

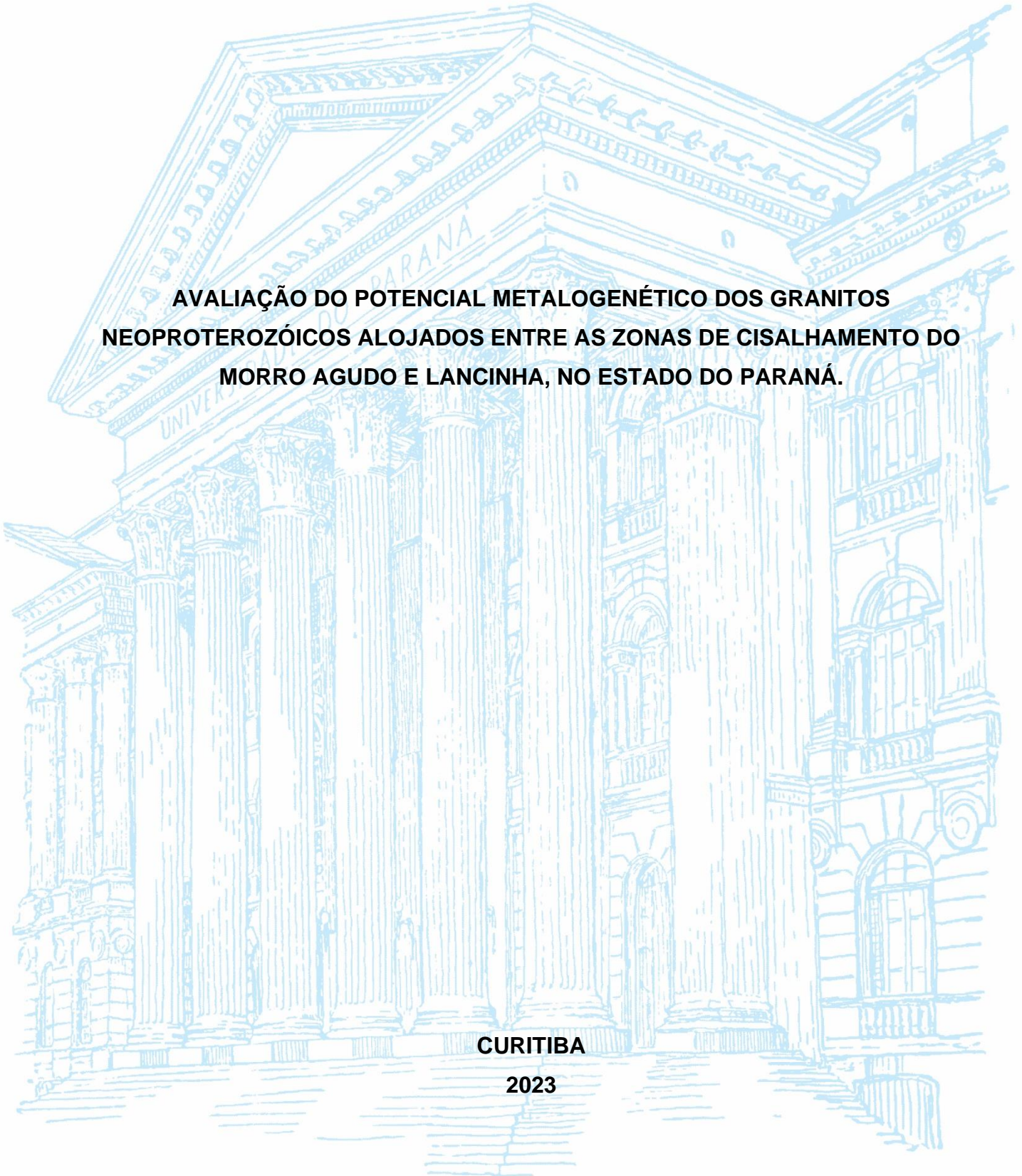
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**ANGELA RODIZES**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL METALOGENÉTICO DOS GRANITOS  
NEOPROTEROZÓICOS ALOJADOS ENTRE AS ZONAS DE CISALHAMENTO DO  
MORRO AGUDO E LANCINHA, NO ESTADO DO PARANÁ.**

**CURITIBA**

**2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA**  
**CURSO DE GEOLOGIA**

**ANGELA RODIZES**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL METALOGENÉTICO DOS GRANITOS  
NEOPROTEROZÓICOS ALOJADOS ENTRE AS ZONAS DE CISALHAMENTO DO  
MORRO AGUDO E LANCINHA, NO ESTADO DO PARANÁ.**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Ariadne Borgo

**CURITIBA**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, inicialmente, à Universidade Federal do Paraná (UFPR), pelo ensino público, gratuito e de qualidade e ao Departamento de Geologia (DEGEOL), pela infraestrutura disponibilizada durante toda a graduação, e a todos os professores que compartilharam parte de seu conhecimento comigo e com os colegas, possibilitando nossa formação como geólogos.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Ariadne Borgo, por todo suporte e pela atenção, empenho e estímulo desde a definição do tema desta tese até os momentos finais. Fico imensamente feliz em ter alguém tão hábil e inteligente para me ajudar neste trabalho.

Agradeço infinitamente a todos os amigos e amigas com quem tive a oportunidade de compartilhar estes anos de graduação, com especial destaque para Leonardo, que foi imprescindível durante todos esses anos, Marcello e Juliana, companheiros do mapeamento para a vida, Robson e Cristian, pelo apoio e por todas as risadas. A todos da minha família, minha mãe, minhas irmãs e minha sobrinha, que tem sido tão importantes desde sempre. E ao Renan, por ser amigo e companheiro há tantos anos e pela especial atenção nessa reta final da graduação. Aos queridos amigos e colegas do iLamir, em especial Flávia, Lari e Guilherme, pelas conversas e ajuda com os equipamentos, tanto durante a etapa em que redigi esta tese quanto nos anos em que fui aluna de iniciação científica no laboratório. Sem vocês esta caminhada teria sido ainda mais difícil e complexa.

“The only true wisdom is in knowing you know nothing.”

— Sócrates

## RESUMO

No Paraná, ocorrem vários corpos graníticos situados entre duas estruturas importantes: a Falha da Lancinha e a Falha de Morro Agudo, que fazem parte do Sistema de Transcorrência Lancinha. Dentre estes, os principais e mais estudados são os granitos do Cerne, Varginha, Morro Grande, Taici, Piedade e Passa Três. Este último, composto predominantemente por quartzo sienitos e alojado entre xistos do Grupo Setuva, a leste, e metassedimentos do Grupo Açungui, a oeste, se destaca como encaixante da principal jazida de ouro em atividade no Estado com uma afinidade Au-Bi-Cu±Mo. A colocação desses granitos está temporalmente e espacialmente relacionada com as zonas de cisalhamento definidas pelas falhas mencionadas acima. Nos estudos de Chiodi Filho et al. (1987), os autores indicam uma favorabilidade dos Granitos Varginha e Taici para depósitos de W, Mo, Sn, Au e Cu, enquanto reconhecem mineralizações de Sn-W, associadas à greisenização no Granito Morro Grande. Segundo o mesmo estudo, os processos de alteração hidrotermal observados no Granito Piedade indicam possíveis mineralizações do tipo pórfiro a Mo-W. A maioria dos corpos estudados apresentam características litogeoquímicas semelhantes aos granitos tipo A, associados a ambientes tectônicos anorogênicos, pós-orogênicos ou tardi-orogênicos. A diferença principal entre os granitos tipo A e os corpos estudados é que os mesmos apresentam altos teores de Ba, Sr e Zr, o que pode ser resultante da interação crustal dos magmas geradores destes granitos. Analisando informações de campo, petrográfica, geoquímicas e geofísicas, os granitos foram classificados quanto a seu respectivo potencial metalogenético. As alterações hidrotermais observadas nesses corpos graníticos ajudaram a entender a remobilização de metais importantes. O GPT apresenta alteração fílica e greisenização, o granito Morro Grande greisenização e o Taici alteração fílica com teores de Au associados entre 0.01 e 0.5ppm. Portanto, a região estudada apresenta um forte caráter polimetálico, com ocorrências de jazidas mineralizadas em W, Mo, Sn, Au e Cu.

**Palavras-chave:** Granitos, Alteração Hidrotermal, mineralização aurífera.

## ABSTRACT

In the Paraná State, there are several granitic bodies located between two important structures: the Lancinha and the Morro Agudo Shear Zones, which are part of the Lancinha Transcurrence System. The most studied granite intrusions are the Cerne, Varginha, Morro Grande, Taici, Piedade and Passa Três granites. The latter, composed predominantly of quartz syenites and intruded between shales of the Setuva Group, and metasediments of the Açungui Group stands out as the main gold deposit in activity in the State with an Au-Bi-Cu Mo affinity. The placement of these granites is temporally and spatially related to the shear zones defined by the faults mentioned above. In the studies of Chiodi Filho et al. (1987), the authors indicate a favorability of Varginha and Taici granites for deposits of W, Mo, Sn, Au and Cu, while recognizing mineralizations of Sn-W, associated with greisenization in Morro Grande Granite. According to the same study, the processes of hydrothermal alteration observed in the Piedade Granite indicate possible mineralization of the porphyry type Mo-W. Most of the studied granites have similar characteristics and are associated with anorogenic, post-orogenic or late-orogenic tectonic environments. The main difference between the granites type A and the studied bodies is that they have high levels of Ba, Sr and Zr, which may be a result of the crustal interaction of the magmas that generate these granites. Analyzing petrographic, geochemical, and geophysical data, the granites were classified according to their respective metallogenetic potential. The hydrothermal alterations observed in these granitic bodies helped to understand the remobilization of important metals. The Passa Três presents phyllic alteration and greisenization processes, the granite Morro Grande also shows greisenization while the Taici granite has Au mineralization, with contents between 0.01-0.5ppm, associated with phyllic alteration. Therefore, the studied area has a strong polymetallic character, with occurrences W, Mo, Sn, Au and Cu mineralizations.

**Keywords:** Granites, Hydrothermal alteration, gold mineralization.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 – Mapa geológico do leste paranaense destacando os granitos estudados nesta dissertação.....   | 16 |
| FIGURA 2 – Mapa de localização e principais acessos aos granitos.....   | 17 |
| FIGURA 3 – Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira. Fonte: CPRM .....  | 20 |
| FIGURA 4 – Principais unidades geológicas do leste paranaense.1. Bacias de Antepaís [grupos Castro (NW) e Camarinha (SW)]. 2. Batólito Cunhaporanga (600-590 Ma). 3. Grupo Itaiacoca (Neoproterozoico). 4. Batólito Três Córregos (630-600 Ma). 5. Formação Água Clara (c. 1450 Ma). 6. Sequências Lajeado e Antinha (Neoproterozoico?). 7. Formação Iporanga (Neoproterozoico). 8. Granitoides sin- a pós-colisionais (590-570 Ma). 9. Formação Votuverava (c. 1450 Ma). 10. Sienito Tunas (85 Ma). 11. Sequências Perau e Betara (1450 Ma). 12. Granitos alcalinos deformados (1750 Ma) e granitos cálcio-alcalinos deformados (2100 Ma). 13. Formação Capiru. 14. Complexo Gnáissico-Migmatítico Atuba. 15. Província Graciosa. Adaptado de: Cury et al., 2008. Adaptado de: Cury et al., 2008. .... | 22 |
| FIGURA 5 – Mapa geológico do Granito do Cerne. ....   | 26 |
| FIGURA 6 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) feito com os dados de Cury (2002) para o Granito do Cerne. ....   | 27 |
| FIGURA 7 – Mapa dos domínios faciográficos do Granito Morro Grande. Adaptado de Chiodi Filho et al., (1987) .....   | 29 |
| FIGURA 8 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) das rochas dos domínios faciográficos do Granito Morro Grande. Retirado de Chiodi Filho et al. (1987).....  | 30 |
| FIGURA 9 – Diagrama de elementos terras raras (ETR) para os domínios do Granito Morro Grande. A) Domínio faciográfico $\gamma_1$ e $\gamma_2$ . B) Domínio faciográfico $\gamma_4$ . C) Domínio faciográfico $\gamma_3$ . D) Domínio faciográfico $\gamma_5$ . Retirado de: Chiodi Filho et al. (1987). ....  | 30 |
| FIGURA 10 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas do Granito Passa Três estudadas por Piekarcz (1992). ....   | 31 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 11 – Mapa dos domínios faciológicos do Granito Piedade. Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).....   | 34 |
| FIGURA 12 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas dos domínios faciológicos pertencentes ao Granito Piedade. A) Domínio $\gamma_2$ . B) Domínio $\gamma_1$ . Retirado de Chiodi Filho et al. (1987).....   | 35 |
| FIGURA 13 – Diagrama de elementos terras raras para as fácies do Granito Piedade. A) Domínios faciológicos $\gamma_2$ (álcali-sienitos). B) Domínios faciológicos $\gamma_1$ (álcali-granítico). Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).....   | 36 |
| FIGURA 14 – Mapa dos domínios faciológicos do Granito Varginha. Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).....  | 37 |
| FIGURA 15 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas dos domínios faciológicos pertencentes ao Granito Varginha. Retirado de Chiodi Filho et al. (1987).....  | 38 |
| FIGURA 16 – Diagrama de elementos terras raras para as fácies do Granito Varginha. A) Domínio faciológicos $\gamma_1$ . B) Domínio faciológico $\gamma_2$ . C) Domínio faciológico $\gamma_3$ e $\gamma_4$ . D) Domínio faciológico $\gamma_5$ . Retirado de Chiodi Filho et al. (1987)..... | 39 |
| FIGURA 17 – Tipologia dos granitos, suas fontes e autoria da teoria.....   | 41 |
| FIGURA 18 – Diagrama A/NK ( $Al_2O_3/Na_2O+K_2O$ ) vs. A/CNK ( $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$ ), em mols, também conhecido como Index de Shandi (Maniar and Piccoli, 1989)..   | 42 |
| FIGURA 19 – Gráfico da evolução das principais alterações hidrotermais em função da temperatura e da atividade de potássio hidrogênio do fluido. Fonte: Pirajno (2009).....  | 45 |
| FIGURA 20 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito do Cerne. ....   | 50 |
| FIGURA 21 – Granito Cerne: Fácies Sienogranito. ....   | 51 |
| FIGURA 22 – Granito Cerne, fácies granodiorito. LPC, 5x, lâmina BC-106. Observar o aspecto turvo dos feldspatos alcalinos, provável indício de alteração hidrotermal..   | 52 |
| FIGURA 23 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Morro Grande.....  | 53 |
| FIGURA 24 – Fotomicrografias do Granito Morro Grande. A, B e C: amostra BC-48. D) Amostra BC-61.....   | 54 |
| FIGURA 25 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Passa Três.....  | 55 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 26 – Granito Passa Três: fotomicrografias do Sienito equigranular fino (a e b) e sienito equigranular médio (c e d). Observar a paragênese sericita + quartzo + pirlita + FK, típica de alteração fílica.....  | 56 |
| FIGURA 27 – Amostra 2430-E: alteração tipo Greisen da fácies álcali-feldspato granito marcada pela paragênese muscovita + quartzo + $\pm$ fluorita $\pm$ FK. A) XPL, 2,5x. B) XPL 5x.. .....  | 57 |
| FIGURA 28 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Piedade.....  | 57 |
| FIGURA 29 – Fotomicrografias do Granito Piedade - LPC, lâmina BC-82. A) Textura geral da rocha. Nota-se veios preenchidos com sericita; B) Cristal de FK completamente sericitizado. Observar inclusões de opacos e apatita. É comum contato em cúspide entre quartzo e FK. LPC, lâmina BC-85 C) Trama geral da rocha; D) Cristal de titanita associado a hornblenda. Notar FK com aspecto turvo a LPD..... | 59 |
| FIGURA 30 – Fotomicrografias do Granito Piedade, lâmina BC-80.....  | 60 |
| FIGURA 31 – A) Amostra em afloramento do Granito Taici, onde é possível observar textura do tipo boxwork e formação de óxidos e hidróxidos de ferro. B) Rocha com fraturamento hidráulico, evidenciado pelos veios irregulares e sem aparente controle estrutural preenchidos por calcita .....   | 60 |
| FIGURA 32 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Taici. ....   | 61 |
| FIGURA 33 – Granito Taici: fácies álcali-feldspato-granito A) e B) Fotomicrografias da lâmina 5-AR-2022. C) Fotomicrografia da amostra 11-AR-2022. D) Fotomicrografias da amostra 12-AR-2022. Observar textura granofírica que ocorre localmente.....   | 62 |
| FIGURA 34 – Granito Taici: Veios preenchidos por sericita e quartzo nas fácies álcali-feldspato-granito. ....   | 62 |
| FIGURA 35 – Granito Taici. Amostra 12G-AR-2022. A) Amostra de mão e B) Fotomicrografia. C e D) Fotomicrografias da amostra 06-AR-2022. Observar cristais de feldspato alcalino sericitizado e inclusões de titanita e apatita em cristal de biotita. ....   | 63 |
| FIGURA 36 – Granito Taici: Fácies quartzo-monzonito, amostra 14-AR-2022. ....   | 64 |
| FIGURA 37 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Varginha. ....  | 65 |
| FIGURA 38 – Granito Varginha: Fácies monzogranito. A) fratura preenchida com carbonato e sericita recristalizando para muscovita. B) Cristal de   |    |

|   |    |
|---|----|
| granada e biotita alterada. C) Plagioclásio alterando para sericita e cristal de granada alterado. D) Veio preenchido por turmalina... ..   | 66 |
| FIGURA 39 – Granito Varginha: Fácies sienogranito.....  | 67 |
| FIGURA 40 – Diagrama TAS (Middlemost, 1994).....  | 69 |
| FIGURA 41 – Diagrama Multicatiônico R1-R2 (LA ROCHE et al., 1980).. ..  | 70 |
| FIGURA 42 – Diagrama SiO <sub>2</sub> versus Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O-CaO proposto por Frost et al. (2001) aplicado para os granitos Varginha, Morro Grande, Piedade, Cerne e Passa Três.....                       | 71 |
| FIGURA 43 – Diagrama SiO <sub>2</sub> versus K <sub>2</sub> O (Peccerillo & Taylor, 1976).....  | 71 |
| FIGURA 44 – Diagrama de índice de saturação em alumina (Shand, 1943). .....   | 72 |
| FIGURA 45 – Diagrama proposto por Sylvester (1989), 100[(MgO+FeO+TiO <sub>2</sub> )/SiO <sub>2</sub> ] versus (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CaO)/(FeO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O) para os granitos estudados.      | 73 |
| FIGURA 46 – Diagrama discriminante de Whalen et al. (1987), separando granitos tipo I, A e S.....   | 74 |
| FIGURA 47 – Diagramas de sílica vs óxidos de elementos maiores para os granitos estudados.....  | 75 |
| FIGURA 48 – Diagramas de Pearce et al. (1984). .....  | 76 |
| FIGURA 49 – Diagrama de Laurent et al., 2014 para possíveis fontes de magmas graníticos .....   | 77 |
| FIGURA 50 – Granito Morro Grande. A) Mapa ternário RGB (F, Kd e Ud) do Granito Morro Grande. B) Mapa de possíveis zonas de alteração hidrotermal (A e E), indicando os domínios faciológicos. Fonte: Michalzechen (2015)..... | 80 |
| FIGURA 51 – A) Mapa ternário RGB (F, Kd e Ud) do Granito Piedade. B) Mapa de possíveis zonas de alteração hidrotermal (A e E), indicando os domínios faciológicos. Fonte: Michalzechen (2015).....                            | 81 |
| FIGURA 52 – Diferentes tipos de texturas granofíricas (Smith 1974). Retirado de Nascimento (2002).....  | 82 |
| FIGURA 53 – A) Mapa ternário RGB (F, Kd e Ud) do Granito Varginha. B) Mapa de possíveis zonas de alteração hidrotermal (A e E), indicando os domínios faciológicos. Fonte: Michalzechen (2015).....                           | 84 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1 – Classificação de granitoides baseada no contexto geotectônico. Baseado em Pitcher (1983,1993), Barbarin (1990, 1990), Pearce (1984) e Maniar & Piccoli (1989)..... | 40 |
| TABELA 2 – Síntese comparativa dos granitóides tipo I e S de Chappell et Whitte, (1974).....  | 43 |
| TABELA 3 – Terminologia de alterações hidrotermais. Traduzido de Grifkins et al (2005).....   | 46 |
| TABELA 4 – Relação das lâminas petrográficas descritas. ....  | 48 |
| TABELA 5 – Relação das lâminas petrográficas, seus teores minerais e classificação QAP. ....  | 49 |
| TABELA 6 – Relação das análises geoquímicas utilizadas ou realizadas e seus respectivos autores.....  | 68 |
| TABELA 7 – Resumo dos principais aspectos dos granitos estudados.. ....   | 77 |

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

|   |
|---|
| CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico) |
| ETR – Elementos Terras Raras  |
| FK – Feldspato alcalino   |
| GPT – Granito Passa Três  |
| IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                |
| LPC – Luz com polarizadores cruzados                                  |
| LPX – Luz com polarizadores descruzados                               |
| ZC – Zona de Cisalhamento   |
| ZCMA – Zona de Cisalhamento Morro Agudo                               |
| ZCL – Zona de Cisalhamento Lancinha                                   |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                            | <b>16</b> |
| 1.1      | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....                | 17        |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA.....                                 | 18        |
| 1.3      | OBJETIVOS .....                                    | 18        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                 | <b>19</b> |
| 2.1      | GEOLOGIA REGIONAL .....                            | 19        |
| 2.1.1    | Província Mantiqueira .....                        | 19        |
| 2.1.2    | Zonas de Cisalhamento.....                         | 23        |
| 2.1.3    | Corpos graníticos neoproterozoicos .....           | 24        |
|          | 2.1.3.1 Granito do Cerne .....                     | 25        |
|          | 2.1.3.2 Granito Morro Grande .....                 | 28        |
|          | 2.1.3.3 Granito Passa Três .....                   | 31        |
|          | 2.1.3.4 Granito Piedade.....                       | 33        |
|          | 2.1.3.5 Granito Taici .....                        | 36        |
|          | 2.1.3.6 Granito Varginha .....                     | 37        |
| 2.2      | TIPOLOGIA DE GRANITOIDES.....                      | 39        |
| 2.2      | ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS .....                      | 44        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                   | <b>48</b> |
| 3.1      | LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....                    | 47        |
| 3.2      | CONFECÇÃO DE MAPAS E TRABALHOS DE CAMPO .....      | 47        |
| 3.4      | ANÁLISE PETROGRÁFICA .....                         | 47        |
| 3.5      | ANÁLISES GEOQUÍMICAS .....                         | 47        |
| 3.5      | TRATAMENTO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS..... | 48        |
| <b>4</b> | <b>PETROGRAFIA.....</b>                            | <b>48</b> |
| 4.1      | GRANITO DO CERNE .....                             | 49        |
|          | 4.1.1 Fácies sienogranito.....                     | 50        |
|          | 4.1.2 Fácies granodiorito .....                    | 52        |
| 4.2      | GRANITO MORRO GRANDE .....                         | 52        |
|          | 4.2.1 Fácies monzogranito .....                    | 53        |
| 4.3      | GRANITO PASSA TRÊS.....                            | 54        |
|          | 4.3.1 Fácies sienogranito.....                     | 55        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.3.2    | Fácies álcali-feldspato .....                 | 4.4       |
|          | GRANITO piedade.....                          | 57        |
| 4.4.1    | Fácies quartzo-álcali-feldspato sienito ..... | 58        |
| 4.4.2    | Fácies sienogranito.....                      | 59        |
| 4.5      | GRANITO TAICI .....                           | 60        |
| 4.5.1    | Fácies álcali-feldspato-granito .....         | 61        |
| 4.5.2    | Fácies monzogranito.....                      | 63        |
| 4.5.3    | Fácies quartzo-monzonito.....                 | 63        |
| 4.5      | GRANITO VARGINHA.....                         | 64        |
| 4.6.1    | Fácies monzogranito.....                      | 65        |
| 4.6.2    | Fácies sienogranito.....                      | 67        |
| <b>5</b> | <b>ANÁLISES GEOQUÍMICAS.....</b>              | <b>67</b> |
| <b>6</b> | <b>DISCUSSÃO E RESULTADOS .....</b>           | <b>77</b> |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>                       | <b>85</b> |
| <b>8</b> | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                       | <b>87</b> |
|          | <b>ANEXOS .....</b>                           | <b>95</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No Estado do Paraná, ocorrem vários corpos graníticos situados entre duas estruturas importantes: a Falha da Lancinha e a Falha de Morro Agudo, que fazem parte do Sistema de Transcorrência Lancinha. Dentre estes, os principais e mais estudados são os granitos do Cerne, Varginha, Morro Grande, Piedade e Passa Três (Figura 1).

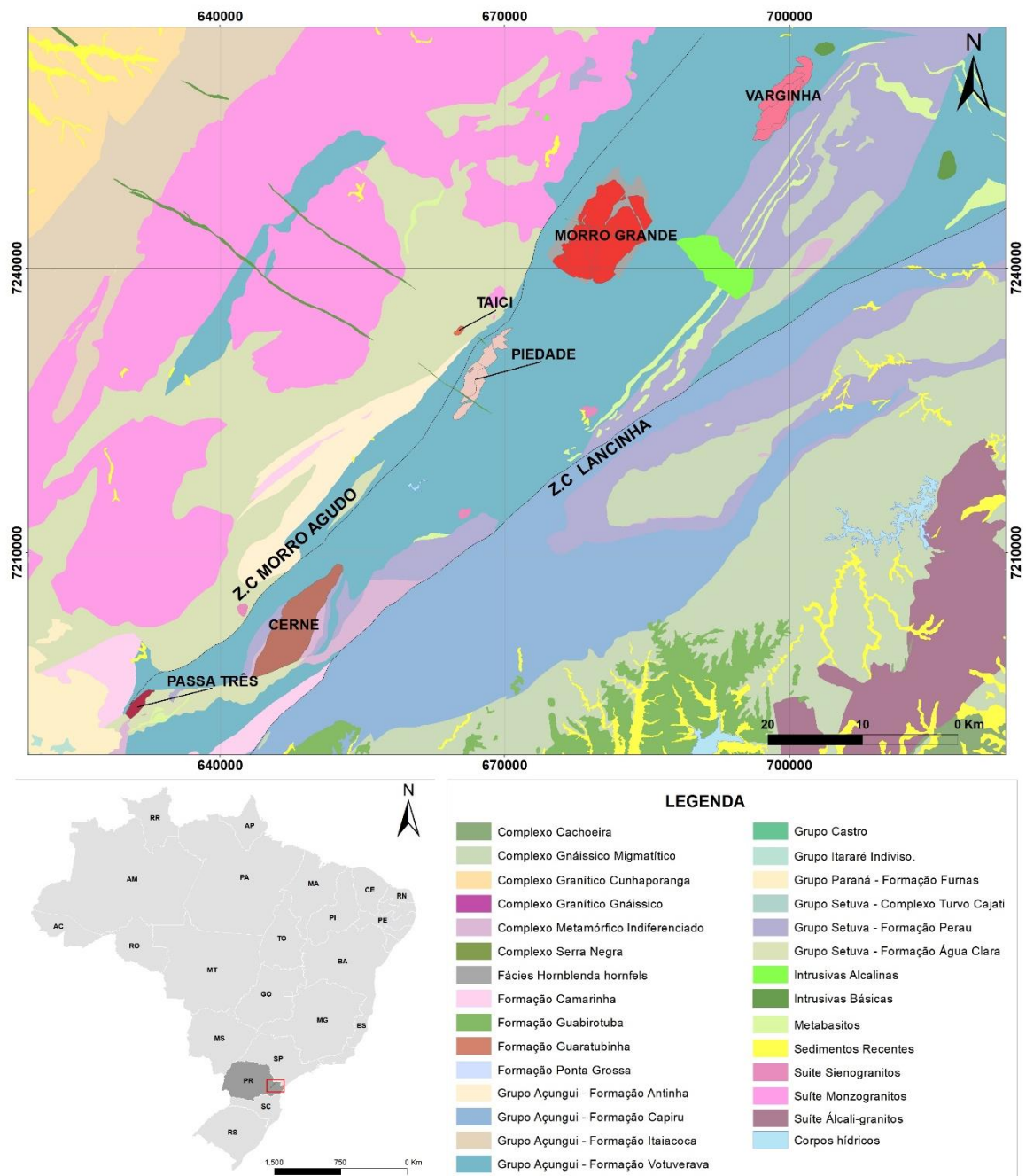


Figura 1: Mapa geológico do leste paranaense destacando os granitos Varginha, Morro Grande, Passa Três, Taici, Piedade e Cerne, estudados nesta dissertação.

Outros corpos ocorrem no contexto tectônico dos granitos citados anteriormente, como é o caso do Granito Taici, um pequeno stock granítico, composto por monzogranitos e granodioritos de coloração branca acinzentada. Este corpo é intrusivo nos metassedimentos da Formação Água Clara, a oeste da Zona de Cisalhamento Morro Agudo.

Os depósitos minerais associados a granitos se formam a partir do produto direto de concentração de metais durante o fracionamento magmático e posterior concentração desses elementos através de processos hidrotermais.

### 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende os municípios de Campo Largo, Campo Magro, Rio Branco do Sul e Cerro Azul. Para acessar o Granito Varginha, a partir de Curitiba, utiliza-se a rodovia BR-116 e, em seguida, em direção a Colombo, pela rodovia BR-476. O Granito Morro Grande tem acesso pela estrada que liga Tunas do Paraná a Cerro Azul. Os Granitos Piedade e Taici são acessados, a partir de Curitiba, pela rodovia PR-092 no sentido a Rio Branco do Sul. Para chegar ao Granito do Cerne, partindo de Curitiba, o percurso pode ser feito pela Estrada do Cerne, com sentido para Campo Largo (Figura 2).

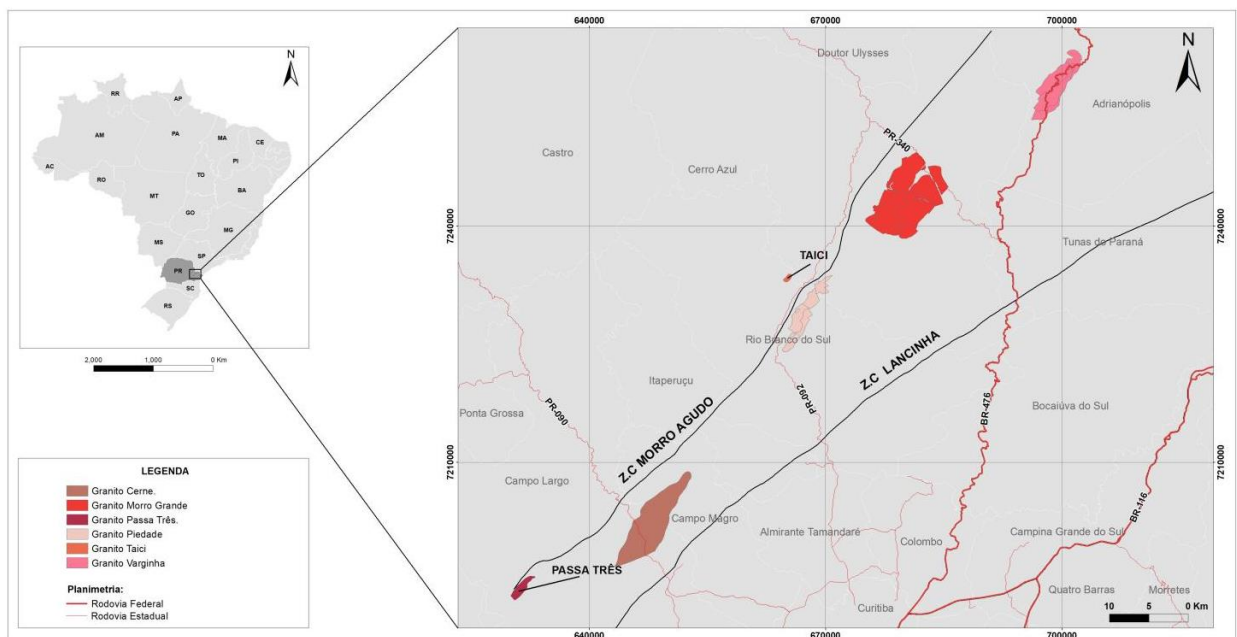


Figura 2: Mapa de localização e principais acessos aos granitos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

As rochas granitóides constituem fontes potenciais de metais nobres, metais raros e de base, a exemplo dos jazimentos de Au, Ag, Sn, W, Mo, Nb, Ta, Cu, Pb, Zn, Be, U e Th. As mineralizações associadas a essas rochas geralmente são encontradas em zonas de cúpula e associadas as fases magmáticas mais diferenciadas.

Os últimos trabalhos a respeito das alterações hidrotermais nos granitos alojados entre as Zonas de Cisalhamento da Lancinha e Morro Agudo foram realizadas por Chiodi Filho e publicadas em 1987. Após essa publicação, temos os estudos de Michalzechen (2016), que foram focados em confirmar os domínios com alterações hidrotermais definidos por Chiodi Filho (1987) através de levantamentos aerogeofísicos. Em 2013, Dressel publicou seu trabalho sobre a colocação desses granitos e discutiu parcialmente a ação do hidrotermalismo sobre eles. Dressel (2018) discutiu a metalogênese do Granito Passa Três.

Com isso, mostra-se necessário uma revisão mais recente do potencial metalogenético desses corpos graníticos, que leve em conta os trabalhos publicados recentemente e faça uma comparação focada no potencial metalogenético desses corpos, considerando a exploração mineral ativa de Au no granito Passa Três e procurando desenvolver uma discussão sobre os demais granitos que se encontram nesse mesmo contexto geocronológico e geotectônico.

## 1.3 OBJETIVOS

Raramente a mineralização é hospedada por granitos. É mais comumente encontrada nas rochas encaixantes há quilômetros do contato granítico. Por isso, foram realizados estudos quanto a caracterização petrográfica, petrogenética, geoquímica e metalogenética, para, enfim, promover uma avaliação do potencial mineral. Os estudos petrológicos ajudaram a caracterizar o hidrotermalismo presente nessas rochas.

Tendo em vista essa problemática a respeito das mineralizações relacionadas a granitos, o presente trabalho visa identificar em campo possíveis zonas de alteração hidrotermal nos corpos estudados e confrontar tais informações com estudos anteriores a respeito dos aspectos geológicos e metalogenéticos dos

granitos, a exemplo dos estudos realizados por Chiodi Filho et al. (1987) sobre os granitos Morro Grande, Piedade e Varginha; Dressel (2013) sobre os granitos Cerne, Morro Grande, Piedade e Cerne, Cury (2003) granito do Cerne e Passa Três e Dressel (2018) com o GPT. Além disso, a título de comparar os corpos alojados nesse contexto geotectônico, foi realizada uma descrição mais ampla a respeito do Granito Taici, cujas informações na bibliografia são relativamente escassas.

Com essas comparações, será possível avaliar o potencial metalogenético dos granitos estudados com base nas alterações hidrotermais e características geoquímicas dos granitos alvo.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo são apresentadas os dados geológicos dos granitos Varginha, Morro Grande, Passa Três, Piedade, Taici e Cerne e de suas rochas encaixantes metassedimentares. Em seguida, serão discutidos tópicos pertinentes a fundamentação teórica.

### **2.1 GEOLOGIA REGIONAL**

A geologia da região é marcada por um conjunto de rochas supracrustais, com grau metamórfico variando de fraco a médio, denominado Supergrupo Açungui (Campanha, 2002). O embasamento é composto por gnaisses e migmatitos, intercalados com metassedimentos, e núcleos de composição charnockítica, de ocorrência local (Campanha, 2002).

#### **2.1.1 Província Mantiqueira**

A província Mantiqueira é um sistema orogênico de idade neoproterozoica-cambriana, que ocorre do sul da Bahia ao Uruguai e apresenta uma área de aproximadamente 2500km<sup>2</sup> e é formada pelos orógenos Araçuai (segmento setentrional), Ribeira (Central) e uma Zona de Interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira, terrenos Apiaí, São Roque e Embu, e pelo segmento meridional, constituído pelos orógenos Dom Feliciano e São Gabriel (Heilbron et al. 2004). Os granitos estudados nesse trabalho fazem parte do Domínio Apiaí (Figura 3), um dos

segmentos do Cinturão Ribeira Meridional, parte central do Sistema Orogênico Mantiqueira (Hasui, 2010).

