



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO APIAÍ – SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Bruno Santiago Avelar Cuellar

Orientador: Prof. Dr. Antonio Misson Godoy

Coorientador: Otávio Augusto Ruiz Paccola Vieira

Rio Claro (SP)

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

BRUNO SANTIAGO AVELAR CUELLAR

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO APIAÍ – SUL
DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Geólogo.

Rio Claro – SP

2019

C965p Cuellar, Bruno Santiago Avelar
Petrografia e geoquímica do Granito Apiaí - sul do estado de São Paulo / Bruno Santiago Avelar Cuellar. -- Rio Claro, 2019
77 f. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Antonio Misson Godoy
Coorientador: Otávio Augusto Ruiz Paccola Vieira

1. Geologia. 2. Rochas ígneas. 3. Granito. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BRUNO SANTIAGO AVELAR CUELLAR

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO APIAÍ – SUL
DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Geólogo.

Comissão Examinadora

Antonio Misson Godoy (orientador)

Washington Barbosa Leite Junior

George Luiz Luvizotto

Rio Claro, 28 de novembro de 2019.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer (muito) à minha mãe Graziela, minha tia Rita e à minha irmã Isadora, pela força e confiança em mim depositadas. Sem o amor intenso, fé imensa, constantes “puxões-de-orelha” e paciência, sabe-se lá onde eu estaria por agora.

Agradeço também a toda família Avelar pelo carinho com que sempre fui tratado. Todos os primos e primas, tio (Jonas) e tias, vovó e bisá foram essenciais para que eu fosse apto a sair de casa para longe de tudo e de todos. Sem a motivação, compreensão e apoio de todas as partes, não teria conseguido viajar a uma distância maior que 15 km de Ervália.

Agradeço ao meu pai e família por parte da Argentina que, mesmo distantes, sinto um carinho imenso e desejo de que todos estejam bem e felizes. Sei que é recíproco. Agradeço à vovó Ângela que, mesmo a tendo encontrado somente uma vez em todas nossas vidas, sei que tinha um apreço enorme por mim e, atualmente, observa, guia e ilumina minhas decisões.

Meus amigos de infância não foram – tampouco serão – esquecidos. Fernandinho, Holmes, Nicolás, Saulo e Sávyo sempre estiveram presentes pelo Zibbipty Zibbopty e, quando a faculdade de algum não estava em greve, alguém não estava em estágio, ou o Fernando/Holmes não estavam sob o açoite, nos encontrávamos para tomar aquela gelada e rir.

Agradeço também a todos amigos que fiz durante minha morada em Ervália e São José dos Campos que, pela quantidade de pessoas que passaram pela minha vida, aumentaria o número de páginas necessárias para a impressão deste trabalho (o que não desejo).

Agradeço aos irmãos que fiz durante a vida acadêmica em Rio Claro. Irmãos selecionados a dedo, que jamais me arrependerei. “Bigode”, “Chupeta”, “Job”, “Mundrongo”, “Ponce”, Silte e “Totô” foram imprescindíveis para que eu não ficasse completamente louco durante esses cinco anos. Também agradeço à incrível Dona Josefa por nos acompanhar durante esses anos! Agradeço imensamente também à Mari pela tamanha paciência com seu grupo de mapeamento e me aturado durante um ano inteiro de Campos 1 e 2.

Agradeço à minha sala pelas pessoas tão especiais que ela contém. São pessoas de boa índole, inesquecíveis que, com certeza, terão muitas portas abertas e obterão bastante sucesso em suas vidas, seja qual for a decisão que tomarem.

Agradeço ao meu orientador e coorientador pelo auxílio prestado durante a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço, por fim, a todas pessoas especiais que não denominei, mas foram, de uma forma ou de outra, importantes durante minha vivência. CÊS SÃO DEZ!!!!!!

EPÍGRAFE

*“Mas assim como, em ética, o mal é a consequência do bem,
Igualmente, com efeito, da alegria nasce a tristeza.
Ou a lembrança de uma felicidade passada é a angústia do hoje,
Ou as agonias existentes têm sua origem nos êxtases que poderiam ter existido.”*

Edgar Allan Poe

RESUMO

O Granito Apiaí se localiza na Província Mantiqueira Central, na porção centro-sul do Cinturão Ribeira, que integra os diferentes cinturões formados pela Orogenia Neoproterozoica Brasileiro-Pan Africana. Especificamente, situa-se no Terreno Apiaí, localizado no extremo sul do estado de São Paulo e intrude as formações Água Clara, Serra da Boa Vista e Mármore Apiaí, pertencentes ao Supergrupo Açungui, composto por rochas meso a neoproterozoicas metavulcanossedimentares. Está inserido nas folhas topográficas Apiaí (SG-22-X-B-V-1), Araçaíba (SG-22-X-B-II-3) e Mina do Espírito Santo (SG-22-X-B-II-4), em escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a oeste da cidade de Apiaí, entre as coordenadas 48°55'W/24°33'S e 48°43'W/24°24'S. O Granito Apiaí é um *stock* com aproximadamente 65 km² de área em formato lenticular com direção NE-SW, com cerca de 16 km de comprimento, que se alarga em sua porção nordeste. Seus contatos com as rochas encaixantes são tectônicos, marcado pela interferência da Zona de Cisalhamento Quarenta-Oitava, de orientação NE-SW, e intrusivo, pela presença de apófises de granito em suas encaixantes, e pela ocorrência de tetos pendentes da Formação Água Clara e do Mármore Apiaí sobre ele. O magmatismo tem idade neoproterozoica, e é responsável pela formação de diversos outros corpos graníticos, como os batólitos Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes, além de muitos *stocks* e corpos isolados. As rochas do corpo possuem estrutura maculada levemente foliada, com textura fanerítica grossa, holocristalina, e inequigranular sendo marcado pela presença de fenocristais de feldspatos potássicos de coloração rósea. O *stock* dividido em duas fácies distintas e mapeáveis em escala 1:25.000: a fácies com fenocristal róseo de granulação entre 0,5 e 1,6 cm, com matriz fina a média, marcada pelo tamanho de grãos variando entre 0,3 mm e 5 mm, com textura hipautomórfica a xenomórfica; e a fácies com fenocristal róseo de granulação entre 1 e 3 cm, por vezes chegando a mais de 4 cm, com matriz de granulação fina a média, marcada por grãos variando entre 0,4 mm e 8 mm, com textura hipautomórfica a xenomórfica. Em determinados locais, encontra-se brechado ou milonitizado, devido à presença de zonas de cisalhamento e é descrito como granito indistinto nessas localidades. A mineralogia de ambas as fácies é similar, apresentando composição de monzogranito composto por oligoclásio (28%), quartzo (25%), fenocristais de microclínio (18%), microclínio na matriz (13%), biotita (8%), hornblenda (4%), titanita (1%), apatita (1%), zircão (1%), opacos (1%), allanita (tr), clorita (tr), epidoto (tr). Geoquimicamente, trata-se de um granito cálcio-alcálico do tipo I, com assinatura metaluminosa. É caracterizado como sin-colisional.

Palavras-chave: Granito Apiaí, Petrografia, Geoquímica.

ABSTRACT

Apiáí Granite is located at the Central Mantiqueira Province, at the center-southern portion of Ribeira Belt, which integrates the different orogenic belts formed by Pan-African/Brasilian Neoproterozoic Orogeny. Specifically, it is located in the Apiáí Terrain, at the extreme south of São Paulo State, and intrudes the Meso to Neoproterozoic Água Clara, Serra da Boa Vista and Mármore Apiáí, metasedimentary rocks formations, which belong to Açungui Supergroup. It is inserted at the topographic sheets of Apiáí (SG-22-X-B-V-1), Araçaíba (SG-22-X-B-II-3) and Mina do Espírito Santo (SG-22-X-B-II-4), with 1:50.000 scale from Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, western Apiáí city, between the coordinates 48°55'W/24°33'S and 48°43'W/24°24'S. The Apiáí Granite is a stock with approximately 65 Km² area in a lenticular shape with NE-SW direction, measuring 16 Km length, that thickens in its northeastern portion. The pluton's contacts with its country rocks are tectonic, represented by Quarenta-Oitava Shear Zone interference, and intrusive, by the existence of granitic apophysis in the country rocks and by the occurrence of Água Clara and Mármore Apiáí formations roof pendants on the Apiáí Granite. Its origin is due to an intense Neoproterozoic magmatism, which was responsible by the generation of several another granitic bodies, such as Cunhaporanga, Três Córregos and Agudos Grandes batholiths, and plenty other stocks or isolated bodies. Apiáí Granite's structure is porphyritic with an incipient foliation, medium grained, holocristaline and inequigranular texture and plenty pink potassium feldspars fenocrystals. It is subdivided in two different facies in a 1:25.000 scale: i) facies with 0,5 – 1,6 cm wide pink fenocrystals, with allotriomorphic to hypidiomorphic medium grained groundmass; and ii) facies with 1 – 3 cm (sometimes even 4 cm) wide pink fenocrystals with allotriomorphic to hypidiomorphic medium grained groundmass. In some locations, due to shear zones, it is milonitized or brechated, and is classified as indifferenced granite in such locations. The mineralogy of both facies is almost similar, with monzogranite composition, with oligoclase (28%), quartz (25%) microcline fenocrystals (18%) groundmass microcline (13%), biotite (8%), hornblende (5%), titanite (1%), apatite (1%), zircon (1%), allanite (tr), chlorite (tr), epidote (tr). It is a calc-alkaline type I granite, with metaluminous signature. The granite is a sincolisional body, with cristalization age of 605 ± 3 Ma identified by U-Pb method.

Key words: Apiai Granite, Petrography, Geochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização do Granito Apiaí em relação às Folhas Araçaíba (IBGE, 1975), Apiaí (IBGE, 1987) e Mina do Espírito Santo (IBGE, 1974), em escala 1:50.000.	7
Figura 1.2: Localização da área de estudo com principais rodovias de acesso.....	8
Figura 1.3: Fotografia representativa do relevo de Mares de Morros com amplitude alta.	9
Figura 1.4: Imagem de satélite retirada de ArcMap em 02 de agosto de 2019. Em vermelho destacam se os limites do stock.	10
Figura 2.1: A) Mapa de Províncias Estruturais da Plataforma Sul-Americana, com a Província Mantiqueira em amarelo escuro; B) Compartimentação da Província Mantiqueira, com os cinturões orogênicos Araçuaí, Ribeira e Tijucas em tons de verde e coberturas fanerozoicas. Adaptado de Hasui (2012). C) Domínios que constituem os diferentes cinturões orogênicos da Província Mantiqueira, com destaque em vermelho para a área de estudo.....	17
Figura 2.2: Unidades litoestratigráfica do Cinturão Ribeira. Destaque para a área de estudo em preto e os limites estaduais em azul claro. Modificado de Hasui (2012)	18
Figura 2.3: Mapa dos terrenos do Cinturão Ribeira Central, com destaque em vermelho para a área de estudo. Modificado de Faleiros (2008).	20
Figura 2.4: Localização dos corpos graníticos constituintes do Terreno Apiaí. Adaptado de Mello (1995).	22
Figura 2.5: Mapa Geológico do Terreno Apiaí com os principais corpos graníticos e o Granito Apiaí destacado em vermelho na porção central. Adaptado de Prazeres Filho (2005).	23
Figura 2.6: Modelo de abertura e fechamento de bacias oceânicas segundo a proposta de John T. Wilson. Adaptado de Hasui (2012).	26
Figura 2.7: Evolução geodinâmica hipotética do Terreno Apiaí. Adaptado de Campanha; Sadowski (1999).	26
Figura 3.1: Afloramentos da Unidade de Xistos da Formação Água Clara. A) Saprólito de mica xisto composto por argila, quartzo e micas, com coloração marrom-avermelhada. B) Quartzito com deformação cataclástica. Em vermelho, destaque para as porções vítreas da rocha, de coloração cinza escuro. C) Foliação milonítica destacada em branco, vermelho e preto, em metassedimentos da Unidade de Xisto. As bandas de coloração branca são de quartzito, e as mais escuras, de mica xisto. D) Foliação milonítica destacada em branco. As bandas milimétricas avermelhadas e amareladas são compostas por material quartzoso e as pretas por material micáceo e opacos.	28

Figura 3.2: Fotomicrografia de muscovita-biotita xisto da Unidade de Xisto da Formação Água Clara. Em vermelho, destaca-se os domínios C e, em azul, os S, da foliação S-C. Qtz: quartzo; Ms: muscovita; Ser: sericita; Bt: biotita; Gf: grafita.	29
Figura 3.3: Ocorrências da Formação Mármore Apiaí. A) Afloramento de metamarga cinza, com dobras destacadas em amarelo. B) Microfotografia do mármore impuro a polarizadores transversais. Composição de 25% de sericita, 16% actinolita, 16% calcita, 12% muscovita, 12% grafita, 8% epidoto, 6% quartzo, 3% opaco e 2% titanita. C) Amostra de mármore puro acinzentado. D) Microfotografia de mármore puro, composto por calcita e opacos. Calc: calcita; Act: actinolita; Ttn: titanita; Qz: quartzo.....	30
Figura 3.4: Ocorrências da Formação Serra da Boa Vista. A) Amostra de quartzito; B) Rocha metapelítica da unidade, com foliação difusa; C) Microfotografia a polarizadores paralelos; D) Microfotografia a polarizadores transversais. Qz: quartzo; Mus: muscovita.....	31
Figura 4.1: Ocorrências do Granito Apiaí. A) Geomorfologia. B) Forma principal de ocorrência do granito.....	33
Figura 4.2: Ocorrências do Granito Apiaí. A) Apófise do granito intrudindo a Unidade de Xistos da Formação Água Clara. B) Presença de enclaves circundados em vermelho e fenocristais de microclínio róseos.	34
Figura 4.3: Exumação de corpos graníticos devido à erosão. Adaptado de Petford (2011). ..	35
Figura 4.4: Mapa Geológico Simplificado do Granito Apiaí.	36
Figura 4.5: Classificação de rocha total das amostras laminadas. Em vermelho a fácies Hornblenda-biotita monzogranito porfirítico; em azul: Biotita monzogranito porfirítico com hornblenda. Preto é um exemplar do granito indistinto. De acordo com o diagrama QAP de Streckeisen (1976). 1a: quartzolito; 1b: granitoides ricos em quartzo; 2: álcali-feldspato granito; 3a: sienogranito; 3b: monzogranito; 4: granodiorito; 5: tonalito; 6a: quartzo-álcali feldspato sienito; 6b: álcali feldspato sienito; 7a: quartzo sienito; 7b: sienito; 8a: quartzo monzonito; 8b: monzonito; 9a: quartzo monzodiorito/quartzo monzogabro; 9b: monzodiorito/monzogabro; 10a: quartzo diorito/quartzo gabro/quartzo anortosito; 10b: diorito/gabro/anortosito.	37
Figura 4.6: Aspectos mesoscópicos da Fácies A do Granito Apiaí. A) Amostra APB-6 porfirítica com aproximadamente 15-20% de fenocristais de microclínio entre 1 e 3 cm; B) Amostra APB-13 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais, entre 0,5 e 2 cm; C) Amostra APB-9 porfirítica com aproximadamente 20% de fenocristais entre 1 e 2 cm; e D) Amostra AP3-9-2 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais entre 0,7 e 2 cm....	38
Figura 4.7: Aspectos petrográficos a polarizadores transversais da Fácies A do Granito Apiaí. A) Presença de grãos de quartzo submilimétricos com bulging; B) Oligoclásio saussuritizado	

com cristalização de sericita e apresentando albita em suas bordas; C) Cristais de biotita dobrados; D) Tamanho de cristais de microclínio e textura mimerquítica.....40

Figura 4.8: Aspectos deformacionais da Fácies A do Granito Apiaí. A) Biotita poi quilítica dobrada com inclusões de zircão e apatita fraturadas, a polarizadores paralelos; B) Quartzo com bulging, extinção ondulante e subgrãos apresentando padrão “Tabuleiro de xadrez”, a polarizadores transversais; C) Cristal de apatita fraturado a polarizadores paralelos; D) Quartzo com bulging e veio de epidoto e clorita transpassando a rocha a polarizadores transversais. .41

Figura 4.9: Texturas existentes na Fácies A do Granito Apiaí. A) Oligoclásio antipertítico com zoneamento bem definido e geminação do tipo Carlsbad, a polarizadores transversais; B) Textura coronítica em um cristal de hornblenda, alterada para biotita, clorita, e opacos com presença de epidoto, a polarizadores paralelos. C) Alteração de hornblenda poi quilítica para uma massa amorfa de biotita e clorita a polarizadores paralelos. D) Oligoclásio saussuritizado com presença de sericita e borda albitizada a polarizadores transversais. 41

Figura 4.10: Aspectos mesoscópicos da Fácies B do Granito Apiaí. A) Amostra AP4-8-14 porfirítica com aproximadamente 20% de fenocristais de microclínio entre 1 e 1,5 cm; B) Amostra AP3-3-10 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais, entre 0,5 e 1,5 cm; C) Amostra APB-15 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais entre 1 e 1,5 cm; e D) Amostra APB-27 porfirítica com aproximadamente 20% de fenocristais entre 0,7 e 2 cm. 43

Figura 4.11: Aspectos microscópicos da Fácies B do Granito Apiaí. Observar minerais com textura poi quilítica, fenocristais de microclínio, e relações de contatos entre os diversos minerais. A) e C) sob polarizadores transversais; e B) e D) sob polarizadores paralelos. 45

Figura 4.12: Aspectos deformacionais na Fácies B do Granito Apiaí. A) Kink-band em biotita, a polarizadores transversais; B) Quartzo com extinção ondulante, e subgrãos com padrão “tabuleiro de xadrez” bem demarcado, a polarizadores transversais; C) Quartzo com bulging a polarizadores transversais; e D) Subgrãos de quartzo, na porção inferior direita, apresentando padrão “tabuleiro de xadrez”. Também há biotita com halo pleocróico por inclusão de zircão. 46

Figura 4.13: Texturas existentes na Fácies B do Granito Apiaí. A) Microclínio pertítico poi quilítico com inclusões de opacos, apatita e quartzo; B) Feição de intercrescimento mimerquítica; C) plagiocláio saussuritizado, com borda albitizada e epidoto e sericita no centro. D) Microclínio pertítico zonado com geminação tartan. 46

Figura 4.14: A) Aspectos mesoscópicos da amostra AP5-3-2B; B) Aspectos microscópicos a polarizadores transversais. Observar veios e cristais intensamente deformados, o que não ocorre com tanta proeminência nas fácies A e B do Granito Apiaí.....	48
Figura 4.15: Aspectos do Granito Apiaí Indistinto. A) a D) Aspectos microscópicos a polarizadores transversais. Observar veios de epidoto e clorita que transpassam a rocha, plagioclásio com kink bands, minerais máficos em agregados amorfos, e cristais quartzo intensamente deformados.	49
Figura 5.1: Diagramas de correlação de óxidos de elementos maiores por sílica tipo Harker (1909). A) Al_2O_3 ; B) TiO_2 ; C) Fe_2O_3 ; D) MgO ; E) CaO ; F) Na_2O ; G) K_2O ; H) MnO	51
Figura 5.2: Diagramas de classificação geoquímica quanto à composição. A) Sílica por álcalis de Le Maitre (1989), T – quartzo monzonito; B) Sílica por álcalis de acordo com Middlemost (1985), 13 – quartzo monzonito, 14 – monzogranito 22 – monzogranito a granodiorito; C) Diagrama QAP (quartzo, feldspatos alcalinos, plagioclásios), de acordo com Le Maitre (1989), 3b – monzogranito, 4 – granodiorito; D) De acordo com Peacock (1931); E) Q por P, de acordo com Debon et al. (1988), 3 – Granodiorito, 4 – Tonalito; F) De acordo com Taylor (1976); G) Índice de Shand de Maniar & Picolli (1989); e H) A vs B, de Debon & Le Fort (1983), IV – Leucogranitos metaluminosos com hornblenda e biotita.	53
Figura 5.3: Diagramas geoquímicos binários de elementos-traço para amostras do Granito Apiaí.	54
Figura 5.4: Diagramas geoquímicos de classificação de ambientes geotectônicos para amostras do Granito Apiaí. A) R1 vs R2 de Batchelor & Bowden (1985). B) De acordo com Frost et al. (2001).	54
Figura 5.5: Diagramas de variogramas de multielementos incompatíveis e elementos de terras raras para as amostras de rochas do Granito Apiaí. A) Valores para meteoritos condriticos de Thompson (1982); B) Valores da crosta inferior de Weaver; Tarney (1984); C) Valores dos meteoritos condriticos de Boynton (1984); e D) Valores da crosta inferior de Weaver & Tarney (1984).	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Índices de classificação por coloração para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1967).	14
Tabela 1.2: Parâmetros de classificação por granulação para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).	15
Tabela 1.3: Parâmetros de classificação por cristalinidade para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).	15
Tabela 1.4: Parâmetros de classificação por granulação para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).	15
Tabela 1.5: Parâmetros de classificação pela forma geométrica de cristais para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).	15
Tabela 1.6: Abreviação para cada mineral de acordo com Whitney & Evans (2010).	15
Tabela 4.1: Informações sucintas das fácies que compõem o Granito Apiaí.	37
Tabela 4.2: Composição modal estimada para a Fácies A do Granito Apiaí com base na petrografia da amostra APB-6.	42
Tabela 4.3: Composição modal estimada para a Fácies B do Granito Apiaí com base na petrografia da amostra APB-27.	47
Tabela 4.4: Composição modal estimada para a Fácies B do Granito Apiaí com base na petrografia da amostra AP5-3-2B.	49
Tabela 5.1: Dados químicos de amostras de rocha total do Granito Apiaí.	50
Tabela 6.1: Diferentes classificações para granitos e o enquadramento do Granito Apiaí em cada um deles.	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	APRESENTAÇÃO	5
1.2	OBJETIVOS	6
1.3	LOCALIZAÇÃO, EXTENSÃO E ACESSO À ÁREA	7
1.4	ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS	8
1.5	MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO	10
	1.5.1 Fase I: atividades preparatórias.....	11
	1.5.2 Fase II: trabalho de campo	12
	1.5.3 Fase III: laboratorial	12
	1.5.4 Fase IV: elaboração da monografia	16
2	ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL	16
2.1	CONTEXTO TECTÔNICO	16
2.2	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS E ESTRUTURAS REGIONAIS	19
	2.2.1 Principais unidades litoestratigráficas	19
	2.2.2 Estruturas regionais	23
2.3	EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	24
3	GEOLOGIA LOCAL	27
3.1	UNIDADES LITOLÓGICAS	27
	3.1.1 Formação Água Clara	27
	3.1.2 Formação Mármore Apiaí	29
	3.1.3 Formação Serra da Boa Vista	30
	3.1.4 Formação Gorutuba	32
	3.1.5 Gabro de Apiaí	32
4	GRANITO APIAÍ	33
4.1	PETROGRAFIA	37
	4.1.1 Fácies (A) Hornblenda-Biotita Monzogranito Porfirítico	38
	4.1.2 Fácies (B) Biotita Monzogranito Porfirítico com hornblenda	42
	4.1.3 Granito Apiaí Indistinto	47
5	LITOGEOQUÍMICA	50
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	56
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
8	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A presente monografia resulta das atividades realizadas durante as disciplinas Trabalho de Conclusão de Curso I (GAP233115) e Trabalho de Conclusão de Curso II (GAP233215) acerca do Granito Apiaí, um *stock* de hornblenda-biotita monzogranitos porfiríticos e biotita monzogranitos porfiríticos com hornblenda localizado na porção sul do estado de São Paulo.

