita e magnetita, dos quais se obteve fórmula estrutural por meio do Programa *Quilf*.

8.1. Clinopiroxênio

As análises químicas de clinopiroxênio foram realizadas somente em quatro cristais da lâmina LM-34, pertencente a fácies sul do corpo Trovão. Os resultados estão expressos na tabela 14, da qual é possível observar para os cristais, baixos teores de TiO_2 (entre 0,1% e 1,36%), Na_2O (entre 0,2% e 1,28%), Cr_2O_3 (entre 0,005% e 0,05%), NiO (entre zero e 0,03%) e MnO (entre 0,31% e 0,79%). O conteúdo de MgO varia entre 11,82% e 13,73%, o de FeO entre 12,20% e 17,03% e o de CaO entre 11,38% e 21,67%.

Os cristais de clinopiroxênio analisados foram classificados como cálcicos, segundo o diagrama Q x J, como mostra a Figura 27-a. As amostras foram classificadas

de acordo com a relação Wo-En-Fs, cujas porcentagens de Wo variam entre 27,512% - 44,048%, de En entre 35,526% - 40,766% e Fs entre 20,288% - 32,728%, plotando, portanto, no campo da augita no gráfico da Figura 27-b. Os baixos teores de álcalis, Ti e Mn apontam para augitas comuns da Série Augita-Ferroaugita.

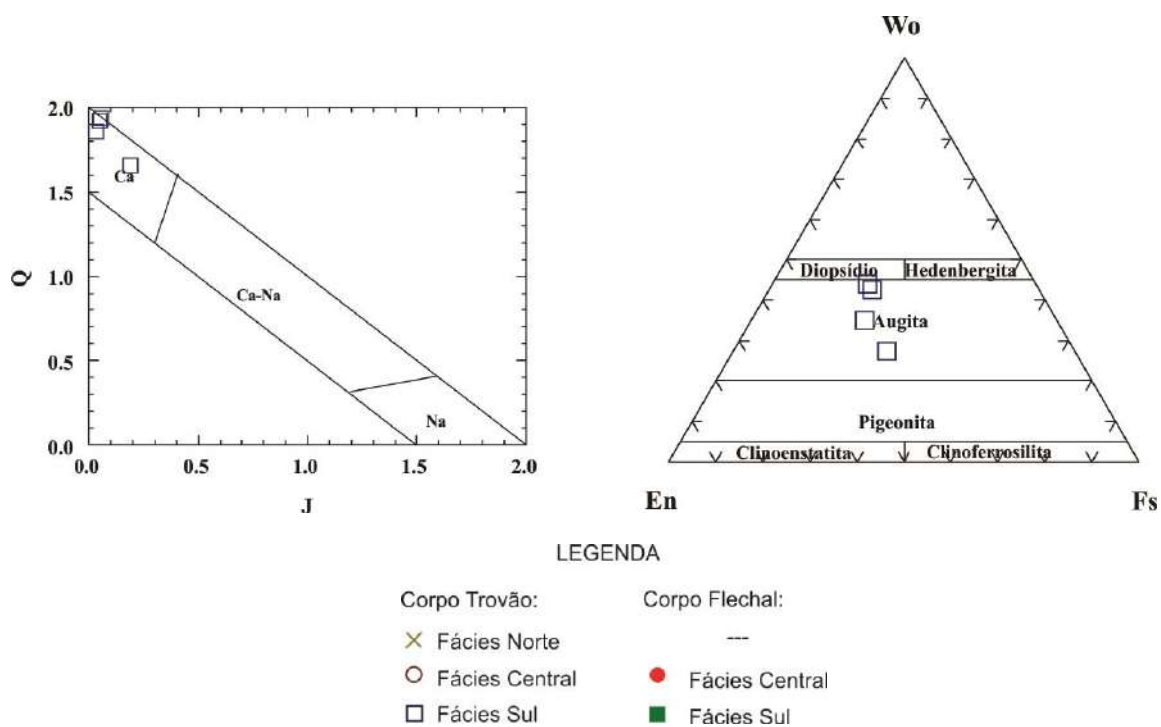


Figura 27: Gráfico de classificação dos cristais de piroxênio. (a) Gráfico de Q x J. (b) Gráfico de classificação baseado nos teores de WO-EM-FS.

| | | Fácies Sul | | | |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Amostras | | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 |
| Óxidos | | C5 | C5 | C3 | C3 |
| | | núcleo | borda | núcleo 1 | núcleo 2 |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 48.36 | 54.17 | 53.28 | 53.30 |
| | TiO ₂ | 1.36 | 0.20 | 0.1 | 0.12 |
| | Al ₂ O ₃ | 8.51 | 1.36 | 0.98 | 1.22 |
| | FeO | 17.03 | 13.79 | 12.20 | 13.04 |
| | MnO | 0.31 | 0.79 | 0.58 | 0.62 |
| | MgO | 11.82 | 13.73 | 12.61 | 12.49 |
| | CaO | 11.38 | 16.37 | 21.67 | 20.87 |
| | Na ₂ O | 1.28 | 0.24 | 0.37 | 0.35 |
| | Cr ₂ O ₃ | 0.005 | 0.02 | 0.05 | 0.05 |
| | NiO | 0 | 0.03 | 0.01 | 0.02 |
| | Total | 100.06 | 100.7 | 101.85 | 102.08 |
| Fórmula estrutural | TSi | 1.821 | 2.032 | 1.974 | 1.975 |
| | Tal | 0.179 | 0 | 0.026 | 0.025 |
| | M1Al | 0.199 | 0.06 | 0.016 | 0.028 |
| | M1Ti | 0.039 | 0.006 | 0.003 | 0.003 |
| | M1Fe ₂ | 0.099 | 0.165 | 0.283 | 0.277 |
| | M1Cr | 0 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| | M1Mg | 0.664 | 0.768 | 0.696 | 0.69 |
| | M1Ni | 0 | 0.001 | 0 | 0.001 |
| | M2Fe ₂ | 0.437 | 0.268 | 0.095 | 0.127 |
| | M2Mn | 0.01 | 0.025 | 0.018 | 0.019 |
| | M2Ca | 0.459 | 0.658 | 0.86 | 0.828 |
| | M2Na | 0.093 | 0.017 | 0.027 | 0.025 |
| | Sum_cat | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | Ca | 27.512 | 34.932 | 44.048 | 42.664 |
| | Mg | 39.76 | 40.766 | 35.664 | 35.526 |
| | Fe ₂ Mn | 32.728 | 24.302 | 20.288 | 21.809 |
| | JD1 | 5.333 | 0.931 | 0.834 | 1.291 |
| | AE1 | 0 | 0 | 0.521 | 0 |
| | CFTS1 | 0.008 | 0.032 | 0 | 0.075 |
| | CTTS1 | 2.198 | 0 | 0.142 | 0.172 |
| CATS1 | 6.007 | 0 | 0 | 0.137 | |
| WO1 | 17.986 | 35.043 | 43.717 | 42.156 | |
| EN1 | 37.864 | 40.932 | 35.512 | 35.423 | |
| FS1 | 30.603 | 23.063 | 19.274 | 20.747 | |
| Q | 1.659 | 1.858 | 1.934 | 1.922 | |
| J | 0.187 | 0.035 | 0.053 | 0.05 | |
| Membros finais (%) | WO | 27.512 | 34.932 | 44.048 | 42.664 |
| | EN | 39.76 | 40.766 | 35.664 | 35.526 |
| | FS | 32.728 | 24.302 | 20.288 | 21.809 |
| | WEF | 89.928 | 98.18 | 97.35 | 97.476 |
| | JD | 10.072 | 1.82 | 2.65 | 2.524 |

Tabela 14: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e o membros finais, para os cristais de clinopiroxênio do Corpo Trovão.

8.2. Anfibólio

Foram analisados dezessete cristais de anfibólio do corpo Trovão, dentre eles seis da fácies sul, dez da fácies central e apenas um da fácies norte, devido a pouca quantidade de anfibólios presentes nesta lâmina. Nas tabelas 15 e 16 estão expressos os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para tais rochas.

Os resultados obtidos para as rochas do corpo Flechal estão expressos na tabela 17. As análises foram realizadas em sete cristais, sendo dois da fácies sul e cinco da fácies central. A ausência de anfibólios analisados na fácies norte se deu pela presença de constante alteração nos cristais.

Observa-se nas análises que os teores de óxidos dos cristais possuem um aumento progressivo em SiO_2 e um decréscimo de FeO e TiO_2 em direção a fácies norte, como visto na geoquímica das rochas. Para as fórmulas estruturais também é possível traçar um paralelo entre os conteúdos de CMg , TSi e Al (total) e as fácies dos corpos graníticos. Os teores de Al (total) apresentam uma diminuição em direção à fácies mais evoluída, como pode ser visto a partir das médias obtidas para os cristais da fácies sul, central e norte do corpo Trovão, que foram de 1,343, 1,19 e 0,5, respectivamente, e para as do corpo Flechal, que foram de 1,718 para a fácies sul, e 1,17 para a fácies central. Já para os valores de CMg , ocorre um acréscimo em direção a fácies norte e suas médias vão de 2,46, 2,72 e 3,34, para o corpo Trovão, e de 2,18 e 2,88, para as fácies sul e central do corpo Flechal. O mesmo comportamento pode ser visto para os valores de TSi .

Os anfibólios foram classificados como cálcicos, segundo as relações de $\text{BCa} + \text{BNa} \times \text{BNa}$, e analisados considerando $\text{ANa} + \text{AK} < 0,5$; $\text{Ti} < 0,5$. Desta maneira, foi gerado o gráfico de classificação dos anfibólios com base nos teores de sílica (TSi) e a razão $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_2)$, como mostram as Figuras 28 e 29.

Os anfibólios do corpo Trovão possuem composição predominante Magnésio-hornblenda, enquanto composição entre Hornblenda actinolita e Actinolita (Figura 28-b) ocorrem apenas para as amostras LM-34_C4_núcleo; LM-93B_C1_núcleo; MF-92_C1_núcleo e MF-92_C1_borda. Estas últimas composições, devem corresponder ao produto de alteração da augita para o anfibólio uralita. Este anfibólio é considerado

como sendo de composição actinolítica e derivada dos piroxênios inicialmente formados, pela ação de fluidos magmáticos residuais enriquecidos em água (Deer *et al.*, 1966). A hipótese de geração destes anfibólios como produto de metamorfismo regional foi descartada devido ao baixo teor de Al presente nos quatro cristais em questão, pois esta é uma característica fortemente encontrada em clinopiroxênios de composição augítica. Quando provém de metamorfismo regional, a actinolita contém altos teores de Al.

A composição encontrada para os cristais de anfibólio do corpo Flechal foi de Magnésio-hornblenda (Figura 29-b) em praticamente todas as amostras, exceto para HG-16B_C1_borda, cuja composição é Tschermakita-hornblenda. Anfibólios tschermakíticos têm como principal característica a substituição de Mg e Si pelo Al (Deer *et al.*, 1966). Este fato explica o alto valor de Al(total) encontrado nesta amostra em comparação as demais.

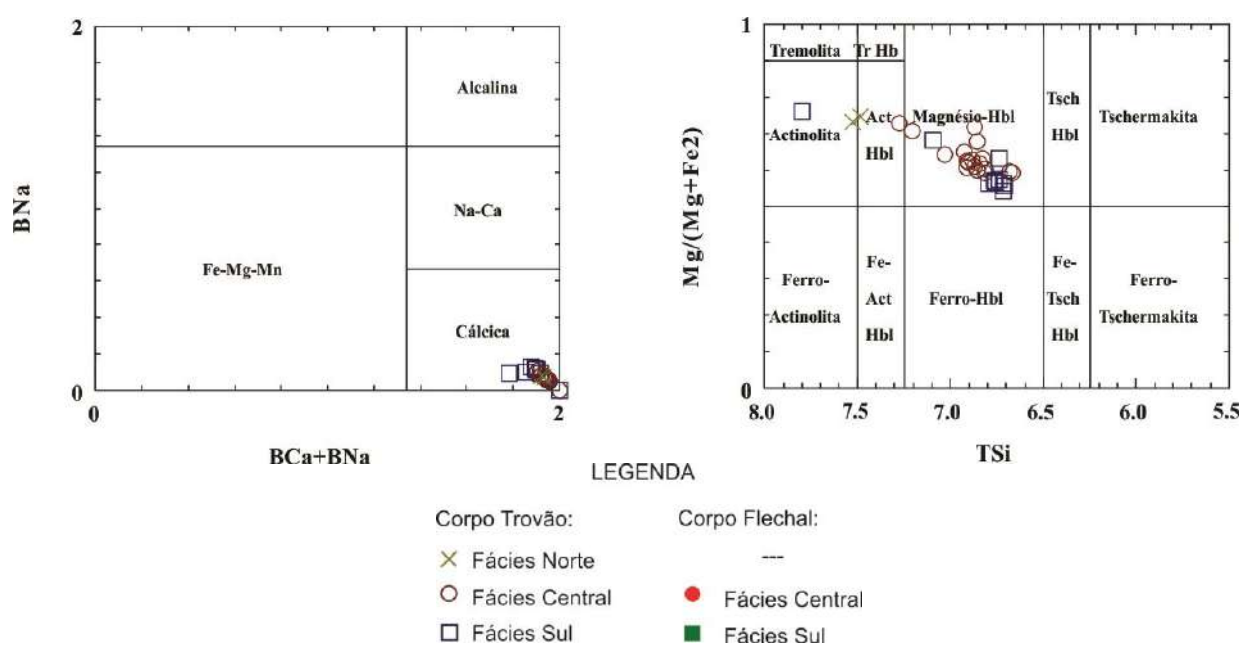


Figura 28: Gráficos de classificação para os anfibólios do corpo Trovão. (a) Gráfico de BNa versus BCa+BNa. (b) Gráfico de classificação com base nos teores de sílica (TSi) e a razão $Mg/(Mg+Fe_2)$.