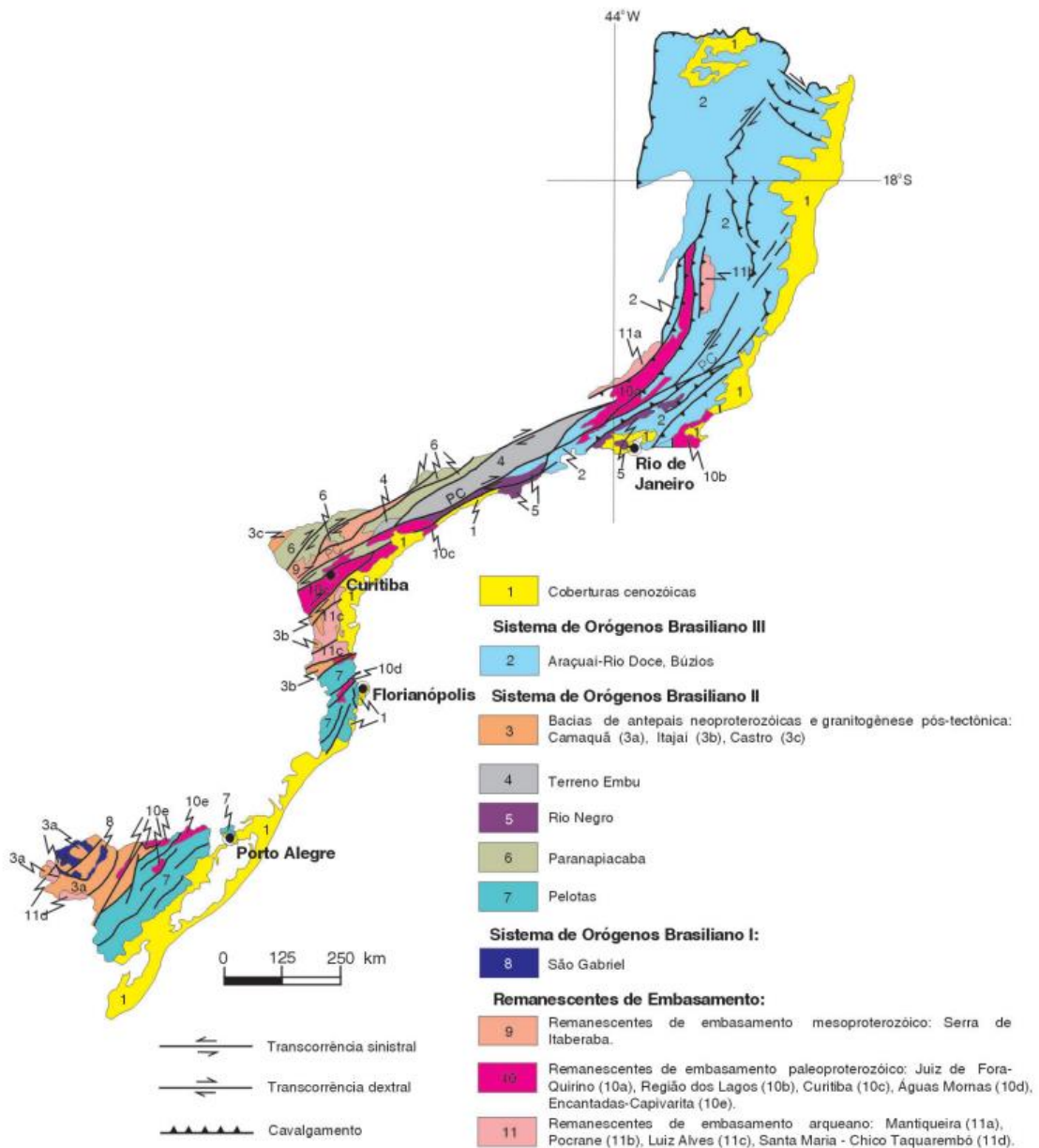


Figura 3: Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira. Fonte: CPRM.

O Cinturão Ribeira perfaz um extenso segmento crustal que está paralelo à linha costeira do sudeste brasileiro. Pode-se resumi-lo como sendo um complexo orógeno colisional, resultante da colisão entre os crátons Paranapanema, Congo e São Francisco e da consolidação do continente Gondwana. (Campanha e Brito Neves, 2004). O Cinturão Ribeira se trata de um conjunto de terrenos tectono-estratigráficos limitados por falhas de cavalcamento ou por zonas de cisalhamento transpressivas (Heilbron et al., 2008). A porção meridional é composta por domínios

NE-SW, onde ocorrem rochas supracrustais meso a neoproterozoicas (BASEI et al. 2008). Durante o Ciclo Brasileiro, esse sistema foi amalgamado, deformado e metamorfozizado (Faleiros et al. 2011).

De noroeste para sudeste afloram os Terrenos Apiaí, Curitiba, Luis Alves e Paranaguá (Figura 4), que foram separados a partir de estudos geológicos e da caracterização da litologia, petrografia, estruturas presentes, dados geocronológicos e geoquímicos e demais estudos gravimétricos (Cury, 2008). O Domínio Apiaí (Hasui et al. 1975) pode ser dividido em dois segmentos tectônicos: os domínios Apiaí e Curitiba, que são contíguos a Zona de Cisalhamento Lancinha (ZCL). Estruturalmente, ao sul do Domínio Curitiba há predominância de produtos da tectônica de cavalgamento e falhas transcorrentes sinistrais enquanto no Terreno Apiaí ocorrem foliações de alto ângulo e lineações sub-horizontais em associação com zonas transcorrentes dextrais (Faleiros et al. 2011).

### 2.1.2 Zonas de Cisalhamento

As zonas de cisalhamento são conhecidas como zonas estreitas que localizam a deformação litosférica (Ramsay, 1980). Heilbron et al., 1995, Nalini, 1997, Dehler et al., 1999, Dehler et al., 2000, descrevem zonas de cisalhamento extensional nas faixas móveis neoproterozóicas das porções central e norte da província da Mantiqueira no sudeste do Brasil (Almeida e Hasui, 1984).

Muitas ZC estão associadas a cinturões orogênicos, a exemplo do sistema encontrado no Cinturão Ribeira, onde a continuidade da zona de cisalhamento chega a mais de 900km de comprimento e 170km de largura que se desenvolveu entre 600 a 520 Ma, durante a orogenia Brasileira (Machado et al., 2016).

As zonas de cisalhamento mais expressivas desse trecho do orógeno estão associadas ao Lineamento de Lancinha-Itapeúna, que se une ao Lineamento Ribeira e forma o Lineamento Cubatão, as Zonas de Cisalhamento Morro Agudo, Quarenta - Oitava e Figueira, o Lineamento de Itapirapuã, mais ao norte, e o Lineamento Morretes – Faxinal, ao sul (Campanha, 2002).

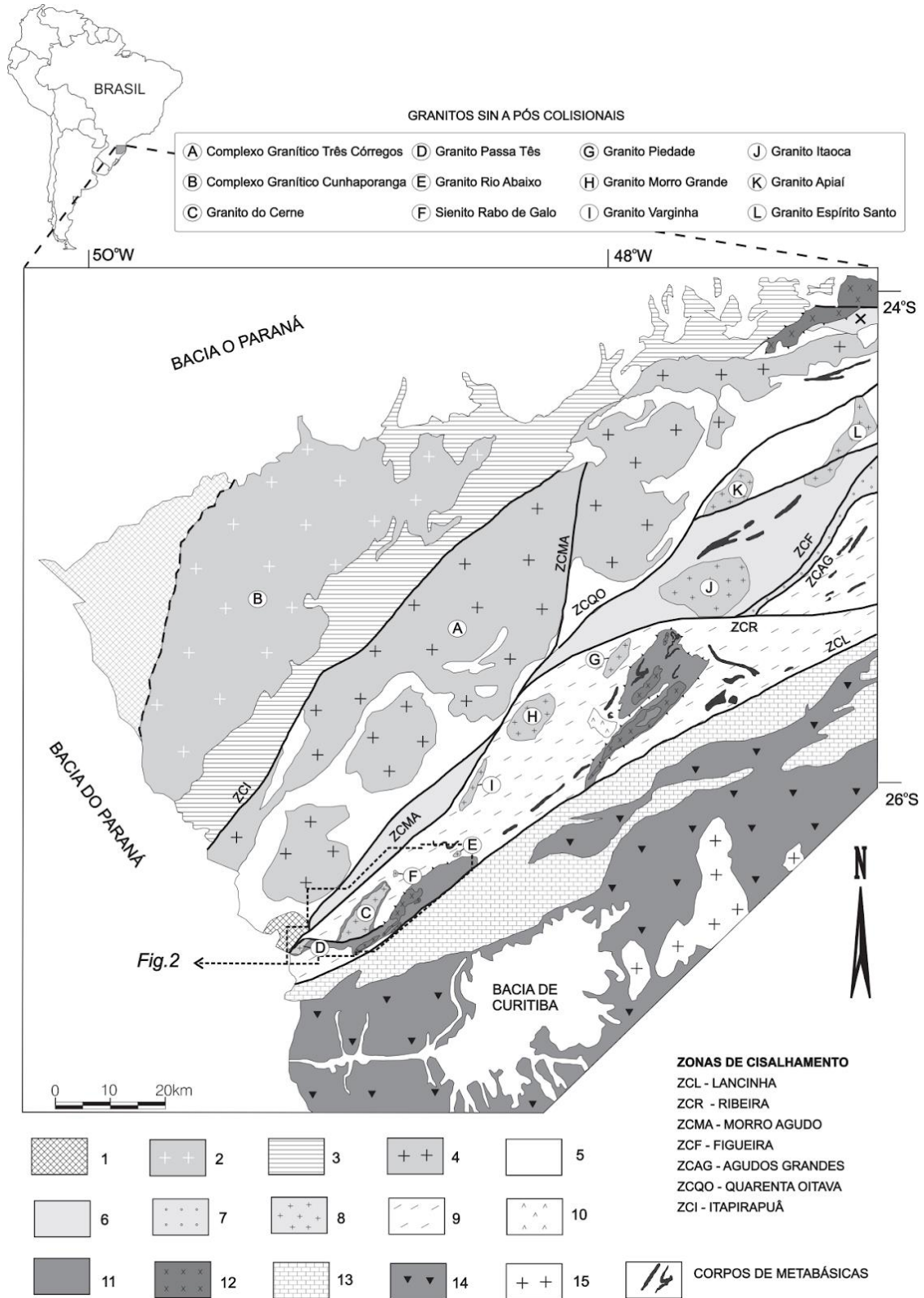


Figura 4: Principais unidades geológicas do leste paranaense: 1. Bacias de Ante-País [grupos Castro (NW) e Camarinha (SW)]. 2. Batólito Cunhaporanga (600-590 Ma). 3. Grupo Itaiacoca (Neoproterozoico). 4. Batólito Três Córregos (630-600 Ma). 5. Formação Água Clara (c. 1450 Ma). 6. Sequências Lajeado e Antinha (Neoproterozoico?). 7. Formação Iporanga (Neoproterozoico). 8. Granitoides sin- a pós-colisionais (590-570 Ma). 9. Formação Votuverava (c. 1450 Ma). 10. Sienito Tunas (85 Ma). 11. Sequências Perau e Betara (1450 Ma). 12. Granitos alcalinos deformados (1750 Ma) e granitos cálcio-alcalinos deformados (2100 Ma). 13. Formação Capiru. 14. Complexo Gnáissico-Migmatítico Atuba. 15. Província Graciosa. Adaptado de: Cury et al., 2008.

A Zona de Transcorrência da Lancinha é uma zona com tendência NE e com aproximadamente 150km de extensão, com cinemática muitas vezes referida como dextral (Passarelli et al., 2004), que separa os Terrenos Apiaí e Curitiba. (Campanha, 2002). Representa a continuidade da Zona de Cisalhamento Cubatão-Além Paraíba e está situada na porção leste do Estado do Paraná (Fiori, 1985). Sua formação está relacionada com a convergência entre os crátons do Congo, São Francisco e Paranaíba durante a amalgamação do Gondwana (Trompette, 1994). Está associada a dobramentos, reativação transtensional sinistral e deformações dúcteis a rúptil-dúcteis (Fassbinder et al. 1994). Fiori (1992), caracteriza as Falhas do Cal, do Mato e do Cerne como falhas sintéticas e antitéticas. A ZCL é um importante zona de sutura que corta as estruturas pré-existentes e justapõe terrenos tectono-metamórficos meso a neoproterozoicas, originando milonitos de fácies xisto verde. Estas características apontam para a deformação tardia no sul do Cinturão Ribeira (Dehler et al. 2007). A ZCL pode, juntamente com a Zona de Cisalhamento Cubatão-Além Paraíba, representar um sistema de zona de cisalhamento continental de primeira ordem (Campanha & Sadowski, 1991) cuja formação envolveu intensa redução do tamanho de grão de níveis crustais superiores para inferiores.

A Zona de Cisalhamento Morro Agudo tem orientação NNE sinistral (Campanha, 2002) e forma um sistema conjugado com as falhas destrais da Zona de Cisalhamento Ribeira. Segundo Faleiros (2011), essa configuração pode estar associada a um período precoce de desenvolvimento do Domínio Apiaí.

Tanto a ZCL quanto a ZCMA apresenta evidências de movimentação dextral (Fiori, 1990; Fassbinder, 1996).

Rochas em zonas de cisalhamento sofrem processos de redução de tamanho de grão causados por mecanismos de deformação rúpteis e plásticos, sendo que este último geralmente envolve recristalização dinâmica. Em geral, tais processos diminuem a resistência mecânica das rochas (Platt e Behr, 2011), resultando em maior localização da deformação de cisalhamento à medida que a deformação se acumula. Com isso, a tensão promove deformação inicialmente em microescala e evolui até a escala de um Cinturão Orogênico, produzindo domínios tectônicos de estilo estrutural contrastante, deformação e complexidade.

### 2.1.2 Corpos graníticos neoproterozoicos

Na região do Vale do Ribeira, grandes maciços graníticos são reconhecidos, dentre eles os batólitos de Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes, que intrudem as rochas supracrustais do Domínio Apiaí. Essa unidade é cortada por stocks graníticos mais tardios (Prazeres Filho et al., 2003). Segundo Campanha e Sadowski, (1999), entre 600 e 450 Ma, a maioria dos blocos continentais foram amalgamados a sudeste durante o fechamento do Oceano Adamastor, o que resultou na formação de zonas de cisalhamento transcorrentes de cinemática dextral. Com isso, formaram-se de bacias pull-apart e intrusão de granitos pós-tectônicos. Os autores também discorrem sobre a relação temporal entre a colocação desses granitos e os eventos deformacionais, dividindo esses corpos em uma suíte sintectônica, representada pelos granitos Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grande e pelo Maciço Itaoca; e a outra pós-tectônica, que inclui os granitos Cerne, Piedade, Morro Grande e Varginha. Duas fases de magmatismo granítico são descritas durante a evolução do Domínio Apiaí, sendo a primeira relacionada ao arco magmático formados por corpos graníticos sintectônicos de natureza cálcio-alcalina com alto K (Cunhaporanga e Três Córregos) e a segunda pelos stocks pós-colisionais tipo-A, com idades entre 600 e 560 Ma (Picanço 2000, Prazeres Filho 2000, Cury 2003, Basei et al. 2003).

A suíte sintectônica é classificada como granitos do tipo I-Cordilheirano por Wernick et al., 1990; Reis Neto, 1994; Campanha & Sadowski, 1999. A suíte pós-tectônica é ou anorogênica e formada por rochas que apresentam deformação incipiente e contatos intrusivos bem definidos, sendo geralmente isotrópicos com textura equigranular subédrica a anédrica. É composta por álcali-feldspato granitos, granitos e quartzo sienitos, diferenciados e com tendência alcalina. Dados U/Pb, Rb/Sr e K/Ar de rochas vulcânicas das bacias pull-apart mostram idades entre 600 e 500 Ma (Siga Junior, 1995; Campanha & Sadowski, 1999). Segundo Campanha & Sadowski, (1999), o magmatismo pós-colisional ocorreu após o fechamento do Oceano Adamastor, representado pela acreção de blocos exóticos e colisão continental, associado a empilhamento tectônico e fusão da crosta inferior. A contínua pressão na região causada pelas massas continentais teria provocado cisalhamento dextral dúctil, gerando a falha Cubatão e bacias pull-apart sincrônicas, seguidas de resfriamento regional.

Os granitos Passa Três, Cerne, Piedade, Morro Grande e Varginha têm assinaturas do tipo A, oriundas de ambientes tardi a pós-orogênicos com idades entre 590 e 560 Ma (Prazeres Filho et al., 2003). A colocação dos Granitos do Cerne, Piedade e Varginha é relacionada a dobras de arrasto antiformais geradas no desenvolvimento da Zona de Cisalhamento da Lancinha e Morro Agudo. A intrusão do Cerne e do Passa Três representam um magmatismo anorogênico em relação ao arco magmático Três Córregos-Cunhaporanga, com idade de 630-590 Ma, e tardi-orogênico em relação ao regime de transpressão na Faixa Apiaí (Cury, 2003). A geometria dos granitos sugere uma relação genética entre o alojamento e as zonas de cisalhamento transcorrentes (Fassbinder, 1996).

#### 2.3.1.1 Granito do Cerne

O Granito do Cerne é composto predominantemente álcali-feldspato granitos e quartzo álcali-feldspato sienitos faneríticos com textura equigranular de granulação média a grossa e coloração avermelhada. São rochas isótropas, por vezes com orientação mineral de fluxo magmático. Há predominância de rochas shoshoníticas metaluminosas, compostas por microclínio, oligoclásio, quartzo, biotita e de traços de hornblenda, titanita, zircão, allanita, fluorita e minerais opacos. O contato intrusivo com as unidades metavulcanossedimentares é evidenciado pela ocorrência de xenólitos de rochas metassedimentares e efeito de termo-metamorfismo sobre as rochas encaixantes (Fuck et al., 1967). É caracterizado como pós-colisional do tipo A, com ressalvas quanto aos altos teores de Ba, Sr e Zr. Aflora em meio a rochas metavulcanossedimentares de baixo a médio grau metamórfico das Formações Betara e Votuverava (Figura 5), sendo considerado pós a tardi orogênico na evolução do Cinturão Ribeira (Domínio Apiaí). A intrusão deste corpo está diretamente associada uma dobra antiforme com eixo de direção N30E (Fiori, 1985) e associada à tectônica transpressiva.

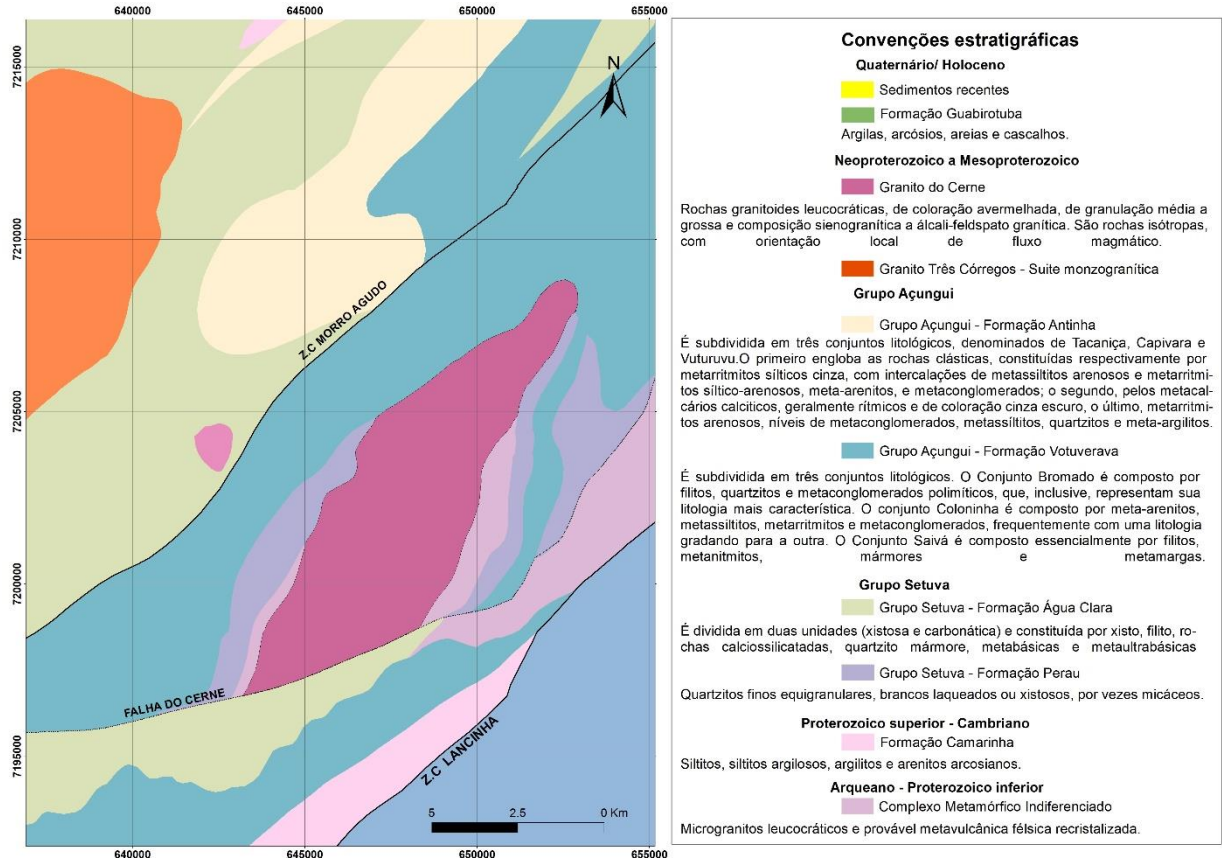


Figura 5: Mapa geológico do Granito do Cerne.

As rochas apresentam textura xenomórfica, que fica evidenciada pelo hábito dos cristais de feldspato, biotita e quartzo. Os microclínio apresenta pertita do tipo ou maculada. O oligoclásio é predominantemente subédrico a euédrico, em porções menores anédrico com granulometria de 4 a 5mm. O FK apresenta mimerquitas e bordas de albita. Os cristais de quartzo são anédricos, chegando a 3mm, com extinção ondulante, moderadamente fraturados. A biotita é subédrica, com granulometria máxima de 3mm, apresentam inclusões de zircão, titanita e fluorita. Localmente ocorre hornblenda, que é anédrica, com máximo de 4mm, e geralmente está associada com a biotita. Os minerais opacos geralmente estão inclusos ou associados à biotita. Os dados obtidos por Cury (2003), permitem observar a distribuição dos litotipos do Granito do Cerne (Figura 6).

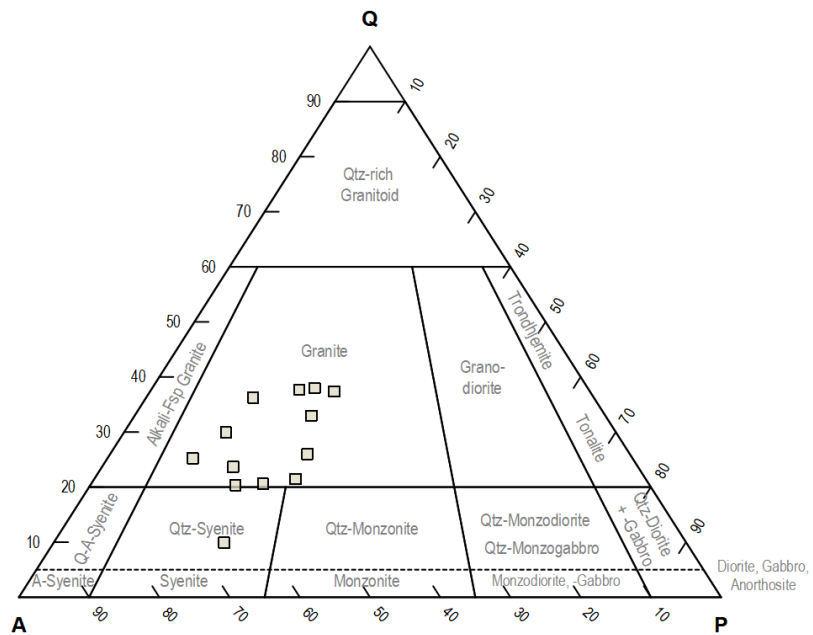


Figura 6: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) feito com os dados de Cury (2003) para o Granito do Cerne.

O Cerne apresenta um formato elipsoidal, com direção NE-SW em concordância com a estruturação regional, o que pode indicar uma relação genética com a ZCL, que ao longo de pequenas zonas transtensionais oblíquas ao lineamento principal, causou a ascensão de corpos graníticos (Fassbinder 1990). Para Fiori (1985), a forma alongada do corpo granítico é resulta da associação de sua colocação à dobra antiforme com eixo de direção N30E, classificada como uma dobra de arrasto relacionada ao cisalhamento transcorrente. Segundo o autor, a colocação do granito e a deformação são concomitantes, ou seja, os processos de deformação ocorreram no estado dúctil, havendo uma continuidade desta quando o corpo resfriou.

Cury (2003), descreve a presença de ficções de hidrocatclasmamento e as relaciona as fases hidrotermais. As fraturas formam um sistema complexo e são preenchidas por caulim. O autor ainda descreve veios compostos por leucogranitos, de formato sigmoidal.

### 2.3.1.2 Granito Morro Grande

O Granito Morro Grande é um corpo de forma elipsoidal, levemente alongada, se estendendo por área de aproximadamente 70 km<sup>2</sup> e orientação NE-SW. Está alojado em rochas metavulcanossedimentares da Formação Votuverava e

o contato entre ambas forma auréolas de metamorfismo da fácies albíta-epidoto hornfels (Prazeres Filho et al., 2003) (Figura 7). Os litotipos principais são monzo e sienogranitos (Figura 6) que estão no limite entre granitóides de arco-magmático e intraplaca e textura inequigranular fina a grossa e porfirítica e estrutura isotrópica. Os fenocristais são centimétricos (1- 3cm) formados por feldspato alcalino, com hábito predominantemente euédrico, e se apresentam em meio a uma matriz composta por K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita/anfibólio. Como minerais acessórios podemos encontrar zircão, turmalina, topázio, muscovita, clorita, sericita, apatita, titanita, allanita, fluorita e opacos (Chiodi Filho et al., 1987; Prazeres Filho et al., 2003).

Chiodi Filho et al. (1987), classificou o granito Morro Grande em cinco domínios faciológicos (Figura 7). A fácies  $\gamma_1$  apresenta evidências de greisenização e albitização, apresentando, em análises hidrogeoquímicas, teores de 0,5 a 0,7ppm de flúor; em análises de sedimentos de corrente os teores de Sn chegam a 189 ppm, enquanto análises das rochas deste domínio alcançam 270ppm. Esses fatores, associados com a presença de cassiterita, turmalina, topázio e fluorita em drenagens da borda sudoeste do corpo, corroboram com a possibilidade de um sistema tipo greisen. Os litotipos principais incluem sienogranitos leucocráticos esbranquiçados de granulação fina a média, eventuais granitos finos albitizados e muscovitizados (álcali-granitos), sienogranitos inequigranulares finos a grosseiros (porfiríticos) rosados, micro-granitos e quartzo-pórfiros. A mineralogia é composta por quartzo, microclínio peritítico, albíta, oligoclásio e biotita. Os minerais relacionados as alterações hidrotermais são turmalina, topázio, muscovita, sericita, ortoclásio, fluorita e clorita (Chiodi Filho et al., 1987).

O domínio  $\gamma_2$  é composto por uma mistura das rochas presentes em  $\gamma_1$  e  $\gamma_3$ , mas não há presença de granitos albitizados. No domínio  $\gamma_3$  encontram-se biotita-monzogranitos porfiríticos, com textura rapakivi, eventualmente cortados por sienogranitos finos acinzentados e rosados que podem apresentar textura porfirítica. A mineralogia principal inclui feldspato alcalino, oligoclásio/andesina, quartzo, biotita e albíta, podendo ocorrer hornblenda. Nas porções porfiríticas os fenocristais são compostos de microclínio ou andesina.

O domínio  $\gamma_4$  é formado por biotita-granitos porfiríticos de matriz fina e granulação fina a média. A mineralogia deste domínio inclui microclínio, plagioclásio

(albita-oligoclásio-andesina), quartzo, biotita e sericita. Por fim, o domínio  $\gamma 5$  apresenta biotita-granitos porfíricos acinzentados com matriz fina e de coloração mais escura que as rochas de  $\gamma 4$ .

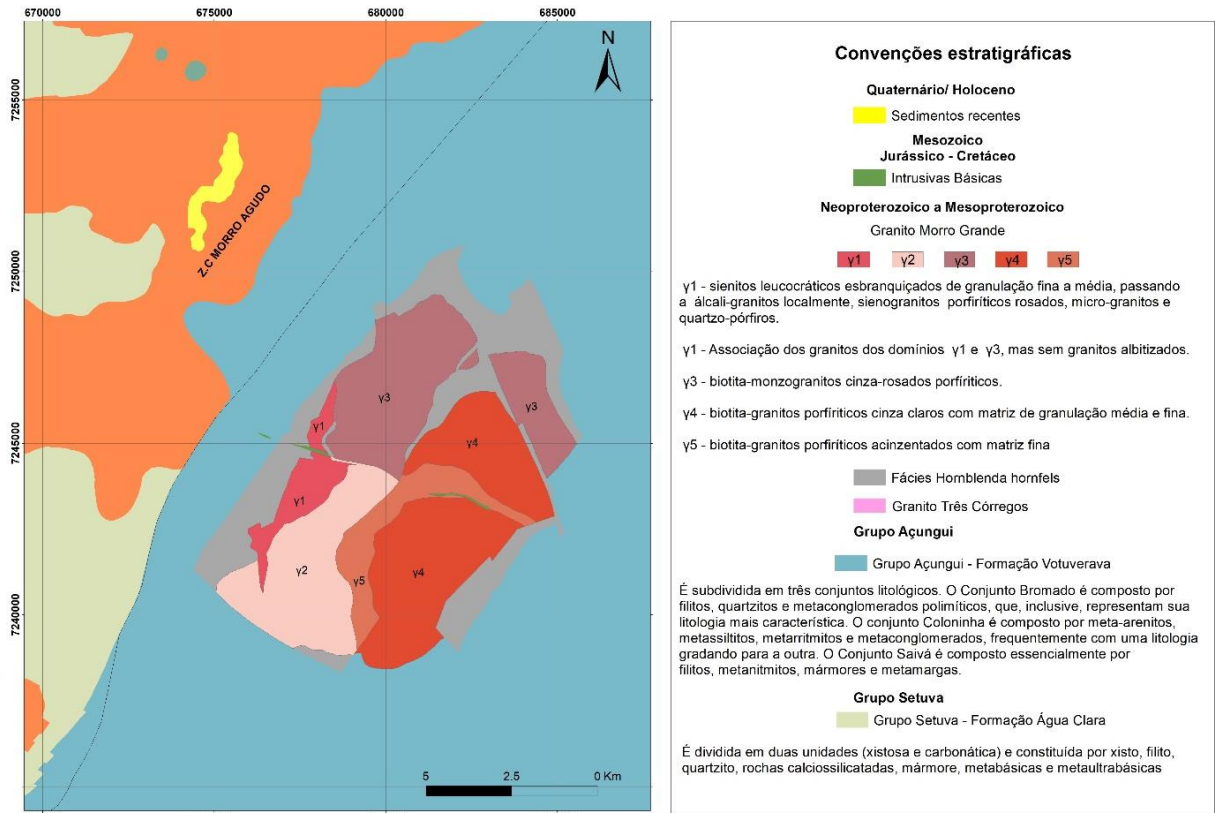


Figura 7: Mapa dos domínios faciológicos do Granito Morro Grande. Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).

No diagrama QAP (Streckeisen, 1976) (FIGURA 8), é possível observar a distinção entre dos domínios descritos, em conjunto com a evolução de fácies menos potássicas ( $\gamma 5$ ) a mais potássicas ( $\gamma 1$ ).

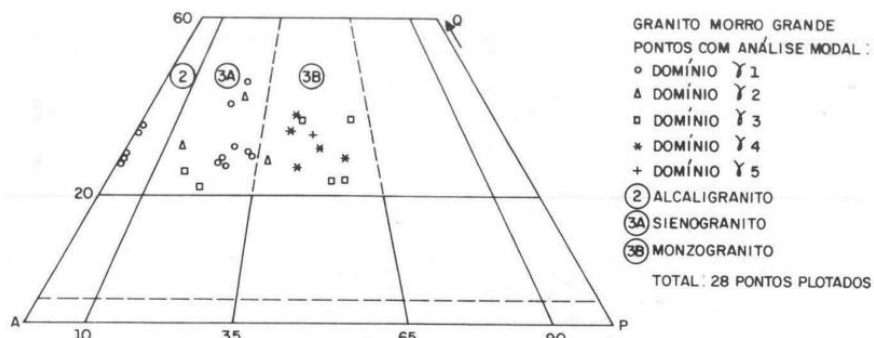


Figura 8: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas dos domínios faciológicos pertencentes ao Granito Morro Grande. Retirado de Chiodi Filho et al. (1987)

Ao observar o diagrama ETR (Figura 9),  $\gamma_1$  apresenta acentuada depressão de európio (Figura 9A) enquanto para  $\gamma_2$  observa-se padrão gaivota com enriquecimento de ETR leves (Figura 9A). O mesmo ocorre para o domínio  $\gamma_3$  (Figura 9B) e  $\gamma_4$  (Figura 9C), além de apresentarem anomalia negativa pouco pronunciada de Eu. No domínio  $\gamma_5$  (Figura 9D), o padrão observado é semelhante a  $\gamma_3$  e  $\gamma_4$ , no entanto, a depleção de eu é mais pronunciada.

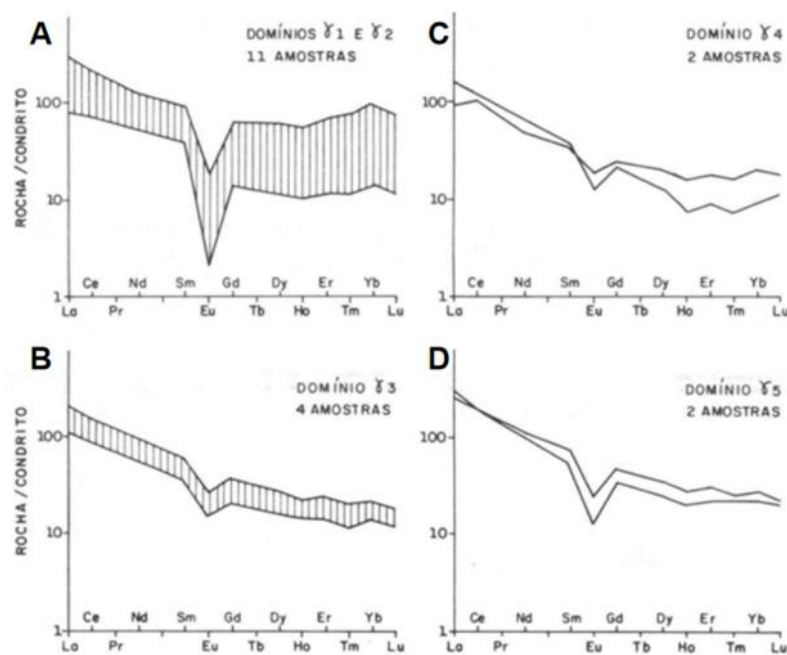


Figura 9: Diagrama de elementos terras raras (ETR) para os domínios do Granito Morro Grande. A) Domínio faciológico  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ . B) Domínio faciológico  $\gamma_4$ . C) Domínio faciológico  $\gamma_3$ . D) Domínio faciológico  $\gamma_5$ . Retirado de: Chiodi Filho et al. (1987).

### 2.1.3.3 Granito Passa Três

O Granito Passa Três (Piekarz, 1981) apresenta uma área de 5 km<sup>2</sup> e é composto majoritariamente por sienogranitos. Picanço (2000), propõe a divisão dos sienogranitos em dois domínios, sendo eles:

(i) Leuco-sieno granito: corresponde à fácies equigranular central descrita por Piekarz (1992). São sienogranitos de coloração rosada e textura equigranular média, compostos por FK, albita-oligoclásio, quartzo e máficos, como biotita e/ou anfibólio. Também ocorrem minerais traço formados a partir de processos tardi a pós-

magmáticos, como microclínio, albita, biotita, muscovita/sericita, clorita, titanita, carbonatos, pirita, fluorita e minerais de argila, provenientes;

(ii) mela-sienogranito, correspondendo em partes à fácies porfirítica de borda de Piekarz (1992). São rochas avermelhadas que apresentam textura porfirítica subédrica fina a média, com fenocristais de feldspatos. A assembleia mineral é composta por quartzo, FK e máficos, sendo que estes minerais apresentam menor teor que a fácies anterior, com tendência a composições mais sieníticas. Piekarz (1992) descreve teores maiores de carbonato e epidoto nessa fácies.

Os dados obtidos no trabalho de Piekarz (1992) foram plotados no diagrama QAP (Figura 10) e dão uma ideia da distribuição dos principais litotipos deste maciço. Os teores minerais foram calculados por norma CIPW pelo autor.

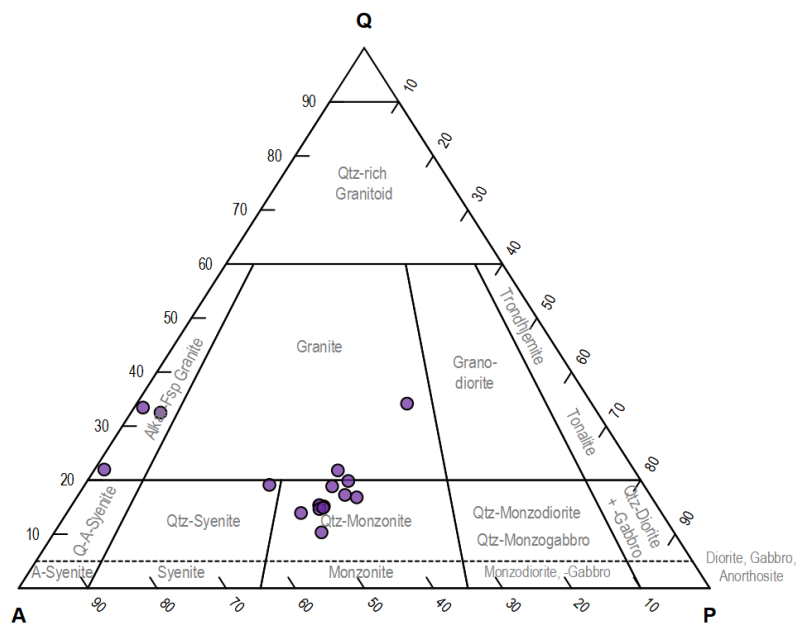


Figura 10: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas estudadas por Piekarz (1992).