Justifica-se abordar o Granito Apiaí neste trabalho pois o estudo sistemático de rochas graníticas permite a aquisição de uma visão holística de diferentes fenômenos geológicos, e, por serem as principais componentes da crosta terrestre, tais rochas auxiliam a compreensão da evolução crustal. Cada corpo granítico possui seu próprio sistema particular e apresenta sua própria história evolutiva multifacetada, que abrange aspectos de colocação, estruturais, químicos, mineralógicos e cronológicos interdependentes (Bitencourt, 1996).

A colocação de granitoides ocorre pela interação entre o campo tensional global e a reação mecânica das rochas encaixantes. A tensão global é resultado da interação entre o campo tensional regional, as tensões internas do sistema magmático e aquelas geradas por ele: forças de flutuação, tensões termais, e gradientes de tensão relacionados à diferença de viscosidade entre magmas coexistentes. Portanto, os componentes internos da tensão se relacionam a variáveis como composição químico-mineralógica, temperatura, e velocidade de resfriamento que, por sua vez, interagem com as propriedades físico-químicas das rochas encaixantes (Fernandez & Gasquet, 1994).

Outra justificativa para o estudo do granito é que a região em que ele se insere, Terreno Apiaí, segundo Faleiros (2012), apesar de alvo de estudos geológicos passados, possui um acervo de dados heterogêneo, fragmentado e desconexo, pois as informações outrora levantadas foram realizadas por diferentes instituições, em diferentes escalas de mapeamento e com diferentes objetivos. Regionalmente, o Granito Apiaí insere-se na Província Mantiqueira de Almeida et al. (1967) e na região sul do Cinturão de Dobramentos Sudeste, na parte sul da Faixa Ribeira de Hasui et al. (1975). Especificamente, situa-se na porção central do Terreno Apiaí, designado assim por Faleiros (2008), e está diretamente atrelado à Granitogênese Neoproterozoica da Província Mantiqueira Central (Heilbron et al., 2004).

O Terreno Apiaí é um dos constituintes do Segmento Central da Província Mantiqueira (Heilbron et al., 2004). Conforme Faleiros (2008), o terreno é constituído por rochas supracrustais metamorfasadas em condições de fácies xisto verde a anfibolito, consistindo de uma associação de terrenos tectono-metamórficos distintos, que datam do Meso ao

Neoproterozoico acrescidos em um terreno composto. Apesar de sua relação com os Orógenos Brasília e Ribeira ainda estar em debate, na maioria dos mapas e na presente monografia, o terreno se integra ao Orógeno Ribeira (Heilbron et al., 2004).

O magmatismo regional possui assinatura geoquímica cálcio-alcalina, representado, por três grandes batólitos posicionados segundo direção nordeste: Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes; e por diversos outros batólitos e *stocks* (Janasi et al., 2001; Prazeres Filho, 2001, 2005; Prazeres Filho et al., 2003).

No que tange o estudo das rochas graníticas do Terreno Apiaí, os principais trabalhos são os de Chiodi Filho et al. (1987), Wernick et al. (1990), Janasi et al. (1990), Gimenez Filho (1993), Reis Neto (1994), Gimenez Filho et al. (1995), Guimarães (1995), Leite (1997), Guimarães; Ulbrich (1999), Guimarães (2000), Gimenez Filho et al. (2000), Prazeres Filho (2000), Prazeres Filho et al. (2001) e Janasi et al. (2001).

O Granito Apiaí fora pouco estudado e caracterizado, sendo os principais trabalhos em que foi mencionado ou brevemente abordado são os de Melcher et al. (1973), Hackspacher (2000), Prazeres Filho et al., (2003), Cury et al. (2008) e Faleiros (2012).

Especificamente, o *stock* intrude as formações Água Clara, Serra da Boa Vista e Mármore Apiaí, pertencentes ao Supergrupo Açungui, composto por rochas meso a neoproterozoicas metavulcanossedimentares (Fiori, 1992, 1994).

O maciço é composto por hornblenda-biotita monzogranitos porfiríticos foliados e biotita monzogranitos porfiríticos com hornblenda foliados. Possui uma área aproximada a 60 Km², originado pela evolução da tectônica compressiva que afetou a região. Possui área em formato de faixa lenticular com direção NE, acompanhando a Zona de Cisalhamento Quarenta-Oitava, cerca de 16 Km de comprimento, que se alarga em sua porção nordeste. Possui características de granito cálcio-alcalino do tipo I, com assinatura metaluminosa, sendo caracterizado como tardi-colisional, com idade de cristalização de 605 ± 3 Ma, identificada por Hackspacher et al. (2000) através do método U-Pb.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho possui como objetivo desenvolver novos conhecimentos a respeito do Granito Apiaí através de mapeamento geológico, e análises petrográficas e geoquímicas.

Com base em bibliografias atuais, nos estudos sobre a área e auxílio de novas tecnologias, como imagens de satélite e sensores remotos, o intuito do trabalho é subdividir o maciço em diferentes fácies – termo cunhado por Walker (1992) para designar um corpo rochoso que possui uma combinação de litotipos e estruturas que o concedam um aspecto

diferente de rochas adjacentes. Em suma, fácies é uma rocha ou um conjunto de rochas, com composições mineralógicas, químicas, ou características petrográficas similares, delimitadas em sua própria escala de mapeamento.

Além disso, também objetiva-se aumentar e sistematizar as informações acerca das unidades magmáticas que estão contidas no Terreno Apiaí, visto que esse é um acervo de dados heterogêneo, fragmentado e desconexo.

1.3 LOCALIZAÇÃO, EXTENSÃO E ACESSO À ÁREA

O Granito Apiaí situa-se no sul do estado de São Paulo, na região paulista do Vale do Ribeira, microrregião de Capão Bonito, especificamente no município de Apiaí. Está contido nas folhas topográficas, de escala 1:50.000, Apiaí (SG-22-X-B-V-1) (IBGE, 1987), Araçaíba (SG-22-X-B-II-3) (IBGE, 1975) e Mina do Espírito Santo (SG-22-X-B-II-4) (IBGE, 1974), figura 1.1, entre as coordenadas geográficas 48°55'W/24°32'S e 48°43'W/24°24'S, da Zona 22 S no datum SIRGAS 2000.

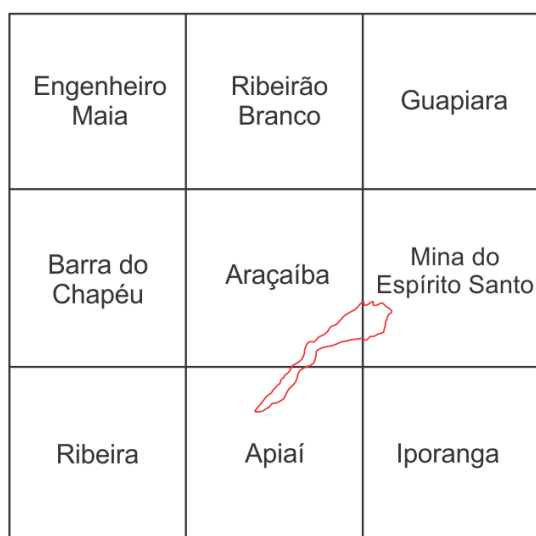


Figura 1.1: Localização do Granito Apiaí em relação às Folhas Araçaíba (IBGE, 1975), Apiaí (IBGE, 1987) e Mina do Espírito Santo (IBGE, 1974), em escala 1:50.000.

A área pode ser acessada, a partir do município de Rio Claro, inicialmente pela Rodovia Fausto Santo Mauro (SP-127), em direção ao município de Piracicaba. A partir dessa cidade, segue-se pela Rodovia Cornélio Pires (SP-127) até o município de Capão Bonito, passando pelos municípios de Tietê, Cerquilha, Tatuí, Itapetininga e Gramadinho.

A partir de Capão Bonito, o nome muda para Rod. Sebastião Ferras de Camargo Penteado (SP-250/BR-373), no trecho percorrido até Apiaí, passando por Guapiara. A rota sugerida tem cerca de 330 Km e dura aproximadamente 4h 30min (Google Maps) – figura 1.2.

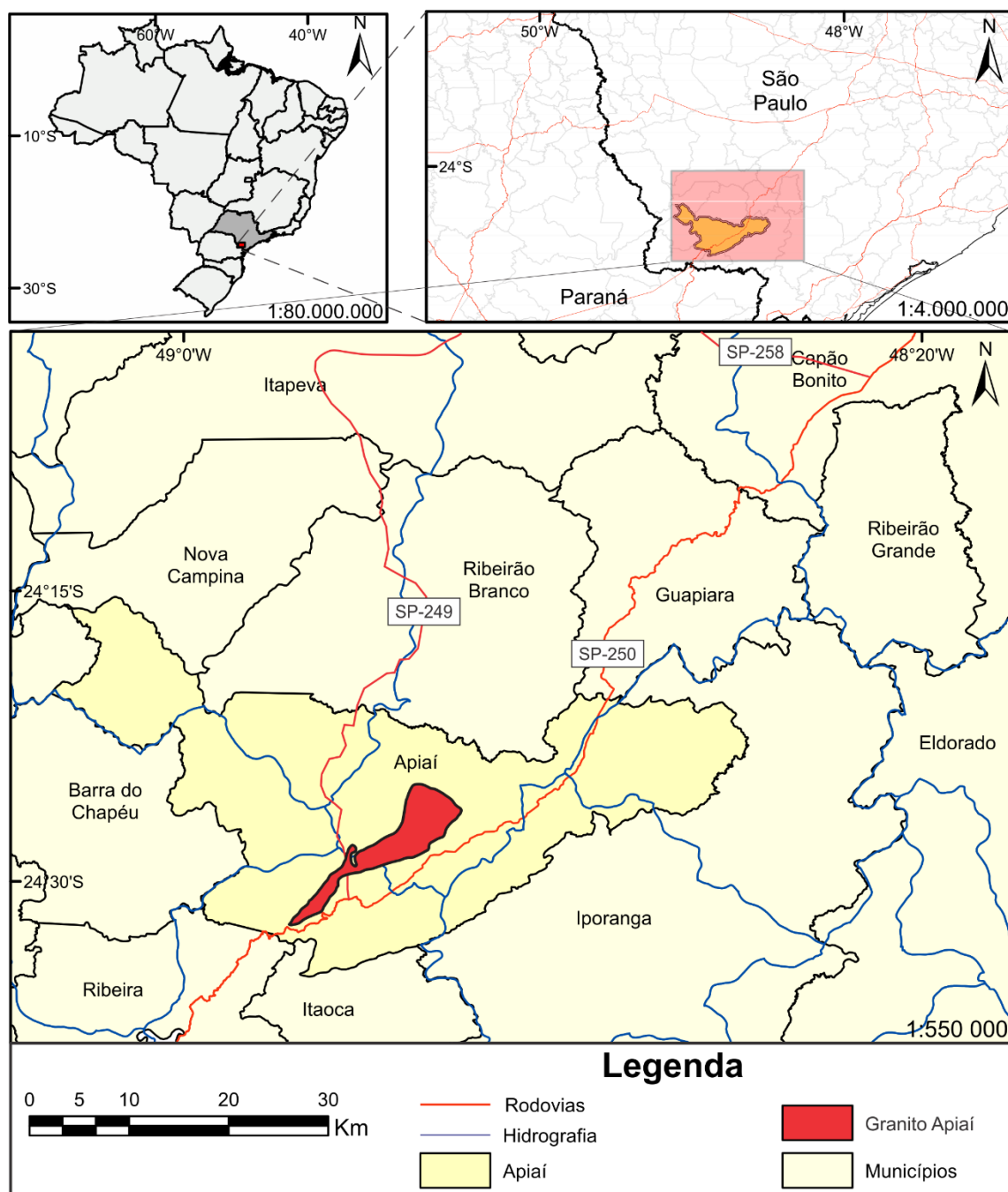


Figura 1.2: Localização da área de estudo com principais rodovias de acesso.

1.4 ASPECTOS FISIográficos E SOCIOECONÔMICOS

A área de estudo se encontra no domínio morfoclimático Mares de Morros (Ab'Saber, 1966). Trata-se de um planalto composto por morros bastante intemperizados, onde geraram-se vertentes arredondadas ou mamelonares com escarpas apresentando desníveis que atingem 860 m. As altitudes máximas do Planalto Atlântico variam entre 600 e mais de 1000 m (São Paulo, 1996), figuras 1.3 e 1.4, e há diversos acidentes topográficos na região, sendo os de maior destaque o Morro do Ouro e o relevo cárstico proeminente que gerou diversas cavernas.

O clima é subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013). É marcado por verões úmidos causados por massas tropicais instáveis, com taxa de precipitação relativamente abundante durante todos os meses do ano. Em respeito das temperaturas anuais, a média do mês mais frio possui cerca de 18° C, com temperatura mínima atingindo - 3° C, enquanto a temperatura média do mês mais quente encontra-se entre 22° C e 25° C.



Figura 1.3: Fotografia representativa do relevo de Mares de Morros com amplitude alta.

A vegetação predominante na região de Apiaí é de Mata Atlântica, sendo o local com maior remanescente contínuo deste bioma atualmente. Foram criadas diversas Unidades de Conservação de flora e fauna na região, dentre elas se enquadram o Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira (PETAR) e o Parque Natural Municipal Morro do Ouro, ambos aos arredores de Apiaí (São Paulo, 2014).

Do ponto de vista hidrológico, a região se insere no interflúvio entre a Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e a Bacia Hidrográfica do Paranapanema. O rio Ribeira de Iguape é o principal, sendo seus afluentes os rios Ponta Grossa, Itariri, Uma da Aldeia, Turvo, Jacupiranga, Pardo, São Lourenço e Juquiá (Prefeitura De Apiaí, 2010). A área de estudo está integrada na região do Baixo Ribeira de Iguape, sendo as principais drenagens correspondentes

o Ribeirão do Frio ou da Usina e os córregos Campo Bonito, Estiva, Água Grande e Roseira.

Social-economicamente, a região do Vale do Ribeira se contrasta com o restante do estado de São Paulo. Enquanto a taxa de urbanização estadual é 96%, o Vale possui uma taxa de 69%. O Índice de Desenvolvimento Humano também se encontra abaixo da média, com 0,695, enquanto o restante do estado possui 0,783. Economicamente, a região se baseia em extrativismo, representado pela agricultura de banana, chá, palmito e pupunha, e pela mineração de calcário e areia. O setor de serviços é responsável por 65,5% do valor total regional, a agropecuária por 17,9% e a indústria, 16,7% (São Paulo, 2014).

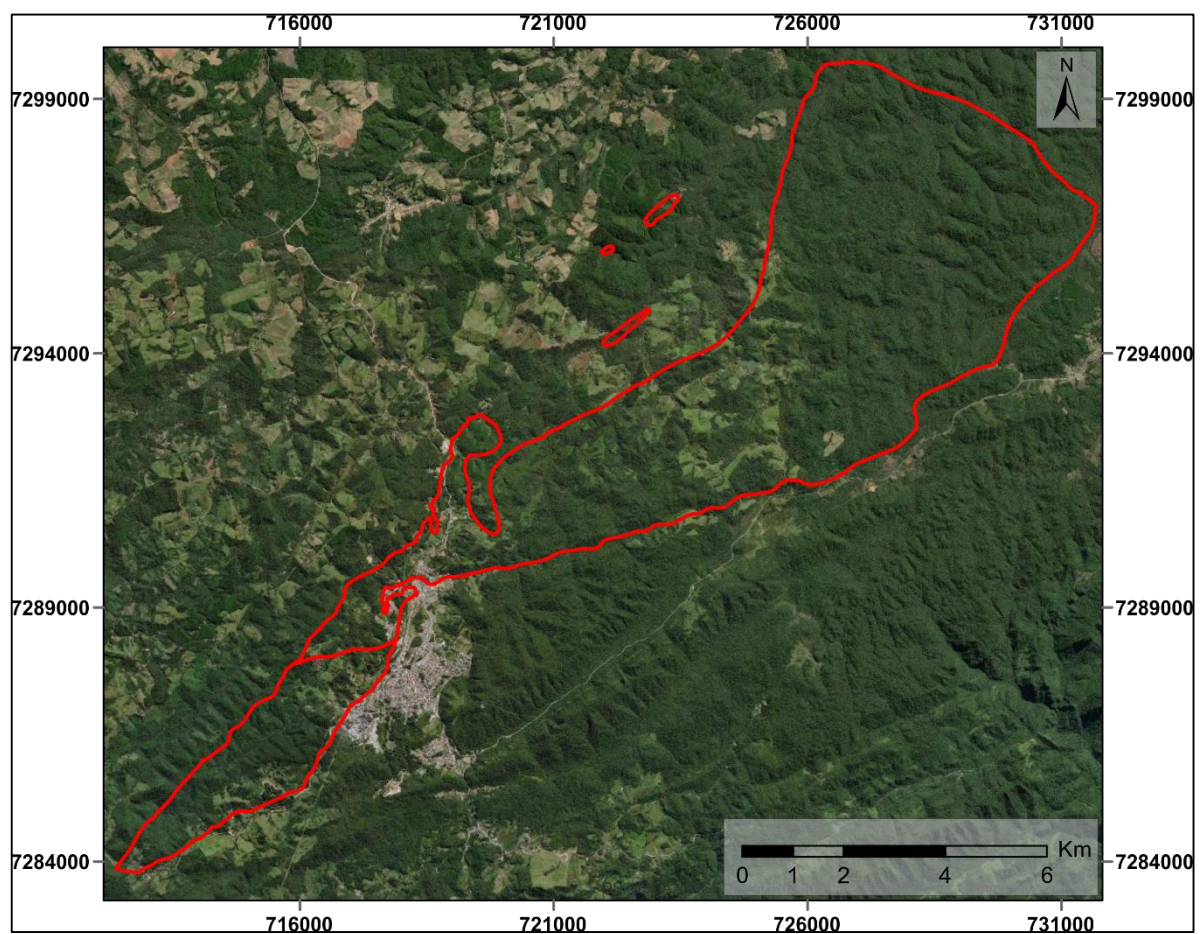


Figura 1.4: Imagem de satélite retirada de ArcMap em 02 de agosto de 2019. Em vermelho destacam-se os limites do *stock*.