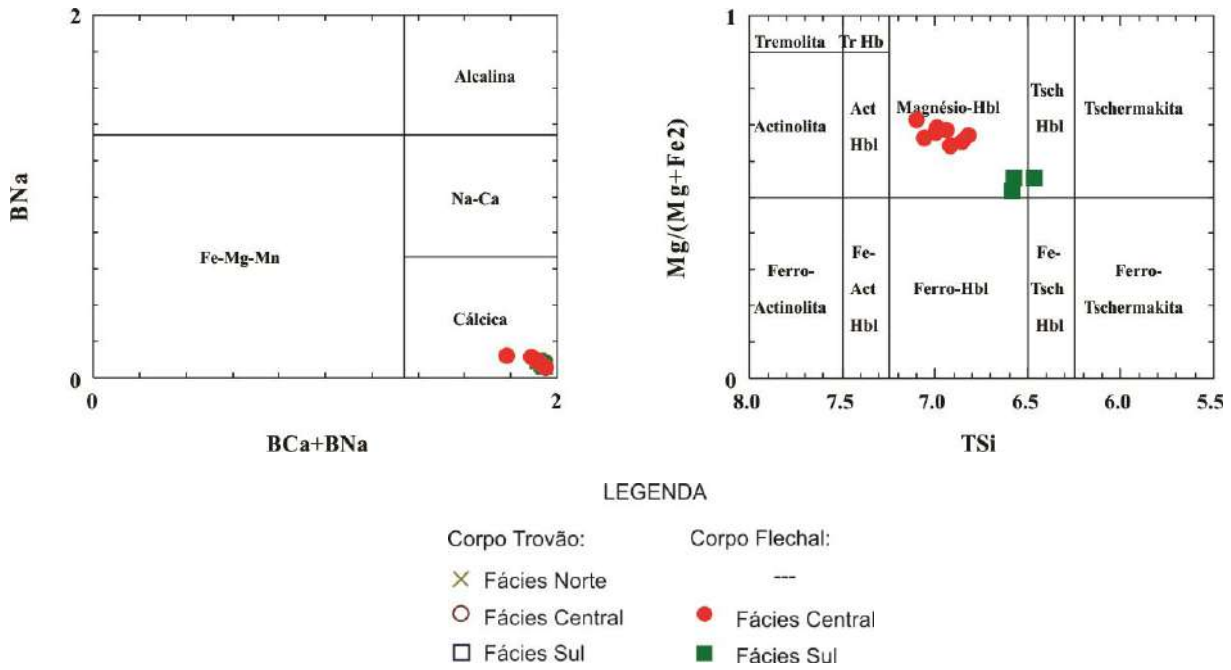


Figura 29: Gráficos de classificação para os anfibólios do corpo Flechal. (a) Gráfico de BNa versus BCa+BNa). (b) Gráfico de classificação com base nos teores de sílica (TSi) e a razão Mg/(Mg+Fe₂).

| | | Fácies Sul | | | | | | | | | | Fácies Central | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Amostras | Óxidos | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-93B | LM-93B | LM-93B | LM-93B | HG-124 |
| | | C2 núcleo | C2 borda | C2 núcleo 2 | C2 borda 2 | C3 núcleo 1 | C3 núcleo 2 | C3 borda 2 | C4 núcleo | C4 borda | C5 Núcleo | C5 borda | C1 núcleo | C1 borda | C4 núcleo | C4 borda | C1 núcleo |
| Óxidos (%) | SiO2 | 45.21 | 45.50 | 45.81 | 45.75 | 46.13 | 46.47 | 45.82 | 52.70 | 49.63 | 46.38 | 46.96 | 50.97 | 50.13 | 47.35 | 47.68 | 46.37 |
| | TiO2 | 1.70 | 1.67 | 1.69 | 1.47 | 1.52 | 1.52 | 1.52 | 0.15 | 0.56 | 1.46 | 1.31 | 0.70 | 0.74 | 1.04 | 1.02 | 2.86 |
| | Al2O3 | 8.79 | 8.86 | 8.66 | 9.09 | 8.78 | 8.45 | 8.77 | 0.87 | 6.40 | 8.74 | 8.50 | 4.64 | 5.24 | 7.22 | 6.73 | 8.59 |
| | FeO | 18.86 | 18.5 | 18.50 | 19.19 | 18.07 | 18.37 | 18.53 | 11.44 | 16.32 | 18.43 | 18.99 | 13.36 | 14.18 | 15.70 | 15.01 | 17.23 |
| | MnO | 0.54 | 0.48 | 0.38 | 0.42 | 0.46 | 0.46 | 0.47 | 0.57 | 0.38 | 0.51 | 0.51 | 0.61 | 0.61 | 0.56 | 0.47 | 0.55 |
| | MgO | 10.69 | 10.64 | 10.91 | 10.28 | 10.95 | 10.86 | 10.74 | 12.88 | 13.53 | 10.92 | 11.65 | 15.37 | 14.55 | 13.45 | 14.45 | 11.67 |
| | CaO | 11.03 | 11.22 | 11.37 | 11.35 | 11.37 | 11.65 | 11.08 | 22.83 | 11.46 | 11.34 | 11 | 12.14 | 12.04 | 11.84 | 11.63 | 11.93 |
| | Na2O | 1.31 | 1.22 | 1.28 | 1.11 | 1.22 | 0.93 | 0.94 | 0.29 | 0.74 | 1.05 | 0.68 | 0.85 | 0.74 | 1.24 | 1.47 | 0.95 |
| | K2O | 0.84 | 0.83 | 0.79 | 0.80 | 0.76 | 0.72 | 0.80 | 0 | 0.39 | 0.73 | 0.72 | 0.42 | 0.41 | 0.67 | 0.61 | 0.85 |
| | Total | 98.97 | 98.92 | 99.39 | 99.46 | 99.26 | 99.43 | 98.67 | 101.73 | 99.41 | 99.57 | 100.32 | 99.06 | 98.64 | 99.07 | 99.07 | 101 |
| Fórmula estrutural | TSi | 6,65 | 6,706 | 6,717 | 6,713 | 6,757 | 6,792 | 6,739 | 7,798 | 7,096 | 6,762 | 6,736 | 7,274 | 7,205 | 6,857 | 6,872 | 6,669 |
| | Tal | 1,335 | 1,294 | 1,283 | 1,287 | 1,243 | 1,208 | 1,261 | 0,071 | 0,904 | 1,238 | 1,264 | 0,726 | 0,795 | 1,143 | 1,106 | 1,331 |
| | TFe3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,253 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,022 | 0 |
| | Sum_T | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8,123 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Cal | 0,191 | 0,244 | 0,213 | 0,283 | 0,272 | 0,246 | 0,258 | 0,08 | 0,173 | 0,263 | 0,172 | 0,054 | 0,092 | 0,089 | 0,036 | 0,124 |
| | CFe3 | 0,509 | 0,418 | 0,413 | 0,444 | 0,377 | 0,417 | 0,518 | 0,27 | 0,594 | 0,465 | 0,816 | 0,364 | 0,417 | 0,529 | 0,565 | 0,339 |
| | CTi | 0,189 | 0,185 | 0,186 | 0,162 | 0,167 | 0,167 | 0,168 | 0,017 | 0,06 | 0,16 | 0,141 | 0,075 | 0,08 | 0,113 | 0,111 | 0,309 |
| | CMg | 2,349 | 2,338 | 2,385 | 2,249 | 2,391 | 2,366 | 2,355 | 2,841 | 2,884 | 2,374 | 2,491 | 3,27 | 3,118 | 2,904 | 3,105 | 2,502 |
| | CFe2 | 1,729 | 1,786 | 1,78 | 1,836 | 1,764 | 1,775 | 1,672 | 0,892 | 1,266 | 1,707 | 1,349 | 1,201 | 1,256 | 1,331 | 1,155 | 1,692 |
| | CMn | 0,033 | 0,03 | 0,023 | 0,026 | 0,028 | 0,028 | 0,029 | 0,071 | 0,023 | 0,031 | 0,031 | 0,037 | 0,037 | 0,034 | 0,028 | 0,033 |
| | CCa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,828 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sum_C | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | BFe2 | 0,087 | 0,077 | 0,076 | 0,075 | 0,072 | 0,053 | 0,09 | 0 | 0,091 | 0,075 | 0,114 | 0,03 | 0,031 | 0,042 | 0,067 | 0,042 |
| | BMn | 0,087 | 0,03 | 0,024 | 0,026 | 0,029 | 0,029 | 0,03 | 0 | 0,023 | 0,032 | 0,031 | 0,037 | 0,037 | 0,035 | 0,029 | 0,034 |
| | Bca | 1,742 | 1,772 | 1,786 | 1,784 | 1,784 | 1,824 | 1,746 | 2 | 1,755 | 1,772 | 1,691 | 1,856 | 1,854 | 1,837 | 1,796 | 1,838 |
| | BNa | 0,137 | 0,121 | 0,114 | 0,115 | 0,115 | 0,094 | 0,133 | 0 | 0,102 | 0,121 | 0,094 | 0,077 | 0,078 | 0,087 | 0,109 | 0,086 |
| | Sum_B | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,998 | 2 | 1,972 | 2 | 1,93 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | ACa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,791 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ANa | 0,237 | 0,227 | 0,25 | 0,201 | 0,232 | 0,17 | 0,135 | 0,083 | 0,103 | 0,175 | 0,096 | 0,159 | 0,128 | 0,261 | 0,302 | 0,179 |
| | AK | 0,158 | 0,156 | 0,148 | 0,15 | 0,142 | 0,134 | 0,15 | 0 | 0,071 | 0,136 | 0,132 | 0,076 | 0,075 | 0,124 | 0,112 | 0,156 |
| | Sum_A | 0,395 | 0,383 | 0,398 | 0,351 | 0,374 | 0,304 | 0,285 | 0,874 | 0,175 | 0,311 | 0,227 | 0,235 | 0,204 | 0,385 | 0,414 | 0,335 |
| | Sum_cat | 15,395 | 15,383 | 15,398 | 15,351 | 15,374 | 15,304 | 15,283 | 15,997 | 15,146 | 15,311 | 15,157 | 15,235 | 15,204 | 15,385 | 15,414 | 15,335 |
| | Fe_FeMg | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,50 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,29 | 0,39 | 0,48 | 0,46 | 0,32 | 0,35 | 0,39 | 0,36 | 0,45 |
| | Mg_FeMg | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,50 | 0,53 | 0,52 | 0,52 | 0,71 | 0,61 | 0,52 | 0,53 | 0,68 | 0,65 | 0,61 | 0,64 | 0,55 |
| | Al(total) | 1,526 | 1,538 | 1,496 | 1,57 | 1,515 | 1,454 | 1,519 | 0,151 | 1,077 | 1,501 | 1,436 | 0,78 | 0,887 | 1,232 | 1,142 | 1,455 |