São identificados quatro tipos de alterações hidrotermais:

(i) alteração de coloração avermelhada, associada com cristais de hematita em feldspato alcalino;

(ii) alteração rica em muscovita composta por mica branca milimétrica desenvolvida em zonas amplas e dentro de fraturas sem orientação preferencial;

(iii) Fraturas preenchidas por sericita, carbonato e clorita: evento posterior a muscovitização que se desenvolveu paralelamente as bordas dos veios de quartzo;

(iv) Alteração sódica e potássica: sendo a alteração sódica desenvolvida ao redor do feldspato alcalino magmático.

Duas assembleias relacionadas ao evento de mineralização foram identificadas:

(i) Alteração do tipo greisen: ocorre na forma de halos de cor cinza em torno dos veios de quartzo estéreis e é definida pela paragênese (muscovita + quartzo + pirita  $\pm$  calcopirita)

(ii) Alteração fílica: apresenta aspecto esverdeado e é composta pela assembleia (sericita + quartzo + ankerita + rutilo + siderita  $\pm$  pirita  $\pm$  clinocloro  $\pm$  calcita). Essa alteração está associada aos veios mineralizados.

Além das fácies acima descritas, são observadas rochas referentes a cristalização final do estágio magmático (Piekarz, 1992), sendo elas:

a) Aplitos e pegmatitos:

São classificados como quartzo alaskitos e apresentam uma paragênese composta por quartzo, microclínio, muscovita e opacos, com texturas e quantidades variáveis. Representam os resíduos finais da cristalização e são ricos em SiO<sub>2</sub> e K. A ocorrência de plagioclásio é rara, o que indica que Na e Ca foram totalmente consumidos no estágio principal da cristalização magmática.

É comum a ocorrência de intercrescimentos granofírico nesse tipo de veios. Essa textura é caracterizada cristais de quartzo com hábitos variados (vermiculares, gotas, geométricos), inclusos em cristais de microclínio. De acordo com Barker (1970), a textura granofírica é resultante de cristalização magmática rápida, em condições epizonais, de um magma que reteve água em solução, e com composição química próxima à dos mínimos ternários do sistema granítico de Tuttle e Bowen (1958).

b) Microgranitos;

Apresentam ocorrência restrita. São rochas leucocráticas, classificadas como álcali-granitos (Streckeisen, 1976), de coloração rosada e textura porfírica, com fenocristais de quartzo. A paragênese é quartzo, microclínio, plagioclásio, muscovita, pirita e óxidos de ferro. Tais características, juntamente com a ausência de biotita, anfíbólio e apatita (minerais restitos do granito), indicam que este litotipo é uma porção diferenciada, mais hidratada e mais rica em sílica do GPT. A abundância de pirita indica cristalização sob alta fugacidade de enxofre.

c) Veios de quartzo ricos em sulfetos,

Cortam o corpo granítico do GPT e representam manifestações ígneas tardias à formação do corpo granítico. Compreendem o principal estágio de mineralização

aurífera e correspondem à fácies filonar (Piekarz, 1992). Os veios mineralizados estão alojados em bacias do tipo pull-apart geradas pelos sistemas de fraturas (Dressel, 2017). São compostos por quartzo, carbonatos, microclínio, sericita-muscovita, fluorita, pirita, calcopirita, bornita, esfalerita, galena, molibdenita, sulfossais de Bi e Cu, ouro, illita e clorita (Piekarz, 1992; Picanço, 2000).

A fácies GEB foi descrita por Cury (2003) como fácies granito mineralizado. O autor subdivide a fácies em sub-fácies com enclave, que apresentam enclaves compostos por clorita, epídoto, FK, anfibólio cálcico e traços de plagioclásio; e fácies de alto KF, que apresenta textura equigranular média, com cristais subédricos de microclínio. A ocorrência de enclaves é comum e geralmente apresentam composição do restito que originou o GPT ou de rochas assimiladas.

O GPT pode ser classificado como um corpo cálcio-alcálico a shoshonítico (Soares & Reis Neto, 1987; Picanço, 2000). Se trata de um granito pertencente a série da magnetita (Ishirara, 1977) ou Granito tipo-I (Chappel & White, 1974), com fonte crustal-mantélica, corroborada pelos teores de alumina e menor porcentagem de álcalis em rochas com teores maiores de sílica. Além disso, segundo Cury (2003), apresenta enriquecimento em Ba, Sr e Zr e alto fracionamento em ETR leves em relação a ETR pesados.

#### 2.1.3.4 Granito Piedade

O Granito Piedade é um corpo alongado de direção NE-SW (Chiodi Filho et al., 1987), intrusivo nas sequências metavulcanossedimentares da Formação Votuverava (Figura 11). Ocorrem domínios com predominância de álcali-granitos e álcali-sienitos, com ocorrência esparsa de microgranitos tardios ao magmatismo principal. Estruturalmente, a borda leste do corpo está em contato com zonas de cisalhamento transcorrente e a borda oeste tem relação com as encaixantes por metamorfismo de contato. É considerado um granito pós colisional, formado a partir de um magma primário que se originou no manto superior e que foi contaminado pela crosta inferior (Chiodi Filho, 1989).

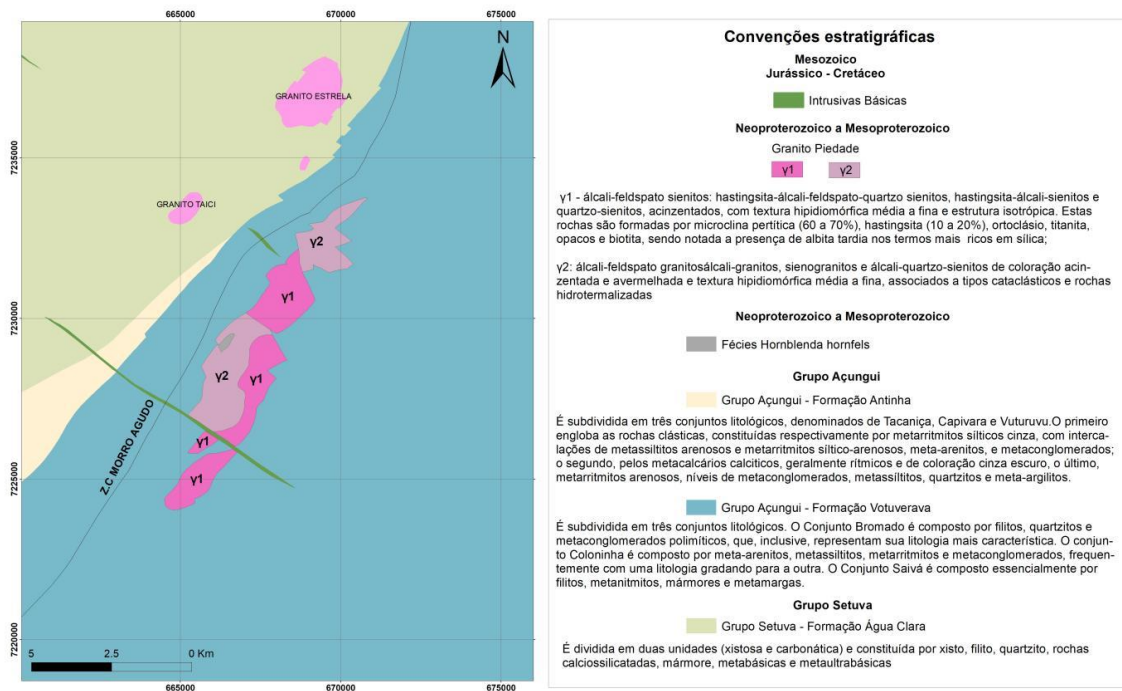


Figura 11: Mapa dos domínios faciológicos do Granito Piedade. Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).

Segundo Chiodi Filho et al. (1987), o Granito Piedade é composto por álcali-feldspato granitos e álcali-feldspato sienitos com ocorrência local de microgranitos tardios ao magmatismo principal. O corpo granítico ocupa o núcleo de uma dobra anticlinal em filitos do Grupo Açungui, sendo que a maior parte dos contatos da intrusão com as encaixantes são controladas por falhas (Fuck et al, 1967). Chiodi Filho et al. (1987) discutem que os contatos são marcados por falhas estruturais, dentre elas a ZCMA. A análise de dados geoquímicos sugere fonte mantélica com contaminação da crosta inferior (Cury et al, 2008).

Chiodi Filho et al. (1987), separam o Granito Piedade em dois domínios faciológicos. A distribuição desses litotipos pode ser observada na Figura 12, retirada do trabalho dos autores.

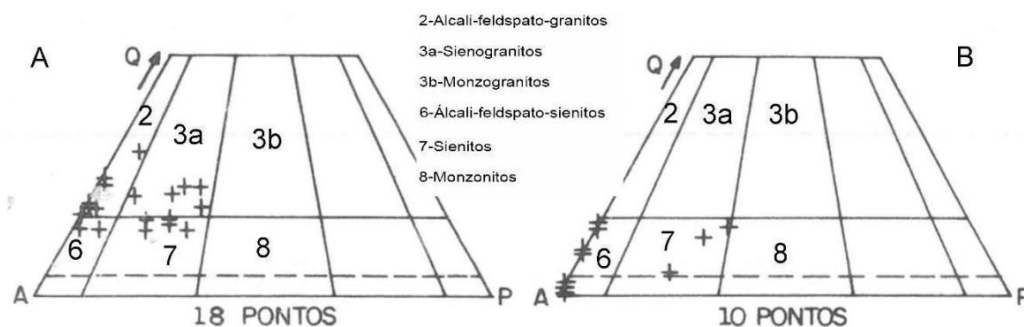


Figura 12: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas dos domínios faciológicos pertencentes ao Granito Piedade. A) Domínio y2. B) Domínio y1. Retirado de Chiodi Filho et al. (1987).

O primeiro,  $\gamma_1$ , é composto por álcali-feldspato-quartzo sienitos e álcali-sienitos com hastingsita (um anfibólio de fórmula química  $\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe})_4\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ ) e quartzo-sienitos, de coloração acinzentada, isotrópicos e com textura hipidiomórfica média a fina. A mineralogia consiste de microclínio pertitítico, hastingsita, ortoclásio, titanita, opacos, biotita, além de albita em termos mais ricos em  $\text{SiO}_2$ .

O domínio  $\gamma_2$  apresenta álcali-granitos, sienogranitos e álcali-quartzo-sienitos, de coloração acinzentada ou avermelhada, textura hipidiomórfica média a fina. Este domínio está associado a rochas cataclásticas ou hidrotermalizadas. Chiodi Filho et al. (1987), identifica zonas de alteração potássica, piritização e silificação. A mineralogia é composta por microclínio, albita, quartzo, plagioclásio, sericita, biotita, Na-anfibólio, pirita, rutilo e apatita. São observadas vênulas centimétricas a milimétricas, relacionadas a processos de deformação cataclástica, preenchidas por turmalina, sílica, fluorita e sheelita.

O diagrama ETR de  $\gamma_1$  (Figura 13a) mostra enriquecimento de ETR leves e depleção dos ETR pesados enquanto  $\gamma_2$  altos valores de ETR leves e baixos de ETR pesados

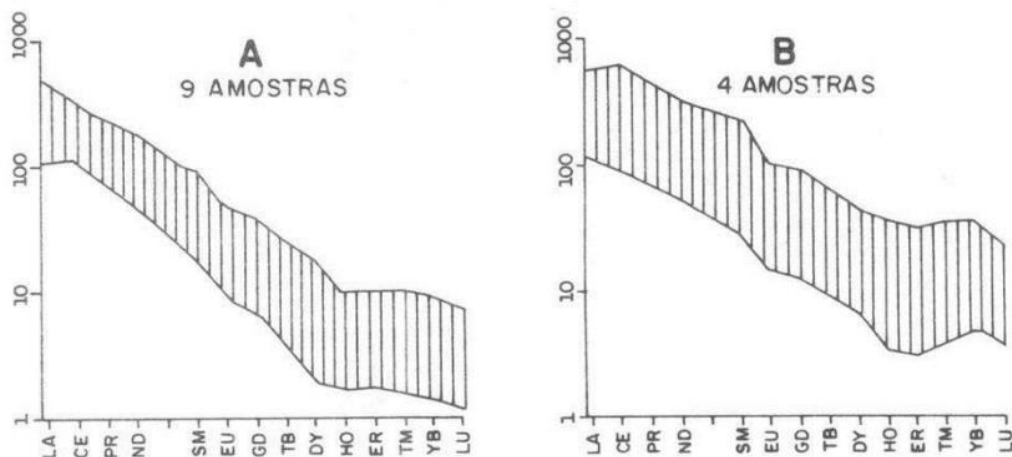


Figura 13: Diagrama de elementos terras raras para as fácies do Granito Piedade. A) Domínios faciológicos  $\gamma_2$  (álcali-sienitos). B) Domínios faciológicos  $\gamma_1$  (álcali-granítico). Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).

A intrusão apresentou anomalias de Mo, Li, F e B relacionadas a um possível sistema hidrotermal. Também foram relatadas anomalias de Mo-W, atribuídas à um depósito apical disseminado.

#### 2.1.3.5 Granito Taici

Também denominado de Granito Barra do Santana (Martini, 1982), apresenta uma área de aproximadamente 1 km<sup>2</sup> e está intrudido na Formação Água Clara (Grupo Açungui. Segundo o mesmo autor, o Taici é constituído pelas fácies monzogranito, fácies quartzo-monzonito, fácies granito-alaskítico e fácies granito s.s. As variedades mais comuns são essencialmente quartzo-feldspáticas (leucocráticas), muito piritizadas.

A Formação Água Clara é composta por rochas cálcio-silicáticas, xistosas, quartzísticas e metabásicas. Os metacarbonatos expostos a leste foram afetados por metamorfismo regional dinamotermal, em grau médio, da zona metamórfica da actinolita e os meta-sedimentos, com vulcânicas associadas, do lado oeste, por metamorfismo de grau médio da zona metamórfica do diopsídio. Havendo, assim, um aumento de grau metamórfico de leste a oeste (Almeida, 1990). Logo, algumas características da intrusão podem estar atribuídas à contaminação do magma durante seu alojamento, com a assimilação parcial das rochas encaixantes ricas em cálcio.

#### 2.1.3.6 Granito Varginha

O Granito Varginha abrange uma área de aproximadamente 25 km<sup>2</sup>, apresentando uma forma alongada de direção N30E. São observadas apófises irregulares de leucogranitos e veios de quartzo associados, além de fraturas hidráulicas com vênulas preenchidas por caulinita e veios ricos em turmalina. O Granito Varginha, entre as cidades de Tunas e Adrianópolis, no estado do Paraná. Chiodi Filho (1987), por meio de análise de elementos terras raras, sugere uma mistura de fontes crustais e mantélicas para gênese desse granito. A intrusão está alojada em sedimentos metassedimentares da Formação Votuverava (Grupo Açungui) e da Formação Perau (Grupo Setuva), sendo os principais litotipos observados filitos, localmente silicificados, e mármore calcíticos (Figura 14).

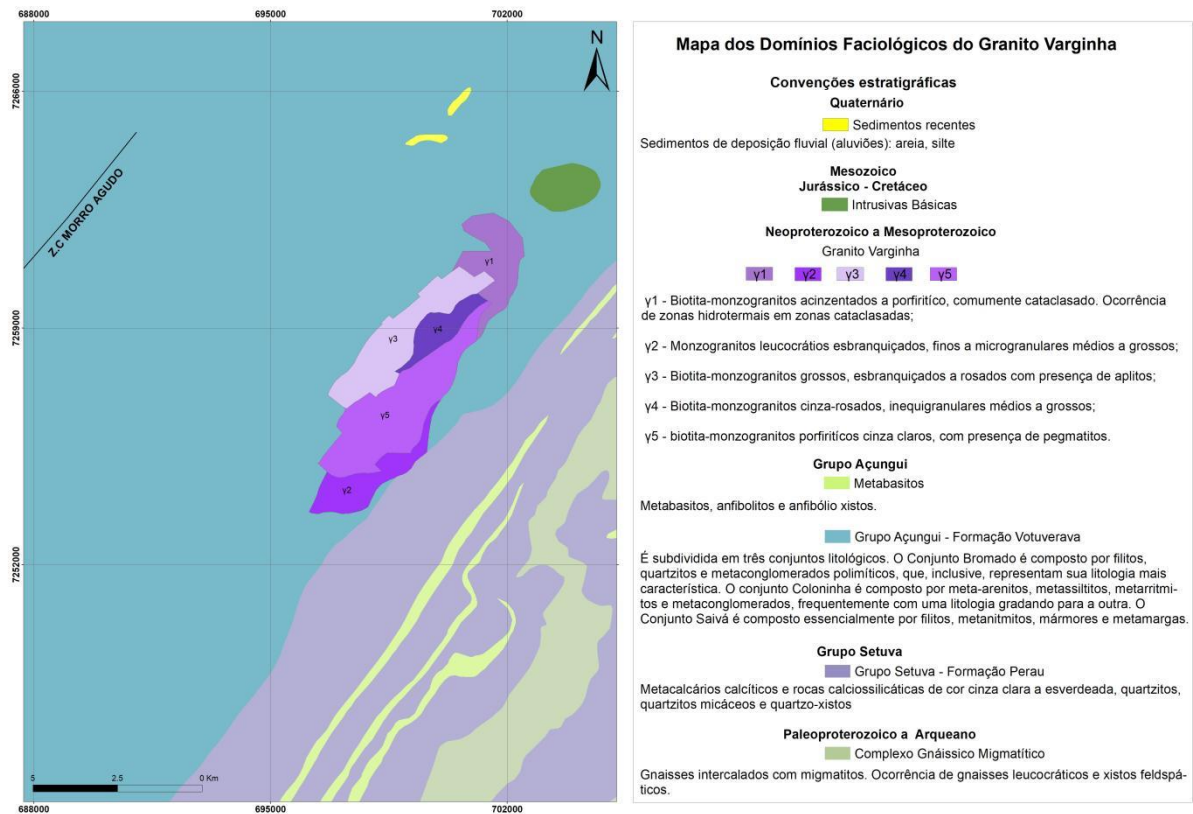


Figura 14: Mapa dos domínios faciológicos do Granito Varginha. Adaptado de Chiodi Filho et al. (1987).

Dressel (2013), descreve que a intrusão é composta principalmente por monzogranitos e, subordinadamente, por sienogranitos e quartzo-monzonitos equigranulares, médios a grossos, predominantemente maciços ou com textura fanerítica equigranular média a grossa e geralmente estrutura isotrópica, localmente podendo apresentar incipiente estrutura de fluxo magmático e textura cataclástica e milonítica em sua porção norte (Fuck et al., 1967). Na Figura 15, pode-se observar o diagrama QAP com a distribuição dos principais litotipos analisados por Chiodi Filho et al. (1987).

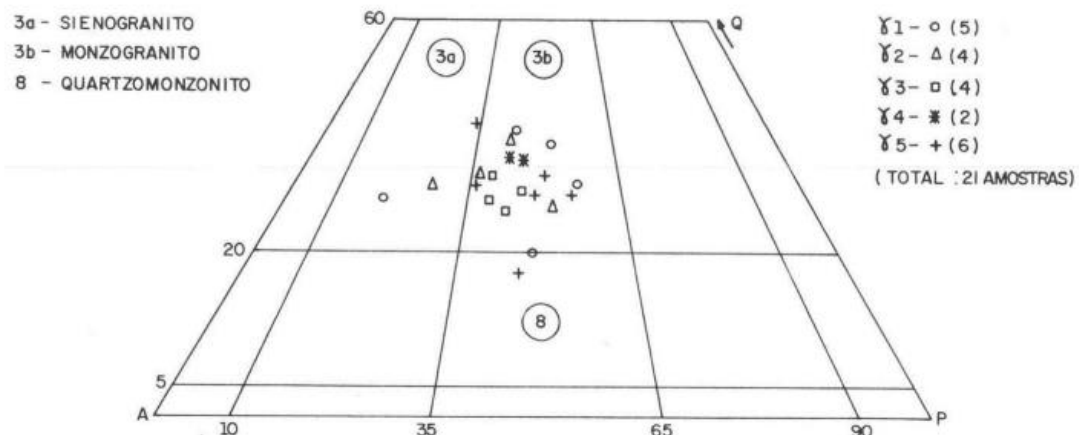


Figura 15: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para as rochas dos domínios faciológicos pertencentes ao Granito Varginha. Retirado de Chiodi Filho et al. (1987).

Chiodi Filho et al. (1987), separa o Granito Varginha em cinco domínios faciológicos. A fácies  $\gamma_1$  é composta por biotita-monzogranitos acinzentados grosseiros, porfiríticos e comumente cataclasados com presença de alterações hidrotermais e zonas cataclasadas. Petrograficamente apresenta substituição de minerais máficos por sericita e/ou hidróxido de ferro, forte alteração dos plagioclásios para sericita e/ou muscovita, fraca albitização, presença de fluorita, calcita, sulfetos, além de turmalina e sheelita preenchendo veios. Em análises de concentrado de bateia, o domínio apresenta altas concentrações de sheelita, resultados positivos para Sn, com concentrações de até 143 ppm, e Mo até 17ppm.

O domínio  $\gamma_2$  é composto por monzogranitos leucocráticos esbranquiçados, finos a microgranulares. Os autores identificaram tungstênio neste domínio. Os litotipos pertencentes a  $\gamma_3$  são biotita-monzogranitos grossos, de coloração esbranquiçada a rosada e ocorrência de material aplítico. A fácies  $\gamma_4$  também é composta por biotita-monzogranitos, inequigranulares médios a grosseiros.  $\gamma_4$  também é composto por biotita-monzogranitos, mas estes são porfiríticos de coloração cinza clara, apresentando ocorrências pegmatíticas.

No diagrama ETR,  $\gamma_1$  (Figura 16a) e  $\gamma_2$  (Figura 16b B) apresentam valores elevados de ETR leves e teores baixos de ETR pesados, para  $\gamma_3$ ,  $\gamma_4$  (Figura 16c) e  $\gamma_5$  (Figura 16d) observa-se comportamento de ETR em padrão de gaivota.

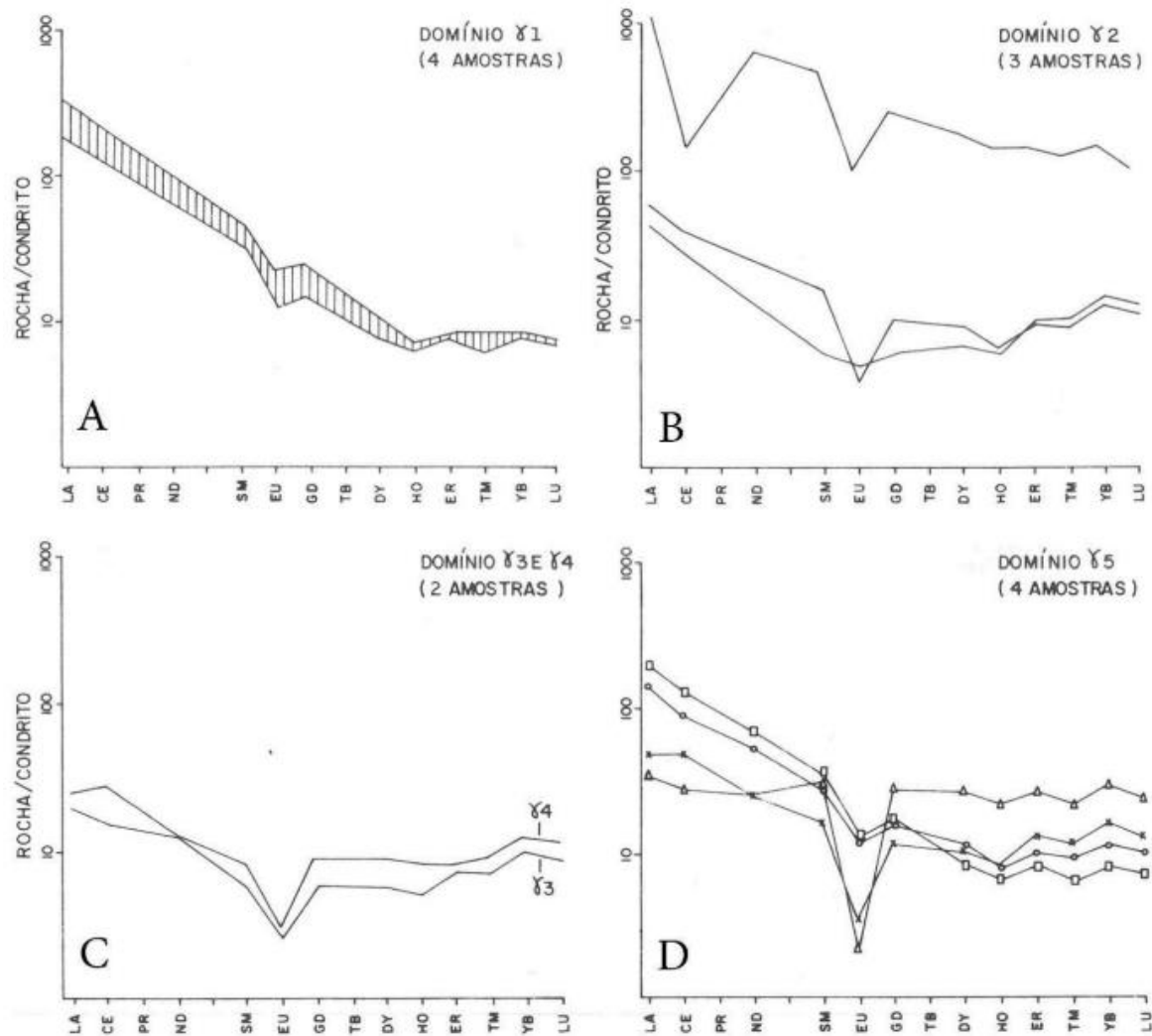


Figura 16: Diagrama de elementos terras raras para as fácies do Granito Varginha. A) Domínio faciológico  $\gamma_1$ . B) Domínio faciológico  $\gamma_2$ . C) Domínio faciológico  $\gamma_3$  e  $\gamma_4$ . D) Domínio faciológico  $\gamma_5$ . Retirado de Chiodi Filho et al. (1987).

Na etapa de prospecção geoquímica realizada por Chiodi Filho et al. (1987), o Granito Varginha apresentou resultados positivos para tungstênio (W) e subordinadamente para estanho (Sn) e molibdênio (Mo).

## 2.2 TIPOLOGIA DE GRANITOIDES

A tabela 1 apresenta um resumo das características que serão discutidas neste subtópico.

Tabela 1– Classificação de granitoides baseada no contexto geotectônico. Baseado em Pitcher (1983,1993), Barbarin (1999), Pearce (1984) e Maniar & Piccoli (1989)

|                             | I CORDILHERIANO   | I CALEDONIANO   | S   | A  |
|-----------------------------|---|---|---|--|
| Petrologia                  | TTG ou granodiorito-monzogranito  |   | Sieno/ monzogranito com megacristais de FK  | Alcáli granitos a trondhjemitos  |
| Minerais diagnósticos       | Hornblenda, biotita, epídoto, allanita, esfeno, magnetita   | ilmenita  | Biotita vermelha, muscovita, aluminossilicatos, cordierita, granada, topázio, turmalina, ilmenita, tapiolita.                 | Piroxênios e anfibólios sódicos, fayalita, biotita verde, magnetita, fluorita, ETR.  |
| Minerais máficos            | Hornblenda e biotita. Magnetita e esfeno como acessórios.   | Predomina a biotita. Ilmenita e magnetita como acessórios                                 | Muscovita e biotita avermelhada. Principais acessórios são ilmenita, monazita, granada e cordierita.                          | Biotita verde. Nos plutões alcalinos ocorrem piroxênios e anfibólios alcalinos. A astrofilita é um acessório comum.        |
| Feldspato alcalino          | Feldspato K é intersticial e xenomórfico.   | Feldspato K é geralmente intersticial e interpenetrativo. Frequentemente rico em quartzo. | Feldspato K frequentemente em megacristais com história evolutiva complexa. Variantes autometassomáticas                      | Pertitas.  |
| Natureza dos xenólitos      | Xenólitos dioríticos. Podem representar restitos.   | População de xenólitos de origem mista.   | Predominam xenólitos de metassedimentos.  | Xenólitos cognatos, também bolhas de magmas básicos.   |
| Características geoquímicas | Al/ (Na + K + Ca/2) menor que 1,1, frequentemente menor que 1,0. Razão inicial de Sr menor que 0,706  | Al/ (Na + K + Ca/2) próxima de 1. Razão inicial de Sr entre 0,705 e 0,709.                | Al/ (Na + K + Ca/2) maior que 1,05. Razão inicial de Sr maior que 0,708.  | Peralcalinos, relativamente rico em F. Razão inicial de Sr entre 0,703 e 0,712.  |
|                             | Depleção moderada em Ba,Ti, P; $I_{Sr} \leq 0.71$ ; $\epsilon_{Ndi} : \sim 0$ ; $\delta^{18}O : 8-10$ |   | Alto Si, Li, B, F, F/Cl >3; Depleção moderada em Ba,Ti, P; $I_{Sr} : 0.705-0.8$ ; $\epsilon_{Ndi} : << 0$ $\delta^{18}O > 10$ | Fe/Mg, Na+ K, Nb, Ta, ETR, Y, F, Ga; Forte depleção em Ba, Ti, P; F/Cl < 3; $I_{Sr} : 0.703-0.712$ ; $\delta^{18}O : 8-10$ |
| Tipos de corpos             | Batólitos lineares, polidiapíricos, com sinais de caldeirizações.                                     | Plutões e intrusões placóides complexas, isoladas e dispersas.                            | Batólitos polidiapíricos, plutões e intrusões laminares. Menores e mais diapíricos que os do tipo I.                          | Complexos polidiapíricos centrados em grandes caldeiras. Plutões relativamente pequenos.                                   |
| Ambiente tectônico          | Subducção (Arco continental e de ilhas) e ambiente colisional.  |   | Sin a pós-tectônico, ambiente colisional continente-continente.   | Anorogênico, pós-tectônico, alojado em ambientes extensionais (rift, hotspot).   |
| Depósitos minerais          | Depósitos apicais disseminados de Cu e Cu-Mo ( $\pm$ Ni, Co, Au, Ag, Te, Se & U)                      | Raramente com mineralizações importantes. Presença de paragêneses complexas.              | Greisens e veios com Sn-W; Pegmatitos e aplitos com U-Th-Li-Be-B-Nb-Ta  | Columbita, cassiterita e fluorita. Veios de Sn-W, fluorita, pegmatitos com Li, Th-U-Zr-Y-RE-Nb-Ta refratário.              |

Segundo Barbarin (1999), os granitoides são rochas com grande diversidade devido a suas diferentes origens, fontes, gêneses e processos evolutivos, níveis estruturais de colocação e regimes tectônicos.

A maioria dos ambientes geodinâmicos é caracterizada por uma associação de diversos tipos de granitoides. É possível que alguns granitos compartilhem certas características de mais de um tipo e assim podem representar tipos transicionais formados em continuidade, envolvendo componentes crustais e mantélicos. Assim, existem três origens possíveis para os granitoides: origem crustal, origem mantélica e origem mista, a qual envolve componentes derivados de crosta e manto. O fato de magmas crustais e mantélicos terem assinaturas químicas distintas permite a distinção química (Barbarin, 1999).

Chappell e White (1974) propuseram a subdivisão genética de granitos a partir de seus protólitos. Para os protólitos sedimentares foi atribuído o tipo S e para os granitoides originados a partir de protólitos ígneos, o tipo I. Os granitos do tipo A são rochas anorogênicas, anidras, ricas em feldspato alcalino e álcalis (Loiselle & Wones, 1979). Granitoides do tipo M são derivados pela fusão de crosta oceânica subductada ou do manto sobreposto (White, 1979; Pitcher, 1987). Granitos de tipo I relacionados ao soerguimento pós-colisional foram denominados de I Caledoniano por Pitcher (1987).

Vários estudos foram publicados posteriormente (Whalen *et al.*, 1987; Eby, 1992; Bonin, 2007) acrescentando novos dados a respeito do sistema de classificação ISAM. A Figura 17 apresenta um breve resumo com relação a tipologia ISAM, autores e fonte magmática proposta.

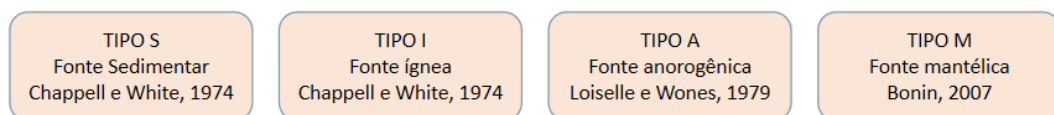


Figura 17: Tipologia dos granitos, suas fontes e autoria da teoria.

## Granitos tipo S

Granitos sin-colisionais (Pearce *et al.*, 1984), granitos oriundos de colisão continental (Maniar & Piccoli, 1989), e granitos peraluminosos com muscovita (Barbarin, 1999). São rochas com presença de muscovita, apresentam altos teores de sílica e ocorrem com plutons isolados no centro de cinturões metamórficos (Le Fort, 1981). Tipicamente não estão associados a rochas máficas e são gerados pela fusão parcial de rochas metassedimentares.

## Granitos tipo I

Granitos tipo I, ou Granitos Andinos, são formados em arcos vulcânicos (Pearce et al., 1984), arcos de ilha e arcos continentais (Maniar & Piccoli, 1989, 1989), ou granitos cálcio-alcálicos com presença de anfibólio (Barbarin, 1999).

São predominantemente magnesianos e majoritariamente cálcicos e cálcio-alcálicos (Frost et al., 2001). O mineral opaco nesses granitos geralmente é a magnetita ao invés da ilmenita, que ocorre nos granitos tipo S (Whalen & Chappell 1988). Durante a desidratação das rochas fonte dos granitos tipo I, em pressões abaixo do campo de estabilidade da granada, biotita e anfibólio derretem incongruentemente para produzir piroxênios. O excesso de Al é incorporado no líquido félsico, gerando melts peraluminosos. Neste caso, o excesso de Al em granitos do tipo I félsico é uma função do processo de fusão e não está relacionado à composição original da fonte (Chappell et al., 2012).

O índice de saturação em alumina (Figura 18) pode ser um indicativo importante ao descrever tipologias I ou S.

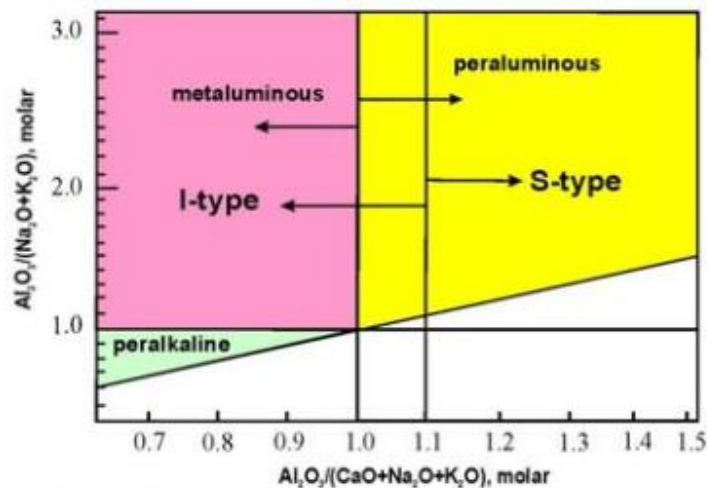


Figura 18: Diagrama A/NK ( $Al_2O_3/Na_2O+K_2O$ ) vs. A/CNK ( $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$ , em mols, também conhecido como Index de Shandi (Maniar and Piccoli, 1989).

As mineralizações observadas nesses granitos são principalmente de Cu e Mo ( $\pm$  Ni, Co, Au, Ag, Te, Se e U).

Como alguns granitos discutidos nos próximos capítulos podem apresentar membros com semelhanças aos granitos tipo I ou S, a tabela 2 traz uma síntese das principais diferenças que podem ser observadas para melhor classificar a tipologia.

Tabela 2: Síntese comparativa dos granitóides tipo I e S de Chappell et Whitte, (1974)

|  | TIPO I                | TIPO S                    |
|--|-----------------------|---------------------------|
| SiO <sub>2</sub>   | 56-75%                | 66-75%                    |
| K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O                                     | Baixo                 | Alto (>1,5)               |
| CaO  | Alto                  | Baixo                     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O+CaO | Baixo (<1,1)          | Alto (>1,1)               |
| Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup>                   | Alto                  | Baixo                     |
| Delta O <sup>18</sup>  | Baixo (<10)           | Alto (>10)                |
| Sr <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup>                                     | Baixo (<0,708)        | Alto (>0,708)             |
|  | Subducção (mantélico) | Menos profundos (crustal) |
| Hornblenda   | Presente              | Ausente                   |
| Magnetita  | Presente              | Ausente                   |
| Cordierita, muscovita, granada   | Ausente               | Presente                  |
| Xenólitos  | Hornblenda            | Metassedimentares         |
| Acessórios   | Alanita               | Monazita                  |
| Opacos   | >0,1% em volume       | < 0,1% em volume          |
| Esfeno   | Presente              | Ausente                   |

### Granitos tipo A

O conceito de granitos tipo A foi inicialmente proposto por Loiselle e Wones (1979), se referindo a granitos anorogênicos, anidros e alcalinos. Os conceitos a respeito destes foram revisados por Bonin (2007). Granitos tipo A, apesar de apresentarem composições variáveis, compartilham características geoquímicas e mineralógicas distintas. Caracterizam-se por teores elevados de elementos litófilos de grande raio iônico (LILE) e elementos de alto potencial iônico (HFSE), particularmente Ga, Nb, Rb, Ta, Th, U, Y, Zr e REE's, com depleção em Ba, Co, Cr, Ni, P, Sr, Ti e V, quando comparado a granitos tipo I ou S. A assinatura geoquímica é complementada por teores elevados de SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O, F, Fe/Mg, Ga/Al e baixos teores de Mg#, MnO and CaO (Bonin, 2007). Com relação a mineralogia, compreendem a assembleias ferrosas e alcalinas, incluindo annita-siderofilita, hastingsita-ferrohornblenda e fases com feldspato alcalino peritítico (Bonin, 2007).