1.5 MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

As atividades realizadas no decorrer deste trabalho dividem-se em quatro fases: I) Atividades preparatórias, com levantamento bibliográfico, fotointerpretação preliminar da área e confecção de mapas-base; II) Trabalho de campo, com mapeamento geológico e coleta de amostras do granitoide para análises geoquímicas; III) Laboratorial, na qual realizaram-se descrições meso e microscópicas das amostras coletadas e análises geoquímicas; e IV) De

escritório, na qual houve a compilação e interpretação de todas as informações previamente adquiridas e confecção do mapa final simultaneamente à monografia.

1.5.1 Fase I: atividades preparatórias

Esta fase consistiu em três diferentes atividades: revisão bibliográfica da área e do Granito Apiaí, seguida pela interpretação de fotografias aéreas juntamente à atualização das bases topográficas, e confecção de mapas-base.

Inicialmente, realizou-se o levantamento e a leitura da bibliografia existente acerca da geologia regional e do *stock*, com objetivo de se compreender melhor o contexto geológico da região e local, bem como o corpo magmático em questão. Tal etapa foi possível a partir da análise de diferentes artigos, dissertações de mestrado e teses de doutorado presentes em diferentes bancos de dados disponibilizados pela *internet*, e da compilação de diferentes mapas regionais do Projeto de Mapeamento Apiaí, entre os anos 2014 e 2018, presentes no acervo da UNESP.

Após isso, as bases topográficas da área do projeto, Apiaí (SG-22-X-B-V-1) (IBGE, 1987), Araçáiba (SG-22-X-B-II-3) (IBGE, 1975) e Mina do Espírito Santo (SG-22-X-B-II-4) (IBGE, 1974), em escala 1:50.000 e publicadas pela Superintendência de Cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, foram atualizadas.

As bases topográficas foram adaptadas da escala 1:50.000 para escala 1:25.000 no *software* ArcGIS (ESRI, 2011), com a atualização e detalhamento da rede de drenagem e vias de acesso com auxílio de informações complementares adaptadas do Google Earth.

Concomitante à atividade, foi realizada a fotointerpretação preliminar de imagens aéreas em folhas de papel vegetal fixadas sobre tais fotografias. Foram obtidas a partir de Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A., no ano de 1962, para o projeto de cobertura aerofotogramétrica do Estado de São Paulo, e adquiridas por meio do Instituto Agrônomo da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo.

A fotointerpretação preliminar, conforme Soares & Fiori (1976), é de suma importância para o mapeamento geológico. De acordo com os autores, trata-se de um documento-base com informações geológicas interpretadas a partir das quais é possível inferir diversas características físicas do terreno. Durante a fotointerpretação, realizou-se a síntese das características do terreno, como a densidade de elementos de relevo e suas formas, dentre outras, para caracterizar as diferentes características da área, como rugosidade, textura, aspectos de drenagem, padrões de juntas e aspectos morfoestruturais.

Com isso, classificaram-se diferentes Zonas Homólogas que foram transferidas para a

base topográfica digitalizada e atualizada na forma de um Mapa Fotolitológico Preliminar, crucial no decorrer da etapa de campo por auxiliar na inferência de possíveis contatos entre o granito e suas rochas encaixantes, e também nos limites entre as diferentes fácies que o compõem.

Concluiu-se essa etapa com a determinação de locais interessantes a serem analisados durante a etapa de campo e integração de todas as informações obtidas durante essa fase. O produto final foi um mapa com escala 1:25.000, georreferenciado de acordo com o sistema de coordenadas cartesianas Universal Transversa de Mercator (UTM), *datum* SIRGAS 2000, zona 22 S, de declinação magnética $-20^{\circ}14'$.

1.5.2 Fase II: trabalho de campo

A segunda fase ocorreu entre os dias 15 e 17 de julho de 2019, com hospedagem no Centro Integrado de Estudos Multidisciplinares de Apiaí (CIEM/CPRM), sito à avenida Iporanga, 728, Bairro Palmital, Apiaí-SP.

Durante essa etapa, realizou-se coleta de dados para o mapeamento das diferentes fácies do Granito Apiaí pelo método do caminhamento. Essa atividade contou com descrição detalhada das diferentes características do corpo magmático, aferição de medidas estruturais, registro fotográfico, coleta de amostras, identificação ou interpretação de limites entre as unidades estratigráficas, e a inferência de deformações a partir das estruturas descritas.

A localização dos pontos descritos foi obtida por meio do receptor GPS do celular e armazenadas pelo aplicativo *FieldMove Clino*. A necessidade de criação de pontos era avaliada em campo conforme três critérios principais: a ocorrência de afloramentos, a distância entre pontos próximos, e a continuidade de uma fácies. As medidas estruturais foram aferidas com a bússola *Clar*, e as fotografias foram registradas pela câmera do celular ou por uma câmera Nikon semiprofissional. As amostras coletadas foram sistematicamente identificadas com fita crepe e armazenadas em embalagens plásticas.

No período noturno, atualizava-se o banco de dados do trabalho com as novas informações de pontos, estruturais, geológicas e foto interpretativas. Com isso, também havia a discussão das informações coletadas e definia-se o traçado a ser percorrido no dia seguinte. Durante o fim desta atividade, selecionou-se amostras para confecção de lâminas delgadas e análises litogeoquímicas.

1.5.3 Fase III: laboratorial

Esta etapa se iniciou com o tratamento prévio das nove amostras selecionadas à

geoquímica para a retirada de porções intemperizadas, prejudiciais às análises, por meio de uma serra mecanizada nas instalações do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Instituição de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Rio Claro.

Logo em seguida, cominuiu-se as amostras utilizando um martelo e uma pequena bigorna como suporte. O material cominuído foi direcionado para o moinho oscilante em painéis de aço cromo e carboneto de tungstênio, também do DPM/UNESP. Os particulados foram pulverizados durante 30 segundos, embalados em pequenas embalagens plásticas *Zip Lock*, e devidamente identificados. Os fragmentos remanescentes das amostras foram preservados para laminação.

A análise dos elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) foi realizada pela fusão e leitura por Fluorescência de Raios X pelo Laboratório de Geoquímica e de Fluorescência de Raios X do DPM/IGCE – UNESP. Os primeiros foram determinados por fusão em meio borato, e os segundos por pastilha prensada.

As amostras para análise dos elementos-traço (Ba, Co, Cs, Cr, Cu, Ni, Pb, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr) e terras-raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Y, Yb e Lu), foram enviadas ao laboratório da empresa SGS GEOSOL em Vespasiano – MG. A análise foi realizada pelo Espectrômetro de Massa em Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS), após fusão utilizando metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico. A interpretação dos dados geoquímicos e elaboração de diagramas foi realizada por meio dos *softwares* Microsoft Office Excel 365 e Petrograph.

Concomitante ao envio das amostras, foram confeccionadas nove lâminas delgadas, referentes às amostras enviadas para análise química, pelo Laboratório de Preparação de Amostras e Laminação do DPM/IGCE – UNESP. Após a confecção das lâminas, descreveu-se as feições meso e microscópica das rochas para determinar suas características estruturais, texturais, de coloração, granulação e composição mineralógica. Além de se detalhar as fácies do *stock*, buscou-se associar tais características às análises químicas, visto que as composições mineralógicas e químicas de uma rocha necessitam estar em harmonia. Nove lâminas descritas eram referentes às amostras de geoquímica, com acréscimo de duas lâminas de projetos de mapeamento anteriores.

Em escala mesoscópica determinaram-se: (I) a coloração das fácies, pela análise da cor predominante dos minerais presentes na rocha, desconsiderando as cores oriundas de alterações supérgenas; (II) índice de coloração, pela quantificação volumétrica modal de minerais máficos presentes; (III) granulação, a partir do tamanho absoluto e relativo dos minerais constituintes;

(IV) estrutura e textura pelo arranjo dos minerais presentes, presença ou ausência de bandamento, e orientação de cristais – seja por fluxo magmático ou deformação superimposta; e (V) presença de enclaves, fragmentos estranhos à rocha, com base na classificação de Didier & Barbarin (1991).

A classificação petrográfica tem por base os critérios de Streckeisen (1976) e Le Maitre (2002) e a abreviação dos nomes para minerais formadores de rochas foi de acordo com Whitney & Evans (2010), exposta na tabela 1.7. A partir das características meso e microscópicas dos minerais constituintes das diferentes rochas, foram determinadas relações de contato, textura, ordem de cristalização, e feições microestruturais das fácies do granito.

Os fenocristais foram classificados de acordo com os seguintes critérios: (I) coloração; (II) forma: anhedral, subhedral ou euhedral; (III) dimensão: tamanho absoluto das dimensões dos fenocristais; e (IV) variação dimensional: se há apenas dois (hiatal) ou mais (serial) tamanhos diferentes de fenocristais na rocha.

Em escala microscópica, houve descrição de lâminas através do microscópio binocular de luz polarizada ZEISS, Axioskop 40, com objetivas de aumento 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100, do DPM/IGCE. Foram realizadas fotomicrografias pela máquina Canon EOS 5D Mark II, com aumento de 4 vezes, acoplada ao microscópio. Para a identificação dos minerais presentes utilizou-se a lista de abreviações recomendadas pela IUGS (Siivola & Schmid, 2007).

Foram descritas (I) composição mineralógica dos minerais constituintes da matriz e formadores de fenocristais; (II) estrutura e estrutura a partir das relações de contato entre os minerais, anisotropia ou isotropia pela orientação da matriz ou dos fenocristais, presença de zoneamento e/ou geminação em minerais, determinação em porcentagem volumétrica de cada mineral para definir a composição modal da rocha; (III) Forma geométrica dos cristais; (IV) arranjo – trama Os critérios adotados foram propostos pela IUGS (Streckeisen, 1973) e sintetizados nas tabelas 1.1 a 1.5.

Tabela 1.1: Índices de classificação por coloração para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1967).

Índice de cor (% volumétrica)	Classificação
< 5;	Hololeucocrática;
5 – 30;	Leucocrática;
30 – 60;	Mesocrática;
60 – 90;	Melanocrática;
> 90;	Ultramelanocrática;

Tabela 1.2: Parâmetros de classificação por granulação para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).

Tamanho Absoluto				
Granulação	Fina: < 0,1 cm	Média: 0,1 a 1 cm	Grossa: 1 a 3 cm	Muito grossa: 3 a 10 cm.
Tamanho Relativo				
Granulação	Equigranular: grãos de tamanhos iguais ou com mínima variação;	Inequigranular: Variação de tamanho entre grãos minerais sem destaque dos maiores em relação aos menores.	Porfirítica: Presença de pequenos fenocristais em uma matriz de granulação fina.	Megaporfirítica: Coexistência entre fenocristais inseridos em uma matriz de granulação média.

Tabela 1.3: Parâmetros de classificação por cristalinidade para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).

Grau de Cristalinidade	
Holocristalina	Rocha constituída somente por material cristalino;
Hipocristalina	Rocha constituída predominantemente por material cristalino;
Hipovítrea	Rocha constituída predominantemente por material vítreo;
Vítrea.	Rocha constituída somente por material vítreo.

Tabela 1.4: Parâmetros de classificação por granulação para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).

Grau de Visibilidade	
Fanerítica	Rocha constituída integralmente por material cristalino identificável à vista desarmada;
Subfanerítica	Rocha constituída parcialmente por material cristalino identificável à vista desarmada;
Afanítica.	Rocha desprovida de material cristalino identificável à vista desarmada.

Tabela 1.5: Parâmetros de classificação pela forma geométrica de cristais para rochas ígneas. Adaptado de Streckeisen (1973).

Forma Geométrica dos Cristais	
Idiomórfica	Predomínio de minerais euhedrais (acessórios, carbonatos e olivinas);
Hipidiomórfica	Predomínio de minerais subhedrais (feldspatos, piroxênios, anfibólios e micas);
Alotriomórfica	Predomínio de minerais com formato aleatório (quartzo e feldspatoides).

Tabela 1.6: Abreviação para cada mineral de acordo com Whitney & Evans (2010).

Abreviação	Mineral
Ab	Albita
Aln	Allanita

Abreviação	Mineral
Ap	Apatita
Bt	Biotita
Chl	Clorita
Ep	Epidoto
Hbl	Hornblenda
Mc	Microclínio
Opq	Opaco
Pl	Plagioclásio (Oligoclásio)
Qz	Quartzo
Ttn	Titanita
Zrn	Zircão

1.5.4 Fase IV: elaboração da monografia

A última fase correspondeu à compilação e análise final dos dados coletados, confecção do mapa final e elaboração da monografia. Gerou-se um banco digital de dados, dois mapas – um geológico e outro de pontos visitados, ambos em escala 1:25.000, e a presente monografia.

O banco de dados contém todas as informações obtidas nas etapas de trabalho de campo e laboratorial, e foi elaborada no *software* Microsoft Excel – 2016. O mapa faciológico do granito com as unidades litoestratigráficas encaixantes e o mapa de pontos foram confeccionados com o *software* ArcGis 10.4, e organizados com o *software* CorelDRAW X8. A presente monografia consiste na integralização, interpretação e discussão de todos resultados obtidos durante as etapas de estudo do Granito Apiaí.

2 ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO TECTÔNICO

A área de estudo está localizada no Terreno Apiaí, porção centro-sul do Cinturão Orogênico Ribeira, setor central da Província Mantiqueira; compartimento geológico-estrutural da Plataforma Sul-Americana correspondente ao Sistema Orogênico Mantiqueira, de acordo com a definição de Almeida et al. (1977), apresentada na figura 2.1.

A compartimentação inicial do Brasil em províncias estruturais proposta por Almeida et al. (1977) foi feita em dez unidades: três correspondentes às grandes bacias paleozoicas do Parnaíba, do Paraná e do Amazonas; três correspondentes aos sistemas orogênicos Borborema, Tocantins e Mantiqueira; três correspondentes a crátons; e um correspondente à margem continental.

A Província Mantiqueira é composta por rochas que constituíram uma grande faixa móvel durante o Neoproterozoico e por terrenos mais antigos preservados, que contrastam com as características das grandes unidades adjacentes (Almeida & Hasui, 1984). Sua extensão é de aproximadamente 3.000 km ao longo da margem leste do continente sul-americano, do Uruguai ao sul do estado da Bahia, com espessuras entre 200 km em sua porção meridional e 600 km na porção setentrional (Delgado et al., 2003). Seus limites são bem definidos e geralmente correspondem a zonas de falha e discordâncias. A oeste, faz contatos com o Cráton do São Francisco, com o limite sul da Província Tocantins e com a Bacia do Paraná (a qual o recobre em locais específicos). A leste, é limitado pela Margem Continental Leste, tanto em superfície quanto submerso (Hasui, 2012).

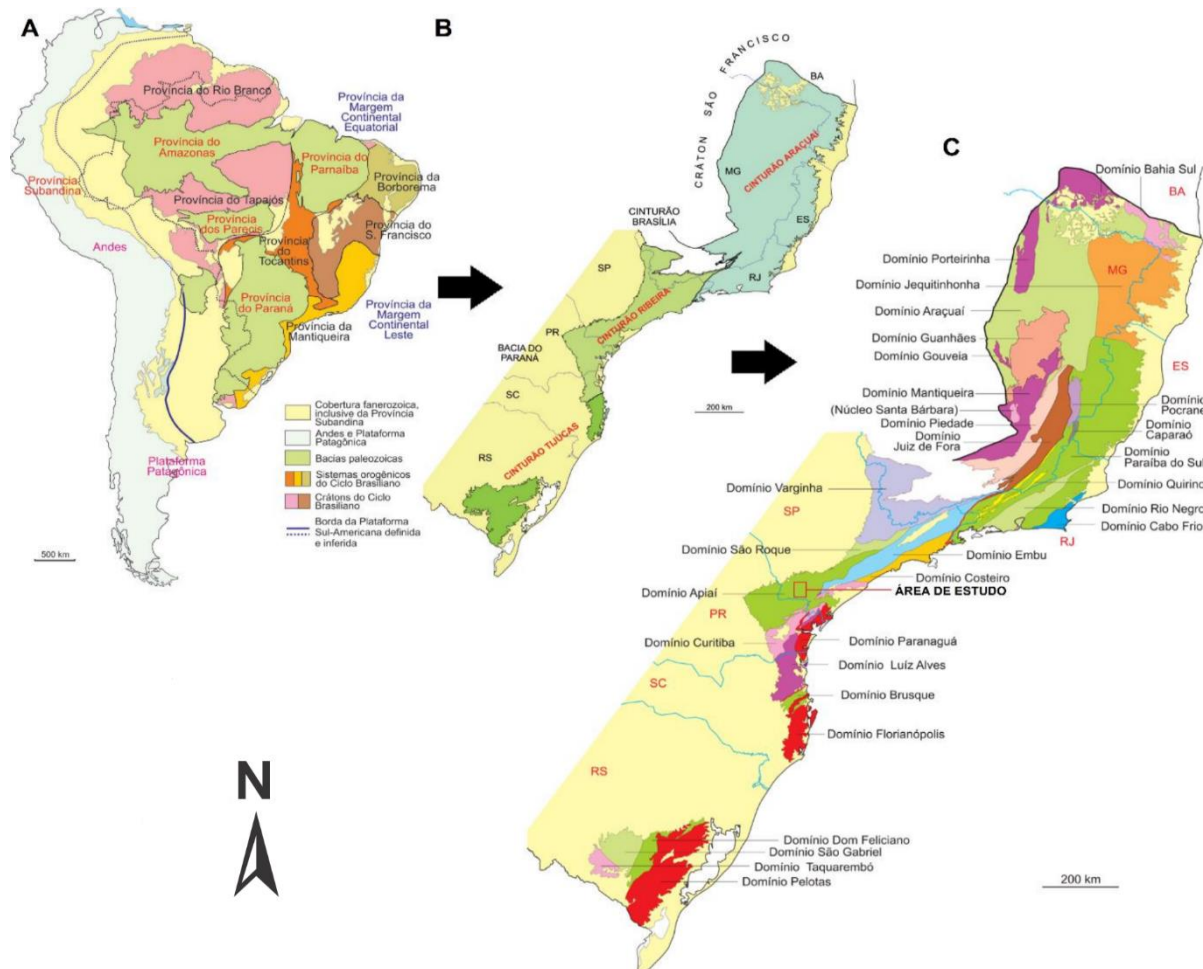


Figura 2.1: A) Mapa de Províncias Estruturais da Plataforma Sul-Americana, com a Província Mantiqueira em amarelo escuro; B) Compartimentação da Província Mantiqueira, com os cinturões orogênicos Araçuaí, Ribeira e Tijuca em tons de verde e coberturas fanerozoicas. Adaptado de Hasui (2012). C) Domínios que constituem os diferentes cinturões orogênicos da Província Mantiqueira, com destaque em vermelho para a área de estudo.

Do ponto de vista estrutural, a Província foi dividida em três setores: Setentrional, Central e Meridional, por Almeida & Hasui (1984). Esses setores são interpretados como

grandes cinturões orogênicos complexos, cuja gênese envolve mudanças de cenários tectônicos com processos diacrônicos e superposições (Hasui, 2010). Embora a divisão se mantenha, há divergências na literatura quanto a sua nomenclatura. Para Hasui (2012), o setor setentrional corresponde ao cinturão Araçuaí, o central, ao Ribeira, e o meridional, ao Tijucas (Figura 2.2). Nos trabalhos executados pela CPRM (Delgado et al., 2003 e Silva et al., 2014), o setor meridional é denominado como Cinturão Dom Feliciano. Neste trabalho, mantém-se a definição de acordo com Hasui (2012).