Fácies Central

Fácies Norte

| Amostras | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | MF-92 | MF-92 |
|--------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | C1 | C1 | C1 | C2 | C2 | C2 | C2 | C3 | C3 | C4 | C4 | C4 | C4 | C4 | C1 | C1 |
| Óxidos | borda | núcleo 2 | borda 2 | núcleo | borda | núcleo 2 | borda 2 | núcleo | borda | núcleo | borda | núcleo 2 | borda 2 | núcleo | borda | |
| Óxidos (%) | SiO2 | 47.23 | 47.13 | 47.18 | 48.01 | 46.62 | 47.5 | 46.55 | 46.82 | 47.24 | 47.62 | 47.04 | 45.62 | 46.51 | 52.62 | 53 |
| | TiO2 | 0.56 | 1.09 | 0.79 | 0.93 | 0.86 | 0.98 | 0.96 | 0.78 | 0.93 | 0.64 | 0.78 | 1.25 | 0.79 | 0.22 | 0.21 |
| | Al2O3 | 7.92 | 8.25 | 7.80 | 6.98 | 8.04 | 7.32 | 8.30 | 8.05 | 7.63 | 7.16 | 8.09 | 8.87 | 7.42 | 3.08 | 3.03 |
| | FeO | 16.68 | 17.50 | 16.70 | 15.04 | 16.65 | 16.64 | 17.17 | 17.32 | 16.36 | 16.59 | 17 | 17.61 | 16.65 | 13.19 | 13.25 |
| | MnO | 0.59 | 0.55 | 0.50 | 0.49 | 0.59 | 0.56 | 0.58 | 0.57 | 0.59 | 0.54 | 0.49 | 0.54 | 0.49 | 0.86 | 0.99 |
| | MgO | 12.04 | 11.77 | 11.86 | 12.87 | 11.92 | 12.40 | 11.64 | 11.59 | 12.36 | 12.64 | 12.20 | 11.41 | 11.89 | 15.87 | 15.68 |
| | CaO | 11.97 | 12.13 | 12.15 | 12.11 | 12.10 | 12.01 | 11.93 | 12.01 | 12.23 | 12.16 | 12.01 | 11.9 | 12.82 | 12.22 | 12.13 |
| | Na2O | 1.05 | 1.07 | 0.91 | 0.91 | 1.05 | 1.14 | 1.28 | 1.02 | 1.08 | 0.90 | 1 | 1.24 | 0.99 | 0.56 | 0.57 |
| | K2O | 0.67 | 0.72 | 0.72 | 0.58 | 0.72 | 0.67 | 0.83 | 0.72 | 0.64 | 0.60 | 0.69 | 0.85 | 0.57 | 0.26 | 0.23 |
| | Total | 98.71 | 100.21 | 98.61 | 97.92 | 98.55 | 99.22 | 99.24 | 98.88 | 99.06 | 98.85 | 99.3 | 99.29 | 98.13 | 98.88 | 99.09 |
| Fórmula estrutural | TSi | 6,901 | 6,814 | 6,912 | 7,029 | 6,839 | 6,913 | 6,812 | 6,857 | 6,882 | 6,927 | 6,829 | 6,68 | 6,871 | 7,486 | 7,528 |
| | Tal | 1,099 | 1,186 | 1,088 | 0,971 | 1,161 | 1,087 | 1,188 | 1,143 | 1,118 | 1,073 | 1,171 | 1,32 | 1,129 | 0,495 | 0,467 |
| | TFe3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,019 | 0,005 |
| | Sum_T | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Cal | 0,264 | 0,218 | 0,258 | 0,233 | 0,228 | 0,168 | 0,242 | 0,245 | 0,191 | 0,153 | 0,212 | 0,21 | 0,162 | 0,021 | 0,04 |
| | CFe3 | 0,425 | 0,428 | 0,362 | 0,273 | 0,415 | 0,395 | 0,354 | 0,425 | 0,397 | 0,527 | 0,52 | 0,465 | 0,369 | 0,391 | 0,352 |
| | CTi | 0,062 | 0,119 | 0,087 | 0,102 | 0,095 | 0,107 | 0,106 | 0,086 | 0,102 | 0,07 | 0,085 | 0,138 | 0,088 | 0,024 | 0,022 |
| | CMg | 2,623 | 2,537 | 2,59 | 2,809 | 2,607 | 2,69 | 2,539 | 2,53 | 2,684 | 2,741 | 2,64 | 2,491 | 2,619 | 3,366 | 3,321 |
| | CFe2 | 1,591 | 1,665 | 1,672 | 1,552 | 1,619 | 1,606 | 1,722 | 1,678 | 1,59 | 1,476 | 1,512 | 1,663 | 1,688 | 1,147 | 1,205 |
| | CMn | 0,036 | 0,034 | 0,031 | 0,03 | 0,037 | 0,034 | 0,036 | 0,035 | 0,036 | 0,033 | 0,03 | 0,033 | 0,061 | 0,052 | 0,059 |
| | CCa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,014 | 0 | 0 |
| | Sum_C | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | BFe2 | 0,022 | 0,023 | 0,012 | 0,016 | 0,009 | 0,025 | 0,024 | 0,018 | 0,006 | 0,016 | 0,031 | 0,028 | 0 | 0,012 | 0,012 |
| | BMn | 0,037 | 0,034 | 0,031 | 0,03 | 0,037 | 0,035 | 0,036 | 0,035 | 0,037 | 0,033 | 0,03 | 0,034 | 0 | 0,052 | 0,06 |
| | Bca | 1,874 | 1,879 | 1,907 | 1,9 | 1,902 | 1,873 | 1,87 | 1,885 | 1,909 | 1,895 | 1,868 | 1,867 | 2 | 1,863 | 1,846 |
| | BNa | 0,067 | 0,065 | 0,05 | 0,054 | 0,052 | 0,068 | 0,069 | 0,062 | 0,049 | 0,056 | 0,07 | 0,071 | 0 | 0,073 | 0,078 |
| | Sum_B | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,996 |
| | ACa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,016 | 0 | 0 |
| | ANa | 0,23 | 0,235 | 0,209 | 0,205 | 0,246 | 0,254 | 0,294 | 0,228 | 0,256 | 0,198 | 0,211 | 0,281 | 0,284 | 0,081 | 0,079 |
| | AK | 0,125 | 0,133 | 0,135 | 0,108 | 0,135 | 0,124 | 0,155 | 0,135 | 0,119 | 0,111 | 0,128 | 0,159 | 0,107 | 0,047 | 0,042 |
| Sum_A | 0,355 | 0,368 | 0,343 | 0,313 | 0,381 | 0,378 | 0,449 | 0,363 | 0,375 | 0,309 | 0,339 | 0,44 | 0,407 | 0,128 | 0,121 | |
| Sum_cat | 15,355 | 15,368 | 15,343 | 15,313 | 15,381 | 15,378 | 15,449 | 15,363 | 15,375 | 15,309 | 15,339 | 15,44 | 15,407 | 15,128 | 15,117 | |
| Fe_FeMg | 0,43 | 0,45 | 0,44 | 0,39 | 0,44 | 0,43 | 0,45 | 0,45 | 0,43 | 0,42 | 0,43 | 0,46 | 0,44 | 0,31 | 0,32 | |
| Mg_FeMg | 0,57 | 0,55 | 0,56 | 0,61 | 0,56 | 0,57 | 0,55 | 0,55 | 0,57 | 0,58 | 0,56 | 0,54 | 0,56 | 0,69 | 0,68 | |
| Al(total) | 1,363 | 1,404 | 1,346 | 1,204 | 1,389 | 1,255 | 1,43 | 1,388 | 1,309 | 1,226 | 1,383 | 1,53 | 1,291 | 0,516 | 0,507 | |

Tabelas 15 e 16: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de anfibólio do Corpo Trovão.

| | | Fácies Sul | | | | Fácies Central | | | | | | | |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Amostras | | HG-16B C1 | HG-16B C1 | HG-16B C2 | HG-16B C2 | HG-99A C1 | HG-99A C1 | HG-99A C1 | HG-99A C2 | HG-99A C2 | HG-99A C2 | HG-99A C2 | HG-66A C1 |
| Óxidos | | núcleo | borda | núcleo | borda | núcleo | borda | núcleo 2 | Núcleo | borda | núcleo 2 | borda 2 | núcleo 1 |
| Óxidos (%) | SiO2 | 44.14 | 43.91 | 45.01 | 44.53 | 48.68 | 46.08 | 48.12 | 48.55 | 48.58 | 47.69 | 45.9 | 47.39 |
| | TiO2 | 1.39 | 1.16 | 1.09 | 1.15 | 0.72 | 1.30 | 1.36 | 1.03 | 1.18 | 1.02 | 1.22 | 0.84 |
| | Al2O3 | 9.84 | 10.35 | 9.77 | 9.72 | 6.27 | 7.18 | 6.70 | 6.19 | 6.85 | 7.09 | 7.79 | 6.48 |
| | FeO | 19.88 | 19.69 | 19.27 | 20.04 | 13.20 | 15.77 | 14.64 | 15.3 | 14.91 | 16.51 | 15.70 | 15.22 |
| | MnO | 0.64 | 0.62 | 0.64 | 0.56 | 0.65 | 0.84 | 0.80 | 0.80 | 0.76 | 0.78 | 0.74 | 0.89 |
| | MgO | 9.97 | 9.99 | 10.32 | 9.57 | 14.42 | 12.42 | 13.42 | 13.20 | 13.75 | 12.63 | 12.7 | 13.51 |
| | CaO | 11.92 | 11.58 | 11.90 | 11.70 | 11.77 | 11.45 | 11.77 | 12.16 | 11.50 | 11.96 | 10.45 | 11.68 |
| | Na2O | 1.24 | 1.17 | 1.24 | 1.16 | 1 | 1.03 | 0.78 | 0.71 | 0.84 | 0.97 | 0.86 | 1.26 |
| | K2O | 1.14 | 1.19 | 0.99 | 1.13 | 0.60 | 0.76 | 0.71 | 0.55 | 0.78 | 0.72 | 1.44 | 0.65 |
| | Total | 100.16 | 99.66 | 100.23 | 99.53 | 97.31 | 96.84 | 98.30 | 98.49 | 99.16 | 99.38 | 96.81 | 97.93 |
| Fórmula estrutural | TSi | 6,49 | 6,464 | 6,579 | 6,585 | 7,097 | 6,856 | 6,995 | 7,058 | 6,986 | 6,916 | 6,819 | 6,942 |
| | Tal | 1,51 | 1,536 | 1,421 | 1,415 | 0,903 | 1,144 | 1,005 | 0,942 | 1,014 | 1,084 | 1,181 | 1,058 |
| | Sum_T | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Cal | 0,194 | 0,259 | 0,26 | 0,279 | 0,173 | 0,114 | 0,142 | 0,118 | 0,146 | 0,126 | 0,178 | 0,059 |
| | CFe3 | 0,572 | 0,647 | 0,531 | 0,489 | 0,35 | 0,485 | 0,391 | 0,41 | 0,479 | 0,481 | 0,572 | 0,513 |
| | Cti | 0,154 | 0,128 | 0,12 | 0,128 | 0,079 | 0,145 | 0,149 | 0,113 | 0,128 | 0,111 | 0,136 | 0,093 |
| | CMg | 2,185 | 2,192 | 2,249 | 2,111 | 3,134 | 2,755 | 2,908 | 2,861 | 2,948 | 2,73 | 2,806 | 2,95 |
| | CFe2 | 1,856 | 1,735 | 1,801 | 1,958 | 1,224 | 1,449 | 1,361 | 1,45 | 1,255 | 1,504 | 1,261 | 1,33 |
| | CMn | 0,04 | 0,038 | 0,039 | 0,035 | 0,04 | 0,053 | 0,049 | 0,049 | 0,046 | 0,048 | 0,046 | 0,055 |
| | Sum_C | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 55 |
| | BFe2 | 0,017 | 0,042 | 0,024 | 0,032 | 0,035 | 0,028 | 0,028 | 0 | 0,06 | 0,018 | 0,113 | 0,022 |
| | BMn | 0,04 | 0,039 | 0,04 | 0,035 | 0,04 | 0,053 | 0,05 | 0,049 | 0,047 | 0,048 | 0,047 | 0,056 |
| | BCa | 1,878 | 1,827 | 1,864 | 1,855 | 1,838 | 1,825 | 1,833 | 1,894 | 1,772 | 1,858 | 1,66 | 1,833 |
| | BNa | 0,065 | 0,092 | 0,073 | 0,077 | 0,086 | 0,093 | 0,089 | 0,057 | 0,116 | 0,076 | 0,122 | 0,089 |
| | Sum_B | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,995 | 2 | 1,942 | 2 |
| | ANa | 0,288 | 0,242 | 0,279 | 0,255 | 0,197 | 0,204 | 0,131 | 0,144 | 0,118 | 0,197 | 0,125 | 0,269 |
| | AK | 0,214 | 0,223 | 0,185 | 0,213 | 0,112 | 0,144 | 0,132 | 0,102 | 0,143 | 0,133 | 0,272 | 0,121 |
| | Sum_A | 0,502 | 0,465 | 0,463 | 0,469 | 0,308 | 0,348 | 0,263 | 0,246 | 0,261 | 0,33 | 0,397 | 0,39 |
| | Sum_cat | 15,502 | 15,465 | 15,463 | 15,469 | 15,308 | 15,348 | 15,263 | 15,246 | 15,256 | 15,33 | 15,339 | 15,39 |
| | Fe_FeMg | 0,53 | 0,52 | 0,51 | 0,54 | 0,33 | 0,41 | 0,38 | 0,39 | 0,37 | 0,42 | 0,40 | 0,38 |
| Mg_FeMg | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,46 | 0,67 | 0,59 | 0,62 | 0,61 | 0,63 | 0,58 | 0,60 | 0,62 | |
| Al(total) | 1,704 | 1,795 | 1,681 | 1,694 | 1,076 | 1,258 | 1,147 | 1,06 | 1,16 | 1,21 | 1,359 | 1,117 | |

Tabela 17: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de anfibólio do corpo Flechal.

8.3. Ilmenita/Magnetita

As tabelas 18 e 19 exibem análises representativas de ilmenita e magnetita, onde se encontram expressos os teores de óxidos, as fórmulas estruturais, os membros finais e a fração molar (%). Foram analisados somente cristais do corpo Trovão, sendo cinco de ilmenita da fácies sul e seis cristais de magnetita, um da fácies central e cinco da fácies sul.

Os cristais de ilmenita possuem baixo conteúdo em MgO (entre 0-0,1%) e os valores de MnO variam entre 0-3,9%. A proporção de moléculas de FeTiO_3 são maiores, de 95,27 a 96,95%, do que as de Fe_2O_3 (de 3,05 a 4,7%), exceto para amostra LM 34_C3_núcleo2 em que a razão de Fe_2O_3 é maior. Este fato pode ser explicado, provavelmente, pela análise pontual de uma lamela de hematita, já que os cristais apresentam exsolução lamelar de hematita. Acima de 1.050°C existe uma solução sólida completa entre a hematita e a ilmenita, mas em temperaturas inferiores ocorre separação das duas fases por exsolução (Deer *et al.*, 1966). A baixa proporção de molécula de Fe_2O_3 exsolvida é uma provável indicação de um ambiente redutor durante a cristalização (Mendes *et al.*, 1999).