Estes corpos apresentam baixa fugacidade de oxigênio e baixos teores de água pois são derivados de um magma parental basáltico alcalino (Collins et al., 1982). Podem ser subdivididos em dois grupos: A1, cuja origem está relacionada à atividade de uma pluma mantélica ou hotspots em um ambiente intrapaca, e A2, que apresenta origem crustal ou mantélica em ambientes tectônicos extensionais (Eby, 1992). São considerados como granitos oxidados devido ao conteúdo de magnetita e por apresentarem composições calci-alcalinas e/ou peraluminosas (Dall'agnol &

Oliveira, 2007). Geralmente estão associados com rochas ultramáficas, basaltos alcalinos e toleíticos, e rochas intermediárias (Giret, 1990).

Frost et al (2001) sugerem três processos petrogenéticos responsáveis pela produção dos granitos tipo A: fusão parcial de rochas quartzo-feldspáticas, diferenciação de magmas tholeíticos, combinação dos processos anteriores, onde a diferenciação de magmas basálticos leva a assimilação de rochas crustais.

Haapala (1995) descreve dois tipos principais de mineralizações associadas a magmas tipo-A:

- (i) Depósitos de Sn (Mo, Be, Zn, Cu, Pb) em greisens, veios e skarns associado a fácies tardias de recristalização, a exemplo do Batólito Serra da Providência e granitos da Suíte Madeira no Cráton Amazonas;
- (ii) Depósitos de Fe, Cu (U, Au, Ag) em veios e/ou disseminados.

#### Granitos tipo M

São granitos derivados diretamente do manto ou da crosta oceânica. São geneticamente formados pela cristalização fracionada de basaltos tipo MORB. Contém hornblenda, biotita, clinopiroxênio e magnetita, com feldspato alcalino micrográfico intersticial. Pertencem a série da magnetita, segundo a classificação de Ishihara (1977). As mineralizações observadas são raras e consistem em Cu e Au.

### 2.3 ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS

Uma alteração hidrotermal reflete um processo complexo que envolve alterações mineralógicas, químicas e texturais, resultantes da interação de fluidos aquosos, quentes (50 - 500 °C) com as rochas por onde circulam, sob condições físico-químicas em evolução (Misas, 2010). Os fluidos hidrotermais atacam quimicamente os constituintes minerais das rochas, reajustamento sua assembleia mineral primária para outra mais estável, às novas condições físico-químicas reinantes durante a interação rocha-fluido (Rose e Burt, 1979).

As alterações são controladas pela temperatura, pressão, natureza do protólito, composição do fluido; concentração, atividade, potencial químico dos componentes dos fluidos como H<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, K<sup>+</sup> e SiO<sub>2</sub>; interação rocha/ fluido no processo de alteração. A interação rocha/ fluido é a representação da massa total de

fluido que passa pelo sistema, no tempo unitário, dividida pela massa total de rocha no sistema. Se  $f/r$  é baixa, alteração e formação de minério serão insignificantes.

As alterações hidrotermais ocorrem em diferentes condições de temperatura, pressão e razão do metassomatismo alcalino e  $H^+$  (Pirajno, 2009). Com a evolução desses sistemas hidrotermais, as condições de  $T$ ,  $P$  e a razão do metassomatismo  $K^+ / H^+$  diminui, gerando um padrão gradual (Figura 19). Porém, essas variações, juntamente com a sobreposição de eventos magmáticos e/ou hidrotermais sucessivos podem gerar sobreposição das zonas de alteração hidrotermal, o que dificulta a individualização das mesmas em alguns casos. Além disso, essas variações podem ser afetadas por condições composicionais da rocha, reatividade e permeabilidade, do tipo de estrutura percolada, da mistura de fluidos de diferentes naturezas, entre outros.

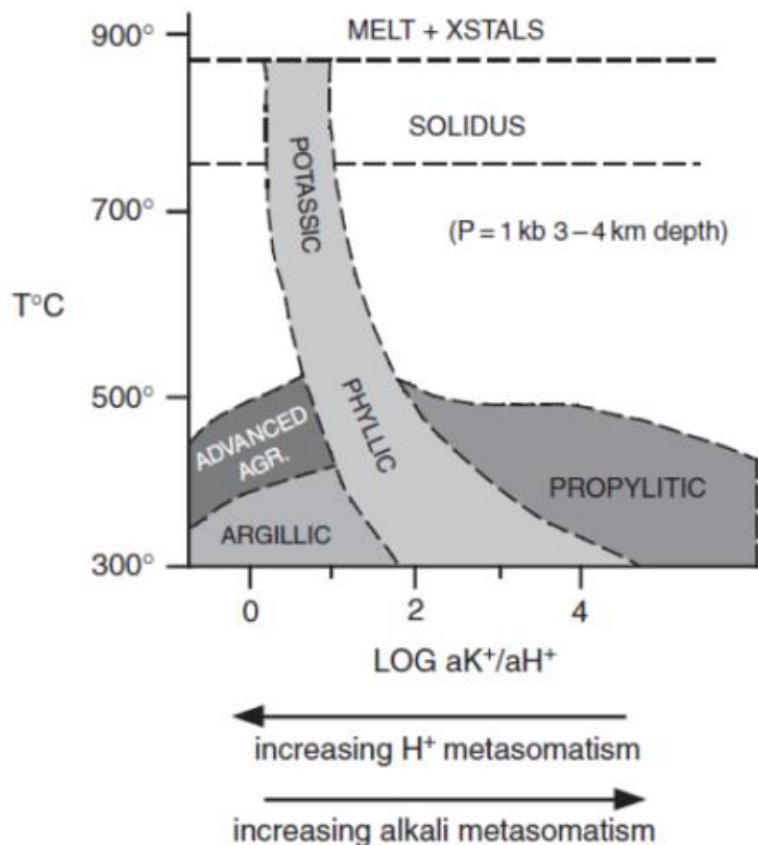


Figura 19: Gráfico da evolução das principais alterações hidrotermais em função da temperatura e da atividade de potássio hidrogênio do fluido. Fonte: Pirajno, 2009.

Ao reconhecer o arranjo das zonas de alteração hidrotermal, as assembleias de alteração hidrotermal e suas relações em campo, podem ser obtidas informações importantes para reconhecimento de áreas favoráveis à ocorrência de depósitos minerais. Uma série de alterações hidrotermais são comumente reconhecidas,

dentre as quais: alteração potássica, alteração propilítica, alteração sericítica, alteração argílica, alteração argílica avançada, alteração de silicificação, dentre outras (Tabela 3). As principais alterações e suas assembleias mineralógicas estão apresentadas a seguir.

Tabela 3: Terminologia de alterações hidrotermais. Traduzido de Grifkins et al (2005)

| ALTERAÇÃO                        | ASSEMBLEIA MINERALÓGICA   |
|----------------------------------|---|
| Argílica                         | Caulinita (ou halloysita ou dickita) + montmorillonita ± sericita (ou muscovita) ± clorita  |
| Argílica avançada                | Propilita + caulinita (ou dickita) ± quartzo ± sericita ± andalusite ± diáspora ± alunita ± topázio ± zunyita ± enargita ± turmalina ± pirita ± calcopirita ± hematita            |
| Argílica intermediária           | Clorita + sericita ± caulinita ± montmorillonita ± illita-esmectita ± calcita ± epidoto ± biotita ± pirita  |
| Fílica (ou sericítica)           | Sericita + quartzo + pirita ± biotita ± clorita ± rutilo ± leucoxênio ± calcopirita ± illita. (sem feldspato alcalino).   |
| Sericítica (ou fílica)           | Sericita + quartzo + pirita ± K-feldspato ± biotita ± calcita ± dolomita ± clorita ± andalusite ± cloritoide ± albita ± pirrotita   |
| Propilítica (ou saussuritização) | Epidoto (ou zoisita ou clinozoisita) + clorita + albita ± carbonato ± sericita ± montmorillonita ± septaclorita ± apatita ± anidrita ± ankerita ± hematita ± pirita ± calcopirita |
| Potássica                        | FK (ortoclásio) + biotita + quartzo ± magnetita ± sericita (ou muscovita) ± albita ± clorita ± anidrita ± apatita ± rutilo ± epidoto ± calcopirita ± bornita ± pirita             |
| Greisen                          | Muscovita (ou sericita) + quartzo + topázio ± turmalina ± fluorita ± rutilo ± cassiterita ± wolframita ± magnetita ± zunyita ± FK   |

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de alcançar os objetivos deste trabalho, a elaboração desta monografia foi realizada em quatro etapas: (i) extensa revisão bibliográfica acerca dos granitos estudados e de conceitos importantes para avaliar o potencial metalogenético dos mesmos; (ii) confecção de mapas e duas atividades de campo, realizadas em fevereiro e outubro de 2022, (iii) caracterização petrográfica de amostras coletadas em campo e disponibilizadas por pesquisadores e pelo departamento de Geologia da UFPR e (iv) tratamento, análise e interpretação dos dados obtidos.

#### 3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A etapa de levantamento bibliográfico compreendeu no levantamento de trabalhos que abordam os tópicos relacionados a esta monografia. Dentre estes, destacam-se: i) estado da arte acerca dos granitos alojados entre as Zonas de

Cisalhamento Lancinha e Morro Agudo, especialmente o trabalho de Chiodi Filho et al (1987), assim como o contexto geotectônico da área; ii) revisão de trabalhos sobre a definição e o estudo petrográfico de rochas graníticas, suas texturas, estruturas e litotipos associados, (iii) estudos relacionados aos tipos de alterações hidrotermais que geram depósitos de interesse econômico.

### 3.2 CONFECÇÃO DE MAPAS E TRABALHOS DE CAMPO

A partir do trabalho de Chiodi Filho et al (1987), foram criados mapas dos domínios faciológicos dos granitos alvo e em seguida foram realizadas duas etapas de campo para reconhecimento dos granitos estudados. A primeira etapa de campo ocorreu em fevereiro de 2022 e a segunda em outubro do mesmo ano.

### 3.3 ANÁLISE PETROGRÁFICA

No total foram estudadas 22 lâminas de granitoides, sendo 7 do Granito Varginha, 2 do Granito Morro Grande, 2 do Granito Piedade, 6 do Granito do Cerne e 5 lâminas do Granito Taici. As lâminas descritas estão discriminadas na tabela 4.

### 3.4 ANÁLISES GEOQUÍMICAS

Os dados geoquímicos de rocha total foram obtidos de 3 amostras sãs e representativas do Granito Taici. Demais dados geoquímicos foram obtidos da literatura.

### 3.5 TRATAMENTO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS.

Os dados reunidos durante a etapa de revisão bibliográfica, juntamente com as informações de campo, da análise petrográfica e geoquímica foram estudados e comparados a fim de alcançar o objetivo desta monografia. Para isso, foram utilizados os softwares Microsoft Excel, Microsoft Power BI e o software GCDkit versão 6.1 (JANOUSEK et al., 2003)

Tabela 4: Relação das lâminas petrográficas descritas.

| GRANITO      | AMOSTRA    | FONTE                            |
|--------------|------------|----------------------------------|
| CERNE        | BC-94      | Bárbara Dressel (2013)           |
|              | BC-97      |                                  |
|              | BC-106     |                                  |
|              | CE7-A1     | Departamento de Geologia<br>UFPR |
|              | CE11-A1    |                                  |
|              | CE28-B1    |                                  |
| MORRO GRANDE | BC-48      | Bárbara Dressel (2013)           |
|              | BC-61      |                                  |
| PASSA TRÊS   | L01-A      | Departamento de Geologia<br>UFPR |
|              | L02-A      |                                  |
|              | 24320-2B   |                                  |
|              | 24320-E    |                                  |
|              | GEM        | Bárbara Dressel (2018)           |
|              | GEF        |                                  |
|              | GEB        |                                  |
| PIEDADE      | BC-80      | Bárbara Dressel (2013)           |
|              | BC-82      |                                  |
| TAICI        | 5-AR-2022  | Autora                           |
|              | 6-AR-2022  |                                  |
|              | 11-AR-2022 |                                  |
|              | 12-AR-2022 |                                  |
|              | 14-AR-2022 |                                  |
| VARGINHA     | BC-01c     | Bárbara Dressel (2013)           |
|              | BC-01d     |                                  |
|              | BC-01f     |                                  |
|              | BC-02b     |                                  |
|              | BC-03b     |                                  |
|              | BC-16      |                                  |
|              | BC-17      |                                  |

#### 4 PETROGRAFIA

Neste capítulo são apresentadas as descrições petrográficas dos granitos do Cerne, Morro Grande, Passa Três, Piedade, Taici e Varginha. Além disso, serão discutidas as texturas e eventuais feições que possam ser interessantes nessas análises. O enfoque deste capítulo será nas evidências de alterações hidrotermais e demais feições que tenham alguma implicação a respeito das características metalogenéticas.

Na tabela 5 constam os teores dos minerais observados em cada amostra, além da respectiva identificação e classificação segundo o diagrama QAP (LE MAITRE, 2004).

Cada granito foi dividido de acordo com as fácies observadas petrograficamente.

Tabela 5: Relação das lâminas petrográficas, seus teores minerais e classificação QAP.

|              | Amostra | qtz | FK | pl | bt | chl | hbl | Op | Apt | Grd | Ttn | mic_b | Zrn | Cb | Tur | Epd | Stilp | Fl                | Classificação QAP        |
|--------------|---------|-----|----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-------|-----|----|-----|-----|-------|-------------------|--------------------------|
| CERNE        | BC-94   | 40  | 35 | 15 | tr | 10  | -   | tr | tr  | -   | tr  | -     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Sienogranito             |
|              | BC-97   | 40  | 40 | 10 | tr | 10  | -   | tr | tr  | -   | tr  | -     | tr  | -  | -   | -   | -     | -                 | Granodiorito             |
|              | BC-106  | 25  | 20 | 45 | 5  | 5   | -   | tr | tr  | -   | tr  | -     | tr  | -  | -   | -   | -     | -                 | Granodiorito             |
|              | CE7-A1  | 40  | 35 | 15 | 10 | tr  | -   | -  | -   | -   | -   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | CE11-A1 | 45  | 30 | 15 | 5  | 5   | -   | -  | -   | -   | -   | -     | -   | -  | -   | -   | tr    | -                 | Monzogranito             |
| CE28-B1      | 25      | 45  | 15 | 15 | -  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
| MORRO GRANDE | BC-48   | 35  | 20 | 30 | 15 | -   | tr  | tr | tr  | -   | -   | -     | tr  | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | BC-61   | 35  | 30 | 30 | 5  | tr  | -   | tr | tr  | -   | -   | tr    | tr  | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
| PASSA TRÊS   | L01-A   | 20  | 60 | 5  | -  | -   | -   | 5  | -   | -   | -   | 10    | tr  | tr | -   | -   | -     | tr                | Álcali-feldspato granito |
|              | L02-A   | 25  | 70 | tr | -  | -   | -   | 5  | -   | -   | -   | tr    | tr  | -  | -   | -   | -     | tr                | Álcali-feldspato granito |
|              | 24320-E | 20  | 55 | 5  | -  | -   | -   | 5  | -   | -   | -   | 5     | -   | -  | -   | -   | -     | 10                | Álcali-feldspato granito |
|              | GEM     | 35  | 40 | 15 | -  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | 10    | -   | tr | -   | -   | -     | -                 | Sienogranito             |
|              | GEF     | 40  | 35 | 10 | tr | -   | -   | -  | -   | -   | -   | 10    | -   | 5  | -   | -   | -     | -                 | Sienogranito             |
| GEB          | 35      | 35  | 15 | -  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | 5   | -     | 10  | -  | -   | -   | -     | -                 | Sienogranito             |
| PIEDADE      | BC-80   | 20  | 50 | 20 | 10 | -   | tr  | tr | tr  | -   | -   | tr    | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Sienogranito             |
|              | BC-82   | 5   | 70 | 5  | 15 | -   | 5   | tr | tr  | -   | -   | tr    | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Qtz-álcali-fds sienito   |
|              | BC-85   | 5   | 75 | 5  | 15 | -   | 5   | tr | tr  | -   | tr  | -     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Qtz-álcali-fds sienito   |
| TAICI        | 5-AR    | 30  | 25 | 0  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | 45    | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Álcali-feldspato granito |
|              | 11-AR   | 50  | 50 | 0  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Álcali-feldspato granito |
|              | 12-AR   | 45  | 45 | 5  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | tr  | 5     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | 12g-AR  | 25  | 35 | 25 | 10 | -   | -   | -  | tr  | -   | -   | 5     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | 6-AR    | 30  | 35 | 25 | 10 | -   | -   | -  | -   | -   | -   | tr    | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Quartzo-monzonito        |
| 14-AR        | 20      | 45  | 30 | -  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | 5   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | Quartzo-monzonito |                          |
| VARGINHA     | BC-01b  | 45  | 25 | 30 | -  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | tr    | tr  | tr | -   | tr  | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | BC-01c  | 35  | 30 | 30 | 5  | -   | -   | -  | tr  | tr  | tr  | tr    | tr  | tr | -   | tr  | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | BC-01d  | 50  | 25 | 25 | -  | tr  | -   | -  | tr  | tr  | tr  | -     | -   | -  | tr  | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | BC-01f  | 35  | 25 | 30 | 5  | tr  | -   | tr | -   | tr  | -   | 5     | tr  | tr | tr  | -   | tr    | -                 | Monzogranito             |
|              | BC-02b  | 40  | 30 | 20 | 5  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | 5     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
|              | BC-03b  | 40  | 35 | 25 | -  | -   | -   | -  | -   | -   | -   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | -                 | Monzogranito             |
| BC-16        | 45      | 30  | 15 | 5  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | 5   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | Sienogranito      |                          |
| BC-17        | 50      | 30  | 10 | 5  | -  | -   | -   | -  | -   | -   | 5   | -     | -   | -  | -   | -   | -     | Sienogranito      |                          |

LEGENDA: qtz – quartzo; FK – feldspato alcalino, plag – plagioclásio, bt – biotita, chl- clorita, hbl- hornblenda, op- opacos, apt-apatita, grd- granada, ttn- titanita, mic\_b- mica branca, zrn- zircão, cb- carbonato, tur- turmalina, epd- epidoto, stilp- stilpnomelano, fl- fluorita.

#### 4.1 Granito do Cerne

No granito do Cerne são observados sienogranitos e uma amostra de granodiorito (Figura 20). São rochas isotrópicas e de textura predominantemente granular hipidiomórfica. Os minerais acessórios incluem zircão, apatita, titanita e opacos. Os minerais essenciais são biotita, hornblenda, microclínio, plagioclásio e quartzo. Os minerais de alteração mais comuns são a clorita, epidoto e sericita.

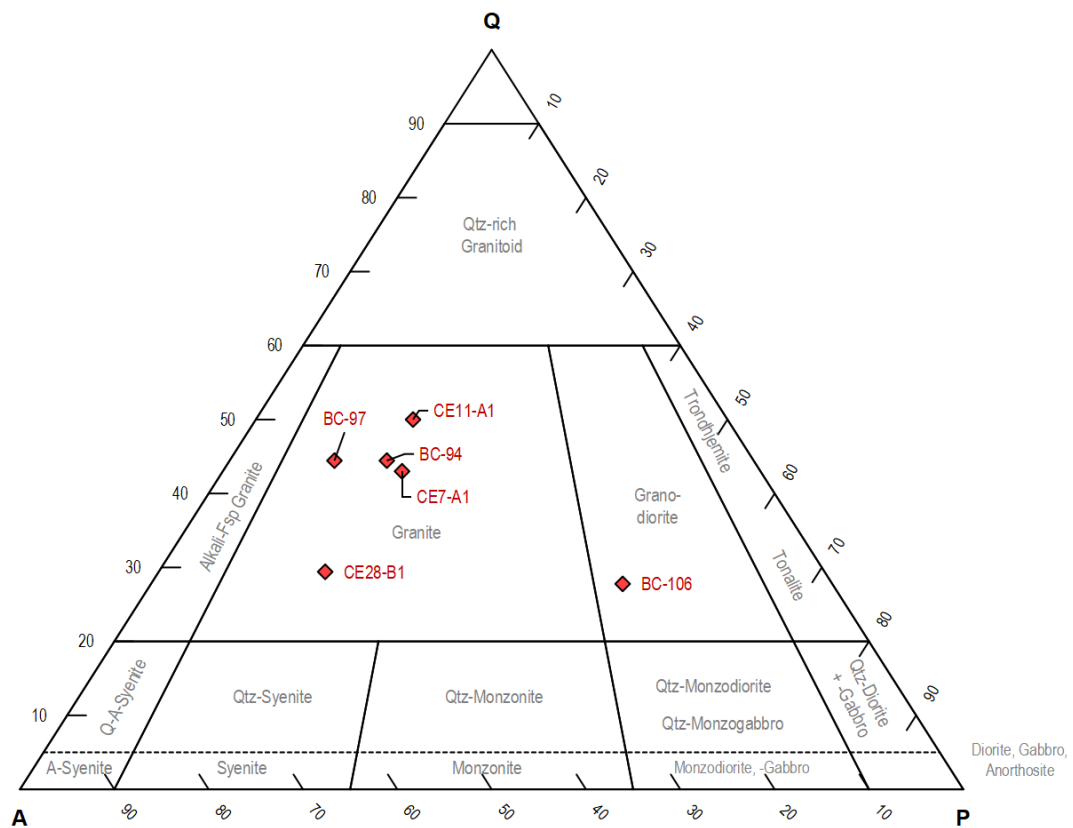


Figura 20: Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito do Cerne.

Não são observadas evidências de manifestações tardias de cristalização magmáticas, a exemplo de pegmatitos, zonas de alteração hidrotermal, aplitos ou veios de quartzo. Entretanto, em algumas porções é possível observar microclínio substituído por albita, uma evidência de metassomatismo sódico.

#### 4.1.1 Fácies sienogranito

Os sienogranitos (Figura 21) são compostos por quartzo (35-40%), feldspato alcalino (35-40%), plagioclásio (10-15%) e biotita (traço). Os minerais acessórios são allanita, apatita, titanita, fluorita e zircão. Os minerais de alteração são clorita (5-10%), opacos (traço) e sericita (traço).

Os cristais de quartzo apresentam contatos difusos e irregulares entre si. Apresentam extinção ondulante, formação de subgrãos e novos grãos. Podem apresentar fraturamento.

Os cristais de feldspato alcalino podem apresentar extinção ondulante, maclas e pertitas. Alguns cristais apresentam geminação tipo Carlsbad. Ocorrem inclusões de plagioclásio e de titanita. Podem estar fracamente argilizados ou

sericitizados, mas a predominância é de cristais límpidos em polarizadores descruzados e muito pouco alterados. Localmente apresentam fraturas preenchidas por clorita.

Os cristais de plagioclásio podem apresentar extinção ondulante. Encontram-se levemente alterados para sericita ou argilominerais e localmente há percolação de óxido de ferro em fraturas.

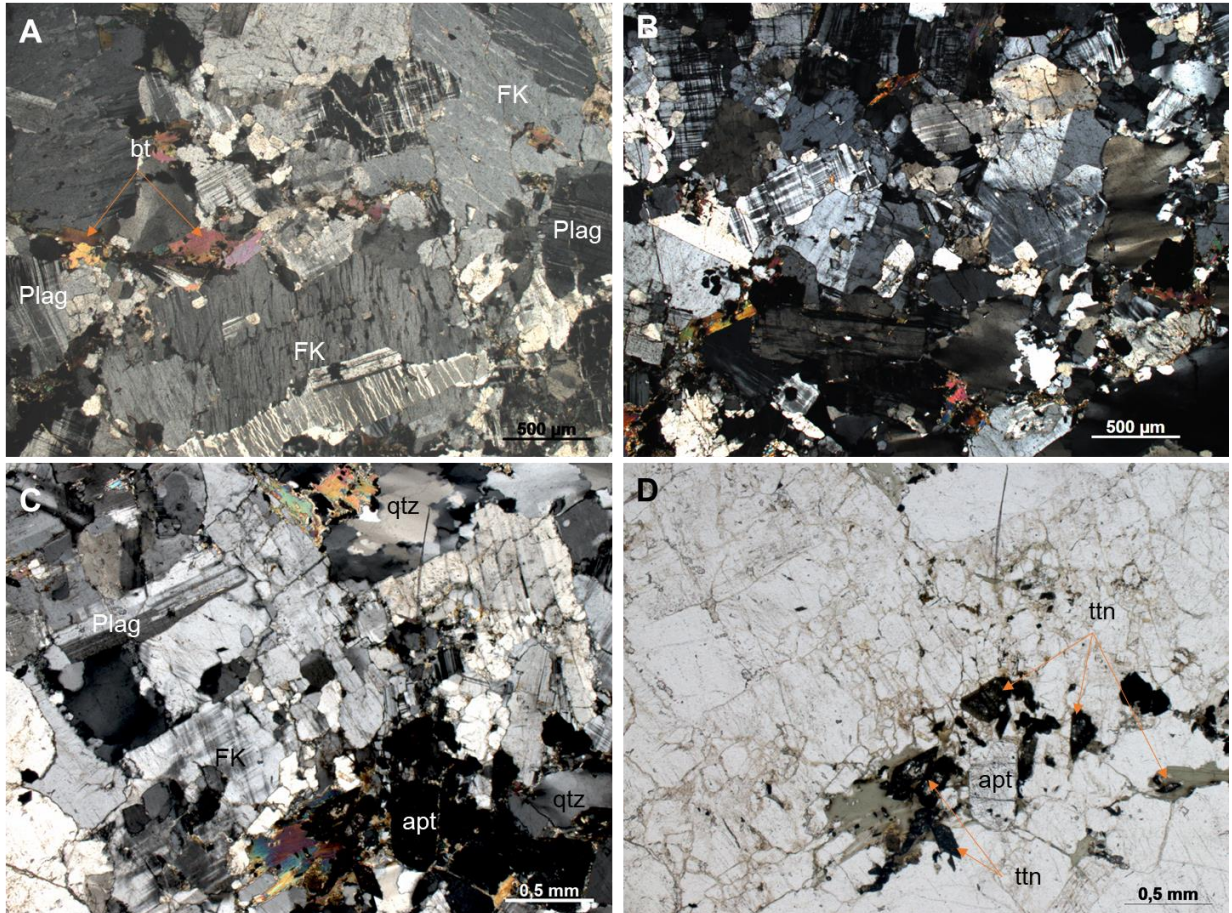


Figura 21: Granito Cerne: Fácies Sienogranito. LEGENDA: Plag - plagioclásio, ttn - titanita, bt - biotita, apt -apatita, qtz- quartzo.

Ocorrem associações de biotita, opacos, apatita e titanita. Inclusões de minerais acessórios como a titanita, apatita, opacos ou granada são comuns. Em alguns cristais observa-se dobras suaves (Figura 21a). Não foram identificadas feições relevantes de alteração hidrotermal.

#### 4.1.2 Fácies granodiorito

O granodiorito (FIGURA 22) é composto por quartzo (25%), feldspato alcalino (25%), plagioclásio (45%), biotita (5%), traços de allanita, apatita, opacos e zircão. A clorita (5%) ocorre como alteração da biotita.

Os cristais de quartzo apresentam extinção ondulante, formação de subgrãos, bordas com presença de novos grãos e contatos interdigitados. Os cristais de feldspato alcalino e de plagioclásio apresentam intensa argilização (FIGURA 22a e b), que foi identificada em polarizadores descruzados. A biotita apresenta localmente ondulações moderadas a suaves e *kink bands* (Figura 22a). É comum encontrar cristais de titanita anédrica inclusos ou associados a biotita.

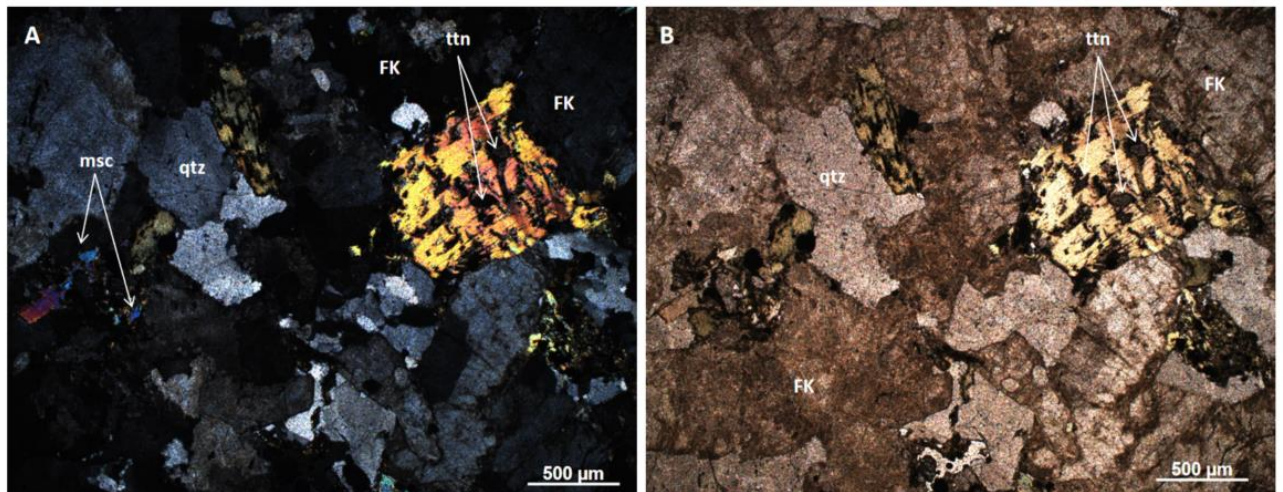


Figura 22: Granito Cerne, fácies granodiorito. LPC, 5x, lâmina BC-106. Observar o aspecto turvo dos feldspatos alcalinos, provável indicio de alteração hidrotermal.

#### 4.2 GRANITO MORRO GRANDE

Nas lâminas analisadas, foi observada apenas a fácies monzogranítica (Figura 23), que é a fácies predominante neste corpo (Santos & Felipe, 1980; Chiodi Filho et al. 1987). Em amostras de mão, observa-se textura rapakivi.

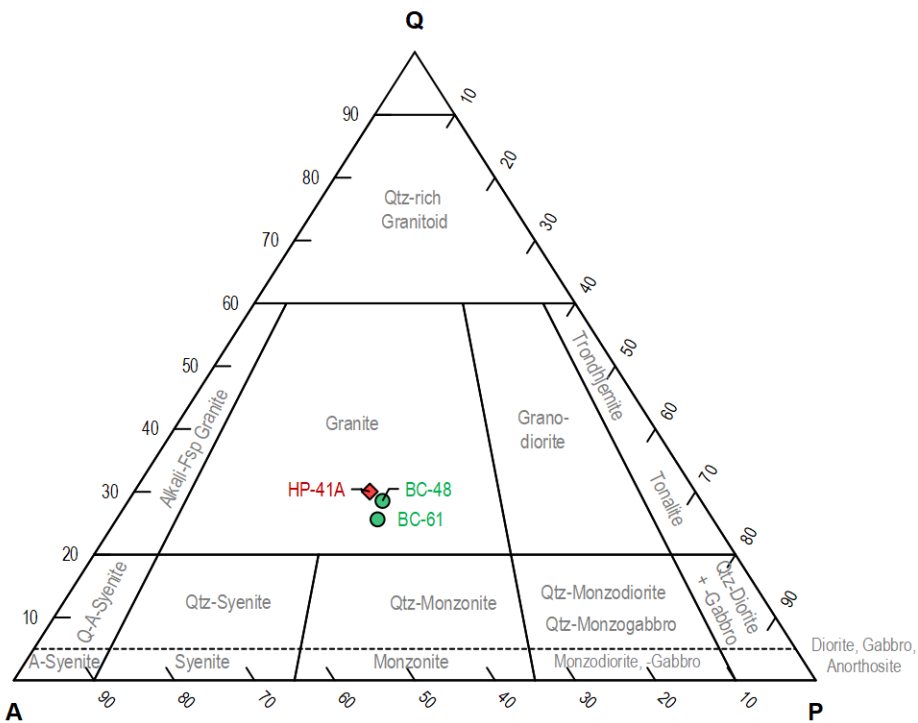


Figura 23: Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Morro Grande.

#### 4.2.1 Fácies Monzogranito

Os monzogranitos (Figura 24) são compostos por quartzo (35%), feldspato alcalino (20-30%), plagioclásio (30%), biotita (5-15%), e traços de titanita, zircão, opacos, apatita, clorita, allanita e muscovita (Figura 25).

Os cristais de quartzo apresentam extinção ondulante, com formação de subgrãos e novos grãos. Localmente, em cristais mais fraturados, há preenchimento com carbonado. O feldspato alcalino (oligoclásio) pode apresentar mimerquitas e pertitas; inclusões de plagioclásio, biotita ou quartzo e fraturas preenchidas por muscovita e epidoto. Podem estar pouco a acentuadamente sericitizados. O plagioclásio apresenta alteração para sericita e carbonato. Nos plagioclásios também ocorre intensa saussuritização, em que há desenvolvimento de um agregado composto por clinozoisita, zoisita, albita, actinolita e sericita, de granulação muito fina e coloração esverdeada.

São observadas fases metassomáticas subseqüentes a cristalização inicial da rocha, com geração de plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e biotita. O feldspato magmático tem aspecto límpido a LPC, enquanto sua versão hidrotermal apresenta aspecto turvo. A biotita hidrotermal apresenta coloração esverdeada, sem

pleocroísmo. Os cristais de quartzo geralmente apresentam extinção ondulante, um indicativo de que essas rochas foram submetidas a esforços pós-tectônicos.

As duas amostras analisadas pertencem ao domínio  $\gamma_4$  de Chiodi Filho et al (op. Cit), que é composto por biotita-granitos porfiríticos de matriz fina e granulação fina a média sem evidências de alteração hidrotermal relevantes. O acesso à área, e aos locais onde a concentração de minerais de importância econômica, foi dificultado em decorrência de atividades de reflorestamento.

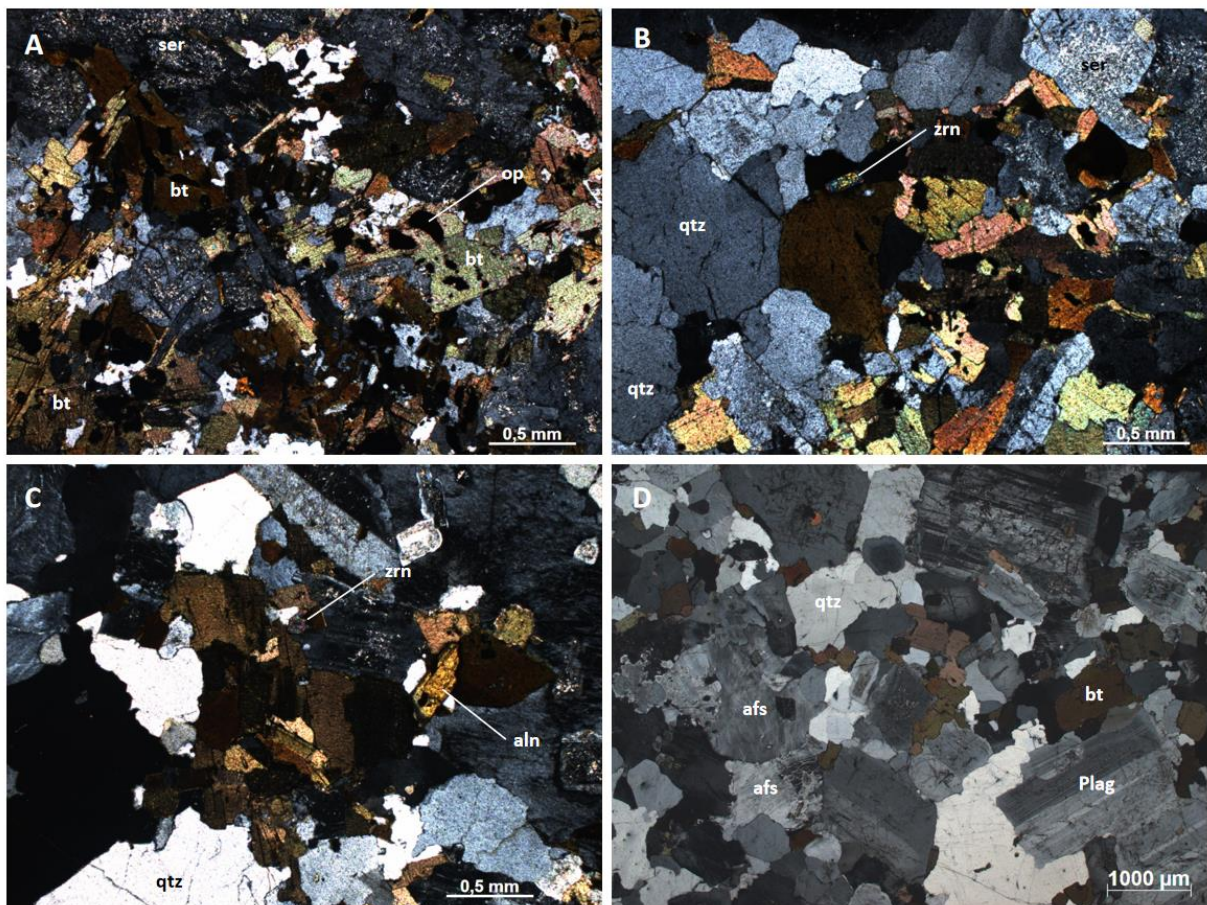


Figura 24: Fotomicrografias do Granito Morro Grande. A, B e C: amostra BC-48. D) Amostra BC-61.