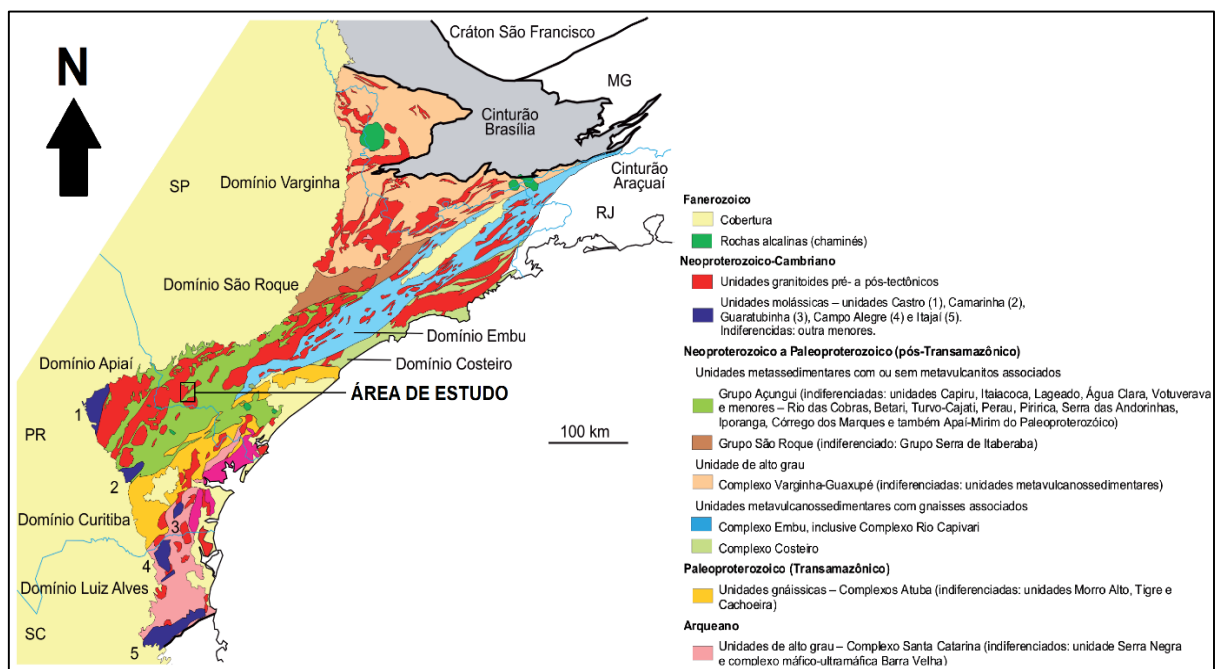


Figura 2.2: Unidades litostratigráficas do Cinturão Ribeira. Destaque para a área de estudo em preto e os limites estaduais em azul claro. Modificado de Hasui (2012)

O Cinturão Ribeira constituiu uma faixa móvel durante o Neoproterozoico (Almeida et al., 1981), na área de fechamento do paleoceanos Adamastor pela colisão entre os crátons do Paranapanema e São Francisco – Congo e os terrenos menores Apiaí, Juiz de Fora e Curitiba (Brito Neves et al., 2014). Esse cinturão consiste em um conjunto de afloramentos de rochas arqueanas a neoproterozoicas afetadas pelo Ciclo Brasileiro (Tupinambá et al., 2007), e estende-se desde a porção sudoeste do Rio de Janeiro, leste dos estados de São Paulo e Paraná, a nordeste de Santa Catarina. O Cinturão Ribeira é limitado a oeste pela Bacia do Paraná, a norte pelos cinturões Brasília e Araçuaí, a leste por depósitos cenozoicos e margem continental e a sul pelo Cinturão Tijucas.

A complexidade estrutural do Cinturão Ribeira pode ser resumida a quatro fases de deformação principais. As iniciais D_1+D_2 estão registradas por grandes zonas de cisalhamento com dois estilos: falhamentos inversos ou transpressivos destrais e metamorfismo associado (Heilbron et al., 1995). Isso indica uma provável obliquidade dos esforços em relação ao

desenvolvimento das zonas de cisalhamento (Heilbron, 1993). A tectônica compressiva é registrada na sobreposição dos terrenos de leste rumo a oeste/noroeste, indicando que os cavalgamentos ocorreram em direção ao Cráton do São Francisco. Há duas fases de deformação tardias, D₃ e D₄, que são caracterizadas por dobras abertas e apertadas, espacialmente ligadas a zonas de cisalhamento subverticais (Tupinambá et al., 2007).

A área de estudo ocorre no Domínio Apiaí, denominado Terreno Apiaí por Faleiros (2008), que, em conjunto com os Terrenos São Roque e Embu, constitui o Segmento Central da Província Mantiqueira (Heilbron et al., 2004).

Conforme Faleiros (2008), o terreno é constituído por rochas supracrustais metamorfisadas em condições de fácies xisto verde a anfibolito, consistindo de uma associação de terrenos tectono-metamórficos distintos, que datam do Meso ao Neoproterozoico, acrescidos como um terreno composto. Embora sua relação com os Orógenos Brasília e Ribeira ainda esteja em discussão – sendo integrado por alguns autores à borda da placa Paranapanema, portanto, relacionado à extremidade sul do Orógeno Ribeira – na maioria dos mapas regionais o terreno é integrado ao Orógeno Ribeira (Heilbron et al., 2004).

Segundo Heilbron et al. (2004), os limites dos Terrenos Apiaí-São Roque são dados por zonas de cisalhamento destrais: a norte, pela Zona de Cisalhamento Jundiuvira; e a sudeste, pelas zonas de cisalhamento de Lancinha (Figura 2.3).

2.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS E ESTRUTURAS REGIONAIS

2.2.1 Principais unidades litoestratigráficas

De acordo com Perrotta et al. (2005), litoestratigraficamente o Terreno Apiaí é constituído pelas unidades: Complexo Apiaí-Mirim, Supergrupo Açungui, Grupo São Roque, Grupo Itaiacoca, Formação Iporanga, magmatismos relacionados ao Orógeno Paranapiacaba, e pela Formação Samambaia. Na área de estudo há predominância de afloramentos das unidades metassedimentares do Supergrupo Açungui e expressivas ocorrências de magmatismo brasileiro (Faleiros et al., 2012).

O Complexo Apiaí-Mirim é composto por quatro unidades: Unidade Migmatítica, Unidade de Augen Gnaiss, Unidade Metaultramáfica e Unidade Metassedimentar (Perrotta et al., 2005). Na área, o embasamento Paleoproterozoico do Terreno Apiaí é representado por um ortogneiss peralcalino estateriano (Heilbron et al., 2004), descrito como um sienogranito deformado denominado Gnaiss Tigre. De ocorrência restrita a núcleos elipsoidais de três antiformes abertas principais do Anticlinório da Anta Gorda e recobertos pela Unidade

Quartzítica da Formação Perau (Faleiros et al., 2004), a rocha possui idade entre 1772 ± 10 Ma, obtida através de datações de U-Pb em zircões, assinatura geoquímica de granitos anorogênicos do tipo A, e resulta da ruptura do supercontinente Atlântica (Cury et al., 2002).

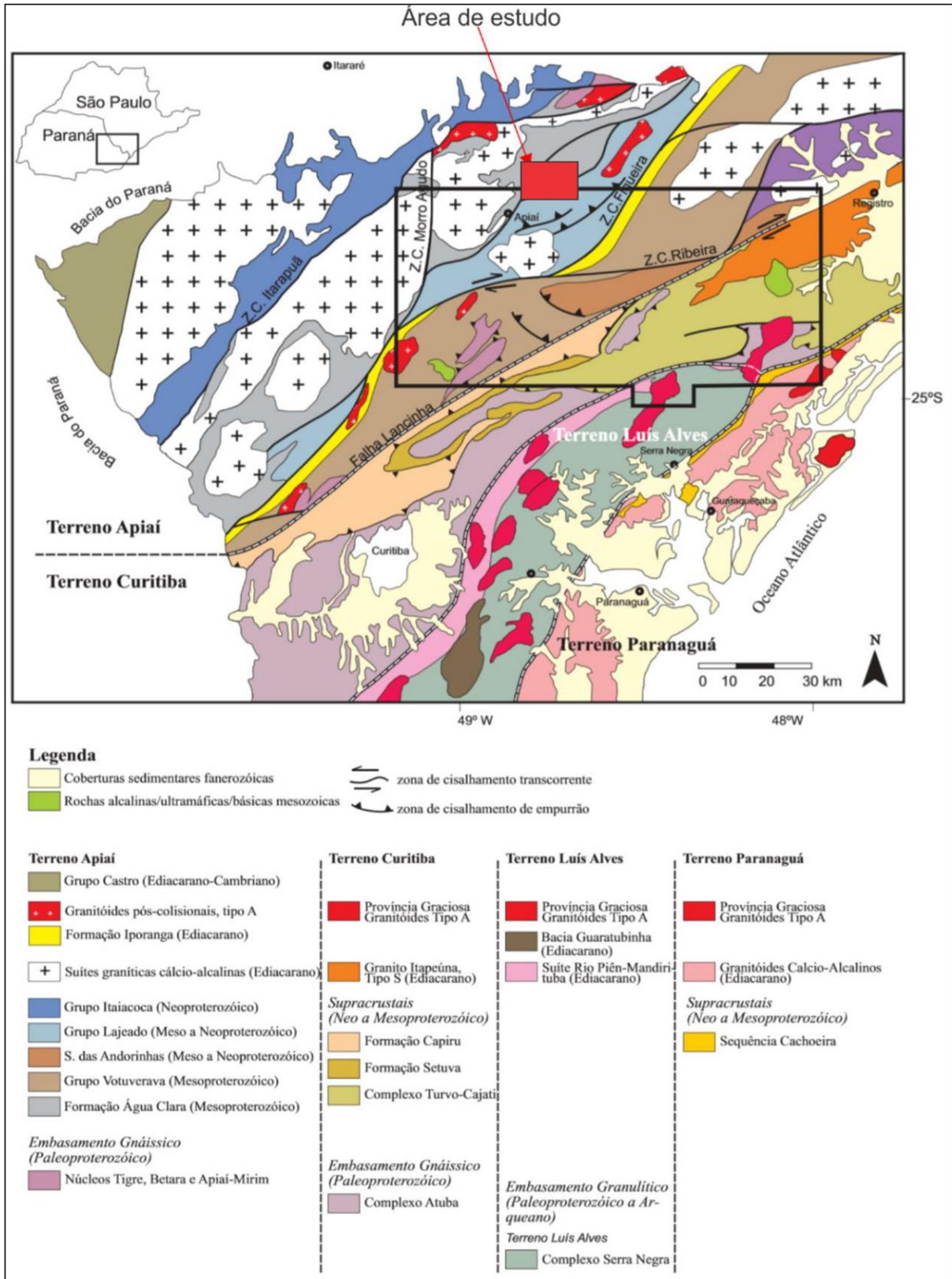


Figura 2.3: Mapa dos terrenos do Cinturão Ribeira Central, com destaque em vermelho para a área de estudo. Modificado de Faleiros (2008).

Sobre o embasamento ocorrem as sequências metassedimentares do Supergrupo Açungui, dividido por Faleiros (2008) em seis unidades litotectônicas principais: Formação Água Clara, Grupo Votuverava, Sequência Serra das Andorinhas, Subgrupo Lageado, Grupo Itaiacoca, Formação Iporanga, da base ao topo. Contrastando com Perrotta et al. (2005), Faleiros (2008) considera as unidades Grupo Itaiacoca e Formação Iporanga como parte do Supergrupo Açungui.

Faleiros et al. (2012), no entanto, divide litoestratigicamente o Supergrupo Açungui em “*Formação Água Clara (Calimiano), Grupo Votuverava (Calimiano), Sequência Serra das Andorinhas (Calimiano), e Grupo Lageado (Ectasiano a Toniano)*”.

Conforme Faleiros et al. (2012), a Formação Água Clara foi definida originalmente por Marini et al. (1967), e aflora na Folha Apiaí como uma faixa alongada de direção NE/SW, informalmente dividida em uma unidade de xistos basal e uma carbonáticas no topo. As unidades informais são constituídas pelos mesmos litotipos, porém diferenciadas pela predominância de rochas siliciclásticas ou calciossilicáticas.

A unidade xistosa é composta predominantemente por “*intercalações entre camadas de mica xisto, quartzo-mica xisto e xistos carbonáticos, além de intercalações subordinadas de camadas de xisto grafitoso, granada-biotita xisto e quartzito*”, enquanto a carbonáticas é constituída principalmente por “*rochas calciossilicáticas e mármore, com intercalações subordinadas de biotita xisto, quartzito, metabasitos*” e anfibolitos (Faleiros et al., 2012).

À unidade seguinte, Bigarella & Salamuni (1958a) atribuíram inicialmente a classificação de Formação e, posteriormente, Série Votuverava (1958b). A unidade foi redefinida por Campanha et al. (1995) como Grupo Votuverava, definição corroborada por Perrotta (1996). Faleiros et al. (2012), considera o Grupo Votuverava como “*uma sequência essencialmente vulcanossedimentar, com magmatismo básico expressivo, representado na forma de intercalações lenticulares, concordantes com a estrutura primária, de metabasitos (anfíbólio xisto/fels, anfibolito)*” e, Perrotta (1996), mantém a divisão do grupo em cinco formações na região: Perau, Rubuquara, Nhunguara, Piririca e Ribeirão das Pedras.

Sobre o Grupo Votuverava ocorre a Sequência Serra das Andorinhas, definida inicialmente por Campanha et al. (1985, *apud* Faleiros et al., 2012) e dividida por Faleiros et al. (2012) em uma unidade basal siliciclástica e uma carbonática. A unidade basal – Unidade Metapelítica – é formada por filitos e xistos carbonáticos intercalados com quartzo xistos e quartzitos, com xistosidade bem desenvolvida e alternância de leitos ricos em quartzo e em micas; e a Unidade Carbonática, também denominada Mármore da Tapagem, é constituída por mármore dolomíticos finos, brancos e isotrópicos (Faleiros et al., 2012).

O Subgrupo Lajeado (conforme definido por Campanha et al., 1985) ou Grupo Lajeado (Faleiros, 2008), é composto por espessos pacotes carbonáticos e siliciclásticos, dividido em sete unidades nas quais alternam-se pacotes siliciclásticos e carbonáticos divididos em formações: Betari, Bairro da Serra, Água Suja, Mina de Furnas, Serra da Boa Vista, Passa Vinte e Gortuba. Conforme Campanha (1991), a Formação Iporanga é composta por rochas metassedimentares e caracterizada pela ocorrência de níveis e lentes de metabrechas e metaconglomerados polimíticos, com matriz pelítica, em meio a ardósias e filitos (Faleiros et al., 2012).

A área registra intenso magmatismo neoproterozoico de diferentes naturezas. O Gabro Apiaí, de idade Toniana (Oliveira et al., 2002; Campanha et al., 2015), apresenta caráter máfico. Os principais representantes desse magmatismo, entretanto, apresentam composição que varia entre sienogranitos e monzogranitos, que são os batólitos Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes. Os demais corpos são menores, indistintos quimicamente, ocorrendo como diques, apófises, *stocks* e batólitos (Figuras 2.4 e 2.5). A colocação dessas rochas graníticas possui caráter predominantemente intrusivo ou tectônico (Hasui, 2012).

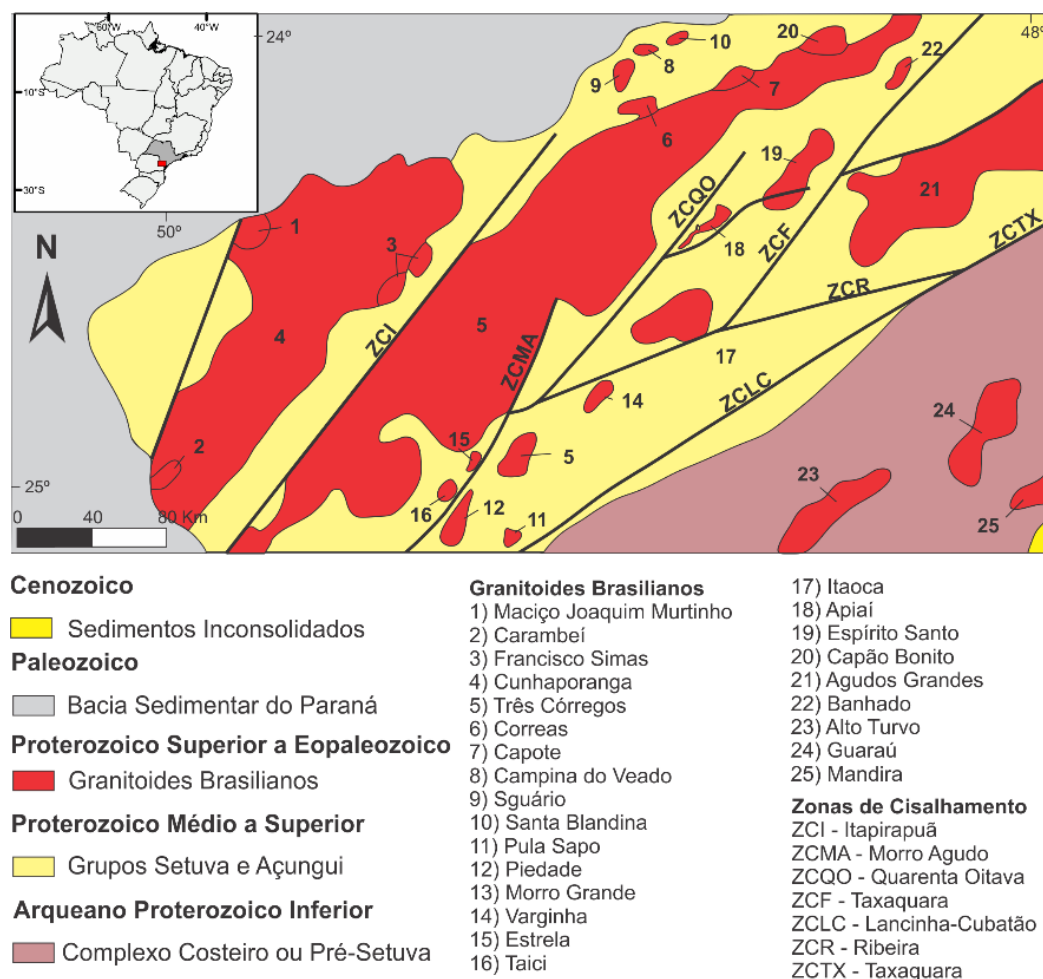


Figura 2.4: Localização dos corpos graníticos constituintes do Terreno Apiaí. Adaptado de Mello (1995).

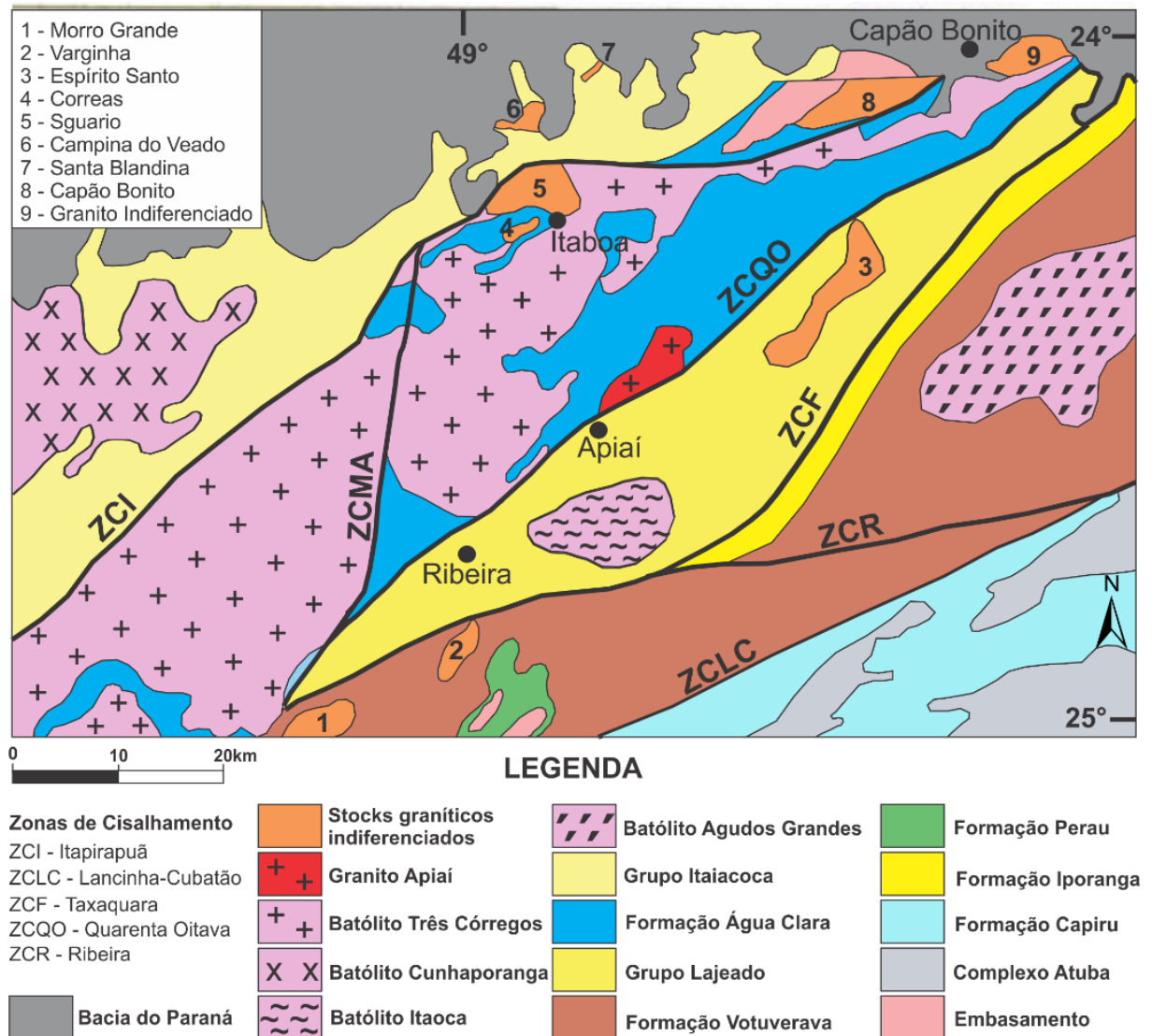


Figura 2.5: Mapa Geológico do Terreno Apiaí com os principais corpos graníticos e o Granito Apiaí destacado em vermelho na porção central. Adaptado de Prazeres Filho (2005).