Os cristais de magnetita mostram ausência de Al em sua estrutura, pequenas proporções de MnO, entre 0-0,1%, e de TiO, entre 0,01-3,3%. As moléculas de Fe_3O_4 variam de 90,16 a 100%. A solução sólida de magnetita-ulvospinélio é contínua à altas temperaturas, porém ao atingir cerca de 600°C ocorre a exsolução entre as fases (Deer *et al.*, 1966). As maiores porcentagens calculadas para ulvospinélio exsolvido foram de 9,84% para uma amostra da fácies central.

| Fácies Sul | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------|
| | Amostras | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 |
| | Óxidos | C3 núcleo | C3 borda | C3 núcleo 2 | C3 borda 2 | C6 núcleo 1 | C6 borda1 | C6 núcleo 2 | C6 borda 2 | C2 núcleo | C2 borda |
| óxidos | MgO | 0,096 | 0,084 | 0 | 0,111 | 0,116 | 0,11 | 0,096 | 0,092 | 0,09 | 0,088 |
| | FeO | 45,536 | 45,143 | 90,241 | 45,49 | 44,025 | 44,185 | 45,031 | 45,128 | 45,241 | 45,221 |
| | TiO ₂ | 50,134 | 50,43 | 0,07 | 50,091 | 50,661 | 50,778 | 50,124 | 50,512 | 50,479 | 50,782 |
| | MnO | 3,335 | 3,472 | 0,016 | 3,417 | 3,899 | 3,843 | 3,255 | 3,183 | 2,738 | 3,107 |
| | Nb ₂ O ₅ | 0,03 | 0 | 0 | 0,058 | 0 | 0,021 | 0 | 0,048 | 0,015 | 0,044 |
| Total | 99,131 | 99,129 | 90,327 | 99,167 | 98,701 | 98,937 | 98,506 | 98,963 | 98,563 | 99,242 | |
| Fórmula estrutural | Al | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Ti | 0,9575 | 0,9632 | 0,0014 | 0,9564 | 0,9720 | 0,9722 | 0,9634 | 0,9671 | 0,9703 | 0,9696 |
| | Fe ₃ | 0,0850 | 0,0735 | 1,9972 | 0,0872 | 0,0560 | 0,0556 | 0,0732 | 0,0659 | 0,0595 | 0,0607 |
| | Fe ₂ | 0,8821 | 0,8854 | 0,0010 | 0,8787 | 0,8833 | 0,8851 | 0,8893 | 0,8949 | 0,9075 | 0,8995 |
| | Mn | 0,0717 | 0,0747 | 0,0004 | 0,0735 | 0,0843 | 0,0829 | 0,0705 | 0,0686 | 0,0593 | 0,0668 |
| | Mg | 0,0036 | 0,0032 | 0 | 0,0042 | 0,0044 | 0,0042 | 0,0037 | 0,0035 | 0,0034 | 0,0033 |
| | Sum | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000 |
| Mem- bros finais | XHem | 0,0425 | 0,0368 | 0,9986 | 0,0436 | 0,0280 | 0,0278 | 0,0366 | 0,0329 | 0,0297 | 0,0304 |
| | XGy | 0,0036 | 0,0032 | 0 | 0,0042 | 0,0044 | 0,0042 | 0,0037 | 0,0035 | 0,0034 | 0,0033 |
| | XPy | 0,0717 | 0,0747 | 0,0004 | 0,0735 | 0,0843 | 0,0829 | 0,0705 | 0,0686 | 0,0593 | 0,0668 |
| Fração molar (%) | Ilm (FeTiO ₃) | 95,40 | 96,01 | 0,10 | 95,27 | 96,93 | 96,95 | 96,04 | 96,45 | 96,83 | 96,73 |
| | Hem (Fe ₂ O ₃) | 4,60 | 3,99 | 99,90 | 4,73 | 3,07 | 3,05 | 3,96 | 3,55 | 3,17 | 3,27 |

Tabela 18: Análises químicas dos cristais de ilmenita do corpo Trovão.

| | | Fácies Sul | | | | | | | | | | Fácies Central | |
|------------------------|------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Amostras | Óxidos | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-93B | LM-93B |
| | | C3 núcleo | C3 borda | C3 núcleo 2 | C3 borda 2 | C6 núcleo 1 | C6 borda1 | C6 núcleo 2 | C6 borda 2 | C2 Núcleo | C2 borda | C1 núcleo | C1 borda |
| Óxidos | MgO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,013 | 0,036 | 0 | 0 | 0,03 | 0,005 | 0,004 | 0,046 |
| | FeO | 92,349 | 92,309 | 91,381 | 92,277 | 91,647 | 91,347 | 91,525 | 91,6 | 91,606 | 91,287 | 92,412 | 86,716 |
| | TiO2 | 0,01 | 0,036 | 0,01 | 0,473 | 0,01 | 0,01 | 0,654 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 3,308 |
| | MnO | 0,033 | 0,052 | 0,048 | 0,027 | 0 | 0,044 | 0,122 | 0,024 | 0,042 | 0,023 | 0,074 | 0,064 |
| | Nb2O5 | 0,005 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,017 | 0 | 0 | 0,003 | 0 | 0 |
| | Total | 92,387 | 92,397 | 91,449 | 92,777 | 91,66 | 91,427 | 92,318 | 91,624 | 91,678 | 91,318 | 92,49 | 90,134 |
| Fórmula estrutural | Al | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Ti | 0,0003 | 0,0011 | 0,0003 | 0,0138 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0191 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0993 |
| | Fe3 | 1,9994 | 1,9979 | 1,9994 | 1,9725 | 1,9994 | 1,9994 | 1,9617 | 1,9994 | 1,9994 | 1,9994 | 1,9994 | 1,8013 |
| | Fe2 | 0,9992 | 0,9993 | 0,9987 | 1,0129 | 0,9995 | 0,9967 | 1,0151 | 0,9995 | 0,9972 | 0,9992 | 0,9976 | 1,0944 |
| | Mn | 0,0011 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0009 | 0 | 0,0015 | 0,0040 | 0,0008 | 0,0014 | 0,0008 | 0,0024 | 0,0022 |
| | Mg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0008 | 0,0021 | 0 | 0 | 0,0017 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0027 |
| | Sum | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 |
| Mem- bros finais | NTi | 0,0003 | 0,0011 | 0,0003 | 0,0138 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0191 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0993 |
| | NMg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0008 | 0,0021 | 0 | 0 | 0,0017 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0027 |
| | NMn | 0,0011 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0009 | 0 | 0,0015 | 0,0040 | 0,0008 | 0,0014 | 0,0008 | 0,0024 | 0,0022 |
| Fração molar (%) | Usp (Fe2TiO4) | 0 | 0,02 | 0 | 1,33 | 0,3 | 0 | 1,72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,84 |
| | Mt (Fe3O4) | 100 | 99,98 | 100 | 98,67 | 99,97 | 100 | 98,28 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90,16 |

Tabela 19: Análises químicas dos cristais de magnetita do corpo Trovão.

8.4. Plagioclásio

Como forma de se obterem resultados proveitosos foram selecionados grãos não alterados, sem intercrescimento perítico e que estivessem em contato com cristais de anfibólio. Nas lâminas do corpo Trovão foram analisados quatro cristais de plagioclásio da fácies sul, na fácies central oito e na fácies norte três. Os resultados obtidos nas análises estão disponíveis nas tabelas 20 e 21, onde estão exibidos os teores (%) de óxidos e a fórmula estrutural calculada para cada cristal.

As análises do corpo Flechal ocorreram em cinco cristais de plagioclásio, dentre eles, dois da fácies sul e três da fácies central. A análise nas lâminas da fácies norte foi dificultada devido à presença de cristais extremamente alterados por processos de saussuritização. Na tabela 22 estão expressos os resultados obtidos.

Os cristais de plagioclásio apresentam um aumento progressivo em SiO_2 e Na_2O e um empobrecimento em CaO em direção à fácies norte. O conteúdo de Al_2O_3 para as rochas do corpo Trovão varia de 22,72 a 28,05% e o de K_2O entre 0,008 e 0,3%, enquanto para o corpo Flechal vão de 23,58 a 25,5% e 0,10 a 0,18%, respectivamente.

Os resultados das análises químicas apontam para as rochas do corpo Trovão, através dos teores de albita (Ab), anortita (An) e ortoclásio (Or), obtidos a partir do cálculo das fórmulas estruturais, diferentes composições para os cristais de plagioclásio, variando de oligoclásio a labradorita (Figura 30-A). Não foi observada nenhuma zonação química concêntrica nos grãos, porém foram verificadas variações composicionais borda-núcleo de certos cristais, como pode ser observado nos pontos HG-124_C4_núcleo, HG-124_C4_borda, HG-124_C3_núcleo e HG-124_C3_borda.

As tabelas 20 e 21 mostram um crescente aumento da molécula albita em direção a fácies norte e uma conseqüente diminuição em anortita. Os plagioclásios da fácies sul são representados predominantemente pela andesina, mostrando valores de albita entre 52,8% e 55,7%, e de anortita entre 42,9% e 46,4%, à exceção do ponto LM-34_C2_núcleo, representado pela labradorita ($\text{Ab}_{46,7}\text{An}_{51,6}\text{Or}_{1,7}$). Para a fácies central, os plagioclásios variam de andesina a oligoclásio, mostrando valores de albita entre 51,6% e 81,1% e de anortita entre 18,3% e 46,9%. Já os cristais presentes nas lâminas da fácies norte apresentam teores de albita e anortita variando, respectivamente,

entre 56,2% e 72,5% e 26,5% e 42,5%, cujas porcentagens permitem classificá-los como oligoclásio e andesina.

O mesmo comportamento pode ser observado para as rochas do corpo Flechal, que apresentam cristais de plagioclásio com composição variando de andesina oligoclásio. Para a fácies sul os cristais apresentam valores de Ab variando entre 62,2-67,7%, de An entre 31-32,1% e de Or entre 1,1-2,2%, que ao serem plotados no gráfico de composição dos plagioclásios (Figura 30-B) os classifica como andesina sódico. Já os cristais que compõem a fácies central têm composição de Ab disposto entre 72,6-76,6%, de An entre 22,2 e 26,6% e de Or entre 0,6 e 1,2%, classificando-os, portanto, como oligoclásio.

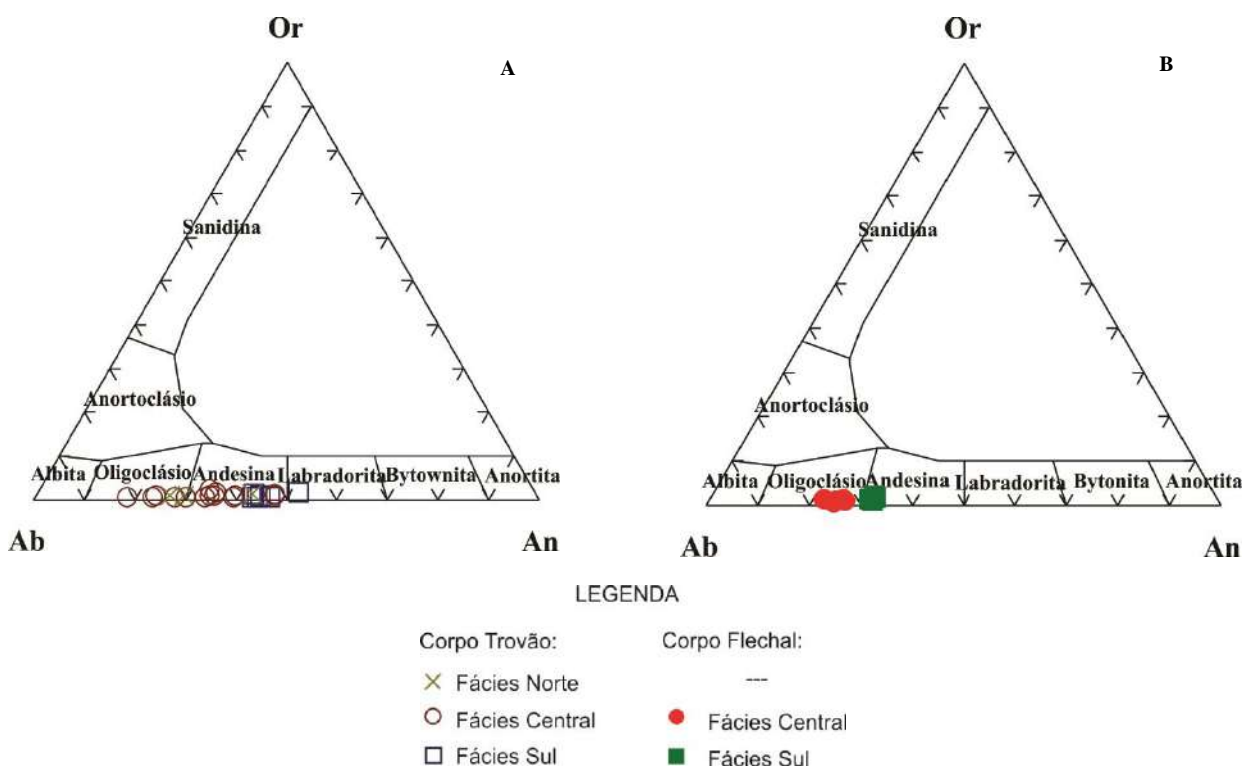


Figura 30: Gráfico de classificação para os cristais de plagioclásio: (A) do corpo Trovão e (B) do corpo Flechal.