### 4.3 GRANITO PASSA TRÊS

O Granito Passa Três é constituído por sienogranitos e álcali-feldspato-granitos, quartzo-álcali-feldspato sienito e quartzo-sienito foram descritas (Figura 25).

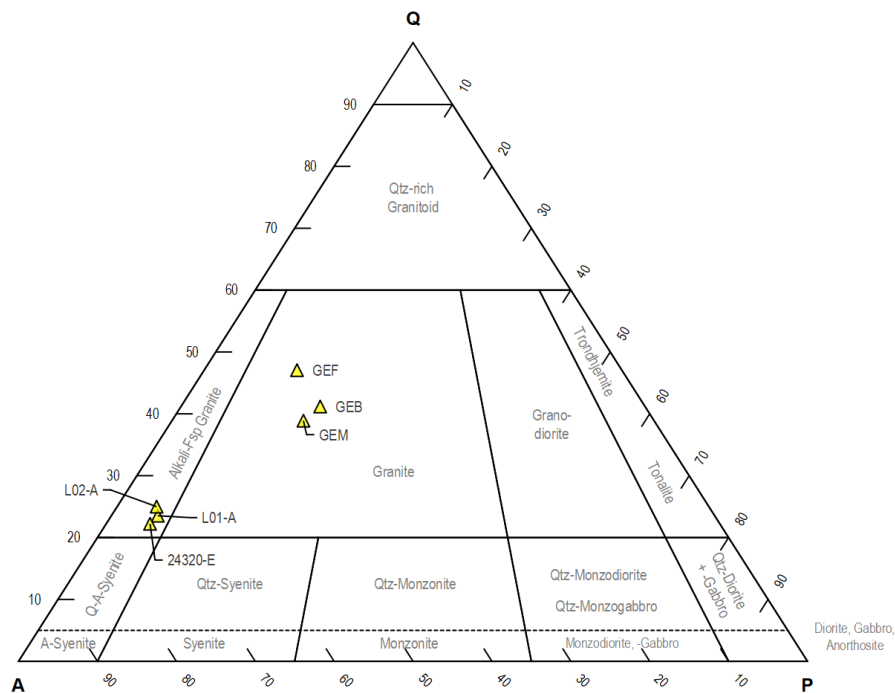


Figura 25: Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Passa Três.

#### 4.3.1 Fácies Sienogranito

É composta por quartzo (35-40%), feldspato alcalino (35-40%), plagioclásio (10-15%), sericita (5-10%), carbonato (tr-10%) e biotita (traço) (Figura 27). Dressel (2018), separa o GPT em granito equigranular médio (GEM), granito equigranular fino, ou microgranito, (GEF) e granito branco (GEB), sendo as fácies GEF e GEM predominantes.

Os minerais acessórios são zircão e apatita e minerais de alteração são clorita, sericita, carbonato, magnetita, hematita e calcopirita. Vênulas preenchidas por carbonato são comuns e afetam todas as fases minerais.

Os cristais de FK apresentam turbidez moderada, maclas xadrez bem desenvolvidas, pertitas e geminação simples. No plagioclásio é observada geminação polissintética medianamente desenvolvida na maior parte dos cristais. Tanto o FK quanto o plagioclásio apresentam alteração para sericita e carbonato. A fácies euigranular média (GEM) apresenta intenso fraturamento. Estas fraturas são preenchidas por carbonato de granulação muito fina.

Nesta fácies foi observada alteração tipo fílica, representada pela paragênese sericita + quartzo + pirita + FK.

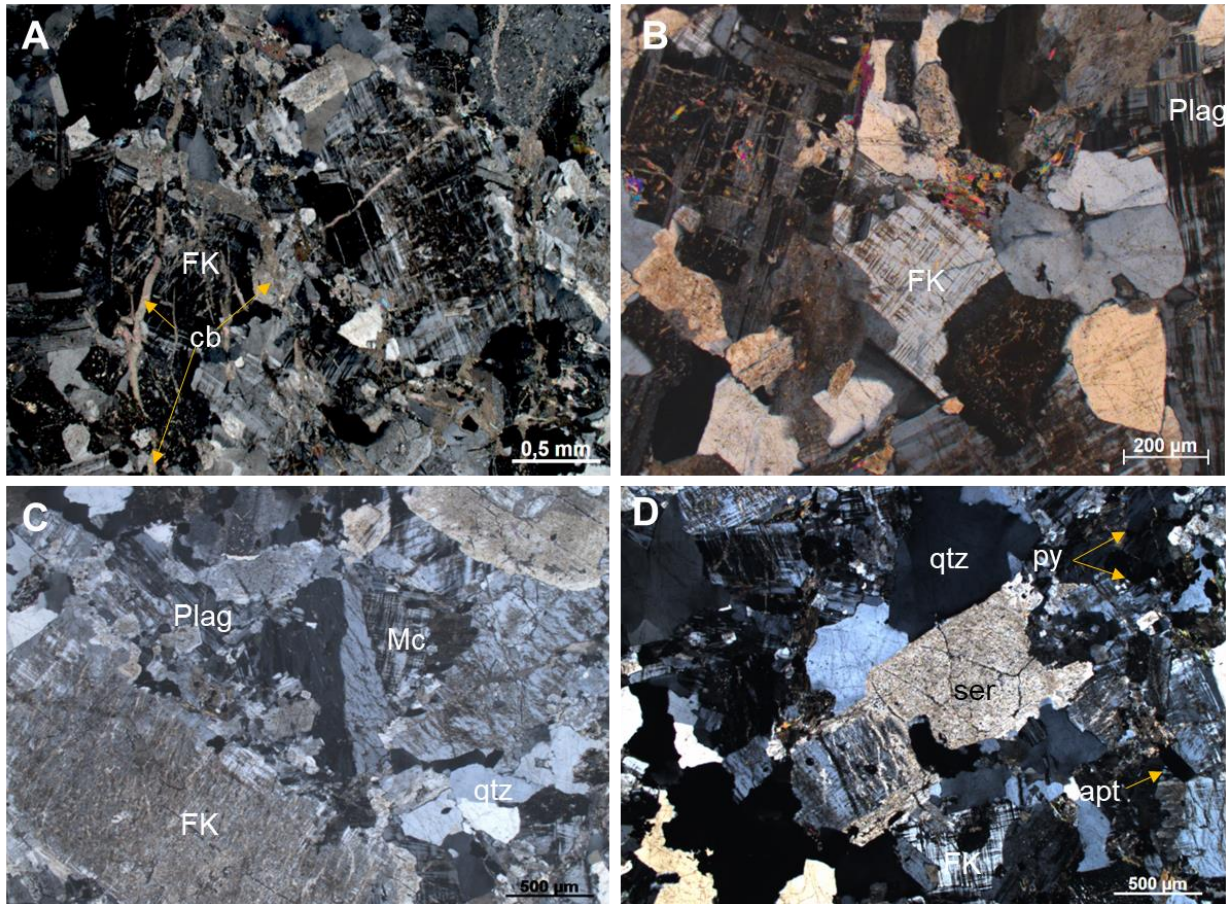


Figura 26: Granito Passa Três: fotomicrografias do Sienito equigranular fino (a e b) e sienito equigranular médio (c e d). Observar a paragênese sericita + quartzo + pirita + FK, típica de alteração fílica.

#### 4.3.2 Fácies Álcali-feldspato granito

A fácies álcali-feldspato granito é composta por quartzo (20-25%), feldspato alcalino (60-70%), plagioclásio (traço-5%), opacos (~5%), mica branca (traço-10%) e fluorita (traço-10%). Os minerais acessórios são zircão e carbonato.

Nessa fácies observada greisenização (Figura 27), marcada pela paragênese muscovita + quartzo ± fluorita ± FK.

Os cristais de FK apresentam turbidez moderada, maclas xadrez bem desenvolvidas, pertitas, geminação simples e intercrescimento de quartzo mal desenvolvido. No plagioclásio é observada geminação polissintética medianamente desenvolvida na maior parte dos cristais. Tanto o FK quanto o plagioclásio apresentam alteração para sericita e carbonato.

No geral, os cristais de quartzo e FK podem estar altamente fraturados e estas fraturas geralmente apresentam preenchimento com muscovita límpida, fluorita e opacos (galena, calcopirita e pirita).

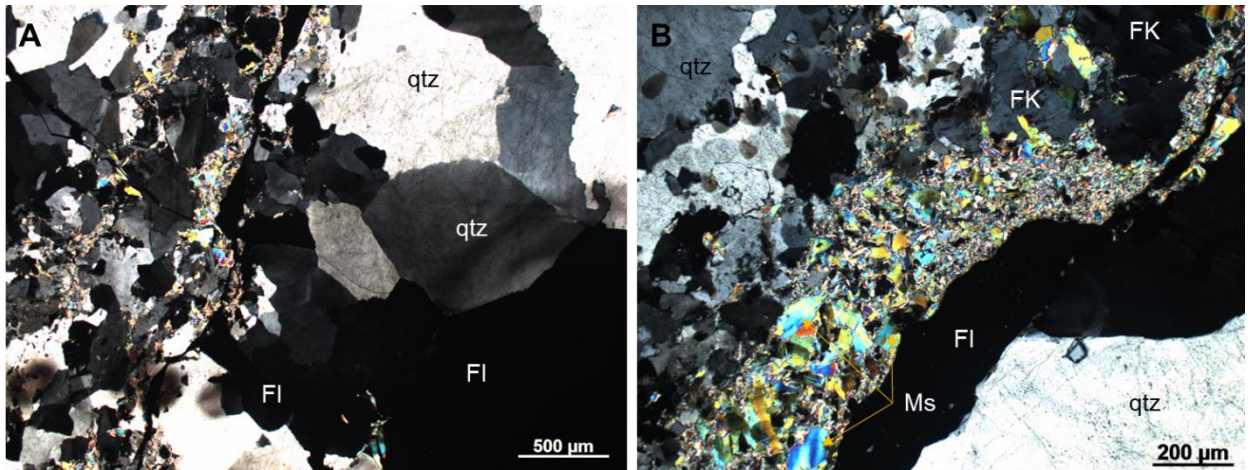


Figura 27: Amostra 2430-E - alteração tipo Greisen da fácies álcali-feldspato granito. A) XPL, 2,5x. B) XPL 5x.

#### 4.4 GRANITO PIEDADE

O granito Piedade é constituído por sienogranitos e quartzo-álcali-feldspato sienitos (Figura 28).

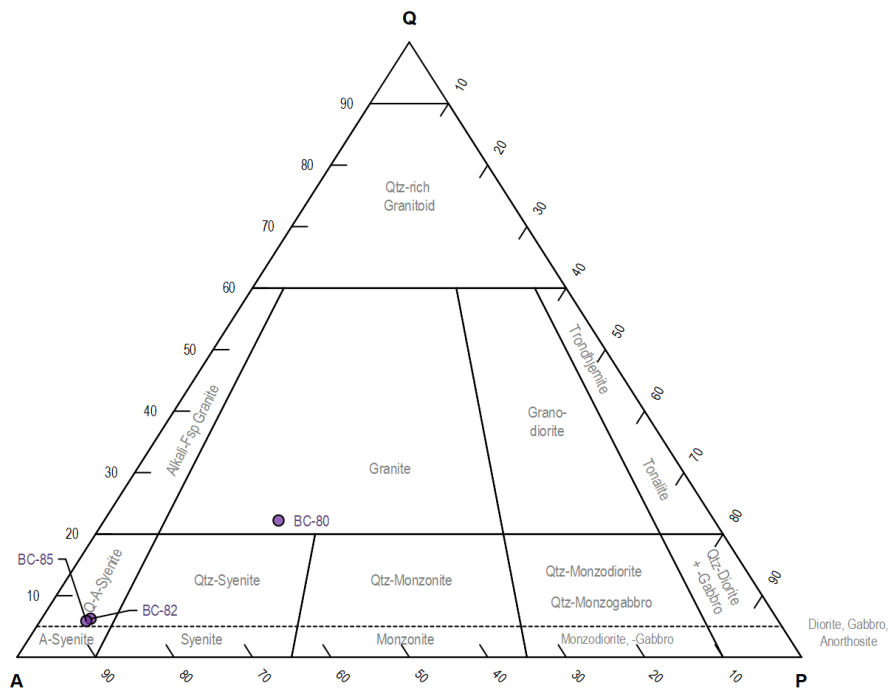


Figura 28: Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Piedade.

Feições deformacionais são observadas, a exemplo de cataclasamento e leve orientação dos cristais de biotita.

Em campo, não foram observados pegmatitos ou aplitos. Os plagioclásios foram classificados como albita pelo Método de Michel-Levy, o que pode ser indício de metassomatismo sódico.

A análise de seções polidas revelou a presença de magnetita idiomórfica. A magnetita preenche vênulas e está associada a outros óxidos/hidróxidos de ferro.

#### 4.4.1 Fácies quartzo-álcali-feldspato sienito

Os quartzo-álcali-feldspato sienitos (FIGURA 29) são compostos por quartzo (20%), feldspato alcalino (50%), plagioclásio (20%), biotita (5%) e hornblenda (5%). Os minerais acessórios observados são allanita, fluorita, opacos, apatita e muscovita e ocorrem em porcentagens entre traço a 3%. É comum encontrar agregados de opacos, biotita, hornblenda, titanita e apatita (Figura 29b).

Os cristais de quartzo são equigranulares médios, anédricos e sem orientação preferencial. Apresentam extinção ondulante e subgrãos. Observa-se localmente a presença de cristais em forma de cúspide (Figura 29b), que são cristalizações com forma triangular em contato com partes de cristais parcialmente reabsorvidos (SAWYER, 2008).

Os cristais de feldspato alcalino ocorrem tanto na matriz quanto como fenocristais. São equigranulares finos a médios, subédricos ripiformes a anédricos e podem apresentar feições de coroas trocadas e contatos interdigitados com cristais de quartzo.

A hornblenda se apresenta com cristais finos a médios, subédricos e com alteração para clorita. Geralmente ocorrem agregados de piroxênico sódico, com pleocroísmo esverdeado, hornblenda, bioita, apatita, titanita, opacos e epidoto. (Figura 29d).

Os cristais de biotita são anédricos, equigranulares finos a médios, intensamente alterados para clorita, epidoto e titanita. Apresentam coloração verde, o que demonstra se tratar de uma biotita hidrotermal. Encontram-se orientados.

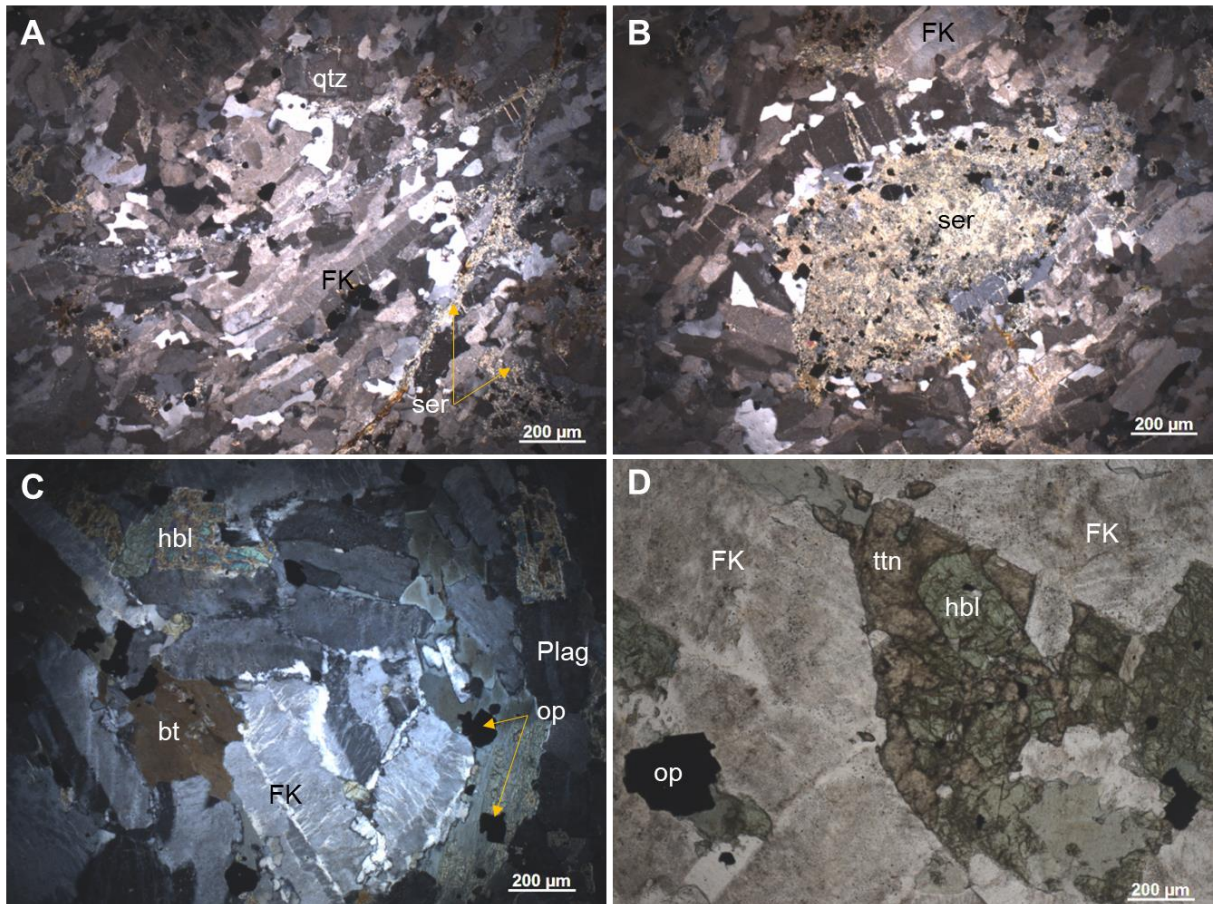


Figura 29: Fotomicrografias do Granito Piedade - LPC, lâmina BC-82. A) Textura geral da rocha. Nota-se veios preenchidos com sericita; B) Cristal de FK completamente sericitizado. Observar inclusões de opacos e apatita. É comum contato em cúspide entre quartzo e FK. LPC, lâmina BC-85 C) Trama geral da rocha; D) Cristal de titanita associado a hornblenda. Notar FK com aspecto turvo a LPD.

#### 4.4.2 Fácies sienogranito

Os sienogranitos (Figura 30) são constituídos por quartzo (20%), feldspato alcalino (45%) e plagioclásio (30%). Como minerais acessórios encontram-se apatita, opacos, fluorita e titanita. Clorita e sericita são minerais comuns de alteração da biotita e do feldspato alcalino, respectivamente. Observa-se muscovita como produto de sobrecrescimento da sericita.

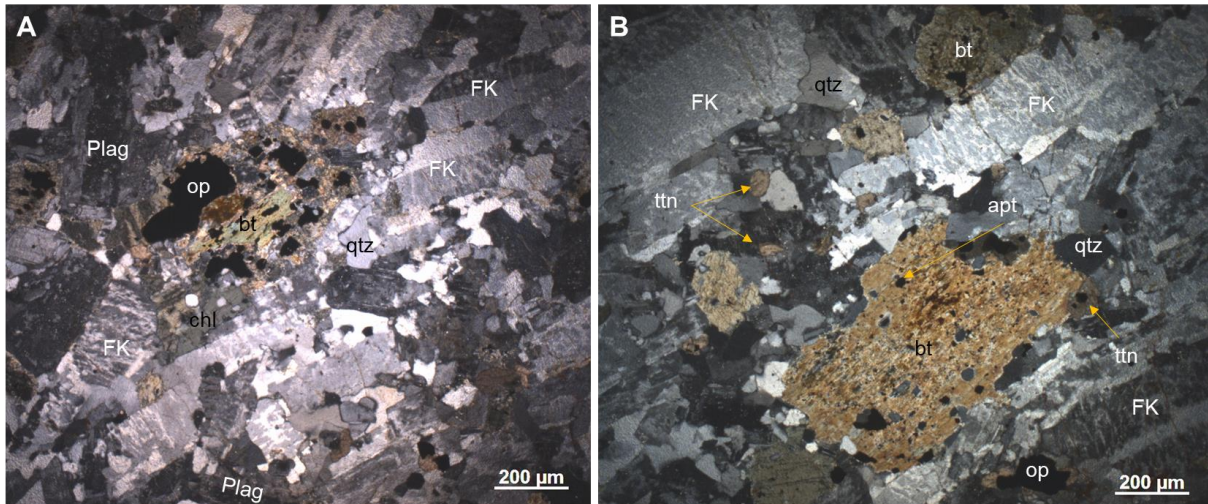


Figura 30: Fotomicrografia do Granito Piedade, lâmina BC-80.

#### 4.5 GRANITO TAICI

Em amostras macroscópicas foi possível observar textura do tipo boxwork, que é abundante nos afloramentos visitados (Figura 31a). Também se nota evidências de fraturamento hidráulico (Figura 31b), com veios preenchidos por quartzo.

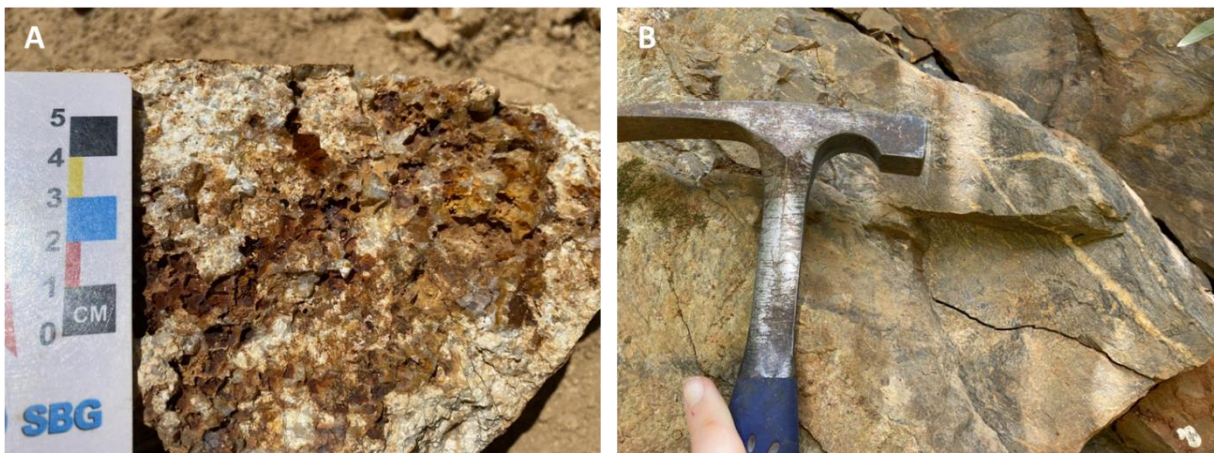


Figura 31: Granito Taici. A) Amostra em afloramento do Granito Taici, onde é possível observar textura do tipo boxwork e formação de óxidos e hidróxidos de ferro. B) Rocha com fraturamento hidráulico, evidenciado pelos veios irregulares e sem aparente controle estrutural preenchidos por calcita.

No diagrama QAP (Figura 32), observa-se que as fácies mais abundantes do Taici são a fácies monzogranito e álcali-feldspato-granito.

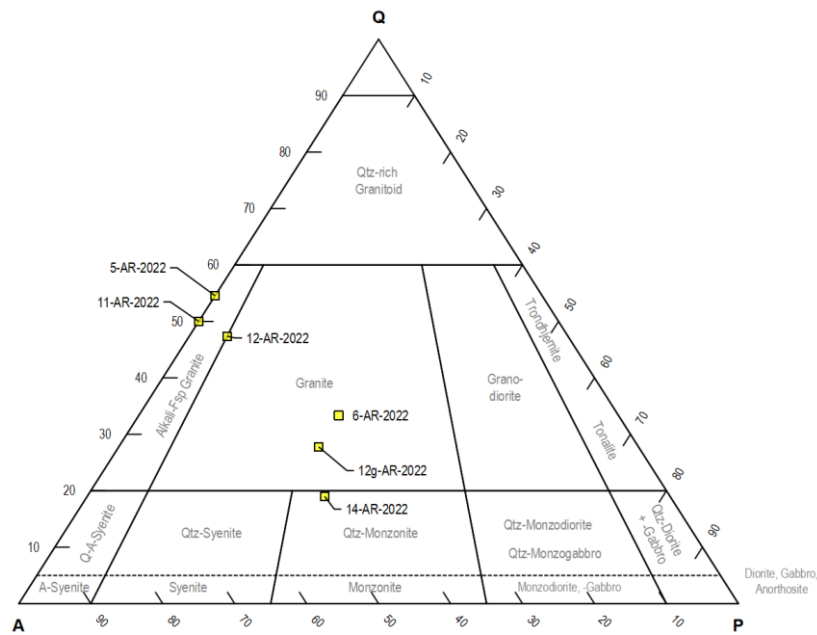


Figura 32: Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Taici.

Nas encaixantes é observada intensa silicificação e estas rochas podem estar associadas a veios preenchidos com pirita.

#### 4.5.1 Fácies álcali-feldspato-granito

Apresenta macroscopicamente cor cinza clara, textura fina e xenomórfica, sendo composta por quartzo, sericita e feldspato alcalino de granulação fina, com porções de quartzo e pirita de granulação média (Figura 33). A rocha é cortada por veios piritizados, que por vezes apresentam texturas reliquiares dos sulfetos. Microscopicamente (Figura 33), essas rochas são compostas por quartzo (30-50%), feldspato alcalino (40-45%), sericita (5 – 25%) e muscovita (traço – 5%). Os cristais de muscovita ocorrem como recristalização da sericita. A paragênese sericita + quartzo + pirita ± K-feldspato (Figura 33a e 33b) é típica da alteração hidrotermal fílica.

É comum encontrar veios preenchidos por sericita e clorita (Figura 34) tanto nesta fácies quanto na fácies monzogranítica.

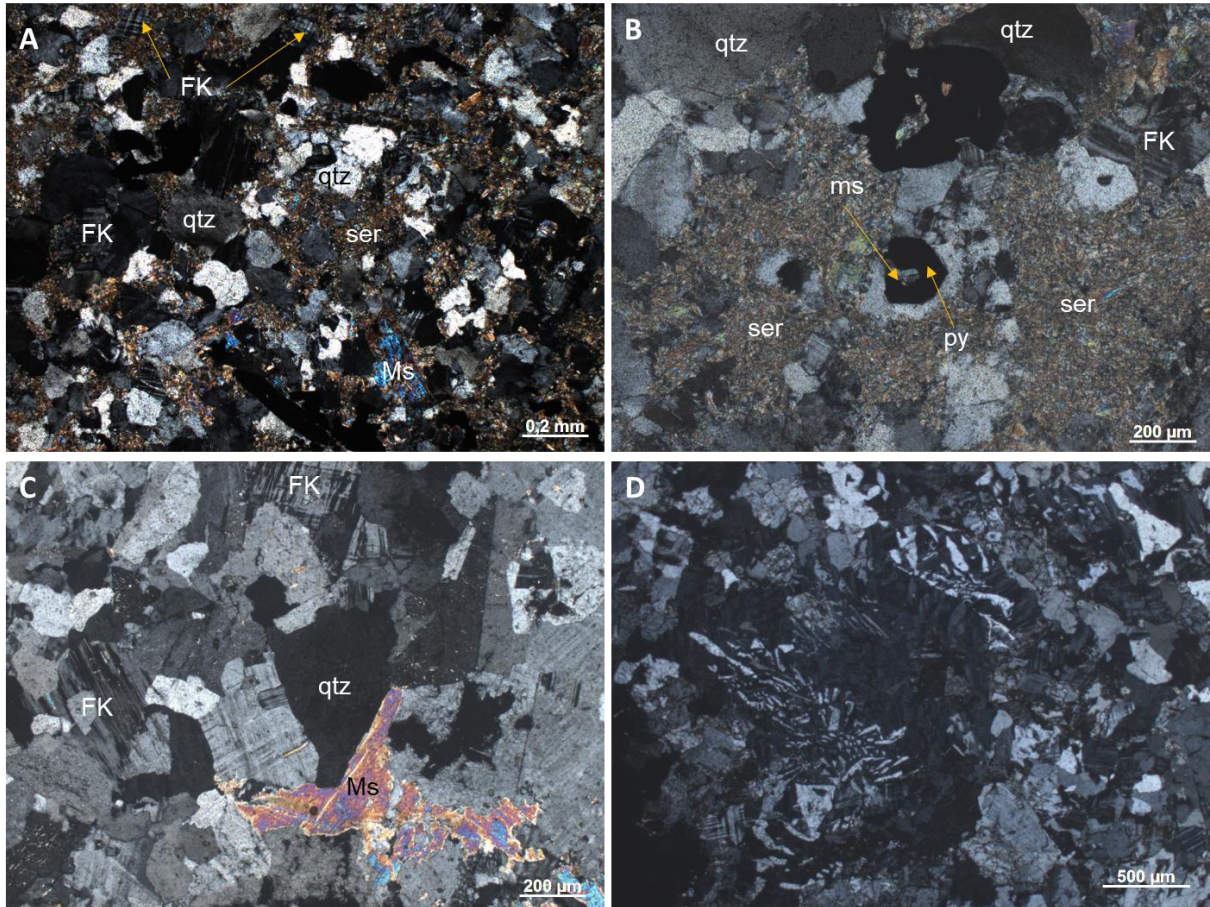


Figura 33: Granito Taicé. fácies álcali-feldspato-granito A) e B) Fotomicrografias da lâmina 5-AR-2022. C) Fotomicrografia da amostra 11-AR-2022. D) Fotomicrografias da amostra 12-AR-2022. Observar textura granofíbrica que ocorre localmente.

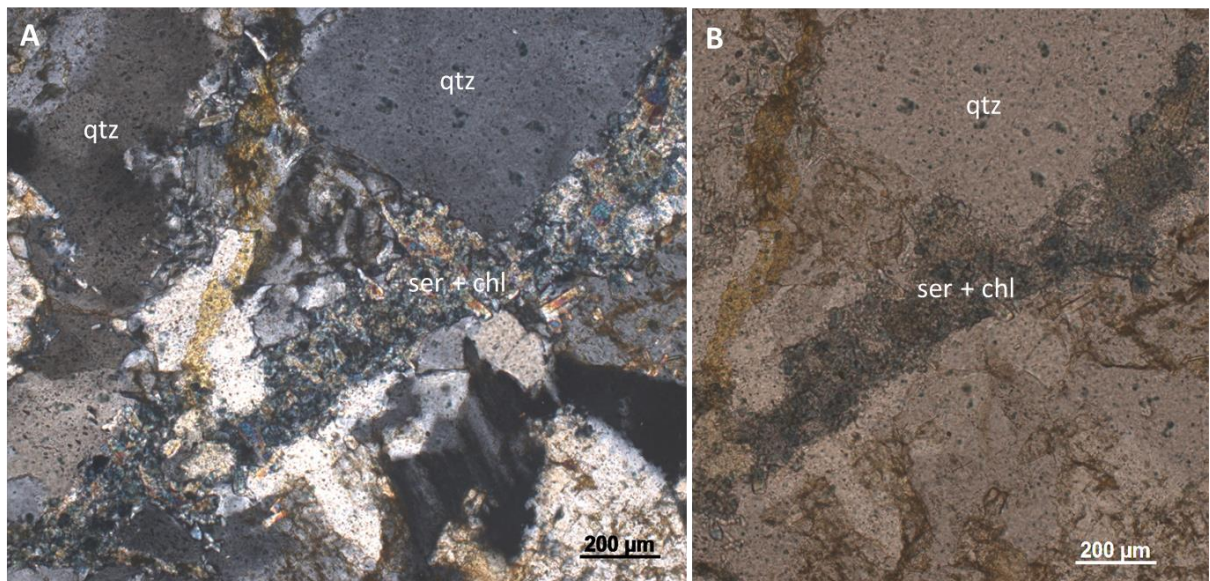


Figura 34: Granito Taicé. Veios preenchidos por sericita e quartzo nas fácies álcali-feldspato-granito.

#### 4.5.2 Fácies Monzogranito

Os monzogranitos (Figura 35) são compostos por microclínio (35-40%), quartzo (30-25%), plagioclásio (25%), biotita (10%), muscovita (traço-5%), opacos (traço), titanita (traço), sericita (traço), apatita (traço) e leucoxênio (traço).

O leucoxênio (Figura 36c) se refere a uma associação submicroscópica de óxidos de ferro e titânio, com rutilo, anatásio, titanita, perovskita, magnetita titanífera e especialmente ilmenita (KLEIN, 1985). A biotita tem colorção levemente esverdeada e observa-se a presença de feldspato alcalino magmático e hidrotermal.

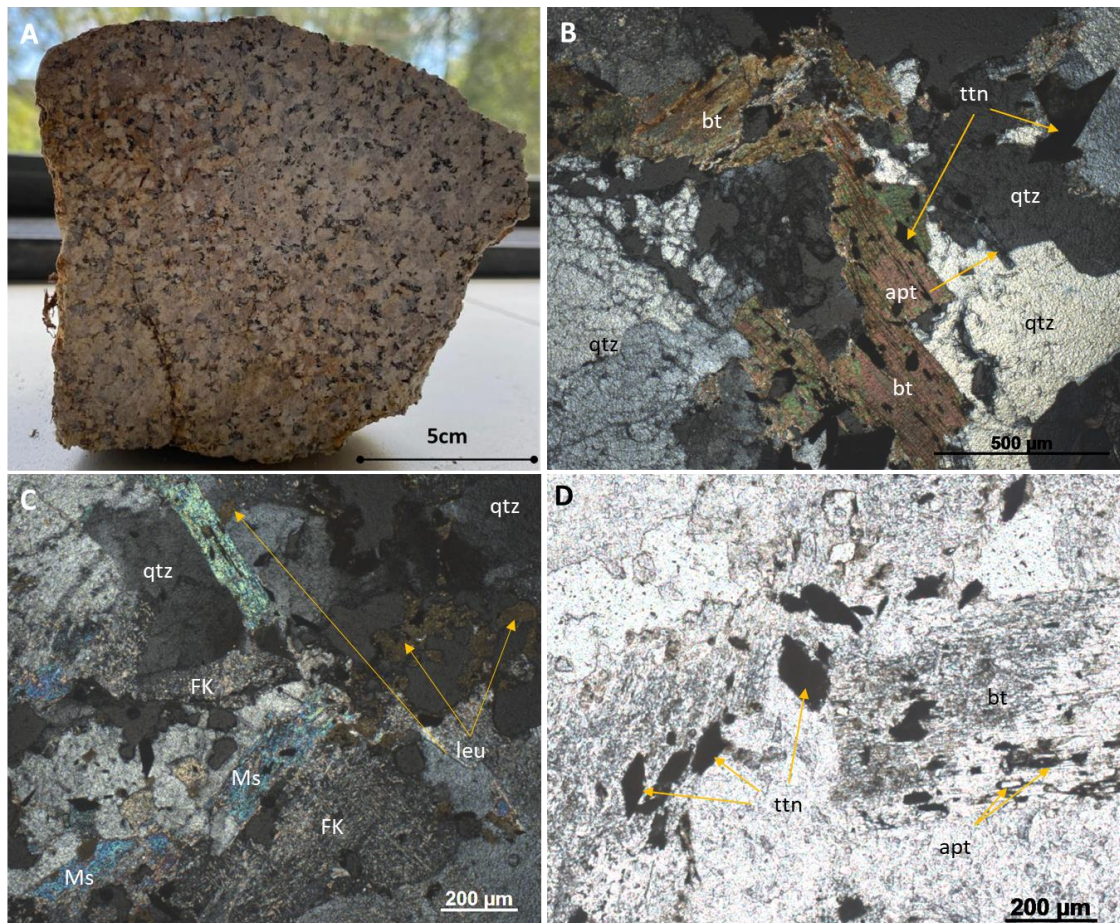


Figura 35: Granito Taici. Amostra 12G-AR-2022. A) Amostra de mão e B) Fotomicrografia. C e D) Fotomicrografias da amostra 06-AR-2022. Observar cristais de feldspato alcalino sericitizado e inclusões de titanita e apatita em cristal de biotita.

#### 4.5.3 Fácies quartzo-monzonito

Os quartzo-monzonitos (Figura 36) são formados por quartzo (15%), plagioclásio (40%) e feldspato alcalino (45%). A rocha é equigranular média e é

cortada por vênulas preenchidas por sericita e clorita. A textura granofírica (Figura 36 a e b) recobre toda a rocha.