Tais granitos formam uma sequência evolutiva intermediária a ácida, cálcio-alcalina de médio a alto-K, do tipo I Cordilheirano e Caledoniano, típicos de ambientes compressoriais de margens continentais ativas (Wernick et al., 1990; Gimenez Filho, 1993, 2000; REIS Neto, 1994; Guimarães, 2000; Prazeres Filho, 2000, 2001). Também ocorrem, em apófises e stocks intrusivos, tanto em rochas graníticas quanto metassedimentares, granitoides cálcio-alcalinos de alto-K e de afinidade alcalina, em ambientes tardi a pós-orogênico entre 590 e 560 Ma. (Gimenez Filho, 1993; Guimarães & Ulbrich, 1999; Guimarães, 2000; Prazeres Filho, 2000; Picanço, 2000; Goraieb, 2001; Leite et al., 1993).

2.2.2 Estruturas regionais

Quanto aos processos deformacionais e metamórficos no Terreno Apiaí, os sistemas de empurrões em domínios menos deformados e metamorfisados são precoces e estão associados

à fase de dobramento D_1 , que dobrou o acamamento sedimentar, sendo a foliação S_1 resultante dessa primeira fase de dobramento (Campanha, 1991, 2002; Campanha & Sadowski, 1999, 2002; Faleiros, 2003). As deformações D_1 e D_2 são representadas por foliações de direção NE, com baixo ângulo de mergulho e são associadas à amalgamação que gerou o supercontinente Gondwana.

A foliação milonítica presente na Sequência Serra das Andorinhas e Grupo Votuverava são classificadas como pré- S_3 , quando fora das zonas de cisalhamento, e como S_3 , quando diretamente sob o efeito dessas. A fase que gerou a deformação D_3 foi a colagem do supercontinente Gondwana, e as foliações principais observáveis são oriundas dessa fase, representadas por médio a alto ângulo de mergulho com direção NE/SW. A xistosidade milonítica encontra-se dobrada, representada pela foliação S_4 , resultante a fase deformacional D_4 , que superpôs as zonas de cisalhamento transcorrentes (Faleiros, 2008).

2.3 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

O Orógeno, Cinturão ou Faixa de Dobramentos Ribeira é uma faixa móvel neoproterozoicas de direção NE/SW a NNE/SSW, que se estende ao longo da costa sul e sudeste brasileira (Santos et al., 2014). De acordo com Trouw et al. (2000), é um cinturão orogênico complexo, formado pelo fechamento do Oceano Adamastor entre o Ediacarano e o Ordoviciano durante a Orogenia Brasiliana, que constitui uma parte do supercontinente Gondwana. Entretanto, apesar de a Orogenia Brasiliana ser considerada como o evento principal de formação do Orógeno Ribeira, a evolução da área mapeada começa antes disso, com a formação das unidades basais da área mapeada: o Terreno Apiaí.

Há diferentes interpretações para a evolução do Terreno Apiaí quanto à idade de sua formação, evolução e cenário tectônico de seus componentes. Uma das principais hipóteses é a existência de compartimentos tectônicos de diferentes litotipos e idades limitados por zonas de cisalhamento (Fuck et al., 1967; Prazeres Filho et al., 2003a, b, 2005; Cury et al., 2002, 2003). A evolução tectônica neoproterozoicas do terreno é interpretada como o resultado da colisão entre a microplaca de Curitiba e os crátons do Paranapanema-Rio de La Plata durante a formação do Gondwana Ocidental (Basei et al., 1992, 2008).

Os primeiros trabalhos a respeito da evolução do Terreno Apiaí reconheciam a ele uma evolução policíclica. Após um regime extensional durante o período Estateriano – que culminou na fragmentação do supercontinente Columbia –, foram estabelecidas na região grandes bacias durante o Calimiano, que originaram as formações Água Clara e Betari, e o Grupo Votuverava (Campanha & Sadowski, 1999).

O Grupo Lajeado desenvolveu-se no final do Mesoproterozoico e, durante o Toniano, se formaram grandes margens passivas com presença de plataformas carbonáticas que originaram o Grupo Itaiacoca, especificamente durante a transição estateniana-toniana. Posteriormente, ocorreu o fechamento da bacia oceânica, com a geração do supercontinente Gondwana, processo que envolveu a subducção e a geração de arcos de ilha a norte do Cinturão Itaiacoca.

Durante o Criogeniano, a região se comportou como um arco magmático do tipo Cordilheirano. Possivelmente a subducção foi responsável pelo metamorfismo e migmatização das rochas supra e infracrustais que constituem o Terreno Apiaí, e pelo plutonismo cálcio-alcalino da região.

Entre 630 e 580 Ma, formaram-se a parte superior do Grupo Itaiacoca e a Formação Iporanga (Faleiros et al., 2011). Devido à colisão que fechou o paleooceano, geraram-se um cisalhamento dextral lateral denominado como Sistema de Falhas Cubatão, e bacias de *pull-apart* sin- cratônicas (Campanha & Sadoswki, 1999). Após a orogênese, houve o magmatismo granítico responsável pelo *emplacement* dos batólitos Três Córregos, Cunhaporanga e Agudos Grandes, e dos *stocks* graníticos tardi a pós-tectônicos com idade entre 580 e 560 Ma (Basei et al., 2010).

De maneira simplificada, embora Campos Neto et al. (1995) e Heilbron et al. (2003) tenham proposto a ocorrência de múltiplos eventos colisionais envolvendo microplacas distintas durante a Orogenia Brasileira, hipótese sustentada pela integração de dados geocronológicos e geoquímicos apresentada por Santos et al. (2014), a evolução da área pode ser compreendida por meio do modelo de abertura e fechamento de bacias oceânicas proposto por John Tuzo Wilson (Figura 2.6).

Durante a abertura de oceanos, ilustrada pelos estágios de divergência na figura 2.6, uma massa tectonicamente estável é perturbada por uma pluma mantélica e começa a se fragmentar, iniciando um regime tectônico extensional. A extensão gera uma calha tectônica, inicialmente estreita e profunda com alta taxa de subsidência mecânica, onde há entrada de corpo d'água e deposição de sedimentos siliciclásticos continentais.

O rifte gradativamente evolui para uma bacia extensa e rasa com baixa taxa de subsidência, controlada pelo aumento da densidade da rocha em função de seu resfriamento, onde precipitam inicialmente sedimentos químicos, transicionando para plataformas carbonáticas próximas às margens. Ocorre, então, o estágio de fechamento de bacias oceânicas, representado na figura 2.7 pelos estágios de convergência, que correspondem, na área, ao início da Orogenia Brasileira.

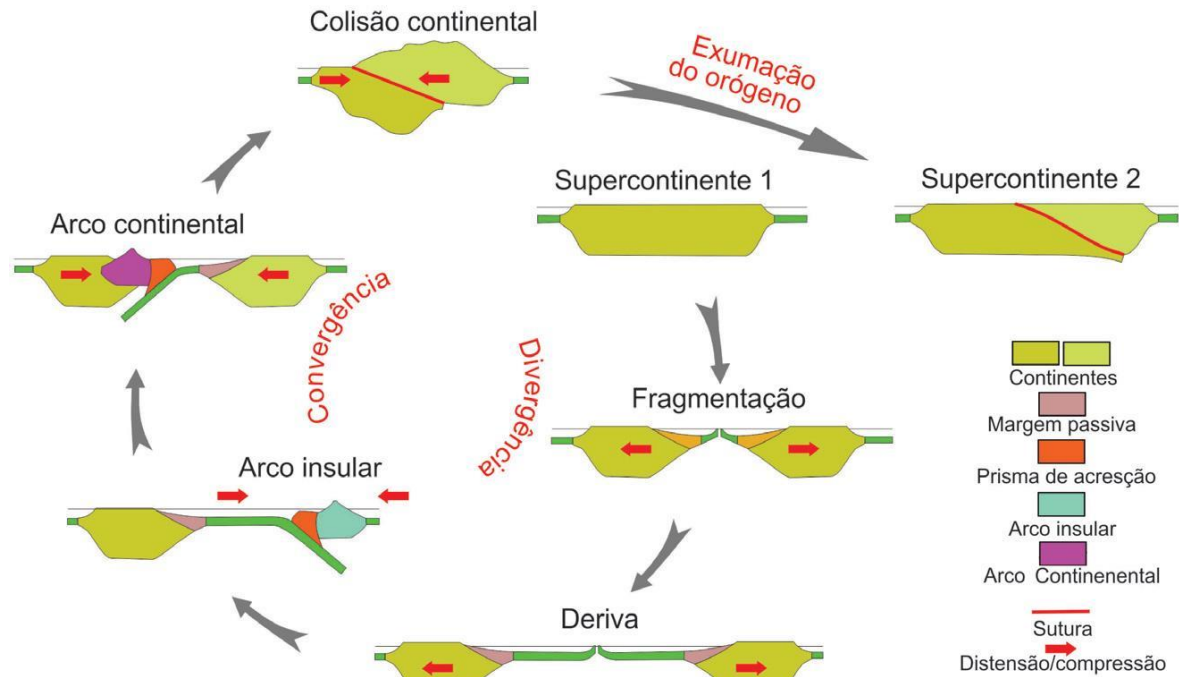


Figura 2.6: Modelo de abertura e fechamento de bacias oceânicas segundo a proposta de John T. Wilson. Adaptado de Hasui (2012).

Baseando-se na proposta de Campanha & Sadowski (1999), essa lógica pode ser apresentada na figura 2.7, sendo este esquema um dos diversos modelos evolutivos relacionados à geodinâmica do Terreno Apiaí.

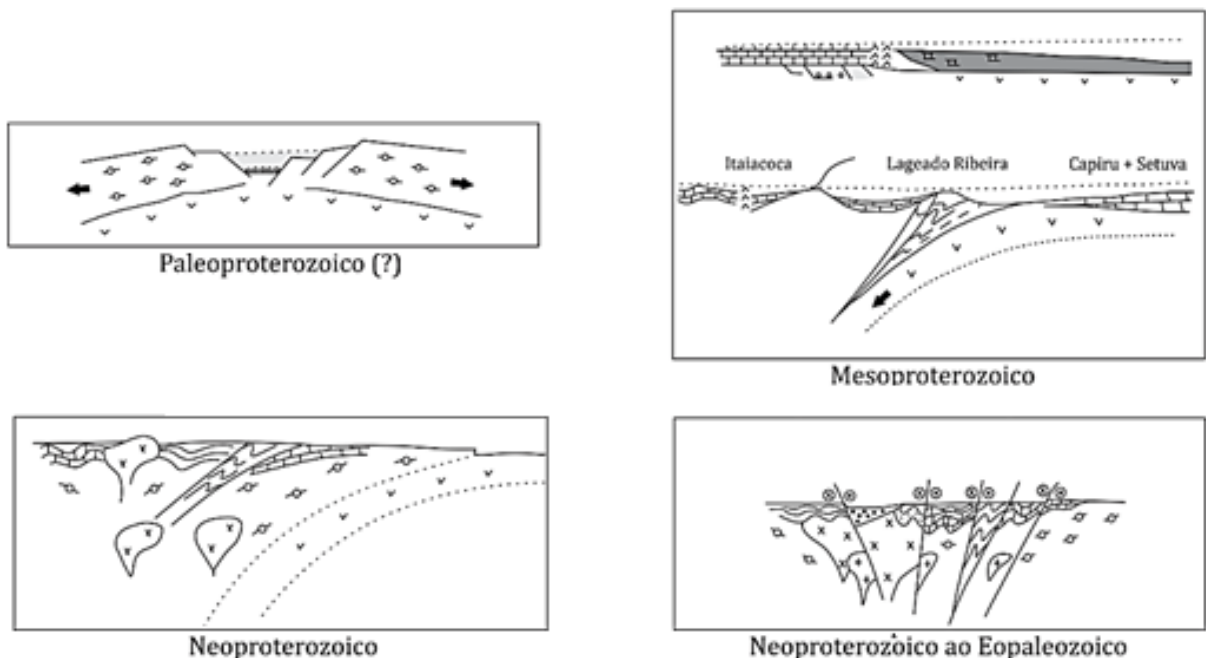


Figura 2.7: Evolução geodinâmica hipotética do Terreno Apiaí. Adaptado de Campanha; Sadowski (1999).

Resumidamente, a princípio houve um rifteamento continental seguido pela criação de uma margem passiva na qual sedimentaram-se os carbonatos da Formação Água Clara. Houve,

então, tectonismo de subducção, fechamento do mar Apiaí e a colisão com o Cráton Luís Alves. Posteriormente, a zona de subducção migrou para leste, onde se desenvolveu um sistema de arco continental magmático, no qual ocorreram magmatismos cálcio-alcálicos sin a tardi-colisionais. Por fim, ocorreram movimentos transcorrentes regionais, desenvolvimento de bacias do tipo *pull-apart* e intrusões graníticas pós-colisionais.

3 GEOLOGIA LOCAL

Na área estudada há dois domínios litológicos principais, o primeiro constituído por rochas graníticas do Granito Apiaí e o segundo por rochas metassedimentares nas quais o corpo se encaixa. Há, também, presença subordinada de intrusões associadas à formação Serra Geral, em diques de composição gabróide com orientação predominante NW-SE, discordando abruptamente dos litotipos adjacentes.

O granitoide possui 65 Km² de área, e sua intrusão ocorreu durante os estágios finais de fechamento do Ciclo de Wilson, cristalizando-se há 605 ± 3 Ma (Hackspacher et al., 2000).

O domínio das rochas metassedimentares é representado pela Formação Água Clara, Formação Serra da Boa Vista e Formação Mármore Apiaí, pertencentes ao Supergrupo Açungui. Tratam-se de mármore puros e impuros, rochas calciossilicáticas, lentes de anfibolito, xistos, filitos e quartzitos. Algumas unidades ocorrem como tetos pendentes dentro da intrusão granítica apresentando sua mineralogia modificada devido ao metamorfismo de contato.

Geomorfologicamente, a região apresenta altitude entre 750 e 1050 m, com relevo disposto em morrotes mamelonares a morros íngremes ou escarpados, apresentando superfície lisa a rugosa, drenagens predominantemente dendríticas, e vales profundos encaixados devido a falhamentos.

As encostas são predominantemente convexas a côncavas, apresentando também formas retilíneas. A vegetação é representada principalmente por pastos, florestas nativas, e plantações de hortifrúti e pinheiros.

3.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

3.1.1 Formação Água Clara

A Unidade de Xisto, porção basal da Formação Água Clara, aflora como uma faixa estreita de direção NE-SW a leste e a oeste do Granito Apiaí. Seus contatos com o granito são abruptos, irregulares e levemente arredondados, por se tratar de um corpo intrusivo sin-

tectônico à deformação regional. O granito intruiu os metassedimentos da Unidade de Xistos metamorfizando, por contato, tais encaixantes e gerando diversas apófises.

Na região, os afloramentos correspondem a taludes em encostas de morros ou chão de cortes de estradas, geralmente muito intemperizados (Figura 3.1A), de coloração marrom-avermelhada. Quando não alterado, os litotipos identificados são muscovita-biotita quartzito, quartzito (Figura 3.1B) e quartzito filonito (Figuras 3.1C e D).

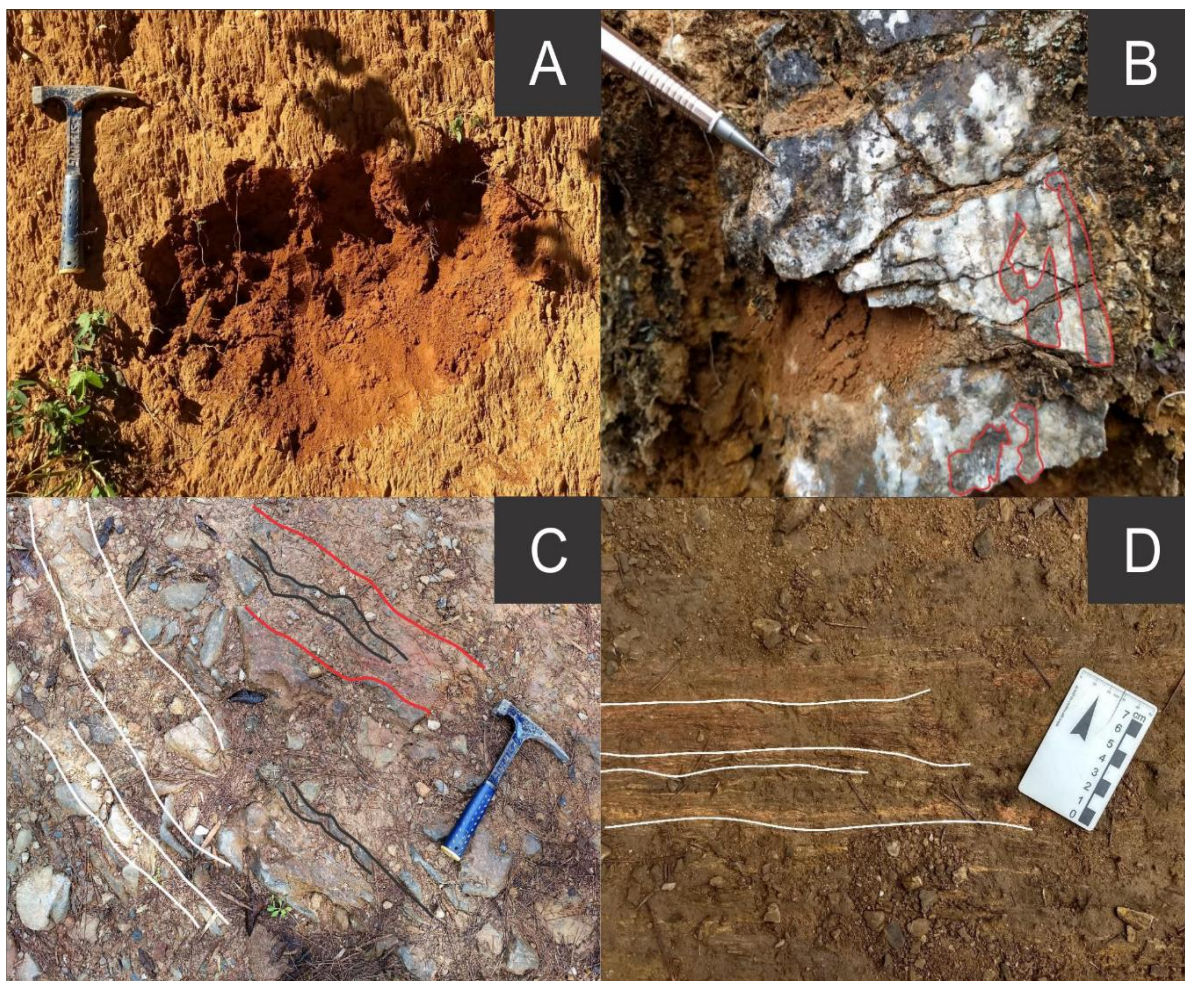


Figura 3.1: Afloramentos da Unidade de Xistos da Formação Água Clara. A) Saprólito de mica xisto composto por argila, quartzo e micas, com coloração marrom-avermelhada. B) Quartzito com deformação cataclástica. Em vermelho, destaque para as porções vítreas da rocha, de coloração cinza escuro. C) Foliação milonítica destacada em branco, vermelho e preto, em metassedimentos da Unidade de Xisto. As bandas de coloração branca são de quartzito, e as mais escuras, de mica xisto. D) Foliação milonítica destacada em branco. As bandas milimétricas avermelhadas e amareladas são compostas por material quartzoso e as pretas por material micáceo e opacos.

A composição mineralógica modal do mica xisto possui aproximadamente 60% sericita, 15% quartzo, 10% clorita, 5% muscovita, 5% biotita e traços de minerais opacos. Está presente um forte bandamento composicional, com intercalação entre bandas quartzosas e bandas micáceas (Figuras 3.2A e B).

A assembleia mineralógica permite inferir que o protólito era formado por uma

intercalação entre arenitos finos e pelitos. Essa interpretação é fortalecida pela presença de quartzo nas amostras e minerais micáceos, que, anteriormente ao metamorfismo, seriam as argilas.