| | | Fácies Sul | | | | | | Fácies Central | | | | |
|---------------------|--------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Amostras | Óxidos | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-93B | LM-93B | LM-93B | LM-93B | LM-93B |
| | | C2 núcleo | C2 borda | C1 núcleo | C1 borda | C5 núcleo 1 | C5 núcleo 2 | C3 núcleo | C3 borda | C1 núcleo | C2 núcleo | C2 borda |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 57.28 | 60.89 | 59.64 | 58.86 | 58.36 | 58.67 | 63.93 | 66.61 | 64.14 | 63.76 | 62.83 |
| | CaO | 9.76 | 9.76 | 7.96 | 8.32 | 8.59 | 8.34 | 6.39 | 5.38 | 5.26 | 6.52 | 6.03 |
| | Al ₂ O ₃ | 28.05 | 26.32 | 26.63 | 26.72 | 27.24 | 26.99 | 26.01 | 25.32 | 24.28 | 25.62 | 25.07 |
| | FeO | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.06 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.01 |
| | Na ₂ O | 4.87 | 4.80 | 5.74 | 5.64 | 5.99 | 5.99 | 3.88 | 3.29 | 5.55 | 5.50 | 6.04 |
| | K ₂ O | 0.27 | 0.10 | 0.12 | 0.16 | 0.10 | 0.22 | 0.17 | 0.10 | 0.33 | 0.08 | 0.13 |
| | Total | 100.31 | 99.83 | 100.16 | 99.78 | 100.36 | 100.25 | 100.44 | 100.71 | 99.61 | 101.49 | 100.13 |
| Fórmula estrutural | Si | 10,207 | 10,748 | 10,568 | 10,493 | 10,373 | 10,431 | 11,081 | 11,397 | 11,249 | 11,017 | 11,023 |
| | Al | 5,886 | 5,471 | 5,557 | 5,61 | 5,702 | 5,653 | 5,309 | 5,102 | 5,013 | 5,213 | 5,18 |
| | Fe ₂ | 0.012 | 0,012 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,006 | 0,009 | 0,001 | 0,007 | 0,001 | 0,001 |
| | Ca | 1.863 | 1,445 | 1,511 | 1,589 | 1,636 | 1,589 | 1,187 | 0,986 | 0,988 | 1,207 | 1,133 |
| | Na | 1.683 | 1,643 | 1,972 | 1,95 | 2,068 | 2,061 | 1,304 | 1,092 | 1,887 | 1,843 | 2,055 |
| | K | 0.061 | 0,023 | 0,027 | 0,036 | 0,023 | 0,05 | 0,038 | 0,022 | 0,074 | 0,018 | 0,029 |
| Mem-bros finais (%) | Ab | 46,7 | 52,8 | 56,2 | 54,5 | 55,5 | 55,7 | 51,6 | 52 | 64 | 60,1 | 63,9 |
| | An | 51,6 | 46,4 | 43 | 44,4 | 43,9 | 42,9 | 46,9 | 47 | 33,5 | 39,3 | 35,2 |
| | Or | 1,7 | 0,7 | 0,8 | 1 | 0,6 | 1,4 | 1,5 | 1 | 2,5 | 0,6 | 0,9 |

Tabela 20: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de plagioclásio do corpo Trovão.

| | | Fácies Central | | | | | | | | | Fácies Norte | | |
|---------------------|--------------------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | Amostras | LM-93B | LM-93B | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | HG-124 | MF-92 | MF-92 | MF-92 |
| | Óxidos | C4 núcleo | C4 borda | C4 núcleo | C4 borda | C3 núcleo | C3 Borda | C2 núcleo | C2 borda | C1 núcleo | C1 núcleo1 | C1 núcleo 2 | C1 núcleo 3 |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 60.70 | 62.66 | 61.28 | 64.45 | 60.05 | 63.14 | 60.41 | 61.65 | 62.84 | 70.91 | 63.60 | 60.33 |
| | CaO | 6.80 | 6.05 | 6.19 | 3.77 | 6.91 | 4.72 | 6.97 | 5.64 | 4.87 | 2.74 | 5.14 | 8.04 |
| | Al ₂ O ₃ | 25.57 | 24.91 | 25.09 | 23.24 | 25.35 | 24.01 | 25.76 | 24.78 | 24.19 | 22.72 | 24.16 | 26.46 |
| | FeO | 0.03 | 0.08 | 0.10 | 0.01 | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.09 | 0.08 |
| | Na ₂ O | 6.71 | 5.10 | 8.05 | 9.21 | 7.22 | 8.61 | 7.56 | 8.11 | 8.51 | 4.14 | 6.79 | 5.88 |
| | K ₂ O | 0.25 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | 0.16 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.16 | 0.09 | 0.14 | 0.20 |
| | Total | 100.05 | 98.96 | 100.84 | 100.79 | 99.75 | 100.65 | 100.83 | 100.34 | 100.66 | 100.64 | 99.92 | 100.99 |
| Fórmula estrutural | Si | 10,756 | 11,081 | 10,802 | 11,268 | 10,706 | 11,085 | 10,665 | 10,891 | 11,043 | 12,004 | 11,172 | 10,61 |
| | Al | 5,336 | 5,188 | 5,209 | 4,785 | 5,323 | 4,964 | 5,356 | 5,155 | 5,006 | 4,53 | 4,998 | 5,48 |
| | Fe ₂ | 0,004 | 0,012 | 0,015 | 0,001 | 0,009 | 0,009 | 0,003 | 0,009 | 0,012 | 0,004 | 0,013 | 0,012 |
| | Ca | 1,291 | 1,146 | 1,169 | 0,704 | 1,32 | 0,888 | 1,318 | 1,068 | 0,917 | 0,497 | 0,967 | 1,515 |
| | Na | 2,305 | 1,749 | 2,752 | 3,122 | 2,496 | 2,931 | 2,588 | 2,778 | 2,9 | 1,359 | 2,313 | 2,005 |
| | K | 0,057 | 0,032 | 0,029 | 0,025 | 0,036 | 0,027 | 0,025 | 0,025 | 0,036 | 0,019 | 0,031 | 0,045 |
| Mem-bros finais (%) | Ab | 63,1 | 59,8 | 69,7 | 81,1 | 64,8 | 76,2 | 65,8 | 71,8 | 75,3 | 72,5 | 70 | 56,2 |
| | An | 35,3 | 39,2 | 29,6 | 18,3 | 34,3 | 23,1 | 33,5 | 27,6 | 23,8 | 26,5 | 29,2 | 42,5 |
| | Or | 1,6 | 1,1 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1,3 |

Tabela 21: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de plagioclásio do corpo Trovão (cont.).

| | | Fácies Sul | | | | Fácies Central | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Amostras | | HG-16B | HG-16B | HG-16B | HG-16B | HG-99A | HG-99A | HG-99A | HG-99A | HG-66A |
| Óxidos | | C1 núcleo | C1 borda | C2 núcleo | C2 borda | C1 núcleo | C1 borda | C2 núcleo | C2 borda | C1 núcleo 1 |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 60.02 | 60.16 | 60.32 | 60.67 | 63.76 | 62.98 | 63.10 | 64.29 | 64.38 |
| | CaO | 6.58 | 6.58 | 6.40 | 6.26 | 4.50 | 4.97 | 5.12 | 4.95 | 5.18 |
| | Al ₂ O ₃ | 25.5 | 25.39 | 25.49 | 25.35 | 23.58 | 23.92 | 24.29 | 23.93 | 24.55 |
| | FeO | 0.16 | 0.18 | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.15 | 0.06 | 0 | 0.14 |
| | Na ₂ O | 7.66 | 7.50 | 7.43 | 7.56 | 8.59 | 8.25 | 7.72 | 8.38 | 7.95 |
| | K ₂ O | 0.38 | 0.30 | 0.18 | 0.23 | 0.20 | 0.16 | 0.14 | 0.10 | 0.20 |
| | Total | 100.3 | 100.11 | 99.9 | 100.19 | 100.75 | 100.43 | 100.43 | 101.65 | 102.4 |
| Fórmula estrutural | Si | 10.671 | 10.702 | 10.726 | 10.759 | 11.174 | 11,085 | 11,079 | 11,157 | 11,096 |
| | Al | 5.339 | 5.319 | 5.338 | 5.294 | 4.867 | 4,958 | 5,022 | 4,891 | 4,983 |
| | Fe ₂ | 0.024 | 0.027 | 0.012 | 0.018 | 0.018 | 0,022 | 0,009 | 0 | 0,02 |
| | Ca | 1.253 | 1.254 | 1.219 | 1.189 | 0.845 | 0,937 | 0,963 | 0,92 | 0,957 |
| | Na | 2.641 | 2.587 | 2.562 | 2.6 | 2.919 | 2,816 | 2,628 | 2,82 | 2,657 |
| | K | 0.086 | 0.068 | 0.041 | 0.052 | 0.045 | 0,036 | 0,031 | 0,022 | 0,044 |
| | Cátions | 20.014 | 19.957 | 19.898 | 19.912 | 19.868 | 19,854 | 19,732 | 19,81 | 19,757 |
| | X | 16.01 | 16.021 | 16.064 | 16.053 | 16.041 | 16,043 | 16,101 | 16,048 | 16,079 |
| Z | 4.004 | 3.936 | 3.834 | 3.859 | 3.827 | 3,811 | 3,631 | 3,762 | 3,678 | |
| Mem- bros finais (%) | Ab | 66,4 | 66,2 | 67 | 67,7 | 76,6 | 74,4 | 72,6 | 75 | 72,6 |
| | An | 31,5 | 32,1 | 31,9 | 31 | 22,2 | 24,7 | 26,6 | 24,5 | 26,2 |
| | Or | 2,2 | 1,7 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1 | 0,9 | 0,6 | 1,2 |

Tabela 22: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de plagioclásio do corpo Flechal.

8.5. Biotita

Foram selecionados onze cristais de biotita do corpo Trovão, dos quais cinco pertencem a fácies sul e seis a fácies central. Para a fácies norte não foram encontrados grãos adequados para serem examinados. Para o corpo Flechal foram examinados dois cristais da fácies sul.

Os resultados obtidos com as análises das biotitas estão expressos nas tabelas 23 e 24, onde é possível notar para as fórmulas estruturais destes cristais valores mais altos de Fe_2 e Mg, cujas médias são, respectivamente de 3,06 e 2,67, do que nos observados para os cristais de anfibólio, que apresentam médias de 2,19 de Mg e 1,53 de Fe_2 .

Nas análises do corpo Trovão, cristais de biotita apresentam maiores razões de Fe/FeMg (entre 0,5-0,54) para aqueles da fácies sul, e conseqüentemente maiores razões de Mg/FeMg (entre 0,56-0,62) para os cristais da fácies central. Este fato pode ser observado no gráfico de classificação das biotitas (figura x), que é dado pelos teores de AIV e pela razão Fe/FeMg. O gráfico mostra um grupo de biotita com composições mais ricas em Fe (à direita no gráfico) pertencentes à fácies sul, classificando-as próximas ao membro Anita. O outro grupo de biotitas, mais enriquecidas em Mg (à esquerda no gráfico), pertence à fácies central e plota mais próximo do membro flogopita (Figura 31-A).

O enriquecimento de Ti nestas biotitas pode ser explicado pelo fato de o Si ou Fe e Mg serem por vezes substituídos pelo Ti.

Os resultados obtidos com as análises dos dois cristais de biotita da fácies sul do corpo Flechal estão disponíveis na tabela 25, que mostra teores de Fe/FeMg em torno de 0,4. O conteúdo de Fe_2 e Mg, é de 2,2 e 2,9, respectivamente. Os cristais analisados apresentam composição química bem similar, plotando próximos do membro flogopita, mais enriquecido em Mg, como mostra a Figura 31-B.

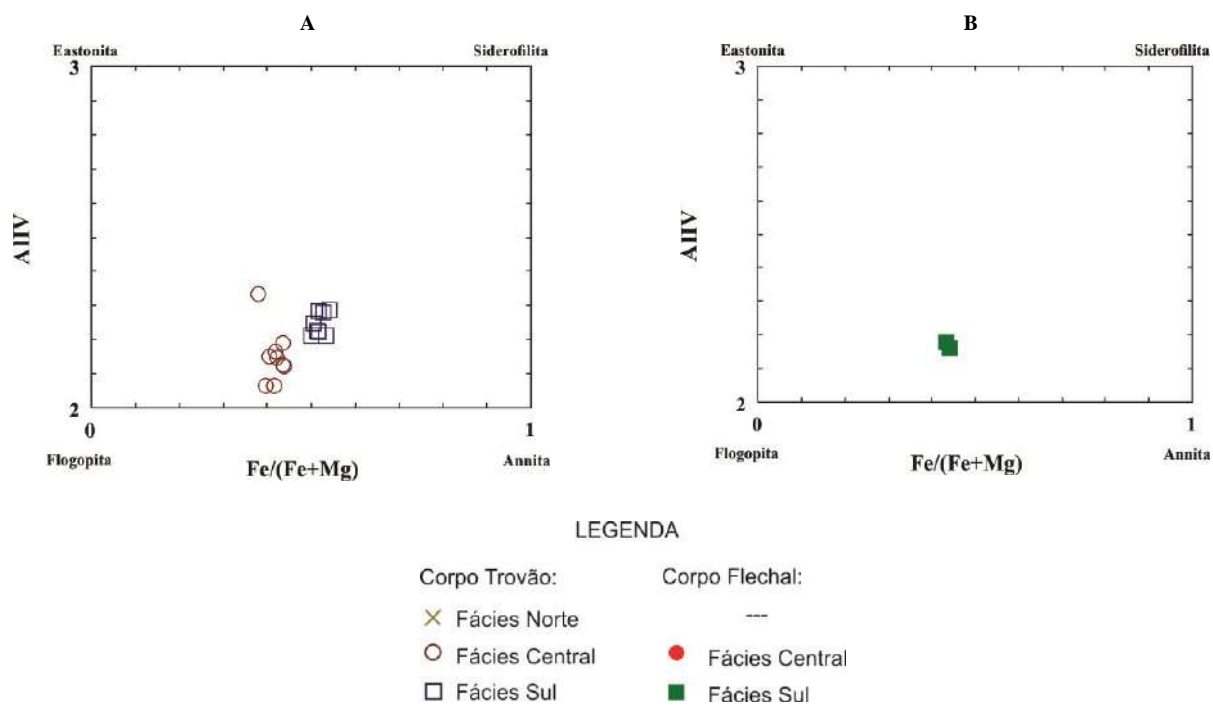


Figura 31: Gráfico de classificação para os cristais de biotita: (A) do corpo Trovão e (B) do corpo Flechal.