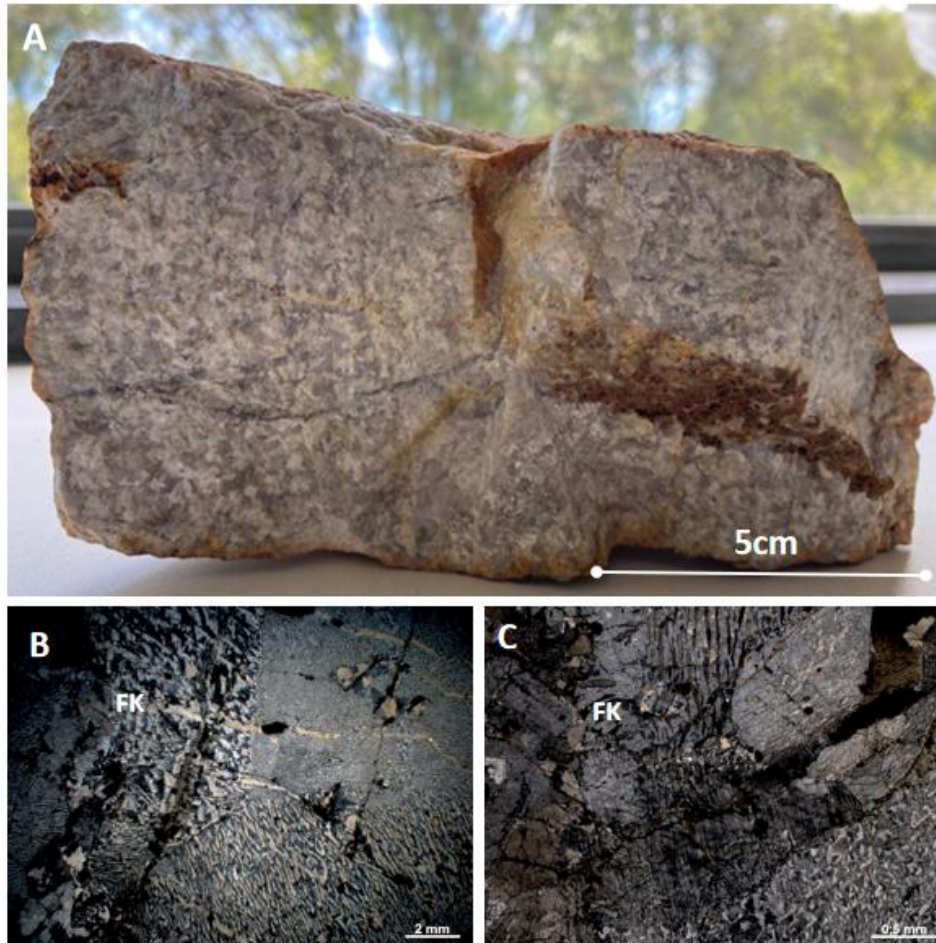


Figura 36: Granito Taici. Fácies quartzo-monzonito, amostra 14-AR-2022.

#### 4.6 GRANITO VARGINHA

O Granito Varginha é composto por sienogranitos, monzogranitos, quartzo monzonitos e quartzo sienitos (Chiodi Filho et al., 1987). As amostras analisadas pertencem a dois litotipos (Figura 37): monzogranitos e sienogranitos.

As amostras BC-01 (b, c, d, f) pertencem ao domínio faciológico  $\gamma_1$  de Chiodi Filho et al. (op. cit.) e as amostras BC-02b e BC-03b ao domínio  $\gamma_5$ . As amostras BC-16 e BC-17 (sienogranitos) não possuem as coordenadas e por isso não é possível alocá-las em um domínio específico.

Em campo, é possível observar intenso cataclasamento das rochas. Tal feição é observada petrograficamente pela presença de cristais neoformados de FK, quartzo e plagioclásio.

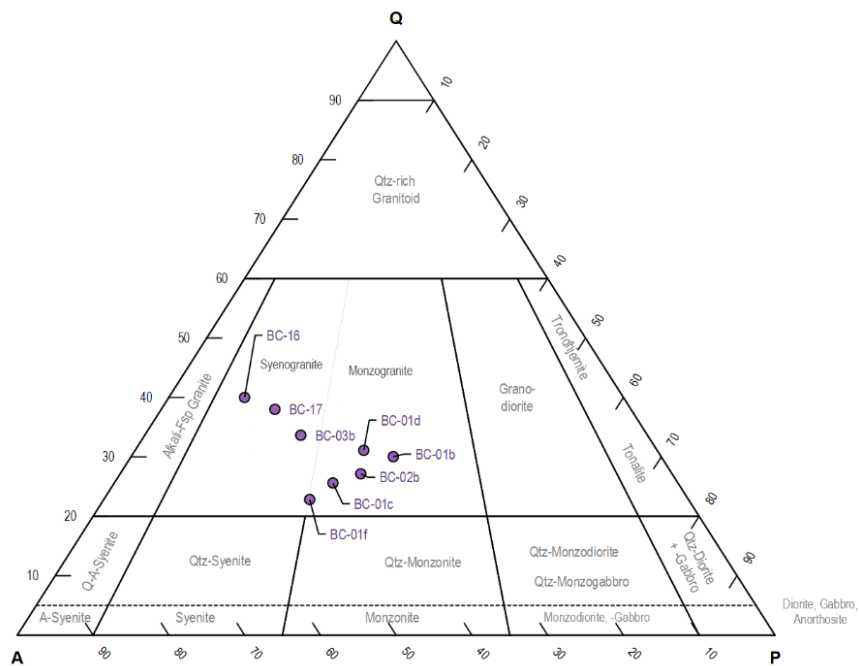


Figura 37 – Diagrama QAP (LE MAITRE, 2004) para o Granito Varginha.

As principais alterações observadas são fenômenos metassomáticos como microclinitização, silicificação e albitização.

#### 4.6.1 Fácies Monzogranito

Os monzogranitos (Figura 38) são compostos principalmente por quartzo (35-50%), Feldspato alcalino (20-35%), plagioclásio (20-30%), biotita (traço-5%), mica branca (traço - 5%), carbonato (traço). Também se observa quantidades traço de titanita, granada, turmalina, zircão, opacos, epidoto, allanita, stilpnomelano e apatita.

Os cristais não apresentam orientação preferencial e seus contatos com outros minerais é demarcado por limites irregulares ou interdigitados. Observa-se extinção ondulante, formação de subgrãos e novos grãos e microfraturas. Podem estar inclusos em cristais de feldspato alcalino e conter inclusões de plagioclásio.

Os cristais de feldspato alcalino (microclínio) podem apresentar pertita. E geralmente estão alterados para sericita. Os cristais de plagioclásio formam contatos podem ser irregulares ou interdigitados com quartzo e com isso há formação de subgrãos de quartzo nas bordas. Alguns cristais de plagioclásio apresentam sericitização intensa. Localmente podem estar fraturados.

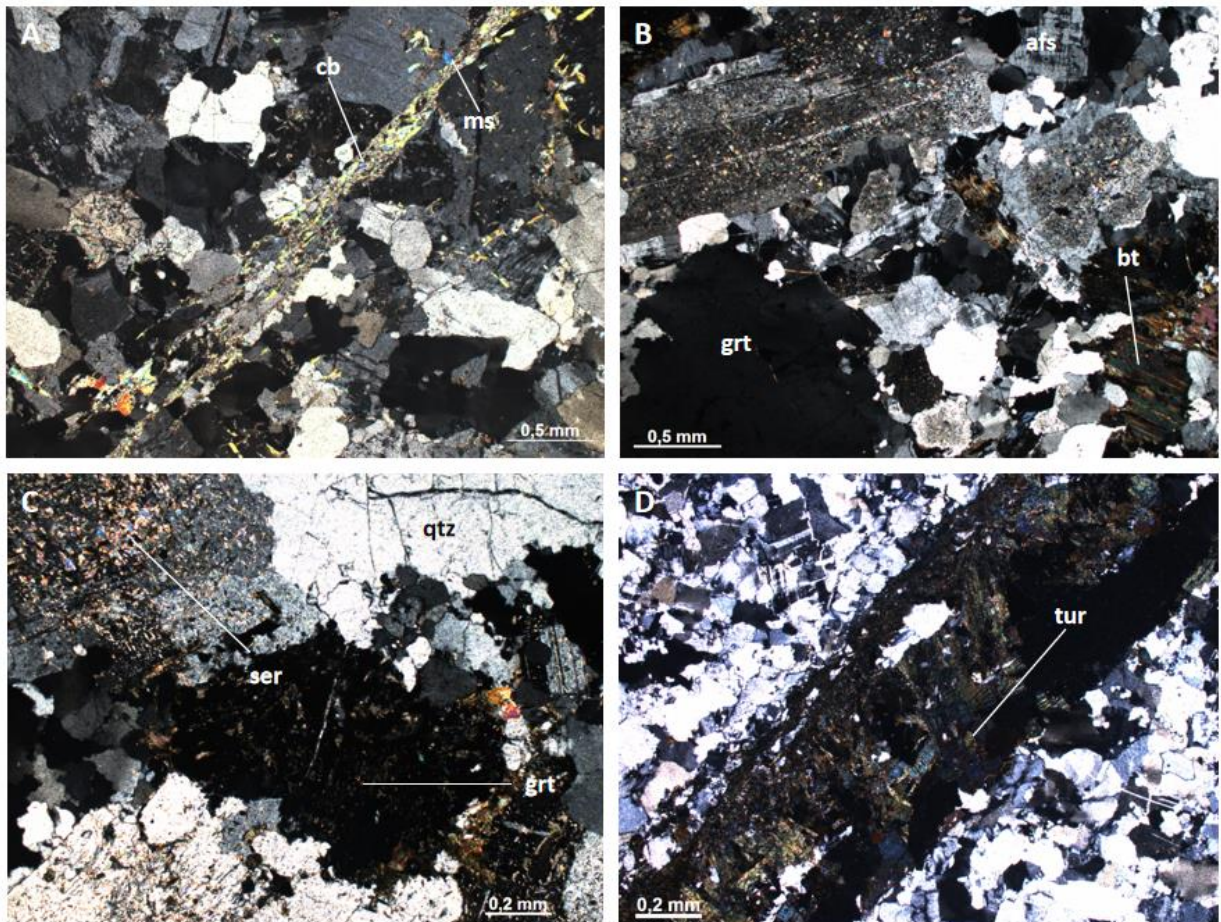


Figura 38 – Granito Varginha: Fácies monzogranito. A) fratura preenchida com carbonato e sericita recrystalizando para muscovita. B) Cristal de granada e biotita alterada. C) Plagioclásio alterando para sericita e cristal de granada alterado. D) Veio preenchido por turmalina.

É comum encontrar cristais de biotita associados a titanita e opacos, localmente com granada. Inclusões de apatita e zircão, com formação de halos pleocroicos, são comuns. Podem estar cloritizados ou alterados para opacos.

A sericita ocorre como alteração de plagioclásio e feldspato alcalino. Localmente apresentam evidências de recrystalização para muscovita e formam cristais de granulometria média e subédricos tabulares.

A muscovita é equigranular média, ocorre na matriz da rocha, em contato com cristais de quartzo e feldspato, comumente apresentando hábito em leque. Também ocorrem como resultado da recrystalização de sericita.

Os cristais de carbonato ocorrem associados aos cristais de feldspato alcalino ou plagioclásio e com sericita/muscovita. Podem ocorrer também como preenchimento de fraturas na rocha ou em cristais fraturados.

Os principais acessórios são granada, allanita, titanita, apatita, zircão, opacos, que ocorrem dispersos na matriz ou como inclusões, e turmalina, que preenche veios.

#### 4.6.2 Fácies sienogranito

Os sienogranitos (Figura 39) são constituídos por quartzo (35-50%) e feldspato alcalino (25-45%), biotita (0-10%), plagioclásio (10%). Como acessórios observam-se granada, allanita, fluorita, apatita e zircão. Os minerais secundários são carbonato, muscovita, titanita, clorita e opacos, que ocorrem como traços.

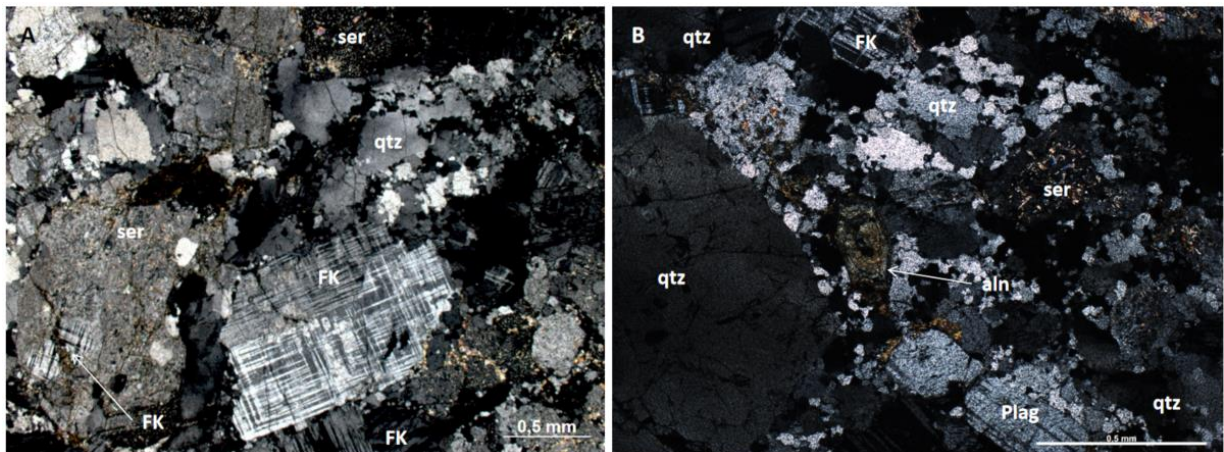


Figura 39 – Granito Varginha: Fácies sienogranito.

## 5 ANÁLISES GEOQUÍMICAS

A litogeoquímica tem como objetivo identificar dispersão primária, obter um diagnóstico de outras características geoquímicas e suas associações com elementos traço, que são diferentes em rochas estéreis.

Neste capítulo são apresentadas as análises geoquímicas dos granitos estudados. Os dados foram encontrados em diferentes bibliografias, descritas na Tabela 6 e totalizam 41 amostras. Estas análises foram utilizadas para a criação de diagramas discriminantes, que tem como objetivo auxiliar no entendimento dos tipos de rochas e no comportamento de elementos maiores, menores e traço durante o fracionamento magmático e nas alterações pós-magmáticas.

Tabela 6 – Relação das análises geoquímicas utilizadas ou realizadas e seus respectivos autores

| GRANITO                  | FONTE                     | LITOTIPO                       | AMOSTRA                  | OBSERVAÇÕES                      |                  |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------|
| Varginha                 | Dressel (2013)            | Monzogranito                   | BC-01C                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | BC-03B                   |                                  |                  |
| BC-017                   |                           |                                |                          |                                  |                  |
| BC-048                   |                           |                                |                          |                                  |                  |
| BC-061                   |                           |                                |                          |                                  |                  |
| HP-41A                   |                           |                                |                          |                                  |                  |
| Morro Grande             | Prazeres Filho (2000)     |                                | HP-41A                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                |                          |                                  |                  |
| Piedade                  | Dressel (2013)            | Sienogranito                   | BC-080                   |                                  |                  |
|                          |                           | Álcali feldspato sienito       | BC-082                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | BC-085                   |                                  |                  |
| Cerne                    | Cury (2003)               | Monzogranito                   | CER-15m                  | Matriz                           |                  |
|                          |                           | Qtz-sienito                    | CER-15e*                 | Enclave                          |                  |
|                          |                           | Monzogranito                   | CER-16b                  | Sienogranito isótropo            |                  |
|                          |                           |                                | CER-17                   | Monzogranito isótropo            |                  |
|                          |                           |                                | CER-22                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | CER-43a                  |                                  |                  |
|                          |                           |                                | CER-55a                  |                                  |                  |
|                          | CER-82b                   | Granito com enclave            |                          |                                  |                  |
|                          | Prazeres Filho (2000)     |                                | HP-58                    |                                  |                  |
|                          | TAICI                     | Martini (1982)                 |                          |                                  | GT-M82           |
| Autora                   |                           | Álcali feldspato granito       | AR-05                    |                                  |                  |
|                          |                           | Monzogranito                   | AR-06                    |                                  |                  |
|                          |                           |                                | AR-12                    |                                  |                  |
| Passa Três               | Cury (2003)               | Sienogranito                   | CER-49a                  | Granito mineralizado com alto KF |                  |
|                          |                           |                                | CER-49b                  |                                  |                  |
|                          | Piekarz (1992) Norma CIPW | Quartzo-Monzonito              | PT023B                   | Fácies central                   |                  |
|                          |                           |                                | PT028A                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT088A                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT106A                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT106B                   | Fácies intermediária             |                  |
|                          |                           |                                | PT015A                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT021                    |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT101                    | Fácies de borda                  |                  |
|                          |                           |                                | PT031D                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT045D                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | PT211D                   |                                  |                  |
|                          |                           |                                | Monzogranito             | PT211E                           | Alteração fílica |
|                          |                           |                                | Álcali feldspato granito | PT007D                           |                  |
|                          |                           |                                | Qtz-sienito              | PT023C                           |                  |
| Álcali feldspato granito | PT031A                    | Veios aplíticos e pegmatíticos |                          |                                  |                  |
|                          | PT131A                    |                                |                          |                                  |                  |
| Monzogranito             | PT210                     | Microgranito                   |                          |                                  |                  |

Analisando o diagrama TAS (Middlemost, 1994), os Granitos Passa Três, Piedade e Cerne se encontram nos campos dos sienitos, quartzo-monzonitos e granitos. Os Granitos Varginha e Taici fazem parte do campo granítico. O Granito Morro Grande está nos campos dos quartzo-monzonitos e granitos (FIGURA 40).

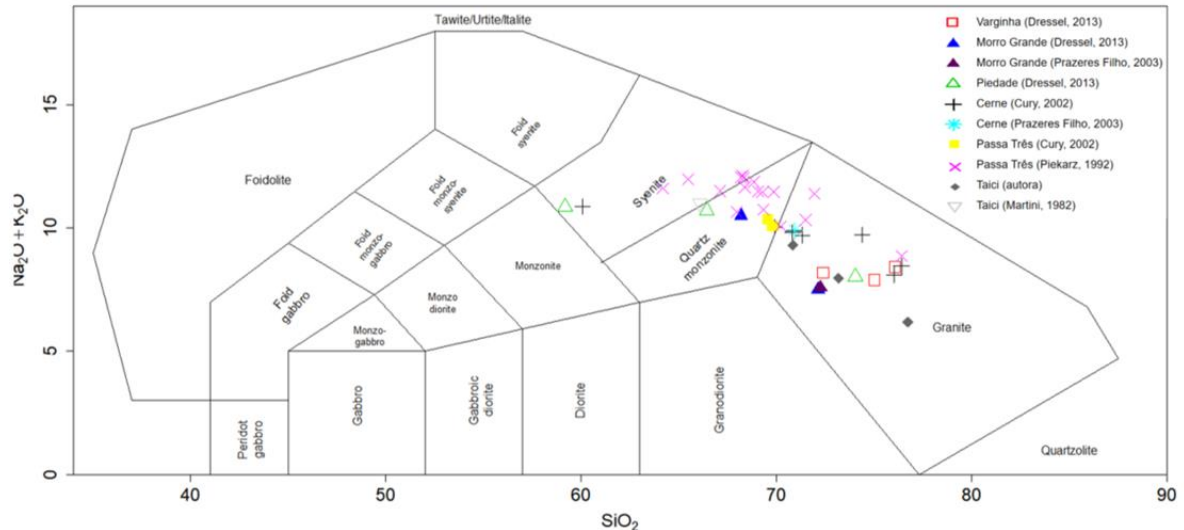


Figura 40 – Diagrama TAS (Middlemost, 1994).

No diagrama R1-R2, proposto por La Roche et al. (1980) (Figura 41), o Granito do Cerne é projetado nos campos dos sienitos, granito e alcali-granitos. O Granito Piedade aparece no domínio dos granitos, sienitos e quartzo-sienitos. Para o Morro Grande tem-se porções intermediárias quartzo-sienitos e quartzo-monzonitos e granitos. Passa Três é projetado nos campos de sienito, quartzo sienito, quartzo monzonito e alcali-granito. O Granito Varginha projeta-se inteiramente no campo dos granitos e o Taici apresenta granitos e alcali-granitos.

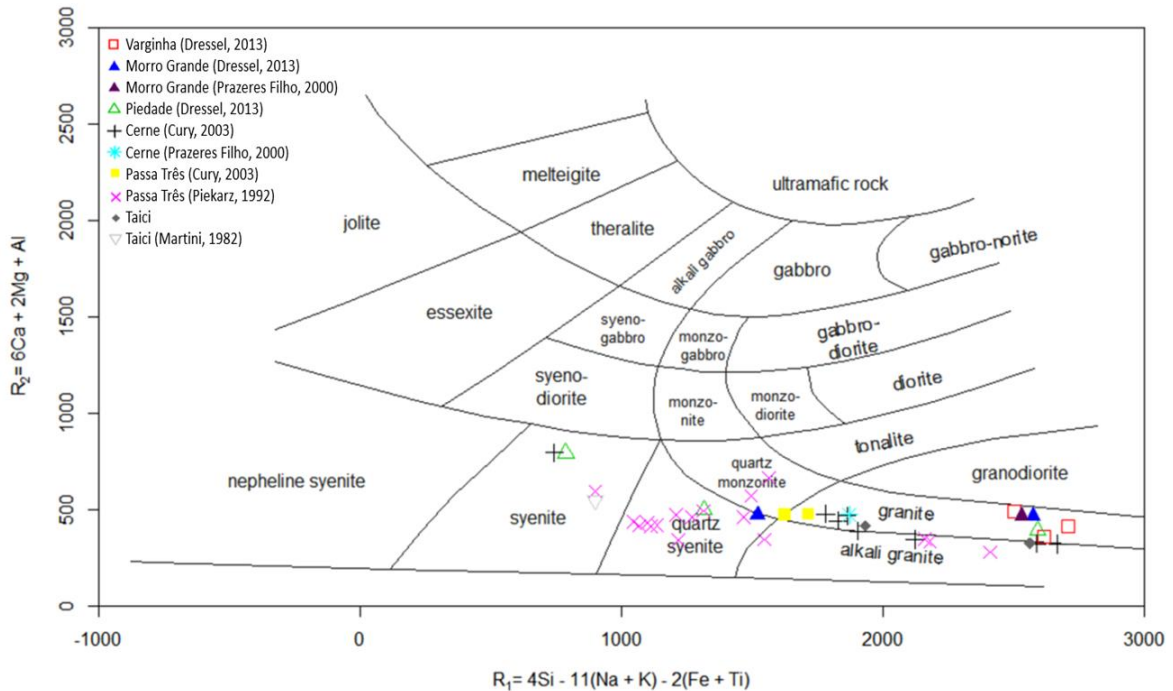


Figura 41 – Diagrama Multicatiônico R1-R2 (LA ROCHE et al., 1980)

Frost et al. (2001), propõe um esquema de classificação de granitoides em três níveis, usando parâmetros químicos familiares, sendo que muitos desses parâmetros já foram utilizados por outros autores como Maniar & Piccoli, 1989; Barbarin, (1990, 1999). Essa classificação consiste em um diagrama  $FeO / (FeO + MgO)$ , que apresenta informações a respeito da história de diferenciação do magma. O segundo diagrama é um diagrama modificado do índice de alcalinidade da rocha dado por  $(Na_2O + K_2O - CaO)$ , que expressa as composições e abundância de feldspatos nas rochas e está relacionado com a origem do magma. O terceiro diagrama consiste no índice de saturação em alumínio, expresso pelas micas e minerais secundários da rocha. Além disso, esse índice está relacionado com a fonte do magma e as condições de fusão.

No diagrama  $SiO_2$  versus  $Na_2O + K_2O - CaO$  (Figura 42), o Granito Varginha apresenta composição cálcio-alcalina, os granitos Morro Grande e Piedade apresentam termos cálcio-alcalinos e alcalinos. O Granito do Cerne se apresenta entre os campos alcalino e cálcio-alcalino, ao passo que o Granito Passa Três é plotado na série alcalina e apresenta um termo na série álcali-cálcica (PT210, microgranito). O Granito Taici apresenta membros cálcio-alcalinos, álcali-cálcico e alcalino.

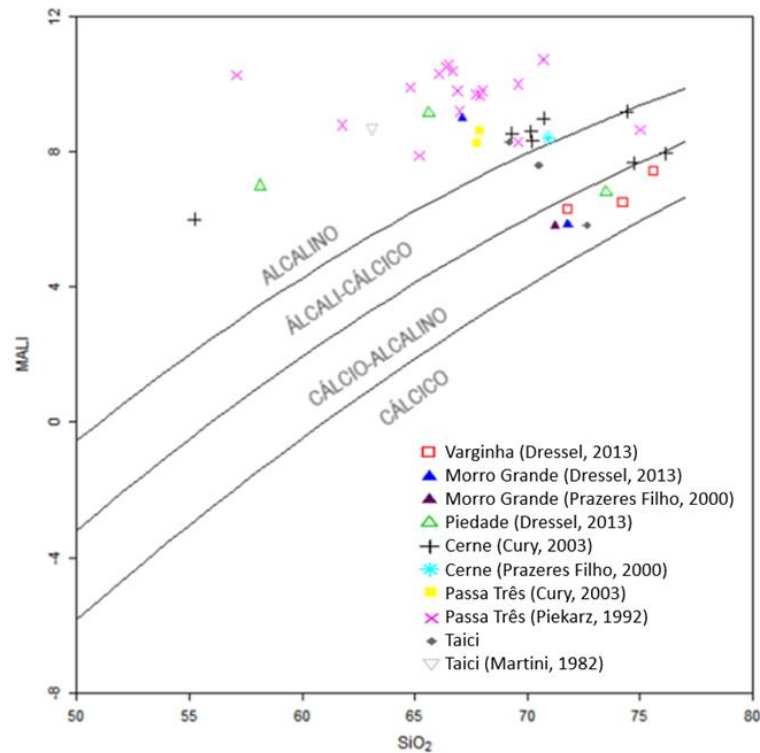


Figura 42 –Diagrama  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  proposto por Frost *et al.* (2001) aplicado para os granitos Varginha, Morro Grande, Piedade, Cerne e Passa Três.

No diagrama de sílica vs potássio (Peccerillo & Taylor, 1976), os granitos Varginha e Morro Grande apresentam tendência para as séries cálcioalcalinas de alto K. Os Granitos Piedade, Cerne, Taici e GPT apresentam tendência para as séries shoshoníticas (Figura 43).

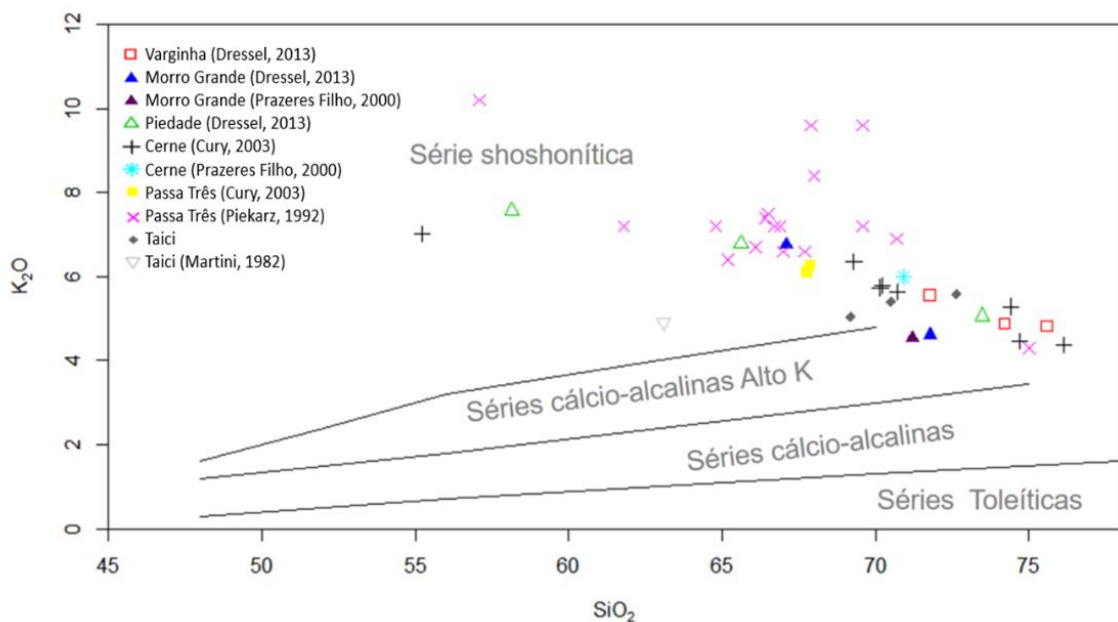


Figura 43: Diagrama  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo & Taylor, 1976).

Com relação a saturação em alumina, o diagrama de Shand (1943) (Figura 44), mostra tendências metaluminosas para os granitos do Cerne, Passa Três, Piedade e Morro Grande; peraluminosas para os granitos Taici, Passa Três, Morro Grande, Varginha e Cerne e peralcalina para o Granito Passa Três e Taici.

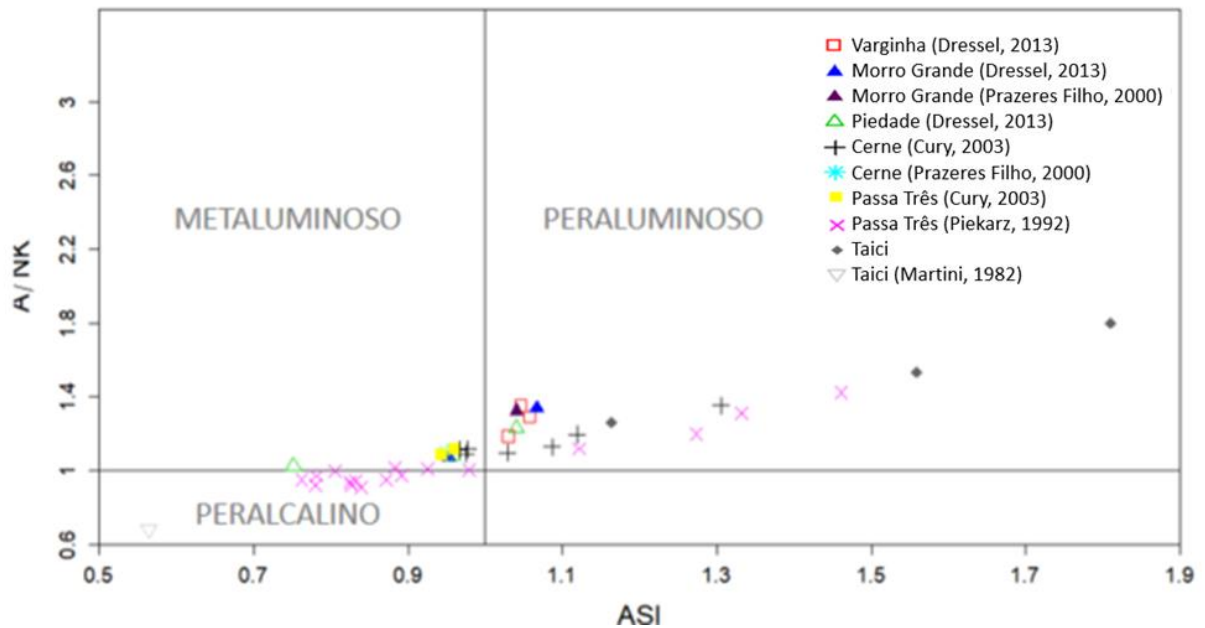


Figura 44– Diagrama de índice de saturação em alumina (Shand, 1943).

No diagrama de Sylvester (1989) (Figura 45), os Granito Varginha e Taici ocupam o campo dos granitos altamente fracionados, enquanto os granitos Cerne, Morro Grande, Piedade, Taici e Passa Três correspondem aos tipos alcalinos. Os granitos Taici e Varginha perfazem o campo de granitos cálcio-alcalinos e fortemente aluminosos. No caso do Granito Taici, a amostra AR-06 pertence ao domínio cálcio-alcalino e fortemente aluminosos, a amostra AR-12 ao domínio altamente fracionados e a amostra AR-05 ao domínio alcalino. Como a amostra AR-12 é a melhor representação da rocha sã, e as demais estão altamente hidrotermalizadas e, conseqüentemente apresentam uma alteração em sua composição mineral, a tendência general para esta intrusão é de um granito altamente fracionado.

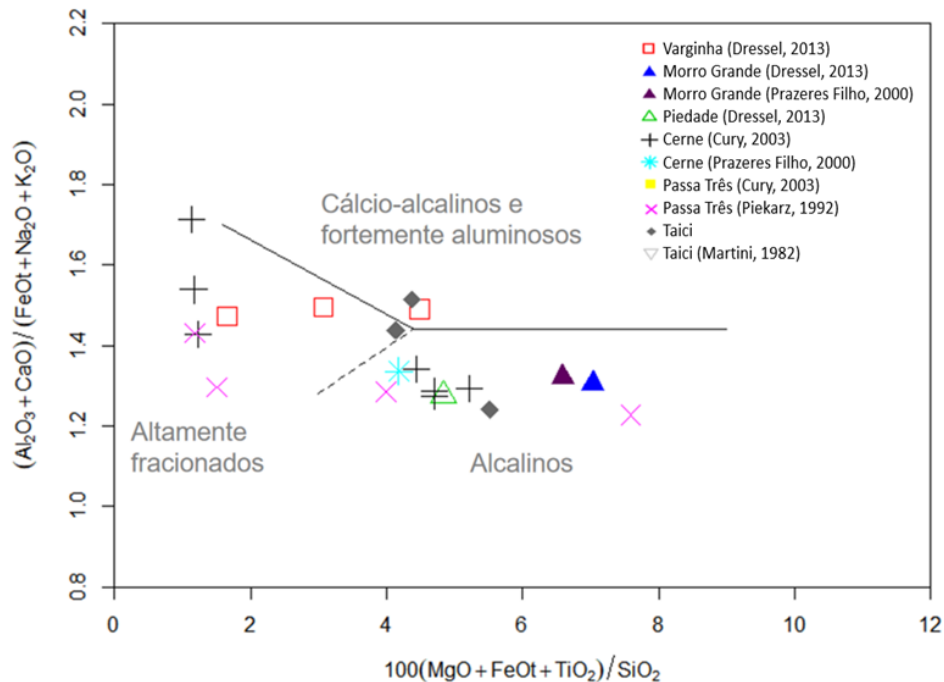


Figura 45 – Diagrama  $100[(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{TiO}_2)/\text{SiO}_2]$  versus  $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})/(\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  proposto por Sylvester (1989), para os granitos estudados.

Nos diagramas discriminantes propostos por Whalen et al. (1987) (Figura 46), os granitos Morro Grande, Piedade e Cerne se assemelham aos granitos do tipo A, enquanto o Granito Varginha mostra semelhanças com os granitos fracionados, com os dos tipos I e S. Não foi possível plotar as amostras do Granito Taici pois o laboratório responsável pelas análises de ETRs não enviou os resultados a tempo. Pela petrografia deste granito, a presença de titanita indica uma maior afinidade com granitos tipo-I.

Nos diagramas de variação de Harker ( $\text{SiO}_2$  vs elementos maiores) (Figura 47), verifica-se diminuição nos teores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  com o aumento da percentagem de  $\text{SiO}_2$ , fato observado por Dressel (2013). A presença de teores maiores de óxidos de magnésio, ferro e titânio no Granito Morro Grande, quando comparado ao Varginha, corresponde ao fato do primeiro ter porcentagens maiores e ocorrência de hornblenda. Ao observar os gráficos referentes a  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , observa-se que o Granito Morro Grande apresenta teores intermediários

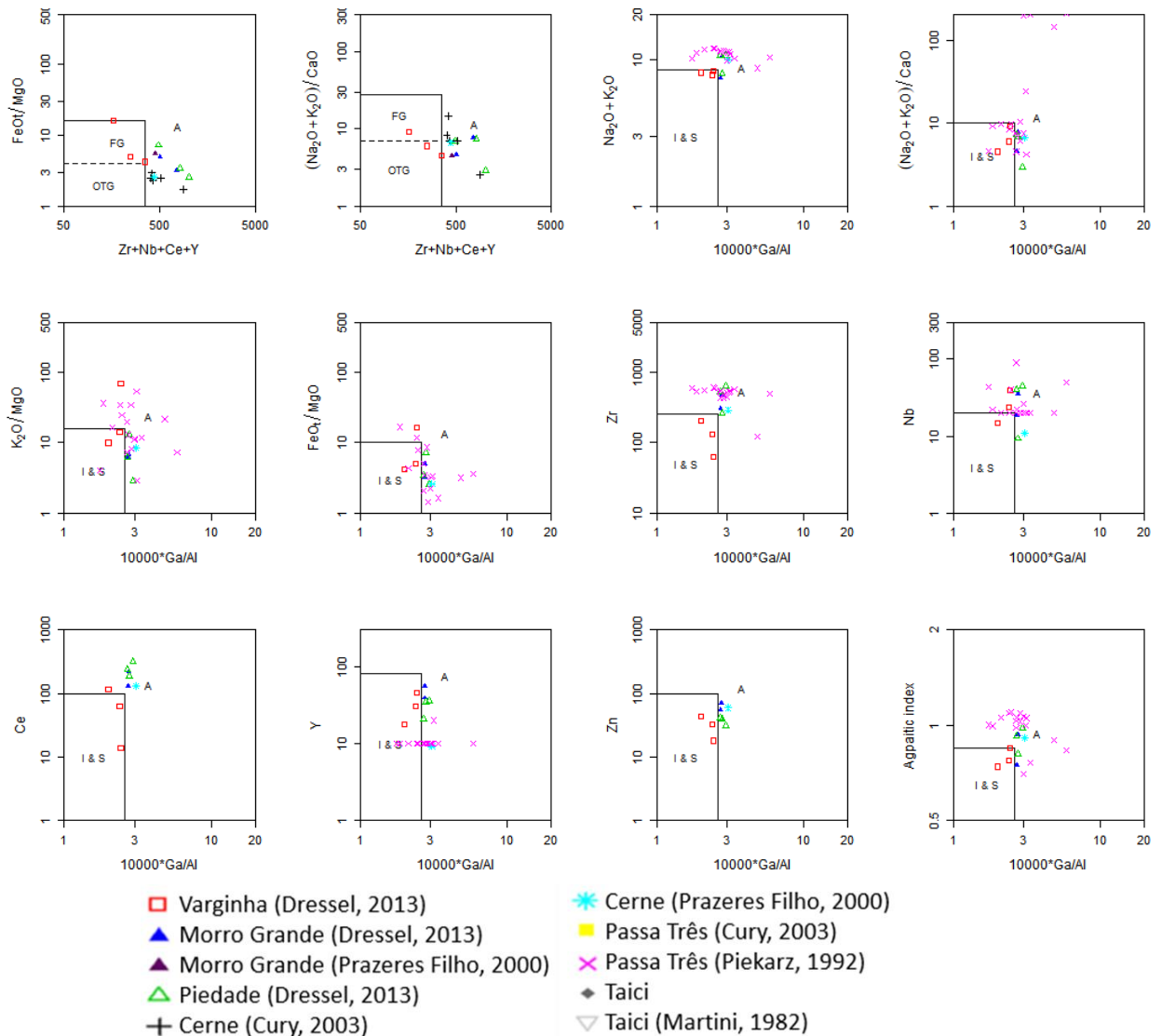


Figura 46 – Diagrama discriminante de Whalen et al. (1987), separando granitos tipo I, A e S.