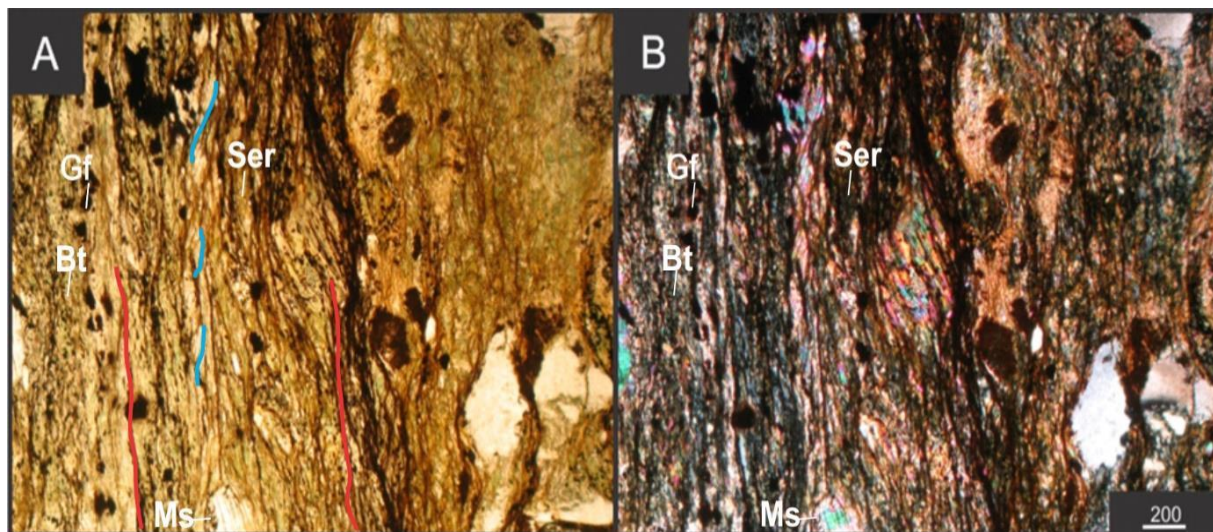


Figura 3.2: Fotomicrografia de muscovita-biotita xisto da Unidade de Xisto da Formação Água Clara. Em vermelho, destaca-se os domínios C e, em azul, os S, da foliação S-C. Qtz: quartzo; Ms: muscovita; Ser: sericita; Bt: biotita; Gf: grafita.

3.1.2 Formação Mármore Apiaí

Esta unidade aflora na porção centro-sudeste do Granito Apiaí, em uma faixa de direção NE-SW. Seus contatos com o corpo são do tipo intrusivo, e ocorre também sob forma de tetos pendentes sobre ele.

A unidade consiste de mármore, puros ou não, associados a metamarga, de coloração cinza clara a escura. Os afloramentos geralmente estão associados a cortes de estradas ou blocos *in situ* e possuem grau de intemperismo que varia de pouco a muito intenso.

Em escala mesoscópica, os litotipos são bastante dobrados (Figura 3.3A). Em escala microscópica, a metamarga apresenta textura granolepdoblástica, composta por sericita, actinolita, calcita, muscovita, grafita, epidoto, quartzo, opacos e titanita (Figura 3.3B). O mármore puro, por sua vez, é cinza (Figura 3.3C) e microscopicamente aparenta possuir estrutura isotrópica, o que não faz sentido, visto que a região foi alvo de diferentes esforços deformacionais conforme supracitado. Tal fenômeno é explicado devido à elevada pureza da rocha. Em descrição microscópica é aparentemente isotrópico, granoblástico, com cristais de calcita de granulação fina a média (Figura 3.3D).

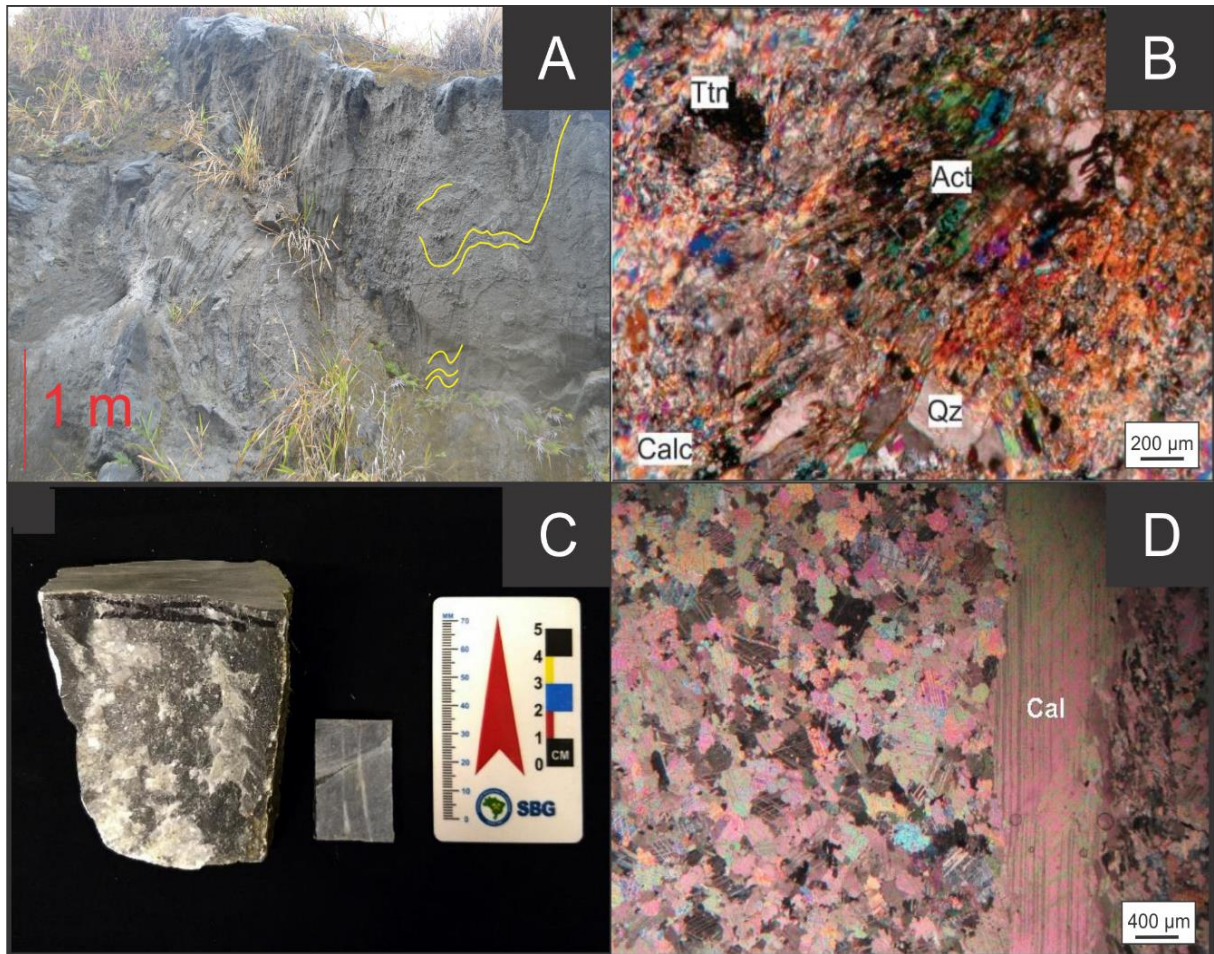


Figura 3.3: Ocorrências da Formação Mármore Apiaí. A) Afloramento de metamarga cinza, com dobras destacadas em amarelo. B) Microfotografia do mármore impuro a polarizadores transversais. Composição de 25% de sericita, 16% actinolita, 16% calcita, 12% muscovita, 12% grafita, 8% epidoto, 6% quartzo, 3% opaco e 2% titanita. C) Amostra de mármore puro acinzentado. D) Microfotografia de mármore puro, composto por calcita e opacos. Calc: calcita; Act: actinolita; Ttn: titanita; Qz: quartzo.

Possivelmente o protólito é de origem marinha, de águas relativamente rasas. A existência de mármore puro e metamargas permite interpretar um ambiente deposicional de plataforma carbonática, com influência de sazonalidade climática. A deposição predominante era de minerais carbonáticos, porém, episodicamente havia aporte de sedimentos terrígenos que tornaram, localmente, o calcário impuro.

3.1.3 Formação Serra da Boa Vista

A Formação Serra da Boa Vista está presente na porção nordeste do Granito Apiaí, em uma faixa de orientação NE-SW. Seu contato com o granito é tectônico e intrusivo, apresentando orientação NW-SE. Geomorfologicamente, possui relevo acentuado, com grande amplitude, topos angulosos e encostas retilíneas a côncavas. Seus desníveis atingem 400 metros e é densamente recoberta pela Mata Atlântica.

A unidade é composta majoritariamente por camadas de quartzito, de coloração entre tons róseos e esbranquiçados (Figura 3.4A). Possui granulação fina a média, e é composto por quartzo e micas. Estão presentes oxidações de ferro e manganês em determinadas porções da rocha. Também há ocorrência de rochas metapelíticas associadas, de coloração avermelhada e granulação fina, composta por sericita, feldspatos e quartzo (Figura 3.4B).

Microscopicamente, é predominantemente granoblástica, ou granolepoblástica, anisotrópica, com cristais equigranulares de quartzo e foliação marcada por minerais micáceos (muscovita e sericita). O contato entre os cristais é lobulado ou retilíneo (Figuras 3.4C e D).

Interpreta-se que o ambiente deposicional da Formação Serra da Boa Vista era um leque submarino de águas rasas com sequências turbidíticas retrabalhadas por ondas (Pires, 1990). Tal interpretação é explicada pela grande quantidade de quartzito e presença subordinada de filossilicatos.

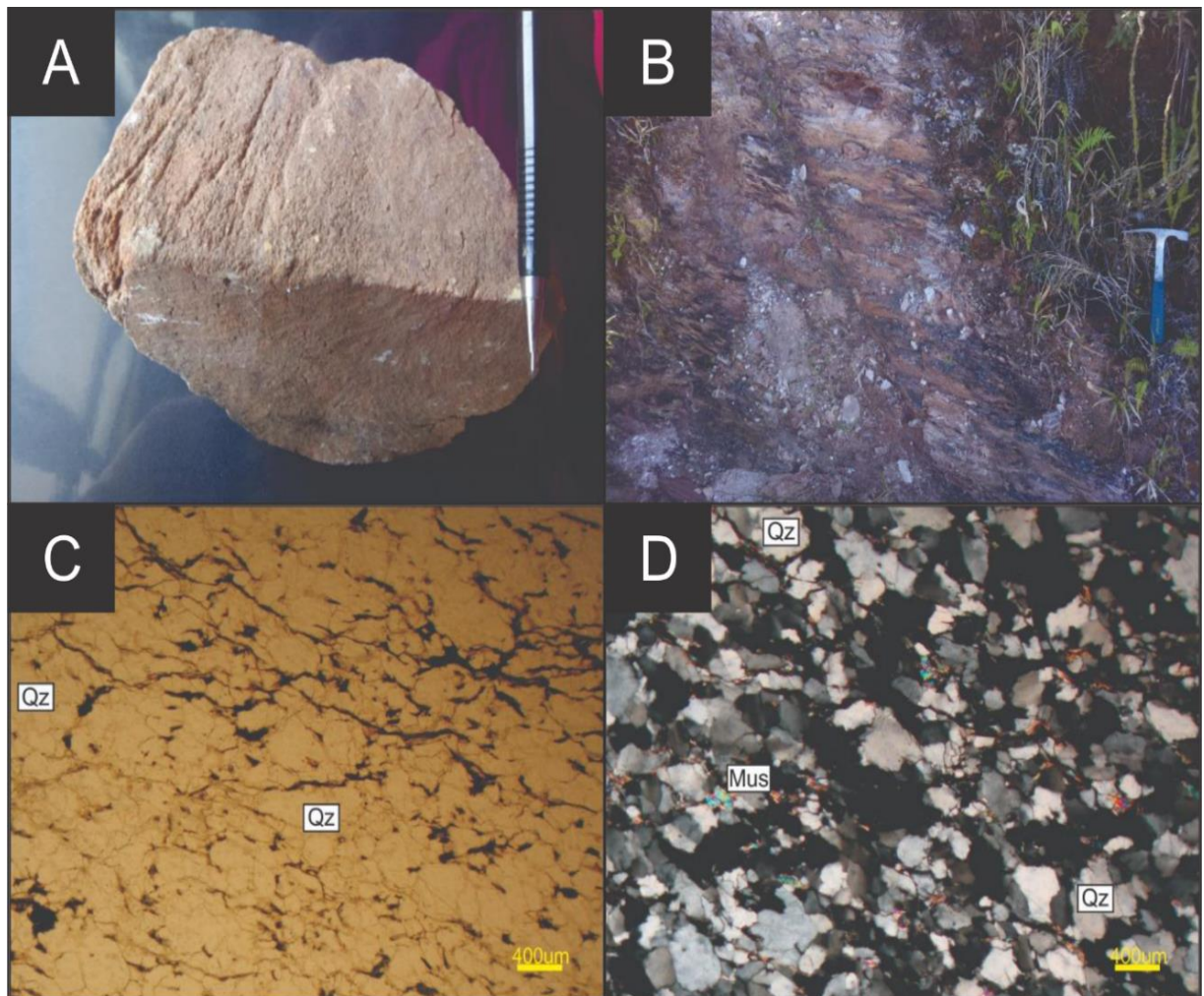


Figura 3.4: Ocorrências da Formação Serra da Boa Vista. A) Amostra de quartzito; B) Rocha metapelítica da unidade, com foliação difusa; C) Microfotografia a polarizadores paralelos; D) Microfotografia a polarizadores transversais. Qz: quartzo; Mus: muscovita.

3.1.4 Formação Gorutuba

A Formação Gorutuba está a leste do Granito Apiaí, não possuindo contatos com este. Geomorfologicamente, possui relevo de grande altitude e amplitude, embora também apresente relevo aplainado, com pequena amplitude e pequenos morrotes em outras regiões. Tal unidade possui contato intrusivo com o Gabro Apiaí, pelo *emplacement* deste corpo ígneo e, com a Fm. Passa Vinte, possui contatos concordantes.

Os afloramentos encontram-se fraturados ou intensamente intemperizados, apresentando coloração ocre. Os litotipos predominantes nesta unidade são metarritmitos siliciclásticos e carbonáticos, alternando-se em camadas tabulares centimétricas a decimétricas (entre 1 e 50 cm) de metarenitos maciços, metassiltitos, meta-argilitos e metacalcilutitos.

Pires (1988) interpreta as sequências siliciclásticas como turbidíticas, metapelíticas como indicadores de regiões profundas e distais do leque submarino, e as metacalcárias como retrabalhamento de sedimentos carbonáticos.

3.1.5 Gabro de Apiaí

O Gabro de Apiaí situa-se a sudeste do Granito Apiaí e não possui contato com este. A unidade é predominantemente composta por metagabronorito, e associa-se a relevos de amplitude e declividade mediana, em encostas convexas de topo arredondado.

As rochas apresentam-se sob a forma de matacões arredondados e ligeiramente esféricos, ou como lajedos. Sua alteração intempérica é marcada por tons avermelhados, sendo de baixo grau. O contato com as encaixantes é intrusivo, encontrando-se concordante em alguns locais e discordante em outros. O Gabro intrude as Formações Gorutuba e Serra da Boa Vista.

O metagabronorito apresenta coloração cinza escura e pequena variação estrutural e textural. Sua estrutura é isotrópica e maciça, com textura fanerítica fina a média, equigranular, holocristalina e hipidiomórfica.

Sua mineralogia é composta predominantemente por plagioclásio, augita e hiperstênio. Há presença de opacos e apatita como acessórios principais, e os minerais de alteração são hornblenda, clorita, opacos e biotita.

O Gabro Apiaí possui idade de cristalização obtida por Campanha et al. (2016) por Pb/U em zircões de 877 ± 8 Ma, interpretada como colocação magmática do gabronorito. Nas extremidades de um cristal, há idade de 600 Ma, interpretada como idade do evento metamórfico que alterou a unidade.

4 GRANITO APIAÍ

Geomorfologicamente, sua ocorrência se associa a locais onde o relevo está mais erodido e dissecado – não sendo essa uma premissa restritiva – constituído por colinas, depressões suaves, topos arredondados característicos do relevo “Mares de morros” descrito por Ab’ Saber (1966) (Figura 4.1A). As encostas onde afloram tendem a ser convexas a côncavas, com densidade de drenagem média, onde os córregos possuem sinuosidade mista a espaçada. As cotas em que o Granito Apiaí aflora são entre 700 e 1000 metros.

Seus afloramentos ocorrem principalmente no topo de vertentes, sobre encostas ou em taludes de corte de estrada. Encontra-se com variado grau de intemperismo, de muito alterado a incipiente, sob a forma de matacões de diversas dimensões apresentando, ou não, esfoliação esferoidal (Figura 4.1B).

O contato do granito com suas encaixantes é irregular, dos tipos tectônico e intrusivo. O contato tectônico ocorre devido à interferência da Zona de Cisalhamento Quarenta-Oitava, de orientação NE-SW, responsável pela deformação e transposição dos litotipos. O tipo intrusivo é representado por diversas apófises de granito nas unidades ao redor (Figura 4.2A), e pela presença de tetos pendentes das formações Água Clara e Mármore Apiaí sobre o corpo.

A rocha apresenta enclaves e é bem marcada pela presença de fenocristais de microclínio róseos (Figura 4.2B). Seu saprólito possui cores alaranjada, amarronzada ou avermelhada e, quando a rocha se encontra severamente intemperizada, seus feldspatos alteram-se para caulim, compondo uma matriz argilosa de cor vermelho-amarelada. Há também ocorrência de apófises graníticas e diques de textura aplítica enriquecidos em quartzo.

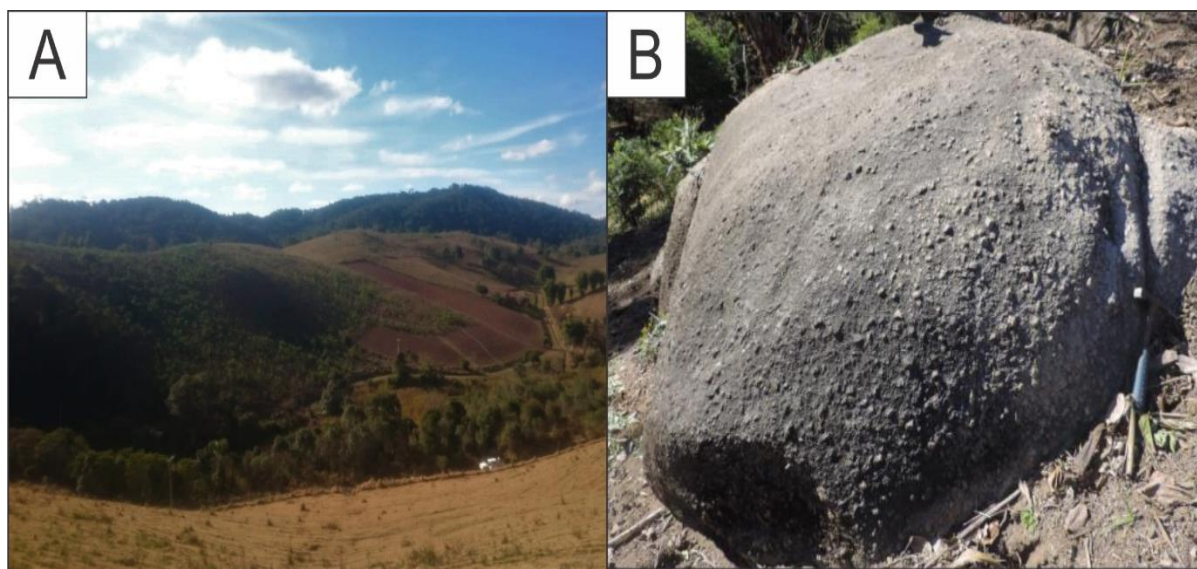


Figura 4.1: Ocorrências do Granito Apiaí. A) Geomorfologia. B) Forma principal de ocorrência do granito.

O modelo de exumação do corpo é de acordo com a proposta de Jerram et al. (2011), na qual, com o passar do tempo, as encaixantes sobrepostas, bem como a auréola de contato formada pela interação entre a intrusão e a encaixante, são erodidas pelas intempéries físicas, acarretando na revelação do corpo ígneo (Figura 4.3).

A figura 4.4 contém o mapa geológico simplificado do Granito Apiaí, onde, a partir de similaridades geológicas, petrográficas, estruturais e texturais, foi subdividido em duas fácies: Hornblenda-Biotita Monzogranito Porfirítico, e Biotita Monzogranito Porfirítico com Hornblenda.

O *stock* possui estrutura maculada e levemente foliada, marcada pelos fenocristais de microclínio incipientemente orientados. A matriz, isotrópica, é holocristalina, fanerítica, anedral a subhedral, subdiomórfica, com abundância de minerais deformados e alterados.