| | | Fácies Sul | | | | | | | Fácies Central | | |
|--------------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Amostras | | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-34 | LM-93B | LM-93B |
| Óxidos | | C1 | C1 | C1 | C1 | C1 | C5 | C6 | C6 | C1 | C1 |
| | | núcleo 1 | borda 1 | núcleo 2 | núcleo 3 | borda 3 | núcleo | núcleo | borda | núcleo 1 | borda 1 |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 36.49 | 36.14 | 36.02 | 36.14 | 36.45 | 36.43 | 36 | 36.34 | 38.02 | 37.11 |
| | MgO | 10.39 | 10.31 | 10.49 | 9.86 | 9.87 | 10.27 | 10.66 | 10.68 | 13.28 | 12.85 |
| | Al ₂ O ₃ | 14.38 | 14.51 | 14.08 | 14.67 | 14.93 | 15.43 | 14.18 | 14.45 | 15.02 | 15 |
| | FeO | 19.88 | 20.50 | 20.02 | 20.68 | 20.18 | 19.40 | 19.45 | 18.97 | 15.58 | 16.57 |
| | TiO ₂ | 4.11 | 4.19 | 4.58 | 4.53 | 3.70 | 3.31 | 4.05 | 3.96 | 2.15 | 2.60 |
| | K ₂ O | 13.46 | 13.41 | 13.54 | 13.27 | 13.10 | 13.28 | 13.47 | 13.22 | 13.59 | 13.45 |
| | Total | 98.72 | 99.07 | 98.73 | 99.15 | 98.23 | 98.12 | 97.81 | 97.61 | 97.64 | 97.59 |
| Fórmula estrutural | Si | 5,776 | 5,72 | 5,718 | 5,713 | 5,789 | 5,773 | 5,754 | 5,788 | 5,935 | 5,836 |
| | AlIV | 2,224 | 2,28 | 2,282 | 2,287 | 2,211 | 2,227 | 2,246 | 2,212 | 2,065 | 2,164 |
| | AlVI | 0,457 | 0,425 | 0,351 | 0,444 | 0,582 | 0,653 | 0,421 | 0,499 | 0,696 | 0,614 |
| | Ti | 0,489 | 0,499 | 0,547 | 0,539 | 0,442 | 0,395 | 0,487 | 0,474 | 0,252 | 0,308 |
| | Fe ₂ | 2,632 | 2,714 | 2,659 | 2,734 | 2,68 | 2,571 | 2,6 | 2,526 | 2,034 | 2,179 |
| | Mg | 2,452 | 2,433 | 2,486 | 2,324 | 2,337 | 2,426 | 2,54 | 2,536 | 3,091 | 3,013 |
| | K | 2,718 | 2,708 | 2,743 | 2,676 | 2,654 | 2,685 | 2,747 | 2,686 | 2,707 | 2,699 |
| | Fe_FeMg | 0,52 | 0,53 | 0,52 | 0,54 | 0,53 | 0,51 | 0,51 | 0,5 | 0,4 | 0,42 |
| Mg_FeMg | 0,48 | 0,47 | 0,48 | 0,46 | 0,47 | 0,49 | 0,49 | 0,5 | 0,6 | 0,58 | |

Tabela 23: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de biotita do corpo Trovão.

| Fácies Central | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Amostras | | LM-93B | LM-93B | LM-93B | LM-93B | HG-124 | HG-124 | HG-124 |
| Óxidos | | C1 | C2 | C2 | C2 | C6 | C6 | C6 |
| | | núcleo 2 | núcleo 1 | núcleo 2 | borda 2 | núcleo 1 | borda 1 | núcleo 2 |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 37.93 | 36.91 | 37.12 | 37.46 | 37.66 | 37.52 | 35.01 |
| | MgO | 13.11 | 12.18 | 12.63 | 12.63 | 12.31 | 12.43 | 15.98 |
| | Al ₂ O ₃ | 14.74 | 13.96 | 14.96 | 14.14 | 15.32 | 15.2 | 15.1 |
| | FeO | 16.66 | 16.69 | 15.24 | 16.46 | 17.21 | 17.11 | 17.34 |
| | TiO ₂ | 1.91 | 4.57 | 3.33 | 4.01 | 2.51 | 2.43 | 1.61 |
| | K ₂ O | 13.65 | 13.48 | 13.63 | 13.52 | 13.22 | 13.31 | 7.56 |
| | Total | 98.01 | 97.79 | 96.92 | 98.23 | 98.23 | 98.01 | 92.60 |
| Fórmula estrutural | Si | 5,935 | 5,811 | 5,849 | 5,854 | 5,878 | 5,874 | 5,665 |
| | Al ^{IV} | 2,065 | 2,189 | 2,151 | 2,146 | 2,122 | 2,126 | 2,335 |
| | Al ^{VI} | 0,651 | 0,399 | 0,625 | 0,456 | 0,694 | 0,677 | 0,526 |
| | Ti | 0,225 | 0,541 | 0,395 | 0,471 | 0,295 | 2,246 | 0,196 |
| | Fe ₂ | 2,18 | 2,197 | 2,008 | 2,151 | 2,246 | 2,24 | 2,347 |
| | Mg | 3,058 | 2,859 | 2,967 | 2,942 | 2,864 | 2,901 | 3,855 |
| | K | 2,725 | 2,707 | 2,74 | 2,695 | 2,632 | 2,659 | 1,561 |
| | O | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| | Fe_FeMg | 0,42 | 0,43 | 0,4 | 0,42 | 0,44 | 0,44 | 0,38 |
| | Mg_FeMg | 0,58 | 0,57 | 0,6 | 0,58 | 0,56 | 0,56 | 0,62 |

Tabela 24: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de biotita do corpo Trovão (cont.).

| | | Fácies Sul | |
|--------------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| | | HG-16B C2 | HG-16B C2 |
| | | núcleo 1 | núcleo 2 |
| Amostras | Óxidos | | |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | 37,15 | 36,95 |
| | TiO ₂ | 1,88 | 1,91 |
| | Al ₂ O ₃ | 15,55 | 15,35 |
| | FeO | 17,33 | 17,36 |
| | MgO | 12,71 | 12,35 |
| | K ₂ O | 13,71 | 13,7 |
| | Total | 98,33 | 97,62 |
| Fórmula estrutural | Si | 5,82 | 5,838 |
| | Al ^{IV} | 2,18 | 2,162 |
| | Al ^{VI} | 0,689 | 0,694 |
| | Ti | 0,222 | 0,227 |
| | Fe ² | 2,271 | 2,294 |
| | Mg | 2,968 | 2,909 |
| | K | 2,74 | 2,761 |
| | Cátions | 16,89 | 16,885 |
| | Fe_FeMg | 0,43 | 0,44 |
| | Mg_FeMg | 0,57 | 0,56 |

Tabela 25: Análises químicas contendo os teores de óxidos e as fórmulas estruturais calculadas para os cristais de biotita do corpo Flechal.

8.6. K-feldspato

As análises de K-feldspato foram feitas apenas em uma lâmina da fácies central do corpo Trovão, pois os cristais de K-feldspato da fácies norte apresentavam-se bem alterados e na fácies sul eles são praticamente ausentes. Desta forma, foram feitas análises em três cristais pertencentes à fácies central e os resultados obtidos estão expressos no gráfico Or-Ab-An (Figura 32), que mostra um enriquecimento predominante de ortoclásio nos feldspatos.

O resultado mostrou para as análises uma variação no conteúdo de Or em 65,6% a 97,6%, de Ab em 2,4% a 26,8% e de An de 0 a 9% (Tabela 26), classificando os K-feldspatos no campo da sanidina. Um detalhe que chama a atenção é o comportamento do Or das amostras LM-93B-C3_C3_núcleo2 e LM-93B-C3-borda2, que varia de 65,6% a 81,1% sugerindo a presença de zoneamento composicional ou de um ponto próximo a uma lamela pertítica. O teor mais alto de Na₂O observado na amostra LM-93B-C3-borda2 e consequente maior porcentagem de albita (Ab26,8%), pode ser devido ao limite com lamela pertítica.

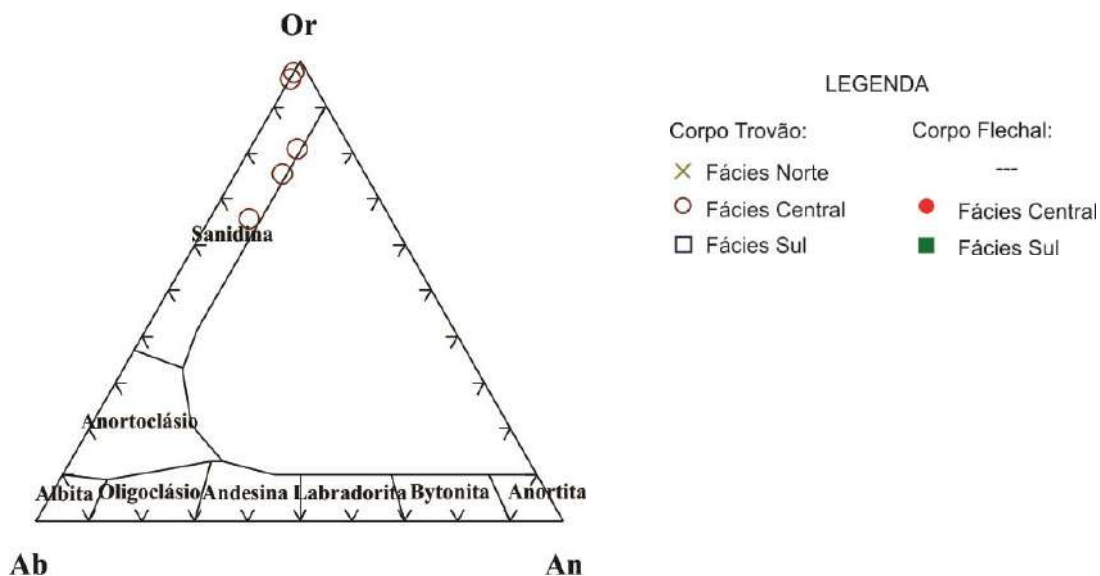


Figura 32: Gráfico de classificação para os feldspatos alcalinos do corpo Trovão.

Fácies Central

| | | Amostras | LM-93B C3 núcleo 1 | LM-93B C3 núcleo 2 | LM-93B C3 borda 2 | HG-124 C5 núcleo | HG-124 C5 borda |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | Óxidos | | | | | |
| Óxidos (%) | SiO ₂ | | 65.86 | 64.97 | 66.30 | 65.08 | 64.79 |
| | Na ₂ O | | 1.76 | 1.23 | 2.98 | 0.41 | 0.27 |
| | Al ₂ O ₃ | | 19.60 | 19.1 | 19.62 | 19.27 | 18.83 |
| | K ₂ O | | 13.09 | 15.23 | 11.1 | 16.07 | 16.43 |
| | FeO | | 0.02 | 0.02 | 0 | 0 | 0.05 |
| | CaO | | 1.86 | 2 | 1.53 | 0 | 0 |
| | BaO | | 0.2 | 0.12 | 0.19 | 0.27 | 0.02 |
| | | Total | 102.40 | 102.68 | 101.72 | 101.10 | 100.39 |
| Fórmula estrutural | Si | | 11.805 | 11.757 | 11.854 | 11.901 | 11.938 |
| | Al | | 4.137 | 4.071 | 4.131 | 4.15 | 4.086 |
| | Fe ₂ | | 0.003 | 0.003 | 0 | 0 | 0.008 |
| | Ba | | 0.014 | 0.009 | 0.013 | 0.019 | 0.001 |
| | Ca | | 0.357 | 0.388 | 0.293 | 0 | 0 |
| | Na | | 0.612 | 0.432 | 1.033 | 0.145 | 0.096 |
| | K | | 2.993 | 3.516 | 2.532 | 3.749 | 3.862 |
| | Cátions | | 19.935 | 20,185 | 19.869 | 19,983 | 19,992 |
| | X | | 15,942 | 15,828 | 15,985 | 16,051 | 16,024 |
| | Z | | 3,979 | 4,348 | 3,871 | 3,913 | 3,967 |
| Mem- bros finais (%) | Ab | | 15,4 | 10 | 26,8 | 3,7 | 2,4 |
| | An | | 9 | 8,9 | 7,6 | 0 | 0 |
| | Or | | 75,5 | 81,1 | 65,6 | 96,3 | 97,6 |

Tabela 26: Análises químicas contendo os teores de óxidos, as fórmulas estruturais calculadas e os membros finais para os cristais de k-feldspato do corpo Trovão.

9. GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA

A utilização de geobarômetros e geotermômetros para rochas ígneas tem como objetivo estimar as condições de pressão, temperatura e fugacidade de oxigênio (fO_2), atuantes no magma ou mesmo em etapas pós solidificação. Este capítulo fornece estes valores estimados, que foram obtidos através da análise de conjuntos mineralógicos em equilíbrio. Os geotermômetros e geobarômetros utilizados foram plagioclásio/anfibólio e ilmenita/magnetita, de maneira que o contato físico entre os cristais é uma condição essencial para a precisão dos cálculos, principalmente termométricos. Este estudo permite a obtenção não só destes parâmetros físicos como também servem para estimar o nível de alojamento/intrusão e de condições de cristalização.

Os dados utilizados foram aqueles adquiridos com a análise de microsonda, mais especificamente as fórmulas estruturais encontradas para os cristais de plagioclásio, anfibólio, magnetita e ilmenita.

9.1. Plagioclásio/anfibólio

9.1.1. Pressão

Para o cálculo da pressão foi utilizado o método de Schmidt (1992), que desenvolveu uma fórmula baseada nos teores de alumínio presentes em cristais de hornblenda de um tonalito com uma assembléia mineralógica em equilíbrio. A fórmula é a seguinte:

$$P(\pm 0,6 \text{ kbar}) = - 3,01 + 4,76Al_{\text{hbl}}^{\text{tot}}, r^2 = 0,99.$$

Os teores de alumínio (total) foram adquiridos a partir da soma entre os valores de alumínio octaédrico (CAI) e tetraédrico (TAI), obtidos através das fórmulas estruturais calculadas para cada cristal por meio do *Software* Minpet 2.02.

As pressões obtidas para as rochas do corpo Trovão possuem média de 4,2 Kbar para as amostras da fácies sul e média de 3,2 Kbar para a fácies central (Tabela 27). Fazendo-se uso da relação pressão *versus* profundidade, tem-se que a pressão aumenta cerca de 1 kbar a cada 3 km, aproximadamente. Desta forma, pode-se inferir uma

profundidade entre 9,7 km e 12,5 km, para o posicionamento e consolidação destas rochas na crosta terrestre.

Para as rochas do corpo Flechal observam-se pressões de 5,2 kbar e 2,8 kbar, para as fácies sul e central, respectivamente. Utilizando a mesma relação de pressão *versus* temperatura, as profundidades atingidas na crosta por estas rochas encontram-se entre 8,4 km e 15,5 km (Tabela 28).

9.1.2. Temperatura

Para o cálculo da temperatura utilizou-se o Programa AX, aplicativo hbl-pl, que calcula para cada par de cristais um intervalo de temperatura para uma dada faixa de pressão, como mostrado nas tabelas 1 e 2. Para isso, são inseridos em uma tabela pré-estabelecida os valores da composição química do anfibólio e a fração molar de albita do plagioclásio.

Os resultados obtidos para as rochas do corpo Trovão apontam intervalos de temperatura maiores para a fácies sul do que para a fácies central, com médias mínimas e máximas, respectivamente, de 777°C-793°C e 692-703°C, enquanto para as rochas do corpo Flechal os intervalos de temperatura possuem médias mínimas e máximas de 748°C-764°C e 678°C-686°C para as fácies sul e central respectivamente. Tais valores representam faixas de temperatura de cristalização destas rochas que podem ser consideradas compatíveis com a composição mineralógica, mas não com a profundidade inferida para a colocação dessas rochas na crosta, pois os dados geobarométricos apontam colocação rasa para os corpos. Com tais dados, obtém-se uma estimativa de gradiente geotérmico de cerca de 80°C por quilômetro, o que não reflete valores esperados para a crosta terrestre (entre 10°C e 50°C, com média de 30°C) e sim uma anomalia localizada devido a instabilidade do manto.

| | Amostras | TAI | CAI | AI (total) | Pressão (kbar) | Profundidade estimada (Km) | Intervalos de temperatura (°C) para pressões entre 0-5 kbar |
|-----------------------|-------------------|-------|-------|------------|----------------|----------------------------|---|
| Fácies Sul | LM-34_C2_núcleo | 1,335 | 0,191 | 1,526 | 4,25 | 12,7 | 858 - 866 |
| | LM-34_C2_borda | 1,294 | 0,244 | 1,538 | 4,31 | 12,9 | 782 - 799 |
| | LM-34_C2_núcleo 2 | 1,283 | 0,213 | 1,496 | 4,11 | 12,3 | 809 - 823 |
| | LM-34_C2_borda 2 | 1,287 | 0,283 | 1,57 | 4,46 | 13,4 | 756 - 777 |
| | LM-34_C5_núcleo | 1,238 | 0,263 | 1,501 | 4,13 | 12,4 | 741 - 760 |
| | LM-34_C5_borda | 1,264 | 0,172 | 1,436 | 3,83 | 11,5 | 717 - 732 |
| Fácies Central | LM-93B_C4_núcleo | 1,143 | 0,089 | 1,232 | 2,85 | 8,5 | 761 - 766 |
| | LM-93B_C4_borda | 1,106 | 0,036 | 1,142 | 2,43 | 7,3 | 749 - 752 |
| | HG-124_C1_núcleo | 1,331 | 0,124 | 1,455 | 3,92 | 11,8 | 715 - 722 |
| | HG-124_C1_borda | 1,099 | 0,264 | 1,363 | 3,48 | 10,4 | 650 - 666 |
| | HG-124_C2_núcleo | 0,971 | 0,233 | 1,204 | 2,72 | 8,2 | 673 - 688 |
| | HG-124_C2_borda | 1,161 | 0,228 | 1,389 | 3,60 | 10,8 | 674 - 688 |
| | HG-124_C3_núcleo | 1,143 | 0,245 | 1,388 | 3,60 | 10,8 | 696 - 711 |
| | HG-124_C3_borda | 1,118 | 0,191 | 1,309 | 3,22 | 9,7 | 663 - 674 |
| | HG-124_C4_núcleo | 1,073 | 0,153 | 1,226 | 2,83 | 8,5 | 695 - 704 |
| | HG-124_C4_borda | 1,171 | 0,212 | 1,383 | 3,57 | 10,7 | 648 - 660 |

Tabela 27: Pressões e intervalos mínimos e máximos de temperatura encontrados para pares de hornblenda/plagioclásio de rochas da fácies sul e central do corpo Trovão.

| | Amostras | TAI | CAI | AI (total) | Pressão (kbar) | Profundidade estimada (Km) | Intervalos de temperatura (°C) para pressões entre 0-5 kbar |
|-----------------------|--------------------|-------|-------|------------|----------------|----------------------------|---|
| Fácies Sul | HG-16B_C1_núcleo | 1,51 | 0,194 | 1,704 | 5,10 | 15,3 | 764 - 775 |
| | HG-16B_C1_borda | 1,536 | 0,259 | 1,795 | 5,53 | 16,6 | 760 - 777 |
| | HG-16B_C2_núcleo | 1,421 | 0,26 | 1,681 | 5 | 15 | 738 - 755 |
| | HG-16B_C2_borda | 1,415 | 0,279 | 1,694 | 5,05 | 15,1 | 731 - 748 |
| Fácies Central | HG-99A_C1_núcleo | 0,903 | 0,173 | 1,076 | 2,11 | 6,3 | 660 - 670 |
| | HG-99A_C1_borda | 1,144 | 0,114 | 1,258 | 2,98 | 8,9 | 715 - 721 |
| | HG-99A_C1_núcleo 2 | 1,005 | 0,142 | 1,147 | 2,45 | 7,3 | 655 - 664 |
| | HG-99A_C2_núcleo | 0,942 | 0,118 | 1,06 | 2,04 | 6,1 | 669 - 676 |
| | HG-99A_C2_borda | 1,014 | 0,146 | 1,16 | 2,51 | 7,5 | 662 - 673 |
| | HG-66A_C1_núcleo | 1,058 | 0,59 | 1,648 | 4,83 | 14,5 | 709 - 713 |

Tabela 28: Pressões e intervalos mínimos e máximos de temperatura encontrados para pares de hornblenda/plagioclásio de rochas da fácies sul e central do corpo Flechal.

9.2. Ilmenita/magnetita

9.2.1. Temperatura

A tabela 29 mostra as faixas de temperatura obtidas para os cristais de ilmenita/magnetita das rochas da fácies sul do corpo Trovão. Como se pode ver as temperaturas são predominantemente baixas, em média 251°C, exceto para as amostras LM-34_C3_núcleo2, LM-34_C3_borda2 e LM-34_C6_núcleo2, que são de 547°C, 435°C e 455°C, respectivamente. Estes valores não sugerem temperaturas de final de cristalização (ou próximo a ela), pois estes valores não são compatíveis com aqueles calculados para os pares plagioclásio/hornblenda.

As baixas temperaturas podem estar atribuídas ao reequilíbrio dessas fases minerais, possivelmente ocorrido pela entrada de fluidos tardios. Esta hipótese pode ser confirmada devido à presença de algumas feições típicas de hidrotermalização observadas em determinadas lâminas, como a transformação de augita em anfibólio uralítico e à presença de feldspato intensamente saussuritizado. Vale também ressaltar que uma associação mineral de baixa temperatura, marcada por epidoto, clorita, mica branca e titanita como resultado do desequilíbrio de biotita e feldspato, é observada nos granitos e tal transformação pode também ser devido a processos hidrotermais.

9.2.2. Fugacidade de O₂

A determinação da f_{O_2} neste caso é dificultada em função do reequilíbrio termodinâmico que ocorre no estágio de subsolidus e/ou durante os processos de alteração posteriores. Nestas situações, comumente se modificam as composições de magnetita e ilmenita primárias.

A tabela 29 mostra os valores de fugacidade de O₂, que são muito baixos (da ordem de -3000kPa) e cerca de 9 unidades logo abaixo do tampão FMQ para as mesmas condições de P e T, sugerindo a existência de um fluido de caráter redutor atuando durante o processo tardio de hidrotermalismo, apesar da baixa confiabilidade do dado devido ao reequilíbrio diagnosticado.

| | Amostras | Temperatura (°C) | fO₂ |
|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Fácies Sul | LM-34_C3_núcleo | 251 | -28.21 |
| | LM-34_C3_borda | 297 | -27.52 |
| | LM-34_C3_núcleo 2 | 547 | -28.027 |
| | LM-34_C3_borda 2 | 435 | -22.943 |
| | LM-34_C6_núcleo | 244 | -30.487 |
| | LM-34_C6_borda | 241 | -30.657 |
| | LM-34_C6_núcleo 2 | 455 | -23.350 |
| | LM-34_C6_borda 2 | 242 | -29.808 |
| | LM-34_C2_núcleo | 242 | -30.286 |
| | LM-34_C2_borda | 241 | -30.208 |

Tabela 29: Valores de temperatura e de fugacidade de O₂ obtidos para os pares de ilmenita/magnetita de quartzo-diorito da fácies sul do corpo Trovão.

10. CONCLUSÃO

As principais conclusões obtidas estão sumarizadas a seguir:

O estudo petrográfico detalhado aliado às análises de química mineral permitiram, de fato, a comprovação da existência de um zoneamento composicional assimétrico, caracterizado por três fácies (sul, central e norte) distintas nos corpos Trovão e Flechal.

A classificação petrográfica de 26 lâminas de rochas, realizada por contagem modal de pontos, permitiu denominar as rochas do corpo Trovão como: quartzo-dioritos e tonalito para a fácies sul, granodioritos e tonalitos integram a fácies central, enquanto granodioritos e monzogranito constituem a fácies norte. Quanto ao corpo Flechal foram identificados quartzo-diorito, quartzo-monzodiorito, granodiorito e monzogranito na fácies sul, enquanto a fácies central é constituída por quartzo-diorito, quartzo-monzodiorito e granodiorito, e a fácies norte tem quartzo-sienito, granodioritos e predominantemente monzogranitos.

Petrograficamente os corpos não apresentam significativas mudanças em sua mineralogia, porém a ocorrência de estruturas deformacionais típicas de baixas magnitudes de strain, como a presença de extinção ondulante, cristais arqueados e microfraturados, *kink bands*, *grain boundary migration* e pertita tipo flame, são bem mais frequentes nas rochas do corpo Trovão. Este comportamento é esperado para estas rochas, pois tais estruturas são possivelmente o reflexo da existência de uma zona de cisalhamento muito próxima ao corpo.

Texturas típicas de profundidades rasas, como intercrescimento gráfico são observadas nas rochas das fácies central e, mais comumente, nos granitoides das fácies norte de ambos os corpos. Estes últimos granitoides exibem adicionalmente os registros do processo de intensa saussuritização, possivelmente devido a alteração deutérica. Tal processo é explicado pela presença de fluidos magmáticos residuais, que nos estágios mais evoluídos de cristalização, atuam de forma mais acentuada, proporcionando desequilíbrio nos cristais.

A presença de cristais zonados, textura rapakivi, reações de borda de grãos, diferentes gerações de cristais de feldspato e sobrecrecimento de anfibólio em relíctos de clinopiroxênio alterados e preferencialmente arredondados, são diagnósticos de uma evolução magmática em desequilíbrio.

O padrão de fracionamento observado nas análises de litogeoquímica para os corpos Trovão e Flechal, marcado por tendências de empobrecimento em TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 e MnO , bem como o de enriquecimento em K_2O em direção às fácies mais evoluídas, também foi observado nas análises de química mineral, principalmente nos cristais de plagioclásio, que mostram um decréscimo constante na da molécula anortita em direção a fácies norte em ambos os corpos. Na fácies sul predomina plagioclásio andesínico e raramente labradorítico, enquanto na fácies central a composição varia de andesina a oligoclásio e na fácies norte o plagioclásio predominante é o oligoclásio. Os cristais de biotita da fácies sul apresentam maior teor de Fe do que os cristais da fácies central, que são mais ricos em Mg.