O Granito Piedade apresenta teores altos de  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$  e  $TiO_2$ , um reflexo da presença de máficos (biotita e anfibólio). Os altos teores de  $K_2O$  nos Granitos Passa Três e Piedade refletem os teores de FK. No gráfico de  $CaO$ , os valores provavelmente representam a presença de hornblenda, pois o plagioclásio ocorre como mineral traço. Os teores de  $Al_2O_3$  e de  $Na_2O$  podem corresponder à presença de biotita e de FK. No gráfico de  $P_2O_5$  observa-se que os maiores teores deste óxido estão associados com o Granito Piedade e uma amostra de enclave (CER-15e\*) do Granito do Cerne.

Os Granitos Passa Três e Cerne apresentam comportamentos semelhantes, com enriquecimento em elementos maiores conforme há diminuição nos teores de  $SiO_2$ . Os dois granitos são diferenciados pelo GPT apresentar menores teores de sílica.

O Granito Varginha é o granito mais félsicos e esse fator reflete em baixos valores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Petrograficamente, esse fato é corroborado por baixas proporções em óxidos de Mg, Fe e Ti.

O Granito Taici apresenta altos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (11.69-15.28%) dentre os granitos estudados, o que corresponde à presença de FK e biotita.

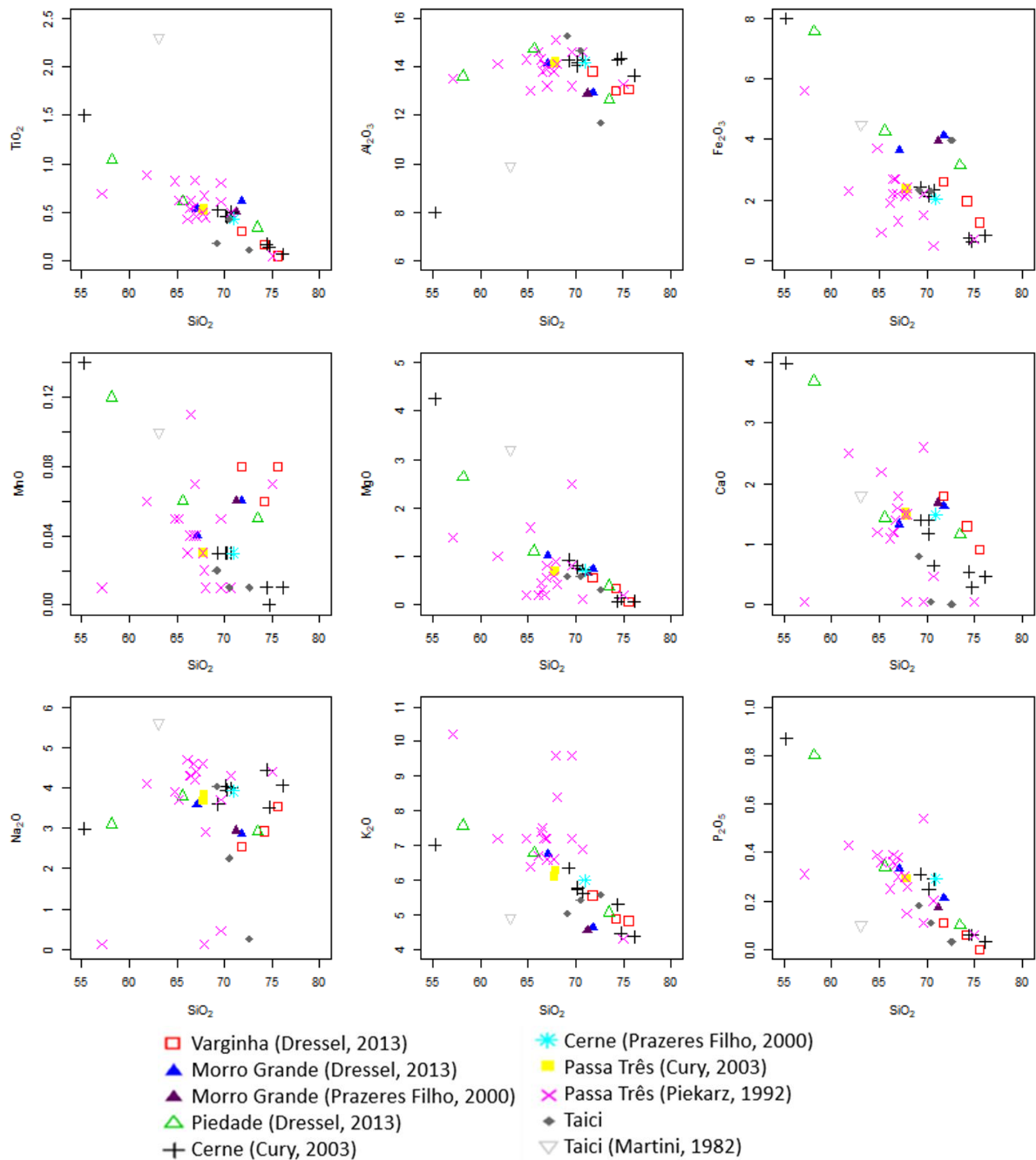


Figura 47: Diagramas de sílica vs óxidos de elementos maiores para os granitos estudados

No diagrama de Pearce et al. (1984) (Figura 48), os Granitos Varginha, Morro Grande, Cerne, Passa Três e Piedade são classificados como granitos sin-colisionais.

No diagrama de Laurent et al. (2014) (Figura 49), a fonte dos magmas é majoritariamente metassedimentar para todos os granitos, enquanto os granitos Passa Três, Cerne e Varginha apresentam membros de origem tonalítica.

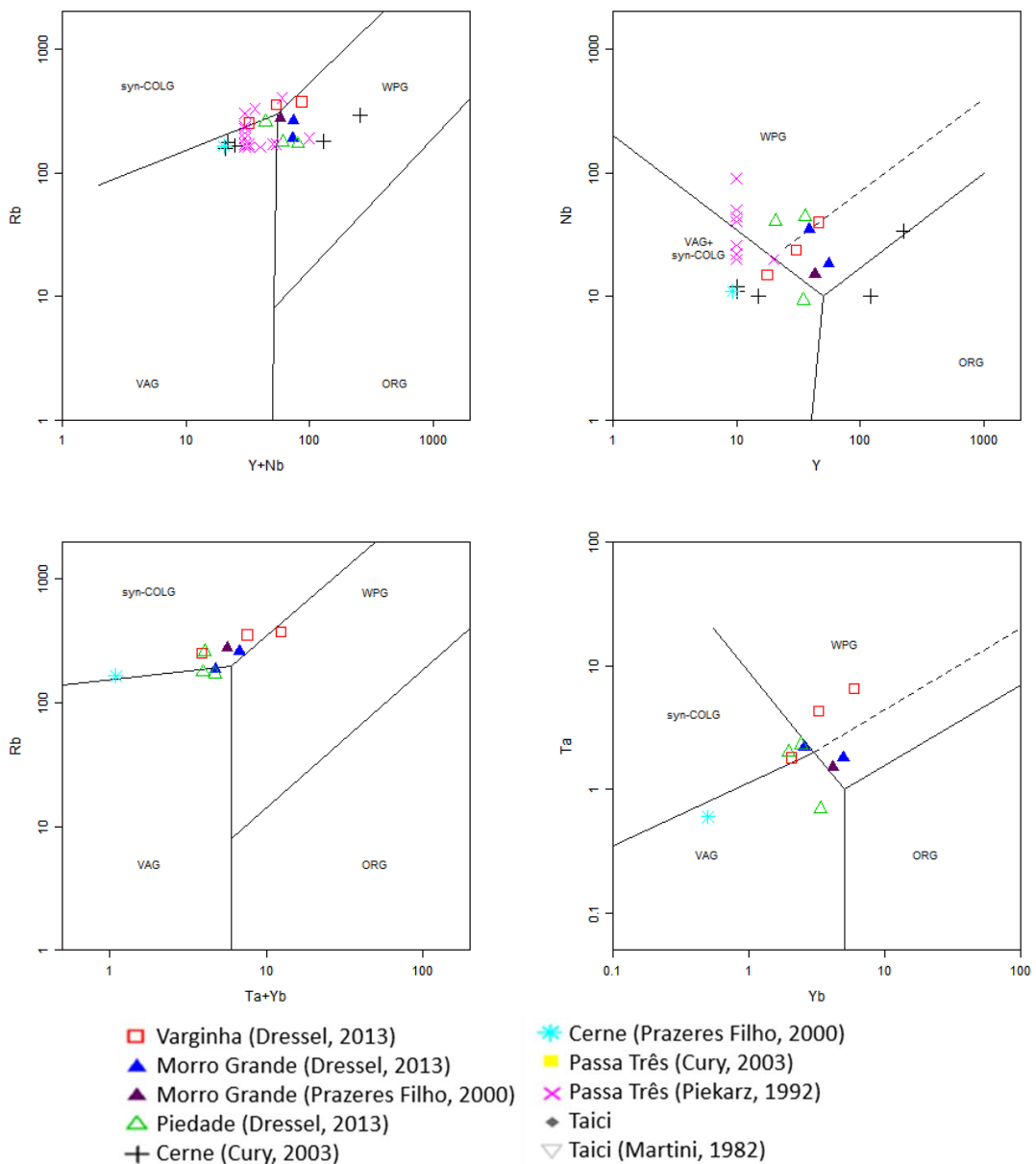


Figura 48: Diagramas de Pearce et al. (1984).

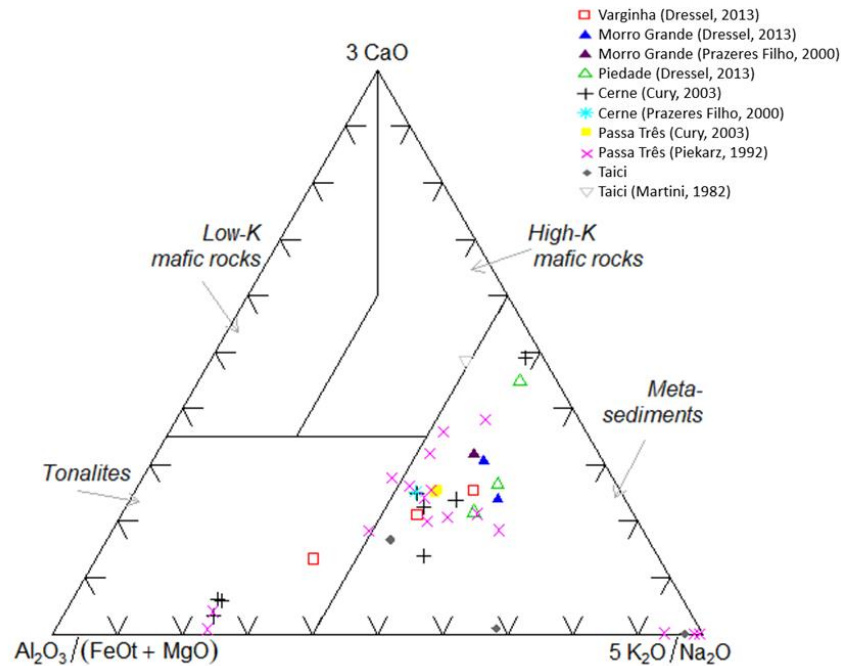


Figura 49: Diagrama de Laurent et al., 2014 para possíveis fontes de magmas graníticos.

## 6. DISCUSSÃO E RESULTADOS

A classificação dos corpos graníticos estudados é baseada em critérios petrográficos, estruturais, geoquímicos, geocronológicos e isotópicos. A tabela 7 apresenta um resumo das principais características discutidas sobre os granitos alvo nos capítulos anteriores.

No estudo sobre mineralizações e potencial metalogenético publicado pela Geoscience Australia (Budd et al, 2002), os autores mostram que os granitos do tipo I ou S designados como não fracionados são ricos em restito e consistentemente não mineralizados. Granitos ricos em flúor geralmente são tipo rapakivi e apresentam pouca mineralização, fato que fica atribuído ao cloro ter sido particionado no líquido magmático. Granitos tipo I pobres em flúor podem ser divididos em oxidados e reduzidos. Os granitos oxidados são comumente associados com depósitos de Cu-Au e se cristalizam em temperaturas mais elevadas quando comparados a granitos reduzidos. A redução é devida a várias causas incluindo o aumento do índice em saturação de alumínio, interação com as rochas circundantes e talvez resfriamento de magma.

Tabela 7 – Resumo dos principais aspectos dos granitos estudados

| GRANITO                | VARGINHA  | MORRO GRANDE   | PIEIDADE   | CERNE  | PASSA TRÊS  | TAICI   |
|------------------------|---|--|--|--|---|---|
| Mineralogia            | Quartzo, FK, plagioclásio, biotita, apatita, zircão, opacos, granada, titanita, turmalina, clorita, epidoto | Quartzo, FK, plagioclásio, biotita, hornblenda, opacos, apatita, zircão, titanita, turmalina, clorita, | Quartzo, FK, plagioclásio, biotita, hornblenda, opacos, apatita, titanita, clorita | Quartzo, FK, plagioclásio, biotita, opacos, apatita, zircão, titanita, clorita | GEM (Sienogranito): FK, plagioclásio, quartzo, biotita, zircão, apatita, clorita, sericita, carbonato, magnetita, hematita e calcopirita. | Quartzo, Microclínio, Plagioclásio, sericita, muscovita, apatita, pirita, biotita |
| Litotipos              | Sienogranitos e monzogranitos   |  | Sienogranitos, monzogranitos, quartzo-álcali feldspato sienitos                    | Sienogranitos, granodioritos   | GEM e GEF: sienogranito. GEB: monzogranito  | Álcali-feldspato granito, monzogranitos, quartzo-monzonito                        |
| Série magmática        | Cálcio-alcálica de alto-K a shoshonítica  |  |  |  | Cálcio-alcálica   | Shoshonítica  |
| Estruturas             | Maciça<br>FK: pertitas em chamas  | Maciça<br>Plag: zonamento  | Trama magmática<br>FK: coroas trocadas   | Maciça   |   |   |
| Deformação             | Extinção ondulante em quartzo formação de subgrãos, novos grãos, contatos interdigitados                    |  |  |  | Feldspatos fraturados, estruturas em kin em plagioclásio, quartzo com extinção ondulante e formação de subgrãos                           | Veios preenchidos com sulfetos  |
| Alteração              | Sericitização, sobrecrecimento de muscovita   | Sericitização, albitização sobrecrecimento de muscovita  | Argilização do FK, greisenização   | Sericitização  | Greisenização, sericitização, alteração fílica  | Sericitização e sobrecrecimento de muscovita                                      |
| Tipologia              | Tipo I Caledoniano  | Tipo A   | Tipo A   | Tipo A   | Tipo I*   | Tipo I com contaminação crustal   |
| Saturação em alumina   | peraluminoso  | peraluminoso   | Metaluminoso, peralcalino a peraluminoso   | Metaluminoso e peraluminoso  | Metaluminoso, peralcalino a peraluminoso  | peraluminoso  |
| Potencial metalogénico | W-Mo-Sn-Au-Au-Cu  | Sn-W   | Mo-W   |  | Au-Bi-Cu-Mo Veios com pirita aurífera   | W-Mo-Sn-Au-Au-Cu  |

Chiodi Filho (1997) descreve que em alterações hidrotermais de sistemas tipo greisen, o processo dominante é albitização pervasiva, seguida de muscovitização. A presença de mica verde identifica zonas mais promissoras e verdadeiramente greisenizadas. Ocorre enriquecimento em Y e Rb o sistema e, como o processo hidrotermal é conduzido em condições oxidantes, os principais minerais de minério encontrados nesse contexto são a cassiterita e a wolframita. Pode ocorrer molibdenita em veios. Nas amostras descritas, foram observadas feições de albitização do Granito do Cerne, Morro Grande e Granito Passa Três.

Os granitos Cerne, Morro Grande e Piedade são classificados como granitos tipo-A. Para esses granitos, as mineralizações esperadas são de columbita, cassiterita, fluorita, veios com Sn-W e pegmatitos com Li, Th-U-Zr-Y-RE-Nb-Ta refratário.

Os granitos Taici, Passa Três e Varginha são classificados como granitos tipo-I, com ressalvas devido a provável contaminação crustal. Apresentam tendência a formar depósitos apicais disseminados de Cu e Cu-Mo ( $\pm$  Ni, Co, Au, Ag, Te, Se e U) (Raju, 2008).

#### Granito do Cerne

O Granito do Cerne não apresenta evidências de manifestações tardias de cristalização magmática, a exemplo de pegmatitos, zonas de alteração hidrotermal ou veios de quartzo. Apesar da presença de metassomatismo sódico (albitização), o granito do Cerne não apresenta evidências importantes de segregação magmática tardia. Como essas feições são comuns em sistemas graníticos mineralizados (Budd et al., 2002), esta intrusão apresenta poucos indícios de que há alguma mineralização associada.

#### Granito Morro Grande

O Granito Morro Grande, segundo Chiodi et al., (1987), apresenta especialização metalogenética relacionada a feições de greisenização, mineralizadas em estanho e centralizadas no domínio  $\gamma_1$ , onde foi reconhecida a presença de cassiterita. Os autores descrevem que, na fase de amostragem de sedimentos de corrente, análises hidrogeoquímicas para flúor indicaram anomalias na faixa entre 0,5 e 0,7ppm. Nas análises de concentrados de bateia verificou-se presença de cassiterita, turmalina, topázio e fluorita. Essas análises permitiram associar a mineralização ao domínio  $\gamma_1$  e, análises de rocha total, indicaram concentrações de Sn até 270ppm. Logo, podemos inferir que o granito Morro Grande apresenta especialização metalogenética em Sn e a ocorrência está restrita

a um domínio central. A albitização é um processo comum e foi amplamente observada no domínio  $\gamma_4$ . A geração desse processo aparentemente está relacionada à intrusão das rochas do domínio  $\gamma_1$ , em que o metassomatismo foi mais intenso e desenvolveu rochas greisenizadas com presença de cassiterita (CHIODI et al., 1987).

Michalzechen (2016), utilizando os dados de Chiodi et al., (1987) e cartas geofísicas do Projeto Aerogeofísico Paraná-Santa Catarina (CPRM, 2011), identifica nove prováveis zonas de alteração (Figura 50) - “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F”, “G”, “H” e “I” - sendo sete delas relacionadas aos hornfels, na porção oeste do maciço. A zona “A” está relacionada com o domínio  $\gamma_1$ , cuja relevância já foi mencionada anteriormente.

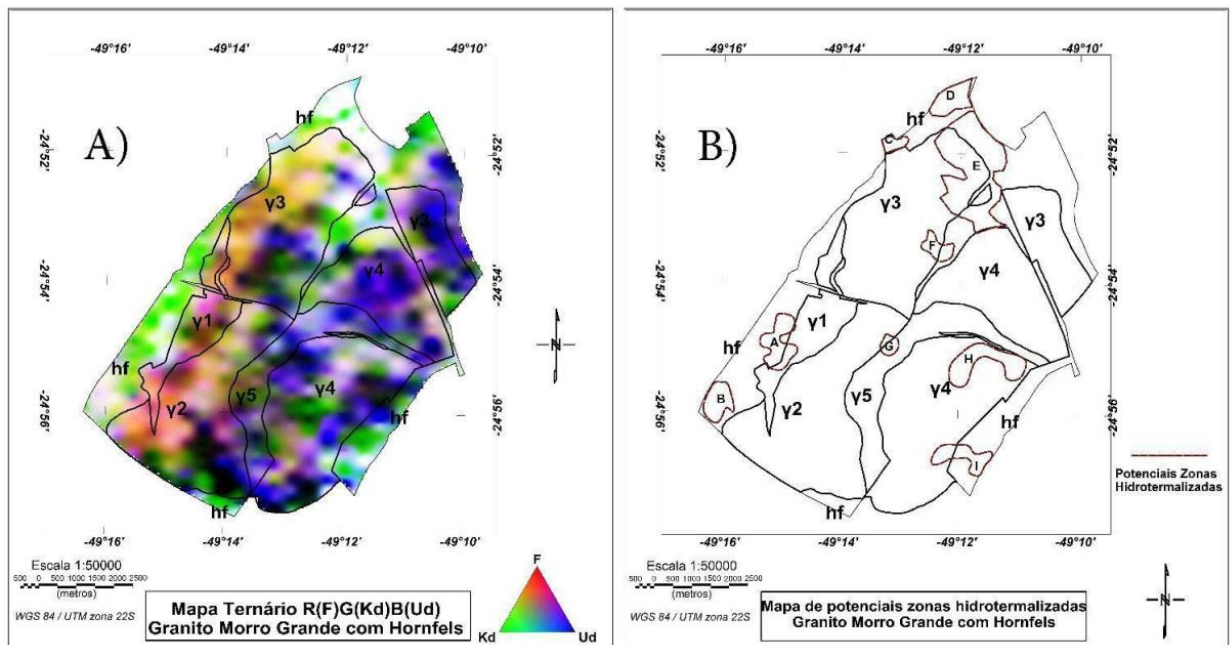


Figura 50 – Granito Morro Grande. A) Mapa ternário RGB (F, Kd e Ud) do Granito Morro Grande. B) Mapa de possíveis zonas de alteração hidrotermal (A e E), indicando os domínios faciológicos. Fonte: Michalzechen (2016).

Segundo Michalzechen (2016), as zonas B, C, D e E são as mais interessantes para possíveis alterações hidrotermais. A amostra BC-61 foi analisada quimicamente por Dressel (2013) e pertence a zona “C” descrita pelo autor. A concentração de Sn é de 3ppm, o que não caracteriza uma especialização genética para as rochas. A amostra BC-48 (DRESSEL, 2013) pertence ao domínio  $\gamma_4$  de Chiodi et al (1987). O processo de albitização observado nessa amostra corrobora com as informações discutidas a respeito de um sistema hidrotermal tipo greisen.

## Granito Piedade

Michalzechen (2016) descreve oito possíveis zonas de alteração hidrotermal para o Granito Piedade. As zonas mais importantes são “A”, “B”, “C”, “D”, “G” e “H” pois se situam no  $\gamma_2$  de Chiodi Filho et al., (1987). O autor descreve que nesse domínio, que compreende as porções norte e centro-oeste do corpo granítico, há ocorrência de zonas de alteração hidrotermal associadas a processos tardi/pós-magmáticos. Não foi possível analisar amostras de rochas sãs do domínio  $\gamma_2$ , mas amostras de concentrado de bateia (SILVA et al., 1999), mostram altos teores de Ba (430-840ppm), Cu (22-138ppm), Mn (135-275ppm) e Zn (61-19ppm). As concentrações de W ficam em torno de 4-16ppm.

O potencial metalogenético do Granito Piedade é relativamente bem definido, pois são descritas anomalias geoquímicas de F, W e Pb; além de Mo, detectado em pesquisa nos sedimentos de corrente; e Au, encontrado nos concentrados de bateia (CHIODI FILHO et al., op cit). Entretanto, este corpo granítico apresenta alto grau de erosão, principalmente nas zonas apicais e de cúpula, onde se concentram as mineralizações, o que pode dificultar a preservação de mineralizações associadas.

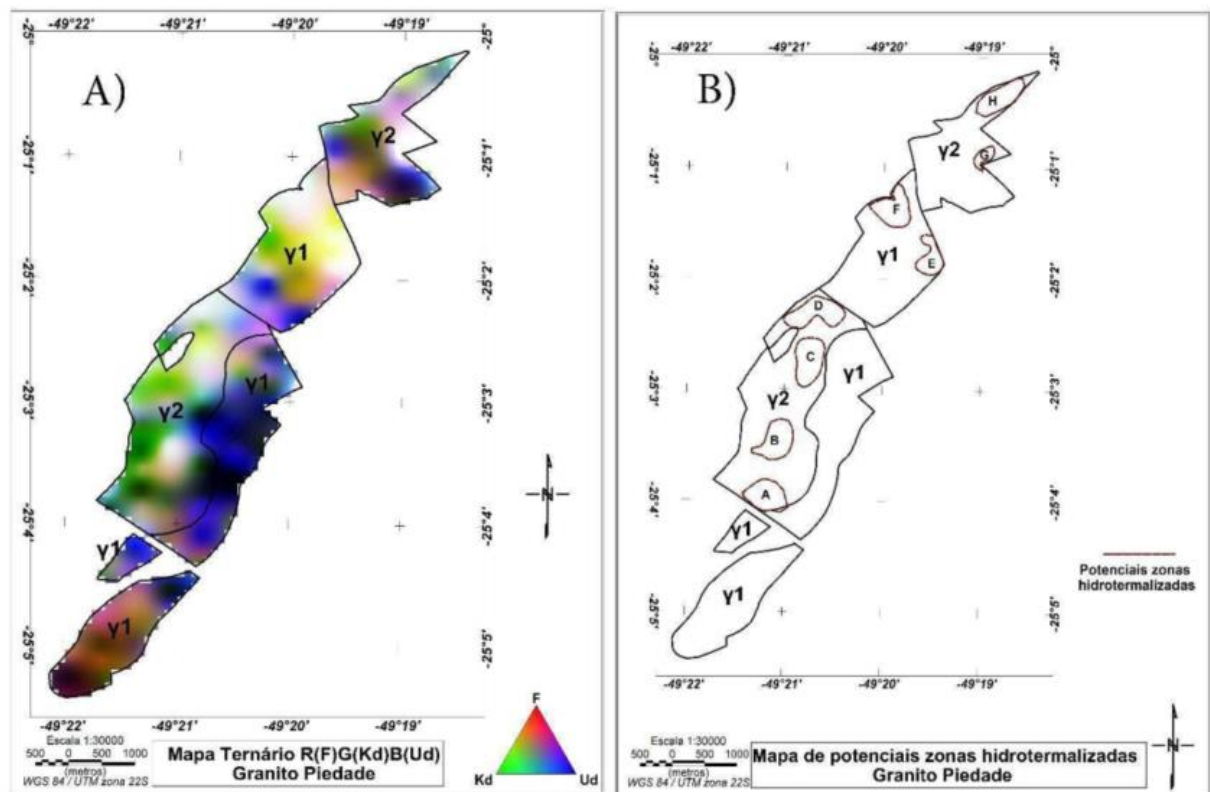


Figura 51 – A) Mapa ternário RGB (F, Kd e Ud) do Granito Piedade. B) Mapa de possíveis zonas de alteração hidrotermal (A e E), indicando os domínios faciológicos. Fonte: Michalzechen (2016)

## Granito Passa Três

O Granito Passa Três apresenta uma mineralização aurífera estudada por diversos autores (Soares & Reis Neto, 1987; Piekarz, 1992; Picanço, 2000; Cury, 2003; Dressel, 2018). As amostras de granito possuem composição predominantemente sienogranítica com ocorrência de duas paragêneses hidrotermais principais, reconhecidas na petrografia: sericita + quartzo + pirita  $\pm$  clorita e carbonato  $\pm$  sericita. São observados quatro tipos principais de alteração hidrotermal, sendo elas microclinização, albitização, sericitização e carbonatação. A alteração sericítica é composta por sericita, quartzo, feldspato alcalino (microclínio), carbonato, pirita e calcopirita. Dressel (2018) e Biondi (2015) classificam o GPT como um depósito do tipo *Intrusion Related*.

## Granito Taici

Para Pirajno (2009), existem pelo menos três texturas que podem estar atribuídas ao metassomatismo alcalino, sendo elas: coroas de substituição, textura granofírica e pertítica. A textura granofírica é o tipo mais comum de intercrescimento (Holness et al., 2011) e sua presença demonstra condições de fusão parcial e resfriamento rápido (Vernon, 2004; Holness et al., 2011). Segundo Barker (1970) o intercrescimento granofírico geralmente consiste no intercrescimento de quartzo e feldspato em tipos que podem variar de irregular a vermicular (Figura 53). Esse tipo de textura é formado por cristalização simultânea e rápida de quartzo e feldspato no líquido magmático (Smith, 1974). Pela petrografia do Granito Taici, os principais padrões encontrados são do tipo cuneiforme. São entendidas como texturas transicionais entre intercrescimento micrográfico e pequenos esferulitos de quartzo (Bouloton et al., 1995).

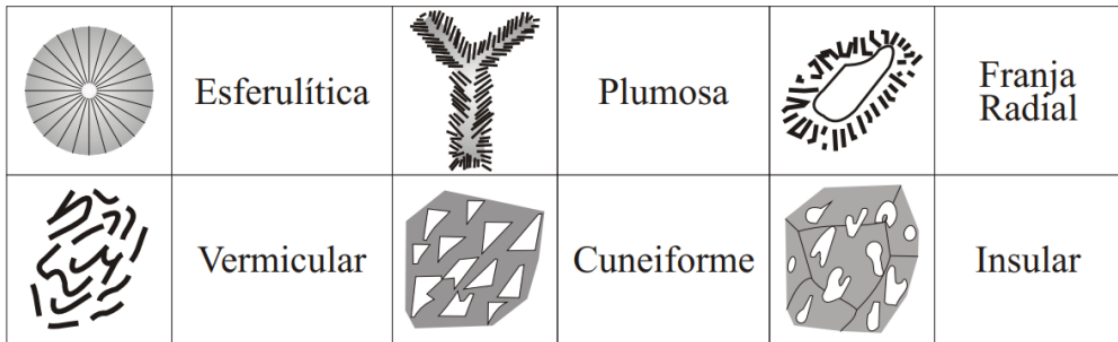


Figura 52: Diferentes tipos de texturas granofíricas (Smith 1974). Retirado de Nascimento (2002).

A textura granofírica é comum em corpos graníticos epizonais, especialmente naqueles associados a rochas vulcânicas. Ela é geralmente encontrada em granitos alcalinos, a exemplo dos que ocorrem em ambientes de rift intracontinental (Whalen et al. 1987).

Nascimento et al (2002) afirma que a textura granofírica normalmente apresenta composição próxima do mínimo de fusão no sistema Or-Ab-Qz-H<sub>2</sub>O, consistindo em quantidades aproximadamente iguais de quartzo, feldspato sódico e feldspato potássico. O feldspato alcalino também pode ocorrer como uma solução sólida ou como fases individuais.

O intercrescimento é diretamente afetado pela temperatura do sistema. O tamanho dos cristais diminui quando ocorre um resfriamento mais rápido. Logo, considera-se que a rápida cristalização simultânea entre quartzo e FK gera a grande parte das texturas do tipo granofíricas. Entretanto, outros processos podem estar envolvidos, como, por exemplo, substituição, devitrificação, metassomatismo ou infiltração. Essa relação com a temperatura de cristalização implica que os intercrescimentos granofíricos são comuns em rochas graníticas de alto nível crustal, por outro lado são pouco comuns, ou eventualmente ausentes, em rochas formadas em profundidade. A única exceção para rochas mais profundas são os aplitos, que podem apresentar texturas granofíricas por apresentarem uma rápida cristalização como consequência de perda de voláteis. Essas texturas são formadas num contexto de crescimento rápido e baixa nucleação dos cristais.

Pirajno (2009) afirma que existem boas evidências entre relações de campo e dados geoquímicos que a textura granofírica, formada por intercrescimentos de quartzo e feldspato alcalino e encontrada em muitas rochas ígneas, é de origem

metassomática. Esse intercrescimento é diferenciado pela turbidez do feldspato alcalino.

O granito Taici é uma intrusão alojada em nível crustal relativamente raso, o que representa uma situação mais promissora para ocorrência e preservação de possíveis mineralizações. Apresenta teores de sílica variando entre 63-73%,  $Al_2O_3/Na_2O+K_2O+CaO$  entre 5 e 12,35%, sem hornblenda ou magnetita, com presença de muscovita. No diagrama de fonte magmática de Laurent et al (2014), todas as amostras apontam para uma fonte metassedimentar. No diagrama de Sylvester (1989), onde é possível distinguir os granitos alcalinos relacionados a colisão, o granito Taici apresenta membros no campo cálcio-alcalino e fortemente peraluminoso (AR-06), altamente fracionados (AR-12) e alcalinos (AR-05).

Martini (1982), afirma que os dados coletados durante seus estudos não permitiram a classificação genética do Taici como granito tipo I ou S. No entanto, pelas análises realizadas, a intrusão mostra maior afinidade com granitos tipo-I, devido a presença de titanita em todas as fácies estudadas, um claro indicativo de que um magma mais oxidante. Em 16 amostras analisadas por Martini (1982), os teores de Au observados foram 0,05 -0,45 ppm. Nas análises realizadas pela GEOSOL (2023), a amostra 05-AR-2022, que apresenta alteração hidrotermal fílica pervasiva, apresentou teor de 0.39 ppm de Au. Esse fato indica uma clara relação da alteração hidrotermal e da mineralização em Au.

### Granito Varginha

Para o Granito Varginha, Michalzechen (2016) identifica sete possíveis zonas de alteração hidrotermal - "A", "B", "C", "D", "E", "F" e "G" - sendo quatro delas relacionadas com a fácies  $\gamma_1$ ; uma com as fácies  $\gamma_3$  e  $\gamma_5$  e duas com o domínio  $\gamma_2$ . Chiodi Filho et al. (1987) identifica maior potencial para mineralização no domínio  $\gamma_1$ , uma vez que são descritos albitização, presença de turmalina e granada em todas as amostras. No mesmo domínio, encontram-se presentes scheelita em quase todas as análises feitas por concentrado de bateia. Chiodi et al, 1987 descreve especialização metalogenética em W e, secundariamente, Sn e Mo. Michalzechen (2016), sugere que as zonas "A", "B" e "D" seriam as mais propícias para investigar a ocorrência de anomalias de W. Essas zonas são compatíveis com o domínio  $\gamma_1$ ,

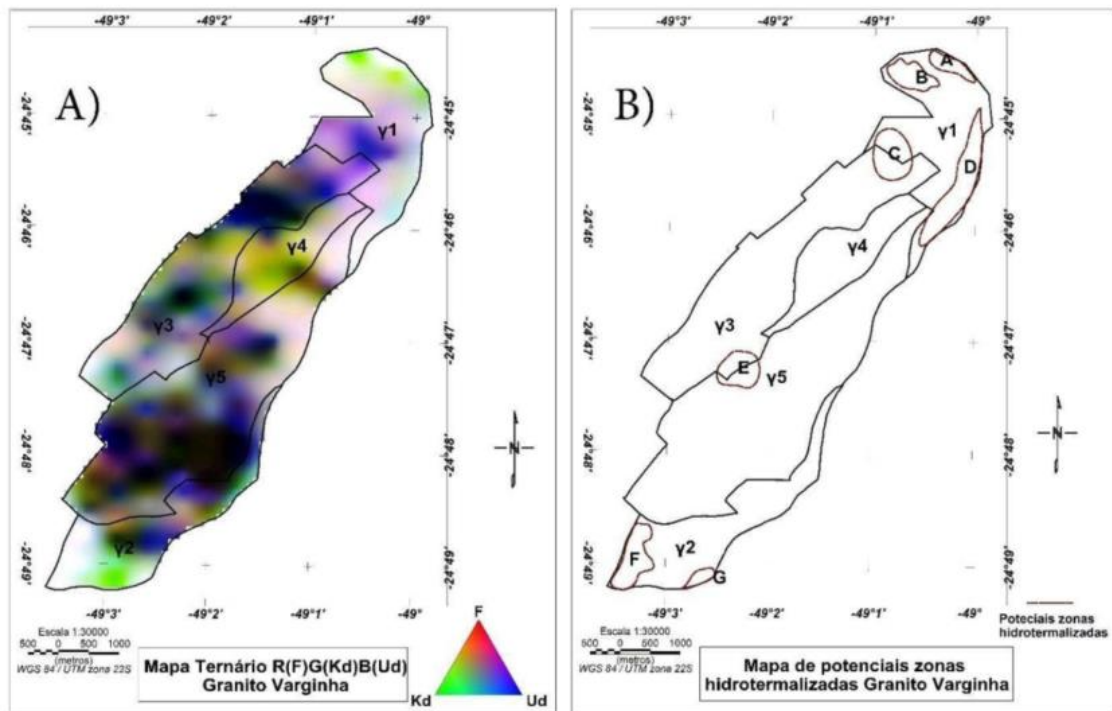


Figura 53: A) Mapa ternário RGB (F, Kd e Ud) do Granito Varginha. B) Mapa de possíveis zonas de alteração hidrotermal (A e E), indicando os domínios faciológicos. Fonte: Michalzechen (2016)

No trabalho de Chiodi Filho et al. (1987), os autores determinaram especialização metalogenética com resultados positivos para tungstênio (W) e subordinadamente para estanho (Sn) e molibdênio (Mo). Nos estudos de Santos e Felipe (1980), os autores comentam sobre a presença de fluorita em cálcio e calcocistos próximos ao Varginha, que apresenta origem hidrotermal, apesar de não apresentar ligação genética comprovada com o granito. Os teores de Au observados pelos autores em uma das amostras analisadas é de 0.15 ppm, valor muito abaixo do limite econômico, mas que pode ser significativo devido a relação da intrusão com a fluorita. Em amostragem de concentrado de bateia (CPRM, 1978), uma amostra próxima ao Varginha, coletada no Rio Ribeirão Grande, reportou valores de 1,5 ppm de Au. A média geral das amostras contendo Au foi de 0.5 ppm pelo mesmo estudo, mas não foram detectados Mo e W.