A partir de quantificações modais, características estruturais e texturais, e análises químicas das amostras, subdivide-se o Granito Apiaí em duas fácies: (A) hornblenda-biotita monzogranitos porfiríticos; e (B) biotita monzogranitos porfiríticos com hornblenda.

Conforme aproxima-se espacialmente de zonas de falhas associadas à Zona de Cisalhamento Quarenta-Oitava, ocorrem mudanças estruturais, texturais e composicionais significativas.

Os granitoides, então brechados ou milonitizados, apresentam forte anisotropia e minerais intensamente deformados. Devido à tal heterogeneidade, a classificação do granito nessas regiões torna-se restrita, e ele é caracterizado como Granito Apiaí Indistinto.



Figura 4.2: Ocorrências do Granito Apiaí. A) Apófise do granito intrudindo a Unidade de Xistos da Formação Água Clara. B) Presença de enclaves circundados em vermelho e fenocristais de microclínio róseos.

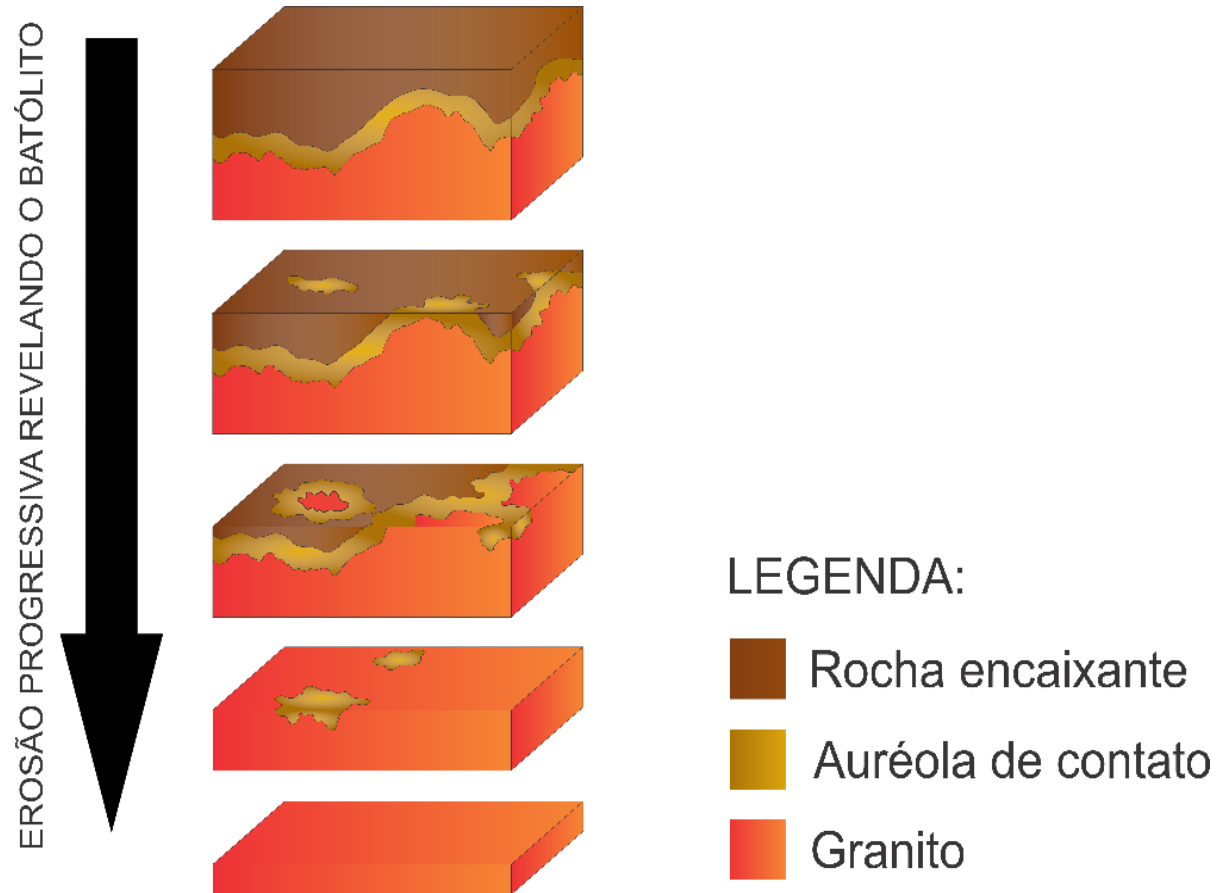


Figura 4.3: Exumação de corpos graníticos devido à erosão. Adaptado de Petford (2011).

4.1 PETROGRAFIA

A quantificação modal lâminas descritas do Granito Apiaí é ilustrada no Diagrama QAP da figura 4.5, ao passo que uma descrição sucinta das fácies se encontra na tabela 4.2.

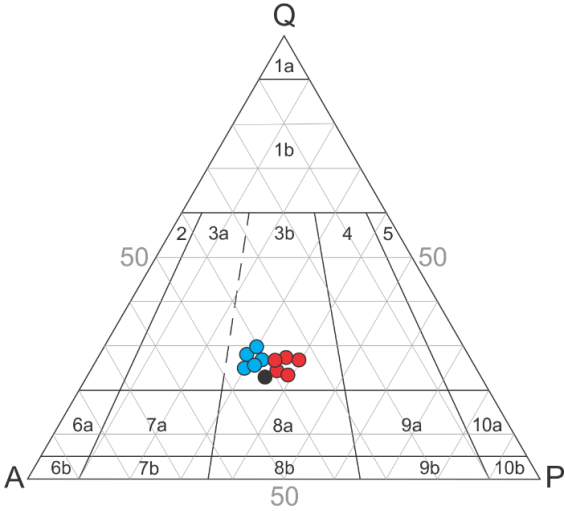


Figura 4.5: Classificação de rocha total das amostras laminadas. Em vermelho a fácies Hornblenda-biotita monzogranito porfirítico; em azul: Biotita monzogranito porfirítico com hornblenda. Preto é um exemplar do granito indistinto. De acordo com o diagrama QAP de Streckeisen (1976). 1a: quartzolito; 1b: granitoides ricos em quartzo; 2: álcali-feldspato granito; 3a: sienogranito; 3b: monzogranito; 4: granodiorito; 5: tonalito; 6a: quartzo-álcali feldspato sienito; 6b: álcali feldspato sienito; 7a: quartzo sienito; 7b: sienito; 8a: quartzo monzonito; 8b: monzonito; 9a: quartzo monzodiorito/quartzo monzogabro; 9b: monzodiorito/monzogabro; 10a: quartzo diorito/quartzo gabro/quartzo anortosito; 10b: diorito/gabro/anortosito.

Tabela 4.1: Informações sucintas das fácies que compõem o Granito Apiaí.

Unidade geológica	Granito Apiaí		
Fácies	(a) Hornblenda-biotita monzogranito porfirítico	(b) Biotita monzogranito porfirítico com hornblenda	Granito Indistinto
Estrutura	Incipientemente foliado	Incipientemente foliado	Foliação milonítica
Textura	Porfirítica, com matriz equigranular hipidiomórfica	Porfirítica com matriz equigranular hipidiomórfica	Porfirítica com matriz inequigranular
Tamanho dos Cristais (mm)	Matriz: 0,2 - 6; Fenocristais 10-40:	Matriz: 0,2 - 5; Fenocristais 5-20:	Matriz: 0,05 - 1,5; Fenocristais: 3 - 10
Descrição	Matriz branco-acinzentada com fenocristais róseos a esbranquiçados de microclínio (± 19%)	Matriz branco-acinzentada com fenocristais róseos a esbranquiçados de microclínio (± 23%)	Matriz branco-acinzentada com fenocristais róseos a esbranquiçados de microclínio (± 10%)
Índice de Cor (Matriz)	Leucocrático - 20%	Leucocrático - 16%	Leucocrático - 18%
Minerais Fe-Mg (%) Anfibólios Biotita	6 8	4 7	1 4
Minerais Acessórios	Apatita, titanita, allanita, zircão, opacos	Apatita, titanita, allanita, zircão, opacos	Apatita, titanita, allanita, zircão, opacos
Alteração	Sericita, epidoto e clorita	Sericita, epidoto e clorita	Sericita, epidoto e clorita

4.1.1 Fácies (A) Hornblenda-Biotita Monzogranito Porfirítico

Esta fácies aflora somente na porção sudoeste do *stock*. A rocha apresenta estrutura porfirítica, matriz de coloração branco-acinzentada, e fenocristais de coloração róseo-esbranquiçada subhedrais, com dimensões entre 1 e 4 cm (Figura 4.6).

A descrição petrográfica baseou-se na amostra APB-6. A matriz possui granulação fina a média, sendo esta predominante, inequigranular, entre 0,2 e 6 mm, com cristais entre 1 e 2 mm prevalecendo. Em ordem decrescente, sua composição é formada predominantemente por oligoclásio, microclínio, quartzo, biotita, hornblenda, acessórios, opacos e minerais de alteração. Os fenocristais de microclínio ocorrem em formatos subhedrais tabulares, com dimensão média variando entre 1 e 3 cm, por vezes alcançando 4 cm, apresentando contatos retilíneos a lobulados. Alteram-se para sericita, marcada por pontilhados marrons em pequenos aglomerados. Os cristais apresentam geminação com padrão *tartan* (xadrez), textura poiquilítica marcada pela inclusão de diferentes minerais, perítica com exsolução de albita.

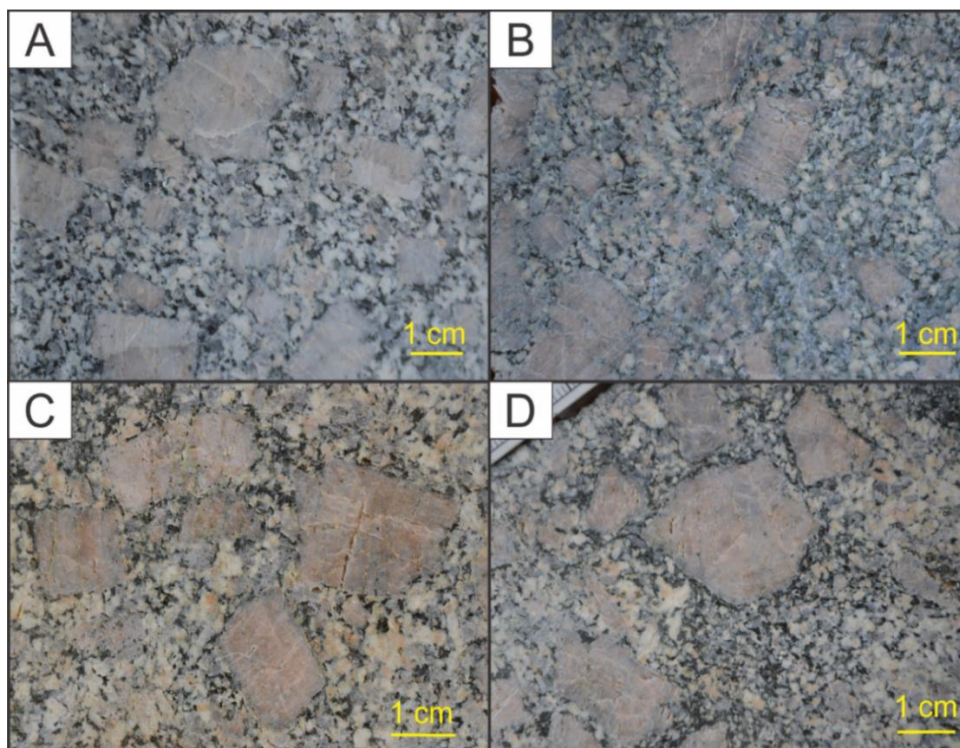


Figura 4.6: Aspectos mesoscópicos da Fácies A do Granito Apiaí. A) Amostra APB-6 porfirítica com aproximadamente 15-20% de fenocristais de microclínio entre 1 e 3 cm; B) Amostra APB-13 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais, entre 0,5 e 2 cm; C) Amostra APB-9 porfirítica com aproximadamente 20% de fenocristais entre 1 e 2 cm; e D) Amostra AP3-9-2 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais entre 0,7 e 2 cm.

O plagioclásio (oligoclásio) ocorre como cristais subhedrais com dimensão média de 1 a 4 mm. São incolores à luz natural, apresentando contatos lobulados com outros feldspatos e denteado com a biotita. Tendem a apresentar geminação do tipo polissintética e apresentam

feições do tipo *kink band*, indicativos de deformação. Apresentam saussuritização, alterando-se para sericita e epidoto, e comumente possuem bordas albitizadas.

O feldspato alcalino (microclínio) presente na matriz ocorre na forma de cristais subedrais a anedrais de dimensão média entre 1 e 2 mm e podendo atingir até 3 mm. É comum que os cristais apresentem superfície de alteração para sericita em pequena quantidade. A maioria dos contatos com outros minerais é lobulada. Destacam-se as feições de pertita em filme, que ocorrem com baixa frequência, e as feições mirmequíticas que ocorrem com alta frequência. A feição mirmequítica que predomina é do tipo intercrescimento granofírico ou micro pegmatítico. Também ocorre a geminação tipo simples.

Os cristais de quartzo são anhedrais, com dimensão variando entre 0,2 e 1 mm. Comumente formam agregados monominerálicos que podem atingir tamanho de 5 mm. O mineral é incolor, com baixo relevo e contatos lobulados com os demais minerais. Apresenta extinção ondulante, *bulging* e subgrãos no padrão de “tabuleiro de xadrez” – indicativos de deformação – e frequentes inclusões fluidas. Também preenchem espaços intergranulares.

A biotita é o mineral micáceo intersticial anisotrópico de relevo moderado positivo, frequentemente associado ao epidoto e à sericita. Dimensionalmente, varia entre 0,5 e 1,5 mm, predominando 0,8 mm. À luz natural, o mineral é verde-oliva, com pleocroísmo moderado em tons de verde. À luz polarizada, exibe alta birrefringência, e extinção paralela a subparalela à elongação, com textura *bird's eye*. Por apresentar hornblenda reliquiar no núcleo de alguns cristais, e devido à associação com o epidoto, a biotita é tanto de origem magmática quanto de alteração da hornblenda. A hornblenda ocorre na forma de cristais subhedrais a euhedrais com dimensão entre 0,5 e 1 mm. Apresenta pleocroísmo à luz natural, em tons de verde variando de escuro a claro. Em cristais prismáticos está presente uma direção de clivagem moderadamente definida e, por vezes, duas direções.

A titanita é o mineral cuneiforme, euhedral, anisotrópico, de relevo muito forte positivo, com formato losangular achatado característico, que ocorre tanto no interior dos minerais principais quanto em seus interstícios. Dimensionalmente, raras vezes possui tamanho maior que 0,3 mm. À luz natural, é marrom acinzentado pálido, sem pleocroísmo. À luz polarizada, tem birrefringência extrema e extinção paralela nas seções rômbricas. A allanita é o mineral prismático a pseudo-hexagonal, euhedral, anisotrópico, de relevo forte positivo. Geralmente possui 0,3 mm de comprimento, porém pode chegar a alcançar 1 mm. À luz natural, tem cores laranja ou marrom avermelhada, com pleocroísmo. Comumente apresenta zoneamentos concêntricos devido à radioatividade. A apatita encontra-se na forma de inclusões, principalmente em hornblenda e biotita, euhedral, em cristais menores que 0,5 mm, geralmente

em formato pseudohexagonal. Comumente é apresenta-se trincada por deformação.

O zircão apresenta cristais com bipirâmide euhedrais, incluídos ou não em outros minerais. Possui tamanho médio de 0,3 mm, podendo atingir 0,5 mm. À luz natural, apresenta coloração acastanhada e relevo forte. Quando os polarizadores estão transversais, demonstra birrefringência elevada. Os opacos estão dispersos pela matriz em inclusões ou não, com tamanhos menores que 0,2 mm. O principal opaco que ocorre é a magnetita.

O epidoto é o mineral granular, anisotrópico, de relevo forte positivo, associado à biotita e à sericita. Geralmente possui 0,2 mm de tamanho, alcançando 0,4 mm por vezes. À luz natural, é de cor amarela-esverdeada, com fraco pleocroísmo em tons esverdeados. À luz polarizada, apresenta birrefringência alta. Devido à associação com a biotita, provavelmente também é produto de alteração da hornblenda, formado a partir do cálcio liberado pela hidratação da mesma. A sericita é o agregado de micas microcristalinas, anisotrópicas, de cor marrom à luz natural e transmitida, que ocorre principalmente nos interstícios, nas bordas, e preenchendo fraturas de cristais, bem como sobre os veios de composição aplítica, associada a cristais granulares de epidoto, sem orientação aparente.

A albita está restrita à borda dos cristais de oligoclásio, originadas por alteração desses. Não possui aspecto de sericitização, encontrando-se comumente límpida. A polarizadores transversais, apresenta birrefringência baixa. Os aspectos mineralógicos principais desta fácies encontram-se na figura 4.7.

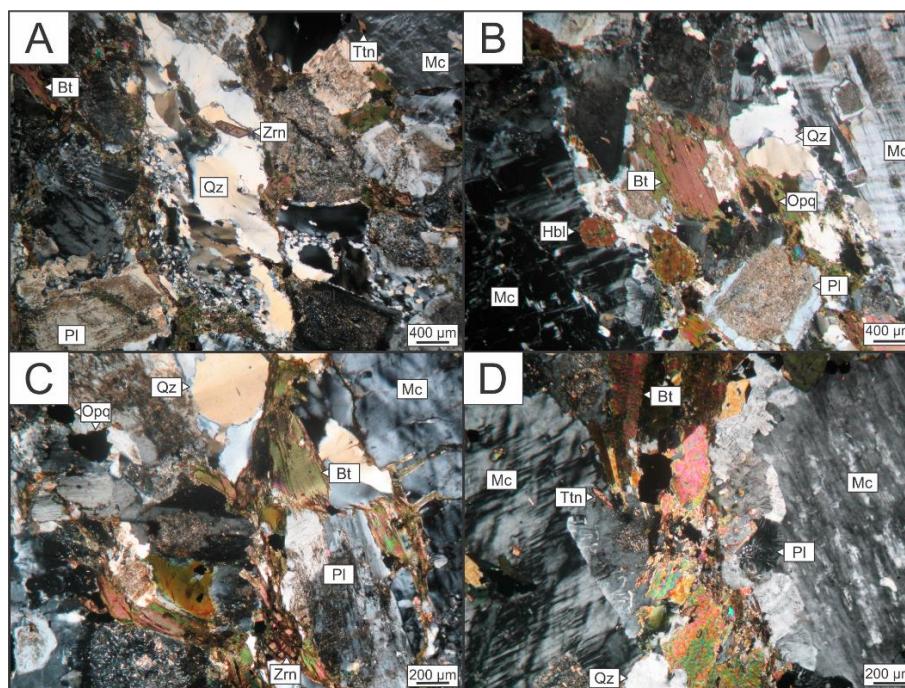


Figura 4.7: Aspectos petrográficos a polarizadores transversais da Fácies A do Granito Apiaí. A) Presença de grãos de quartzo submilimétricos com *bulging*; B) Oligoclásio saussuritizado com cristalização de sericita e apresentando albita em suas bordas; C) Cristais de biotita dobrados; D)

Tamanho de cristais de microclínio e textura mimerquítica.

Na figura 4.8, estão as principais características de deformação, enquanto na figura 4.9 estão as principais texturas características.