Os cristais de clinopiroxênio mostram composição de augita, enquanto os anfibólios são predominantemente Mg-hornblenda. As composições de hornblenda actinolita e actinolita encontradas para 4 cristais de anfibólio devem corresponder ao produto de alteração hidrotermal da augita para anfibólio com composição actinolítica – denominado uralita. Tal fato é confirmado pelos baixos teores de alumínio presentes nestes cristais, padrão típico de piroxênios, o que contrasta com as actolitas metamórficas, que são enriquecidas em Al.

As baixas proporções de hematita (Fe_2O_3) exsolvida nos cristais de ilmenita (FeTiO_3) apontam para um ambiente redutor durante a cristalização. A presença de ulvospinélio exsolvido em cristais de magnetita atesta para baixas condições de temperatura durante a cristalização, uma vez que este processo ocorre em torno de 600°C .

O estudo geobarométrico permitiu propor profundidades mais rasas para a colocação das rochas das fácies central dos corpos Flechal e Trovão, em relação às da fácies sul, fato este também confirmado pela presença de textura gráfica, típica de ambientes rasos. As rochas das fácies norte, que não foram analisadas neste estudo devido a intensa alteração, devem representar porções de colocação ainda mais rasa. As

altas temperaturas de cristalização destes corpos, calculadas para os pares anfibólio/plagioclásio, não condizem com as baixas profundidades encontradas para estas rochas. O gradiente geotérmico de 80°C permite supor a existência de uma crosta anormalmente quente possivelmente devido a instabilidades do manto em um ambiente pós-colisional.

Os baixos valores de temperatura (~251°C) obtidos para os cristais de ilmenita/magnetita, não indicam temperatura de cristalização, mas podem estar atribuídas a reequilíbrio destas fases minerais devido a presença de fluidos tardios. Esta hipótese pode ser confirmada pela presença de algumas feições típicas de hidrotermalização observadas em determinadas lâminas, como a transformação de augita em anfibólio uralítico e à presença de uma associação mineral de baixa temperatura, marcada por epidoto, clorita, mica branca e titanita, como resultado do desequilíbrio de biotita e feldspato.

Os baixos valores de fO_2 sugerem a existência de um fluido de caráter redutor atuando durante o processo tardio de hidrotermalismo.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. 1984. In: ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. (ed). O pré-cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blücher, 378p.

BLUNDY, J. D. & HOLLAND, T. J. B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 208-224.

BONIN, B. 2004. Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review. *Lithos*, v.78, n. 1/2, p. 1-24.

BOYNTON, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. In: HENDERSON, P. (ed.) *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, p. 63-114.

BRITO NEVES, B.B. & CORDANI, U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Res.*, 53: 23-40

BROWN, G.C.; THORPE, R.S.; WEBB, P. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Geol.Soc.Lond.*, 141, 411-426.

COX, K.G., BELL J.D. & PANKHURST R.J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. Unwin Hyman Ltd., London. 450p.

DANA, J.D. (ed). 1969. Manual de mineralogia; revisado por Cornelius S. Hurlbut, Jr., tradução de Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 642p.

DEER, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1966. An introduction to the rock-forming minerals. Longman, 2a. edição. 696p.

FRAGA, L.M.B. *et al.* 2009a. 1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: single zircon evaporation data and tectonic implications. *Journal of South America Earth Sciences*, v.27, p. 247-257, 2009a.

FRAGA, L.M.B.; REIS, N.J.; DALL'AGNOL, R. 2009b. Cauarane-Coeroeni Belt-the main tectonic feature of the central Guyana Shield, Northern Amazonian Craton. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 11., 2009, Belém. Anais. Belém:SBG, 2009b. 1 CD-ROM.

FRAGA, L.M.B. *et al.*, 2010. In: CPRM. Geologia e recursos minerais da Folha Vila de Tepequém – NA.20-X-A-III. Estado de Roraima, Escala 1: 100.000 Manaus : CPRM, 2010. 182p.

HANSON, G.N. 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38, 26-43.

HARKER, A. 1909. The natural history of igneous rocks. London: Methuen, 384p.

HARRIS, N.B.W.; PEARCE, J.A.; TINDLE, A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: COWARD, M.P.; RIES, A.C. (ed) *Collision Tectonics*. Oxford: Blackwell Scientific, 1986, p.67-81. (Geological Society Special Publication, 19).

HIBBARD, M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Mckay School of mines, University of Nevada, Reno. 608pp.

IRVINE, T.N.; BARAGAR, W.R.A. 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8:523-548.

LA ROCHE, H., LETERRIER, J. GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29 (3/4): 183-210.

LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. 1982. Plutonic rock types series: Discrimination of various granitoids series and related rocks. *J. Volcanology Publ. Com.*, Amsterdam, 14:169-186.

LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B.; LE BAS, M.J.; BONIN, B.; BATEMAN, P.; BELLINI, G.; DUDEK, A.; EFREMOVA, J.; KELLER, J.; LAMEYRE, J.; SABINE, P.A.; SCHMIDT, R.; SORENSEN, H.; WOOLLEY, A.R. 2002. *Igneous Rocks. A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the systematics of igneous rocks*. Cambridge University Press, Cambridge, 252 pp.

MENDES, J.C. *et al.*, 1999. Conditions of formation of Charnockitic magmatic rocks from the Várzea Alegre Massif, Espírito Santo, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. Volume 29(1):47-54, março de 1999.

O'CONNOR, J.T. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. U.S. Geological Survey Prof., 525 (2): 79-84.

OYHANTÇABAL, P *et al.* 2007. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano-Pan-African, Uruguay). *Lithos*, v. 98, n. ¼ p. 141-159, Oct. 2007.

PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Berlim, Springer-Verlag. 289p.

PEARCE, J. A., HARRIS, B. W. & TINDLE, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956-983.

PECCERILLO A. & TAYLOR S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.

PERCE, J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, v.19, n. 4, p. 120-125, 1996.

REIS, N.J. *et al.*, 2003. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. In: *Geology of France and Surrounding Areas, Special Guiana Shield*. BRGM n. 2-4, p. 121 – 134, 2003.

REIS, N.J. *et al.*, 2004. Folhas NA.20- Boa Vista e NB.20- Roraima. In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Carta geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas-SIG. Folhas NA-20 Boa Vista e NB.20 Roraima. Brasília: CPRM, 2004. CD rom 2/41. Programa Geologia do Brasil –PGB.

RICHARD, L.L. 1995. MINPET Geological Software – mineralogical and petrological data processing system.

SANTOS, J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília, CPRM, p. 169-226.

SANTOS, J.O.S. *et al.* Metasedimentary rocks of the Imataca Complex, Venezuela: from Archean to Orosirian (Latetranamazonian). In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 9, 2006, Belém. Resumos Expandidos, Belém:SBG, 2006b. 1 CD-ROM.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; McNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Res.*, 3(4): 453-488.

SCHMIDT, M. W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 110: 304-310.

SIAL, A.N. & McREATH, I. 1984. Petrologia ígnea: os fundamentos e as ferramentas de estudo. Salvador: SBG; CNPq; BUREAU, 1984. Volume1.

SPRY, A. 1969. Metamorphic Texture. Austrália. Pergamo Press. 1ª edição, 350p.

STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Review*, 12: 1-33.

TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3): 174-182.

TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES, M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. 2000. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; FILHO, A.T.; CAMPOS, D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31º International Geological Congress, SBG. p. 41-95.

TASSINARI, C.C.G.; MUNHÁ, J.M.V.; TEIXEIRA, W.; PALÁCIOS, T.; NUTMAN, A.P.; SOUSA, C.S.; SANTOS, A.P.; CALADO, B.O. 2004. The Imataca Complex, NW Amazonian Craton, Venezuela: crustal evolution and integration of geochronological and petrological cooling histories. *Episodes*, 27 (1): 3-12.

WERNICK, E. 2004. Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica. São Paulo: Editora UNESP, 2004, 655p.

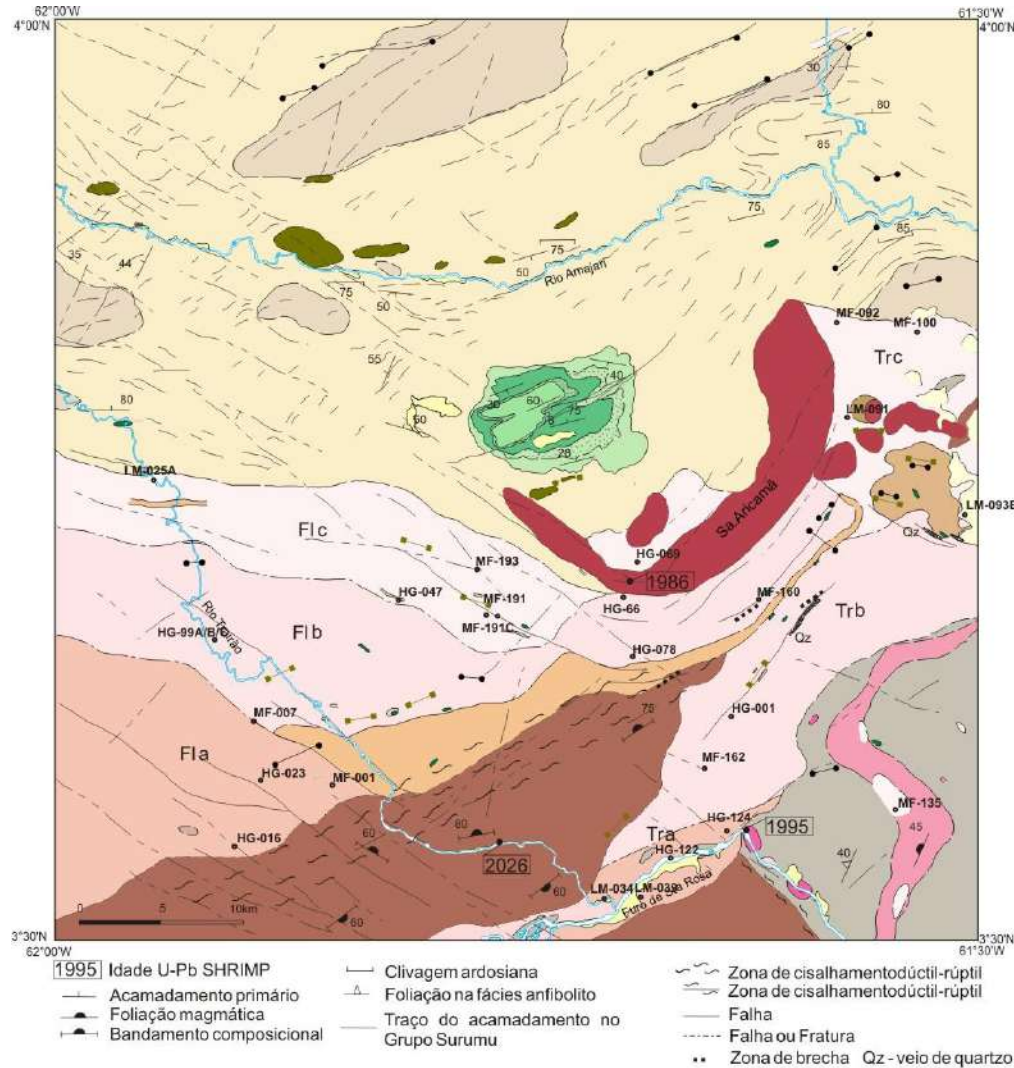
WHITNEY, D.L., EVANS, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95: 185-187.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.; GILBERT, C.M. 1982. *Petrography (Second Edition)*. San Francisco, W.H. Freeman and Company. 626p.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.M. 1970. Petrografia. In: *Textura e classificação de rochas ígneas* (eds.) USP, P.13-38.

YARDLEY, B.W.D. 1989. Introdução à Petrografia Metamórfica. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 432p.

ANEXO I – Mapa de pontos



- Coberturas Cenozóicas
- PALEOPROTEROZÓICO**
- Lampróforo Serra do Cupim - Espessartitos, microdioritos e andesitos
- Gabro Igarapé Tomás
- Diabásio Avanavero
- Formação Tepequém**
- Membro Cabo Sobral - Conglomerados, arenitos e pelitos
- Membro Funil - Litarenitos siltosos, siltitos, argilitos, tufo e arenitos conglomeráticos
- Membro Paiva - Litarenitos, conglomerados, argilitos e tufo e quartzo-arenitos
- Formação Cachoeira da Ilha - Ignimbritos riolíticos e microgranitos, tipo-A
- Suíte Aricamã** - Sienogranitos e alcali-feldspato-granitos, tipo-A
- Grupo Surumu**, tipo-I, cálcio-alcalino de alto K
- Lavas riolíticas
- Rochas subvulcânicas ácidas
- Ignimbritos riolíticos a traquíticos
- Suíte Pedra Pintada, corpos Trovão (Tr) e Flechal (Fl)** tipo-I, cálcio-alcalino de alto K
- Fácies Norte (c) - Monzogranitos e sienogranitos
- Fácies Central (b)- Granodioritos, monzogranitos e tonalitos
- Fácies Sul(a)- Quartzo-dioritos, monzodioritos e tonalitos
- Granito Mixiguana**
- Granito Amajari**, tipo-S
- Grupo Cauarane** - Rochas supracrustais na fácies anfibolito
- Suíte Trairão** - Granodioritos a tonalitos, tipo-I cálcio-alcalino de médio a alto-K