## 7. CONCLUSÕES

As mineralizações da região estudada são de caráter polimetálico, com ocorrências de jazidas mineralizadas em W, Mo, Sn, Au e Cu.

Os granitos Morro Grande, Piedade e Cerne apresentam tendência alcalina ( $Al_2O_3 < K_2O + Na_2O$ ) e padrões litogeoquímicos a granitos tipo A, com algumas ressalvas relacionadas aos teores de Ba e Sr. Há maior contribuição crustal para os granitos Morro Grande e Cerne. Os Granitos Varginha e Taici apresentam tendência para tipo I Caledoniano.

O Granito Morro Grande apresenta mineralizações de Sn-W associadas a sistemas tipo greisen, evidenciado por intensa albitização e muscovitização. O Granito Piedade apresenta mineralizações de Mo-W do tipo pórfiro associadas as rochas do domínio  $\gamma_2$ , mas os afloramentos do granito apresentam alto grau de erosão.

O Granito Varginha apresenta potencial metalogenético para W, Sn e Mo, com presença de scheelita em veios ou possíveis skarns, no domínio  $\gamma_2$  de Chiodi et al. 1987. Este corpo intrusivo pode representar uma área importante para pesquisa de caulim e depósitos hidrotermais de fluorita.

O Granito Taici é uma intrusão de nível crustal raso, provavelmente epizonal. Nesse nível estrutural, pequenas intrusões pós-tectônicas podem gerar mineralizações hidrotermais a Cu-Mo-Au ou metais como W e Sn, a depender a tipologia granítica (I ou S) e do nível de erosão. A tendência observada para o Taici é tipo I Caledoniano com contaminação crustal. Análises de sedimentos de corrente do Granito Taici mostram valores interessantes para mineralizações Mo-Cu-Pb-Zn. As mineralizações conhecidas estão restritas a disseminação de pirita em zonas sericitizadas e cloritizadas. Os maiores teores de Au estão relacionados a porções onde predomina a alteração sericítica, com paragênese quartzo + sericita + pirita. Na fácies monzogranítica teores mais baixos de ouro foram detectados.

## 8 REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M. de & Hasui, Y. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 378 p. il. cap. 2. p. 6-35
- Almeida, M. A. Geologia da formação Água Clara na região de Araçáiba - SP. 1990. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 1990. doi:10.11606/D.44.1990.tde-26082015-154650.
- Barbarin, B.; 1990. Granitoids: Main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. *J. Geol.* 25: 227 – 238.
- Barker D.S. 1970. Compositions of Granophyre, Myrmekite and Graphic Granite. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81: 3339-3350.
- Basei, M.A.S.; SIGA JR., O.; Kaulfuss, G. A.; Cordeiro,H.; Nutman, A.; Sato, K.; Cury, L. F.; Prazeres Filho, H. J.; Passarelli, C. R.; Harara, O. M.M.; Reis Neto, J. M. 2003. Geochronology and isotope geology of Votuverava and Perau mesoproterozoic basins, Southern Ribeira Belt, Brazil. In: IV South American Symposium on isotope geology – SSAGI, Salvador: v. 2, p. 501-504, 2003.
- Behr, W.M., Platt, J.P., 2011. A naturally constrained stress profile through the middle crust in an extensional terrane. *Earth Planet. Sci. Lett.* 303, 181–192.
- Biondi, J. C. 2015. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros 2ª ed. Oficina de Textos. São Paulo. Pp 260, 293, 294.
- Bonin, B. 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems, and prospects. *Lithos*, v. 97, p. 1-29,
- Bouloton, J., Gasquet, D., 1995. Melting and undercooled crystallisation of felsic xenoliths from minor intrusions (Jebilet massif, Morocco). *Lithos*, Clermont-ferrand, France, v. 35: 201-219
- Budd, A.R., Wyborn, L.A.I, Bastrakova, I.V., 2002. The metallogenic potential of Australian Proterozoic granites. *Geoscience Australia*. ISBN: 9780642466907.
- Campanha, G. A.C.; Brito Nevel, B. B. 2004. Frontal and oblique tectonics in the Brazilian shield. *Episodes*, v. 27, 255-259.
- Campanha, G. A. C. & Sadowski, G. R. 1999. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apliaí Domain). *Precambrian Research*, v. 98, p. 31-51
- Chappel, B. W., White, A. J. R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific geology*, V.B, p. 173-74.
- Chappell, B. W., Bryant, C. J. & Wyborn, D. 2012. Peraluminous I-type granites. *Lithos*, 153 142-153.

Chiodi Filho, C.; Moretzshon, J. S.; Santos, J. F. dos; Soares, P. C. 1987. Aspectos geológicos e metalogenéticos dos granitos Morro Grande, Piedade e Varginha - Vale do Ribeira - Paraná. In: III SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987, Balneário Camboriú. Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, v. 2, 1987, p. 515-542.

Chiodi Filho, C.; Santos, J. F.; Soares, P. C.; Moretzshon, J. S. 1989. Estudo ETR para caracterização e avaliação metalogenética de granitóides no escudo paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2., 1989. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBG, 1989, v. 2, p. 487-498.

Chiodi Filho, C. 1997. Guias prospectivos para mineralizações em rochas granitóides. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1997. (Série Estudos e Documentos, 34)

Collins, W.J.; Beams, S.D.; White, A.J.R.; Chapell, B.W. 1982. Nature and origin of A-Type granites with reference to Southeastern Australia. Contributions to mineralogy and petrology, v. 80, p. 189-200, 1982.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2011. Projeto Aerogeofísico Paraná-Santa Catarina. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Texto Técnico. Volume I.

Cury, L. F. 2003. Geocronologia e litogeoquímica dos stocks graníticos da porção sudeste da Faixa Apiaí, estado do Paraná. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 125 pp.

Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetiteseries, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. Lithos 2007.

De 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, 183–210.

Dehler N.M. & Silva P.C.S. 2000. Projeto compilação geológica da Folha Volta Redonda (escala 1:250.000). São Paulo, CPRM, 16p. (Nota Explicativa).

Dehler N.M., Machado R., Fassbinder E. 2007. Shear structures in the Serra do Azeite shear zone, Southeastern Brazil: transtensional deformation during regional transpression in the Central Mantiqueira Province (Ribeira belt). Journ. South Am. Earth Sc., 23:176-192.

Dressel, B. C. 2013. Relações de colocação, deformação e tipologia dos granitos Varginha, Morro Grande, Piedade e Cerne, Leste do Paraná. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 126 p.

Dressel, B. C. 2018. Análise estrutural, petrológica e metalogenética da mineralização aurífera neoproterozoica do Granito Passa Três (Campo Largo-Pro – Implicações sobre as relações granito/mineralização. Dissertação de Doutorado.

Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 194 p.

Dressel, B. C., Chauvet, A., Trzaskos, B., Biondi, J.C., Brugier, O., Monié, P., Villanova, S.N., Newton, J.B. 2017. The Passa Três lode gold deposit (Paraná State, Brazil): an example of mineralization formed and hosted during granite formation. 10<sup>o</sup> Simpósio Sul Brasileiro de Geologia. Curitiba-PR.

Eby, G.N., 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos* 26, 1990.

Eby, G.N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology* 20, 641–644.

Faleiros, F.M.; Ferrari, V.C.; Costa, V.S.; Campanha, G.A.C. Geoquímica e petrogênese de metabasitos do grupo Votuverava (Terreno Apiaí, Cinturão Ribeira Meridional): evidências de uma bacia retro arco caliminiana. *Geologia USP, Série Científica*, v. 11, n. 2, p. 135-155, 2011.

Fassbinder, E. 1996. A unidade Água Clara no contexto do Grupo Açungui: um modelo transpressivo de colisão oblíqua no Neoproterozóico paranaense. 207f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

Fassbinder, E.; Sadowski, G.R.; Fiori, A.P. Modelo de Riedel aplicado no Lineamento Lancinha, no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 42, p. 173-184, 1994.

Fiori, A.P. 1985. A Falha da Lancinha no Pré-Cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda? *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, v. 36, p. 03-14.

Fiori, A.P. 1990. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. *Inst. De Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência*, 261p.

Frost, B.R.; Barnes, C.G.; Collins, W.J.; Arculus, R.J.; Ellis, D.J.; Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, v. 42, n. 11, p. 2033-2048.

Fuck, R.A.; Marini, O.J.; Trein, E. Contribuição ao estudo das rochas graníticas do Estado do Paraná. In: Bigarella J.J., Salamuni R., Pinto V.M. (Editores) *Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná*. Curitiba: *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 23-25, 1967.

Gifkins, C., Herrmann, W., Large, R. 2005. *Altered volcanic rocks – A guide to description and interpretation*. Centre of Ore Deposits Research, University of Tasmania, Hobart.

Giret, A. 1990. Typology, evolution, and origin of the Kerguelen plutonic series, Indian Ocean: a review *Geol. J.*, 25 (1990), pp. 239-247.

Haapala I., Rämö O.T., 1992. Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of the southeastern Fennoscandia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, vol. 83: 165- 171.

Hasui, Y. 2010. A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional: *Geociências*, v. 29, n. 2, p. 141-169.

Hasui, Y. & Almeida, FFM. 1970. Geocronologia do Centro-Oeste Brasileiro. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. 19(1): 6-26.

Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M., Silva L.C., Trouw R.A.J., Janasi V.C. 2004. A Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.) *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, p. 203-234

Heilbron M., Valeriano, C.M, Valladares, C.S., Machado, N. 1995. A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Riberia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 25(4):249-266

Heilbron M., Valeriano C.M., Tassinari C.C.G., Almeida J.C.H., Tupinambá M., Siga Jr. O., Trouw R.A.J. 2008. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst R.J., Trow R.A.J., Brito Neves B.B, De Witt. (eds.) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*. London, Geological Society, Special Publication, 294 p., p. 211-232.

Holness, M.B.; Cesare B.; Sawyer E.W. 2011. Melted Rocks under the Microscope: Microstructures and their interpretation. *Elements*, 7 (4). pp 247-252.

Ishihara, S., 1977. The Magnetite-series and Ilmenite-series Granitic Rocks. *Mining Geology*, 27, 292-305.

Janousek, V., Farrow, C.M., Erban, V., 2003. GCDkit: new PC software for interpretation of whole-rock geochemical data from igneous rocks. In: *Godschmidt Conference Abstrsct*, A186.

Laurent, O., Martin, H., Moyen, J. F. & Doucelance, R. 2014. The diversity and evolution of late-Archean granitoids: evidence for the onset of 'modern-style' plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos* 205, 208–235.

Le Fort, P. 1981. Manaslu leucogranite: a collision signature of the Hirmal aya . A model for its genesis and emplacement. *J. Geophys. Res.*, 86: 10545 -10568

Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Lameyre, J. 2002. *Igneous rocks: A classification and glossary of terms; Recommendations of the International Union of Geological Sciences*. In *Subcommission on the Systematics of Igneous rocks*. Cambridge University Press

Loiselle, M.C.; Wones, D.R. Characteristics, and origin of anorogenic granites. Geological Society of America, Abstract Programs, n. 11, p. 468, 1979.

Machado, B et al. 2016. Geologia do Granito Santo Ferreira, sudeste de Caçapava do Sul/RS: Resultados preliminares de sensoriamento remoto e relações de campo. In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 2016. Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.

Maniar, P.D.; Piccoli, P.M. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America, Bulletin, n. 101, v. 5, p. 635-643, 1989

Martini, S. L. 1982. Reconhecimento dos Granitos Taici e Rio Abaixo. Mapas geológicos esc. 1:100.000. MINEROPAR, Curitiba, 17p.

Michalzechen, R.R. 2016. Validação dos domínios faciológicos dos Granitos Varginha, Morro Grande e Piedade através de métodos aerogeofísicos. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 83 p.

Middlemost, E. A. K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-Sciences Reviews 37, 215–224.

Misas, C. M. E. 2010. Evolução Magmática, Alteração Hidrotermal e Gênese da Mineralização de Ouro e Cobre do Palito, Província Aurífera de Tapajós (PA). Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 235 p.

Nalini Jr. H. A. 1997. Caractérisation des suites magmatiques néoprotérozoïques de la region de Conselheiro Pena et Galiléia (Minas Gerais, Brésil). Etude géochimique et structurale des suites Galiléia et Urucum et relations avec les pegmatites à éléments rares associées. Ecole des Mines de Saint Etienne et Ecole des Mines de Paris. Tese de Doutorado. 237p.

Nascimento, A. L., Souza, Z.S, Galindo, A.C. 2002. Textura granofírica nas rochas do granito do Cabo de Santo Agostinho, Província Magmática do Cabo, Bacia de Pernambuco (Nordeste do Brasil): Implicações geodinâmicas.

Passarelli, C.R.; Basei, M.A.S.; Campos Neto, M.C.; Siga Jr, O.; Prazeres Filho H.J. 2004. Geocronologia e Geologia Isotópica dos Terrenos Pré-Cambrianos da Porção Sul-Oriental do Estado de São Paulo. Geologia USP – Série Científica, v. 4, n. 1, p. 55- 74, 2004.

Pearce, J. A., Harris, N. W. & Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25, 956–983

Peccherillo, 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.

- Piekarz, G. F. 1981. Reconhecimento das Unidades correlacionáveis à seqüência mineralizada do Perau - Estado do Paraná. In: Simpósio Regional de Geologia, 3., 1981. Atas. São Paulo, SBG. v. 1, p. 148-154.
- Piekarz, G. F. 1992. O granito Passa Três - PR e as mineralizações auríferas associadas. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, Universidade Estadual de Campinas, 221 pp.
- Picanço, J. L. 2000. Composição isotópica e processos hidrotermais associados aos veios auríferos do maciço granítico C. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 166 pp.
- Pirajno, F. (2009) Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. 1992 Edition, Springer, p. 706.
- Pitcher, W.S. Granite and yet more granites forty years on. *Geologische Rundschau*, v. 76, n. 1, p. 51-79, 1987.
- Pitcher, W. S. 1993. The Nature and Origin of Granite. xiii + 321 pp. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Blackie Academic & Professional. ISBN 0 7514 0800 7.
- Prazeres Filho, H. J. 2000. Litogeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, Estado do Paraná. 180 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- Prazeres Filho, H.J. dos; Harara, O.M.; Basei M.A.S.; Passarelli, C.R.; Siga Jr., O. 2003. Litogeoquímica, geocronologia U-Pb e geologia isotópica (Sr-Nd-Pb) das rochas graníticas dos batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na porção sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, São Paulo, v. 3, p. 51-70, 2003
- Ramsay, J.G. 1980. Shear zone geometry: A review. *Jour. of Struct. Geol.*, Vol.2, Issues 1–2, pp. 83-99.
- Raju, R.D., 2008. I-, M-, A- and S-type Granitoids: Their Attributes and Mineralization, with Indian Examples. 4th Prof. C. Mahadevan's Mem. Lecture, SAAEG (India Chapter), Kumaon Univ., Nainital, India *Jour. Econ. Geol. and Georesource Management*, v. 5, nos. 1 & 2, pp. 1-23, 2008.
- Reis Neto, J.M. dos. 1994. Faixa Itaiacoca: registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozóico. 253 f. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rose, A.W. & Burt, D.M. 1979. Hydrothermal Alteration. In: Barnes, H.L. ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York. John Wiley & Sons. p. 173-235.

Sadowski, G. R. (1991). A Megafalha de Cubatão No Sudeste Brasileiro. *Boletim IG-USP, Serie Cientifica*, 22, 15-28.

Santos, M. S., & Felipe, R. S. 1980. Reconhecimento geológico da Faixa Três Córregos. Curitiba: MINEROPAR. Relatório de Pesquisa Interno.

Sawyer, E.W. 2008. *Atlas of migmatites*. Special publications of the Canadian mineralogist, vol. 9. 386 p.

Siga Jr., O. Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

Soares, P.C.; Reis Neto, J. 1987. Um estudo de caracterização termo-dinâmica de micro-estruturas dos Grupos Açungui e Setuva (PR). In: III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia 3, Curitiba-PR. Curitiba: SBG, 1987, v.1, p. 147-165, 1987.

Smith J.V. 1974. *Feldspar Minerals. Chemical and textural properties*. New York, Springer-Verlag, v.2, 690p.

Streckeisen A.L. 1976. To Each Plutonic Rock Its Proper Name. *Earth Sci. Rev.*, 12: 1-33.

Strong, D.F., 1988, A model for granophile mineral deposits, in Roberts, R.G., and Sheahan, P.A., eds., *Ore deposit models (Geoscience Canada Reprint Series, v. 3)*: St. John's, Newfoundland, Geological Association of Canada, v. 1, p. 59–66.

Sylvester, P.J. Post-collisional alkaline granites. *The Journal of Geology*, v. 97, p. 261-280, 1989.

Trompette R., 1994. *Geology of the Western Gondwana (2000-500 My) Pan-African – Brasiliano aggregation of South America and Africa*. A.A. Balkema, Rotterdam, XII-350 pp.

Tuttle, O.F. & Bowen, N.L. 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Memoir, Geological Society of America*, 74: 1-153.

Vernon, R. H., 2004. *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge University Press, London, p. 594

Wager L.R. & Brown G.M. 1967. *Layered igneous rocks*. San Francisco, W.H. Freeman and Co., 588p.

Wernick, E.; RIGO JR., L.; Galembeck, T. M. B.; Weber-Diefenbach, K. 1990. Os complexos granitóides Cunhaporanga e Três Córregos (PR): zoneamento magmático e implicações geotectônicas. *Geociências*, v. 9, p. 67-85.

Whalen J.B.; Currie K.L.; Chappell B.W. 1987. A-type granitics: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 407-419.

White, A.J.R. Sources of granite magmas. *Geological Society of America, Abstract Programs*, n. 11, p. 539, 1979.

## ANEXO 1 – TABELAS GEOQUÍMICAS (ÓXIDOS MAIORES)

| FONTE                 | GRANITO      | Amostra  | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Total  |
|-----------------------|--------------|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------|
| Dressel (2013)        | VARGINHA     | BC-01C   | 74.21            | 0.17             | 13.02                          | 1.96                           | 0.06 | 0.35 | 1.3  | 2.92              | 4.89             | 0.06                          | 98.94  |
|                       |              | BC-03B   | 75.58            | 0.05             | 13.07                          | 1.26                           | 0.08 | 0.07 | 0.91 | 3.54              | 4.82             | 0                             | 99.38  |
|                       |              | BC-017   | 71.77            | 0.3              | 13.81                          | 2.62                           | 0.08 | 0.56 | 1.79 | 2.55              | 5.56             | 0.11                          | 99.15  |
|                       | MORRO GRANDE | BC-048   | 71.79            | 0.61             | 12.93                          | 4.11                           | 0.06 | 0.74 | 1.62 | 2.85              | 4.61             | 0.21                          | 99.53  |
|                       |              | BC-061   | 67.1             | 0.53             | 14.11                          | 3.63                           | 0.04 | 1.02 | 1.33 | 3.57              | 6.75             | 0.33                          | 98.41  |
| PF (2000)             |              | HP-41A   | 71.21            | 0.5              | 12.88                          | 3.94                           | 0.06 | 0.65 | 1.68 | 2.93              | 4.54             | 0.17                          | 98.56  |
| Dressel (2013)        | PIEDADE      | BC-080   | 73.49            | 0.34             | 12.62                          | 3.14                           | 0.05 | 0.39 | 1.16 | 2.91              | 5.06             | 0.1                           | 99.26  |
|                       |              | BC-082   | 65.62            | 0.61             | 14.74                          | 4.27                           | 0.06 | 1.11 | 1.44 | 3.79              | 6.79             | 0.34                          | 98.77  |
|                       |              | BC-085   | 58.16            | 1.04             | 13.6                           | 7.57                           | 0.12 | 2.64 | 3.69 | 3.1               | 7.58             | 0.8                           | 98.3   |
| Cury (2003)           | CERNE        | CER-15m  | 70.21            | 0.45             | 14.19                          | 2.12                           | 0.03 | 0.76 | 1.4  | 3.94              | 5.78             | 0.25                          | 99.13  |
|                       |              | CER-15e* | 55.23            | 1.5              | 7.99                           | 7.99                           | 0.14 | 4.25 | 3.99 | 2.98              | 7.02             | 0.87                          | 91.96  |
|                       |              | CER-16b  | 70.73            | 0.5              | 14.3                           | 2.34                           | 0.03 | 0.72 | 0.65 | 4                 | 5.63             | 0.29                          | 99.19  |
|                       |              | CER-17   | 70.16            | 0.46             | 14.03                          | 2.26                           | 0.03 | 0.81 | 1.17 | 4.04              | 5.74             | 0.25                          | 98.95  |
|                       |              | CER-22   | 69.3             | 0.52             | 14.27                          | 2.41                           | 0.03 | 0.93 | 1.4  | 3.6               | 6.35             | 0.31                          | 99.12  |
|                       |              | CER-43a  | 76.13            | 0.07             | 13.62                          | 0.82                           | 0.01 | 0.08 | 0.47 | 4.05              | 4.37             | 0.03                          | 99.65  |
|                       |              | CER-55a  | 74.41            | 0.17             | 14.28                          | 0.74                           | 0.01 | 0.08 | 0.55 | 4.44              | 5.29             | 0.06                          | 100.03 |
|                       |              | CER-82b  | 74.72            | 0.14             | 14.34                          | 0.63                           | 0    | 0.14 | 0.29 | 3.51              | 4.46             | 0.06                          | 98.29  |
| PF (2000)             |              | HP-58    | 70.93            | 0.43             | 14.19                          | 2.03                           | 0.03 | 0.71 | 1.49 | 3.92              | 5.99             | 0.29                          | 100.01 |
| Cury (2003)           |              | CER-49a  | 67.79            | 0.51             | 14.12                          | 2.38                           | 0.03 | 0.69 | 1.52 | 3.67              | 6.1              | 0.29                          | 97.1   |
|                       |              | CER-49b  | 67.88            | 0.53             | 14.23                          | 2.34                           | 0.03 | 0.7  | 1.48 | 3.83              | 6.27             | 0.29                          | 97.58  |
| Piekarz (1992)        | PASSA TRÊS   | PT023B   | 67               | 0.46             | 13.2                           | 1.3                            | 0.04 | 0.82 | 1.8  | 4.4               | 6.6              | 0.3                           | 95.92  |
|                       |              | PT028A   | 70.7             | 0.5              | 14.6                           | 0.48                           | 0.01 | 0.13 | 0.47 | 4.3               | 6.9              | 0.2                           | 98.29  |
|                       |              | PT088A   | 66.7             | 0.55             | 14.1                           | 2.7                            | 0.04 | 0.21 | 1.4  | 4.6               | 7.2              | 0.35                          | 97.85  |
|                       |              | PT106A   | 67.7             | 0.49             | 13.8                           | 2.12                           | 0.03 | 0.59 | 1.5  | 4.6               | 6.6              | 0.3                           | 97.73  |
|                       |              | PT106B   | 66.1             | 0.43             | 14.6                           | 1.9                            | 0.03 | 0.2  | 1.1  | 4.7               | 6.7              | 0.25                          | 96.01  |
|                       |              | PT015A   | 66.5             | 0.62             | 13.8                           | 2.7                            | 0.11 | 0.31 | 1.2  | 4.3               | 7.5              | 0.39                          | 97.43  |
|                       |              | PT021    | 66.9             | 0.83             | 13.9                           | 2.2                            | 0.07 | 0.56 | 1.6  | 4.2               | 7.2              | 0.38                          | 97.84  |
|                       |              | PT101    | 66.4             | 0.54             | 14.3                           | 2.2                            | 0.04 | 0.46 | 1.2  | 4.3               | 7.4              | 0.36                          | 97.2   |
|                       |              | PT031D   | 64.8             | 0.82             | 14.3                           | 3.7                            | 0.05 | 0.2  | 1.2  | 3.9               | 7.2              | 0.39                          | 96.56  |
|                       |              | PT045D   | 61.8             | 0.88             | 14.1                           | 2.3                            | 0.06 | 1    | 2.5  | 4.1               | 7.2              | 0.43                          | 94.37  |
|                       |              | PT211D   | 69.6             | 0.8              | 13.2                           | 2.2                            | 0.05 | 2.5  | 2.6  | 3.7               | 7.2              | 0.54                          | 102.39 |
|                       |              | PT211E   | 65.2             | 0.62             | 13                             | 0.92                           | 0.05 | 1.6  | 2.2  | 3.7               | 6.4              | 0.36                          | 94.05  |
|                       |              | PT007D   | 57.1             | 0.69             | 13.5                           | 5.6                            | 0.01 | 1.4  | 0.05 | 0.13              | 10.2             | 0.31                          | 88.99  |
|                       |              | PT023C   | 68               | 0.45             | 14.1                           | 2.41                           | 0.01 | 0.43 | 1.5  | 2.9               | 8.4              | 0.26                          | 98.46  |
|                       |              | PT031A   | 67.9             | 0.67             | 15.1                           | 2.2                            | 0.02 | 0.89 | 0.05 | 0.13              | 9.6              | 0.15                          | 96.71  |
|                       |              | PT131A   | 69.6             | 0.61             | 14.6                           | 1.5                            | 0.01 | 0.82 | 0.05 | 0.45              | 9.6              | 0.11                          | 97.35  |
|                       |              | PT210    | 75               | 0.05             | 13.3                           | 0.71                           | 0.07 | 0.2  | 0.06 | 4.4               | 4.3              | 0.06                          | 98.15  |
| Autora (GEOSOL, 2013) | TAICI        | AR-05    | 72.65            | 0.11             | 11.69                          | 3.98                           | 0.01 | 0.32 | 0.02 | 0.27              | 5.59             | 0.03                          | 94.67  |
|                       |              | AR-06    | 70.52            | 0.43             | 14.68                          | 2.29                           | 0.01 | 0.6  | 0.06 | 2.26              | 5.41             | 0.11                          | 96.37  |
|                       |              | AR-12    | 69.2             | 0.18             | 15.28                          | 2.32                           | 0.02 | 0.6  | 0.8  | 4.04              | 5.05             | 0.18                          | 97.67  |
| Martini (1982)        |              | GT-M82   | 63.1             | 2.3              | 9.9                            | 4.5                            | 0.1  | 3.2  | 1.8  | 5.6               | 4.9              | 0.1                           | 95.5   |

## ANEXO 2 – TABELAS GEOQUÍMICAS (ÓXIDOS MENORES E ETR)

|    | BC-017 | BC-01C | BC-03B | BC-048 | BC-061 | HP-41A | BC-080 | BC-082 | BC-085 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cr | 0.39   | 0.33   | 0.26   | 0.26   | 0.33   | 0      | 0.33   | 0.26   | 0.4    |
| Ba | 656    | 246    | 31     | 410    | 2937   | 571    | 408    | 3804   | 5633   |
| Cu | 2.6    | 2.9    | 3.6    | 6.4    | 13.5   | 15     | 6.7    | 20     | 7.3    |
| Nb | 14.9   | 23.6   | 39.9   | 18.4   | 34.8   | 15     | 9.3    | 40.2   | 44.5   |
| Ni | 3.3    | 2.8    | 1.7    | 3.8    | 18.8   | 0      | 2.7    | 9.3    | 14.3   |
| Sr | 207.5  | 127.9  | 33.6   | 100.8  | 585.8  |        | 73     | 1173   | 1279   |
| Rb | 251.8  | 355.4  | 374.1  | 262.3  | 188.6  | 277    | 258.5  | 177.3  | 171.3  |
| Y  | 17.6   | 30.1   | 46.2   | 55.7   | 38.8   | 43     | 34.8   | 20.7   | 36     |
| Zn | 44     | 33     | 18     | 55     | 69     | 64     | 40     | 41     | 31     |
| Zr | 201.8  | 131.3  | 62.1   | 304.1  | 460.8  | 292    | 255.9  | 513.3  | 623.8  |
| La | 59.6   | 31.8   | 6.4    | 62     | 128.7  | 48     | 90.2   | 118.7  | 179.9  |
| Ce | 114.7  | 62.4   | 13.8   | 126.7  | 220.7  | 100    | 187.7  | 236.8  | 315.6  |
| Nd | 38.7   | 24.1   | 7.4    | 46.1   | 85.4   | 41.3   | 65.7   | 76.2   | 132.6  |
| Sm | 6      | 4.72   | 3.05   | 9.47   | 12.78  | 8.22   | 11.12  | 12.26  | 19.93  |
| Eu | 1.09   | 0.52   | 0.2    | 1.01   | 3.04   | 1161   | 1.01   | 2.78   | 4.45   |
| Gd | 4.31   | 3.98   | 3.97   | 8.68   | 9.74   | 6.46   | 8.54   | 8.12   | 13.59  |
| Dy | 2.92   | 4.36   | 5.94   | 8.65   | 5.4    | 6.04   | 6.66   | 4.65   | 7.33   |
| Er | 1.94   | 2.72   | 4.36   | 5.42   | 3.04   | 3.63   | 3.81   | 1.98   | 3.06   |
| Yb | 2.06   | 3.26   | 5.88   | 4.95   | 2.55   | 4.14   | 3.35   | 1.95   | 2.42   |
| Lu | 0.3    | 0.44   | 0.85   | 0.75   | 0.41   | 0.618  | 0.51   | 0.27   | 0.39   |
| Be | 4      | 9      | 9      | 3      | 7      |        | 3      | 4      | 8      |
| Co | 3.3    | 2.2    | 0.8    | 5.9    | 5.6    | 7      | 3      | 7.9    | 15.7   |
| Cs | 8      | 12     | 5.2    | 10.5   | 3.2    |        | 10.5   | 8.4    | 2.7    |
| Ga | 14.6   | 16.4   | 16.8   | 18.6   | 20.5   |        | 18.5   | 21     | 21.2   |
| Hf | 6.4    | 5      | 3.2    | 8.6    | 13.8   | 7.7    | 7.5    | 13.9   | 15.4   |
| Ho | 0.58   | 0.89   | 1.32   | 1.89   | 1.16   | 1.32   | 1.34   | 0.73   | 1.27   |
| Pr | 11.87  | 6.92   | 1.9    | 13.96  | 24.02  | 11.7   | 19.57  | 22.96  | 35.59  |
| Sc | 5      | 3      | 3      | 7      | 4      | 7      | 5      | 5      | 12     |
| Sn | 8      | 14     | 3      | 9      | 3      | 8      | 10     | 3      | 4      |
| Ta | 1.8    | 4.3    | 6.5    | 1.8    | 2.2    | 1.5    | 0.7    | 2      | 2.3    |
| Tb | 0.61   | 0.69   | 0.83   | 1.48   | 1.17   | 1.17   | 1.32   | 1.06   | 1.64   |
| Th | 33.8   | 32     | 19.7   | 25.7   | 47.6   | 21.5   | 27.5   | 40.2   | 27.4   |
| Tm | 0.31   | 0.45   | 0.8    | 0.76   | 0.44   | 0.632  | 0.55   | 0.3    | 0.42   |
| U  | 5.2    | 18.9   | 22.4   | 6.6    | 5.3    | 3.46   | 3.7    | 5      | 4.8    |
| V  | 31     | 13     | <8     | 49     | 46     | 30     | 26     | 48     | 96     |
| W  | 0.7    | 2      | 0.8    | 0.7    | 2.9    | 1.5    | 9.5    | 2      | <0.5   |
| Ag | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   |        | <0.1   | <0.1   | <0.1   |
| As | <0.5   | <0.5   | <0.5   | <0.5   | 1.2    |        | 1.3    | 1.4    | 1.8    |
| Au | <0.5   | 0.6    | <0.5   | <0.5   | <0.5   |        | <0.5   | 0.5    | 0.6    |
| Bi | 0.1    | 0.6    | 0.2    | 0.1    | 0.1    |        | 0.1    | <0.1   | <0.1   |
| Mo | 1.6    | 1.7    | 1.4    | 1.3    | 1.7    | 2.0    | 2.9    | 1.2    | 0.5    |
| Pb | 22.1   | 38.7   | 66.1   | 7.8    | 39     | 17     | 9.6    | 26.2   | 12.8   |
| Sb | <0.1   | <0.1   | <0.1   | <0.1   | 0.3    |        | <0.1   | 0.2    | <0.1   |
| Ti | 0.7    | 0.6    | 0.2    | 0.7    | 0.2    | 1.69   | 0.5    | 0.2    | <0.1   |



Tabela com as análises químicas referentes ao granito Passa Três (Piekarz, 1992)

|    | PT007D | PT015A | PT021 | PT023B | PT023C | PT028A | PT031A | PT031D | PT045D | PT088A | PT101 | PT106A | PT106B | PT131A | PT210 | PT211D | PT211E |
|----|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Cr | 38     | 16     | 38    | 26     | 30     | 34     | 80     | 64     | 60     | 18     | 30    | 26     | 16     | 0      | 7     | 84     | 40     |
| Ba | 1700   | 2630   | 2810  | 2360   | 1610   | 2390   | 2120   | 3550   | 3080   | 2620   | 2910  | 2650   | 2520   | 2870   | 3520  | 2890   | 2450   |
| Cu | 52     | 5      | 5     | 9      | 172    | 25     | 100    | 340    | 5      | 5      | 23    | 5      | 5      | 25     | 166   | 12     | 37     |
| Nb | 50     | 40     | 22    | 20     | 20     | 20     | 26     | 22     | 90     | 20     | 20    | 20     | 20     | 20     | 20    | 20     | 44     |
| Ni | 32     | 18     | 22    | 9      | 20     | 9      | 28     | 28     | 28     | 12     | 16    | 38     | 28     | 14     | 14    | 46     | 21     |
| Sr | 110    | 1310   | 1320  | 960    | 660    | 1180   | 520    | 1370   | 1100   | 1280   | 1050  | 1220   | 1170   | 740    | 140   | 1160   |        |
| Rb | 400    | 170    | 170   | 160    | 240    | 230    | 330    | 160    | 190    | 170    | 190   | 210    | 190    | 300    | 100   | 160    | 170    |
| Y  | 10     | 10     | 10    | 10     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10    | 10     | 10     | 10     |       | 20     | 10     |
| Zr | 490    | 590    | 550   | 420    | 430    | 520    | 440    | 530    | 530    | 600    | 540   | 510    | 470    | 560    | 120   | 530    | 590    |
| La |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Ce |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Nd |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Sm |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Eu |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Gd |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Dy |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Er |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Yb |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Lu |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Be | 16     | 3      | 4     | 3      | 4      | 3      | 13     | 2      | 2      | 3      | 3     | 7      | 7      | 9      | 0     | 2      | 3      |
| Co |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Cs |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Ga | 42     | 18     | 20    | 20     | 20     | 24     | 24     | 14     | 20     | 18     | 16    | 22     | 22     | 26     | 34    | 22     | 12     |
| Hf |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Ho |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Pr |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Sc |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Sn | 5      | 5      | 5     | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5     | 5      | 5      | 5      | 5     | 5      | 5      |
| Ta |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Tb |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Th | 15     | 15     | 15    | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15    | 15     | 15     | 15     | 0     | 15     | 15     |
| Tm |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| U  | 15     | 15     | 15    | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15    | 15     | 15     | 15     | 0     | 15     | 15     |
| V  |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |
| Au | 1.45   | 0.15   | 0     | 0.56   | 0.10   | 0      | 0.20   | 0.25   | 0      | 0      | 0     | 0.05   | 0      | 0.05   | 0.75  | 0      | 0.30   |
| Bi | 10     | 10     | 10    | 10     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10    | 10     | 10     | 10     | 10    | 10     | 10     |
| Mo | 5      | 5      | 5     | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5     | 5      | 5      | 5      | 72    | 5      | 5      |
| Pb | 10     | 10     | 14    | 10     | 64     | 24     | 10     | 10     | 10     | 10     | 10    | 20     | 11     | 146    | 18    | 10     | 10     |