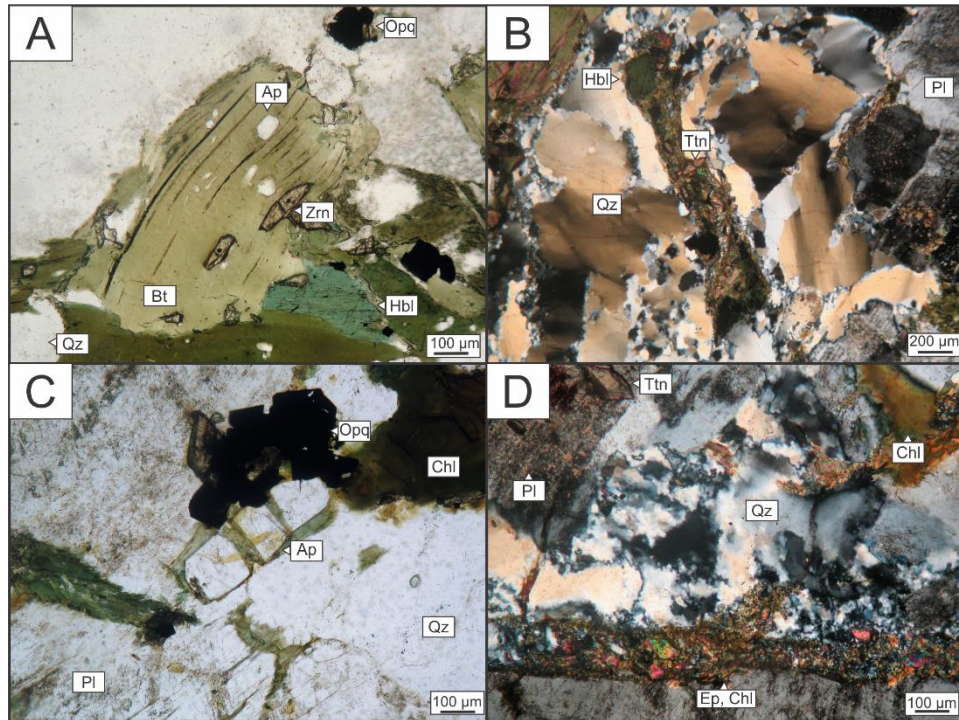


Figura 4.8: Aspectos deformacionais da Fácies A do Granito Apiaí. A) Biotita poiquilítica dobrada com inclusões de zircão e apatita fraturadas, a polarizadores paralelos; B) Quartzo com *bulging*, extinção ondulante e subgrãos apresentando padrão “Tabuleiro de xadrez”, a polarizadores transversais; C) Cristal de apatita fraturado a polarizadores paralelos; D) Quartzo com *bulging* e veio de epidoto e clorita transpassando a rocha a polarizadores transversais.

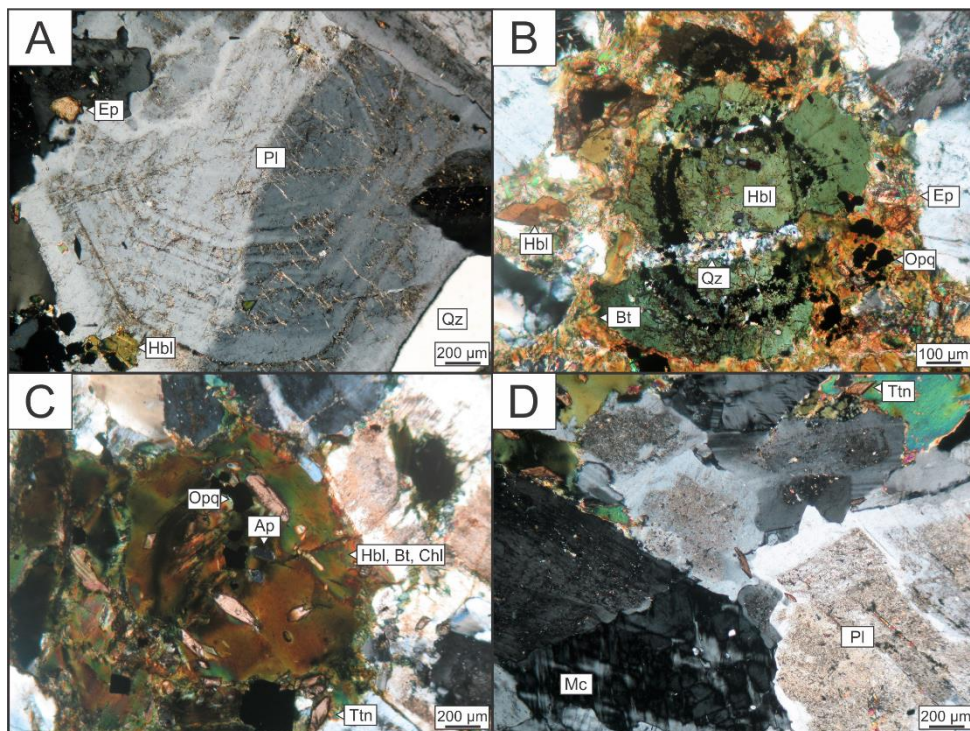


Figura 4.9: Texturas existentes na Fácies A do Granito Apiaí. A) Oligoclásio antipertítico com zoneamento bem definido e geminação do tipo Carlsbad, a polarizadores transversais; B) Textura

coronítica em um cristal de hornblenda, alterada para biotita, clorita, e opacos com presença de epidoto, a polarizadores paralelos. C) Alteração de hornblenda poiquilítica para uma massa amorfa de biotita e clorita a polarizadores paralelos. D) Oligoclásio saussuritizado com presença de sericita e borda albitizada a polarizadores transversais.

Tabela 4.2: Composição modal estimada para a Fácies A do Granito Apiaí com base na petrografia da amostra APB-6.

Mineral	Porcentagem modal estimada
Plagioclásio (Oligoclásio)	28
Quartzo	21
Microclínio (fenocristais)	17
Microclínio (matriz)	14
Biotita	8
Hornblenda	6
Opacos	2
Clorita	2
Apatita	2
Titanita	tr
Albita	tr
Epidoto	tr
Zircão	tr
Allanita	tr

4.1.2 Fácies (B) Biotita Monzogranito Porfirítico com hornblenda

Esta fácies aflora na porção centro-nordeste do *stock*. A rocha possui matriz de coloração branco-acinzentada e fenocristais de coloração róseo-esbranquiçada, com dimensões entre 1 e 2 cm (Figura 4.10). As diferenças principais entre está e a outra fácies são: i) os fenocristais de microclínio são menores, porém em maior quantidade; ii) a quantidade de biotita e hornblenda é menor; e iii) os minerais que constituem esta fácies apresentam menor grau de deformação e possuem granulação relativamente mais fina.

A descrição petrográfica baseou-se na amostra AP3-3-10. A matriz possui granulação fina a média, predominantemente média, inequigranular, entre 0,05 e 1 mm. Em ordem decrescente, sua composição é formada predominantemente por oligoclásio, microclínio, quartzo, biotita, hornblenda, acessórios, opacos e minerais de alteração.

Os fenocristais de microclínio ocorrem em formatos subhedrais a euhedrais, com dimensão variando entre 10 e 20 mm. Possuem alteração incipiente para sericita, marcada por

pontilhados marrons em pequenos aglomerados. Os cristais apresentam geminação com padrão *tartan* (xadrez).

O plagioclásio (oligoclásio) ocorre como cristais subhedrais com dimensão entre 1 e 2 mm, predominando 1 mm. São incolores à luz natural, apresentando contatos lobulados com outros feldspatos e denteado com a biotita. Tendem a apresentar geminação do tipo polissintética e apresentam feições do tipo *kink band*, indicativos de deformação. Apresentam saussuritização, alterando-se para sericita e epidoto, e comumente possuem bordas albitizadas e zoneamentos concêntricos bem definidos.

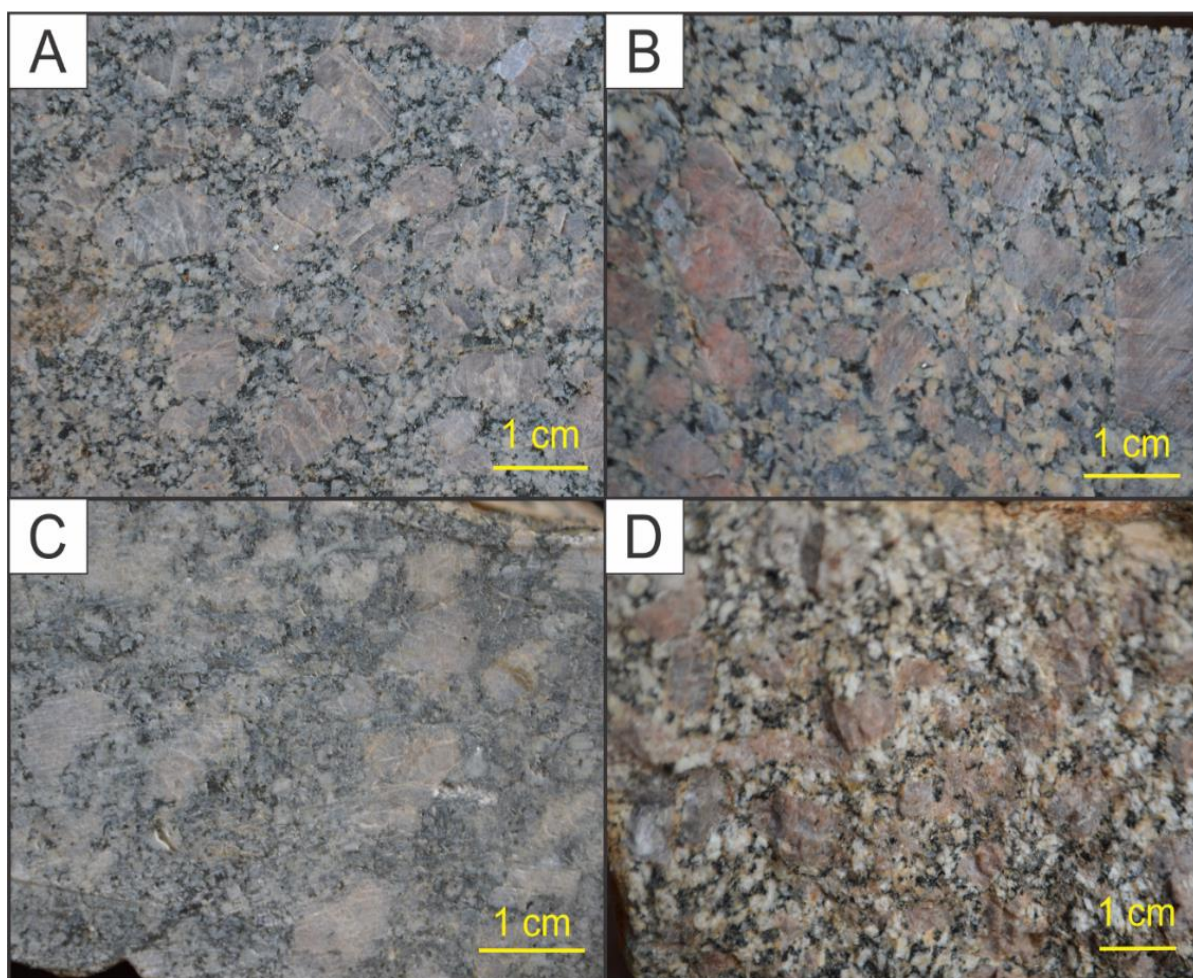


Figura 4.10: Aspectos mesoscópicos da Fácies B do Granito Apiaí. A) Amostra AP4-8-14 porfirítica com aproximadamente 20% de fenocristais de microclínio entre 1 e 1,5 cm; B) Amostra AP3-3-10 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais, entre 0,5 e 1,5 cm; C) Amostra APB-15 porfirítica com aproximadamente 15% de fenocristais entre 1 e 1,5 cm; e D) Amostra APB-27 porfirítica com aproximadamente 20% de fenocristais entre 0,7 e 2 cm.

Os cristais de quartzo são anhedrais, com dimensão variando entre 0,2 e 1 mm. Comumente formam agregados monominerálicos que podem atingir tamanho de 2 mm. O mineral é incolor, com baixo relevo e contatos lobulados com os demais minerais. Apresenta extinção ondulante, *bulging* e subgrãos no padrão de “tabuleiro de xadrez” – indicativos de

deformação – e frequentes inclusões fluidas. Também preenchem espaços intergranulares.

O microclínio presente na matriz ocorre na forma de cristais subhedrais a anedrais de dimensão média igual a 1 mm e podendo atingir até 4 mm. É comum que os cristais apresentem superfície de alteração para sericita em pequena quantidade. A maioria dos contatos com outros minerais é lobulada. Destacam-se as feições de pertita em filme, que ocorrem com baixa frequência, e as feições mirmequíticas que ocorrem com alta frequência. A feição mirmequítica que predomina é do tipo intercrescimento granofírico ou micro pegmatítico. Também ocorre a geminação tipo simples. São cristais incolores e de relevo baixo.

A biotita é o mineral micáceo intersticial anisotrópico de relevo moderado positivo, frequentemente associado ao epidoto e à sericita. À luz natural, o mineral é verde-oliva, com pleocroísmo moderado em tons de verde. Geralmente apresenta-se no formato de massas amorfas e, quando subhedrais, possuem 0,5 mm de tamanho. Comumente apresenta halos pleocróicos por alteração radioativa de inclusões de cristais de zircão. À luz polarizada, exhibe alta birrefringência, e extinção paralela a subparalela à elongação, com textura *bird's eye*. Por apresentar hornblenda reliquiar no núcleo de alguns cristais, e devido à associação com o epidoto, a biotita é tanto de origem magmática quanto de alteração da hornblenda.

A hornblenda ocorre na forma de cristais subhedrais a euhedrais com dimensão entre 0,3 e 1 mm. Apresenta pleocroísmo à luz natural, em tons de verde variando de escuro a claro. Em cristais prismáticos está presente uma direção de clivagem moderadamente definida e, por vezes, duas direções.

A titanita é o mineral cuneiforme, euhedral, anisotrópico, de relevo muito forte positivo, com formato losangular achatado característico, que ocorre tanto no interior dos minerais principais quanto em seus interstícios. Sua dimensão média é de 0,1 mm. À luz natural, é marrom acinzentado pálido, sem pleocroísmo. À luz polarizada, tem birrefringência extrema e extinção paralela nas seções rômbricas.

A allanita é o mineral prismático a pseudo-hexagonal, euhedral, anisotrópico, de relevo forte positivo. Tende a apresentar 0,2 mm de dimensão. À luz natural, tem cores laranja ou marrom avermelhada, com pleocroísmo. Comumente apresenta zoneamentos concêntricos devido à radioatividade.

A apatita encontra-se na forma de inclusões, principalmente em hornblenda e biotita, euhedral, em cristais menores que 0,2 mm, geralmente em formato pseudo-hexagonal. Comumente é apresentada trincada por deformação.

O zircão apresenta cristais com bipirâmide euhedrais, incluídos ou não em outros minerais. Apesar de possuir granulação média de 0,1 mm, em raras ocasiões apresenta 0,5 mm.

À luz natural, apresenta coloração acastanhada e relevo forte. Quando os polarizadores estão transversais, demonstra birrefringência elevada. Os opacos estão dispersos pela matriz em inclusões ou não, com tamanhos menores que 0,2 mm. O principal opaco é a magnetita.

Epidoto é o mineral granular, anisotrópico, de relevo forte positivo, associado à biotita e à sericita. Seu tamanho varia entre 0,05 mm e 0,2 mm. À luz natural, é de cor amarela-esverdeada, com fraco pleocroísmo em tons esverdeados. À luz polarizada, apresenta birrefringência alta. Devido à associação com a biotita, provavelmente também é produto de alteração da hornblenda, formado a partir do cálcio liberado pela hidratação da mesma.

A sericita é o agregado de micas microcristalinas, anisotrópicas, de cor marrom à luz natural e transmitida, que ocorre principalmente nos interstícios, nas bordas, e preenchendo fraturas de cristais, bem como sobre os veios de composição aplítica, associada a cristais granulares de epidoto, sem orientação aparente.

A albita está restrita à borda dos cristais de oligoclásio. A polarizadores transversais, apresenta birrefringência baixa. Tende a apresentar caráter mais límpido, com ausência de alterações.

Os aspectos mineralógicos principais encontram-se na figura 4.11. Na figura 4.12, estão as principais características de deformação, enquanto na figura 4.13 estão as principais texturas características da fácies.

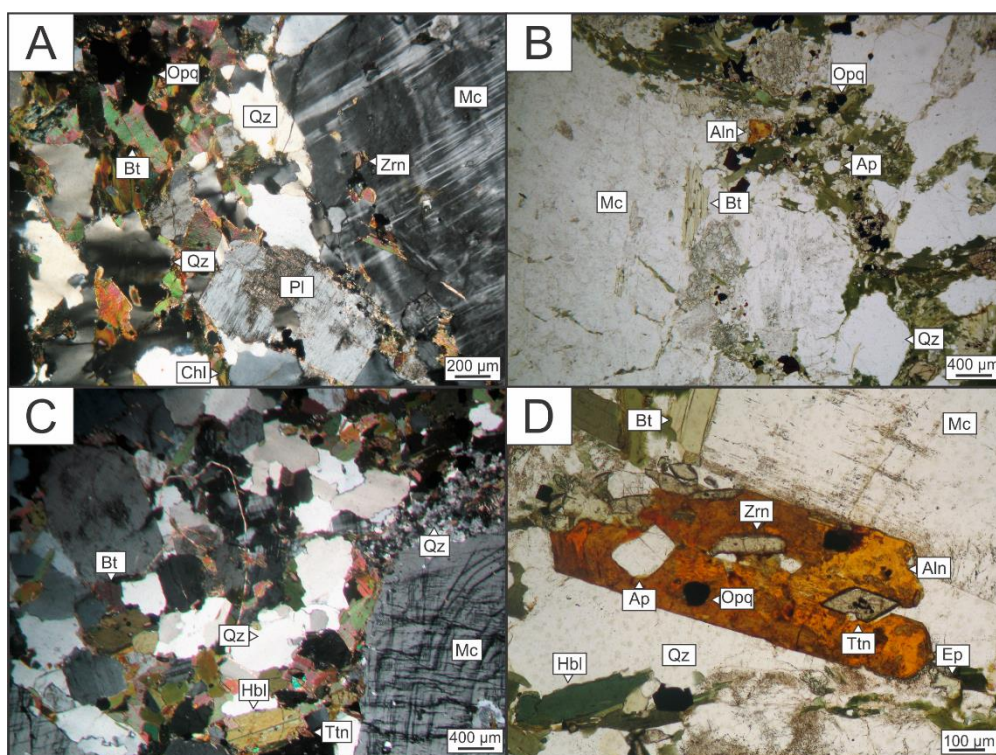


Figura 4.11: Aspectos microscópicos da Fácies B do Granito Apiaí. Observar minerais com textura poiquilítica, fenocristais de microclínio, e relações de contatos entre os diversos minerais. A) e C) sob polarizadores transversais; e B) e D) sob polarizadores paralelos.

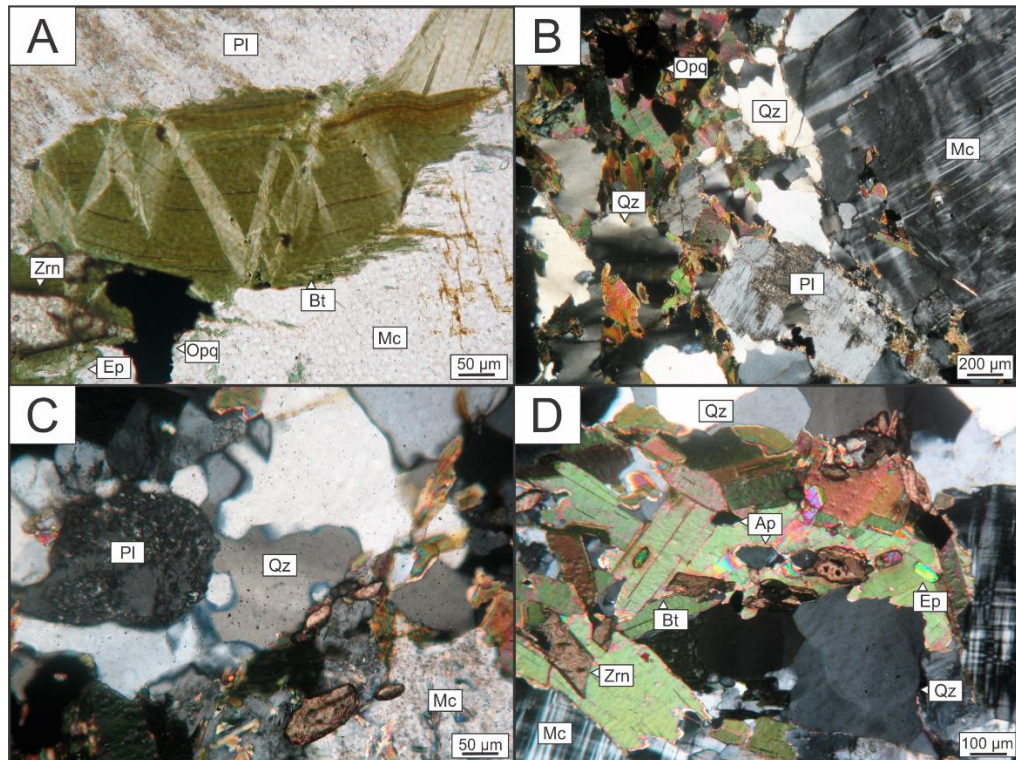


Figura 4.12: Aspectos deformacionais na Fácies B do Granito Apiaí. A) *Kink-band* em biotita, a polarizadores transversais; B) Quartzo com extinção ondulante, e subgrãos com padrão “tabuleiro de xadrez” bem demarcado, a polarizadores transversais; C) Quartzo com *bulging* a polarizadores transversais; e D) Subgrãos de quartzo, na porção inferior direita, apresentando padrão “tabuleiro de xadrez”. Também há biotita com halo pleocróico por inclusão de zircão.

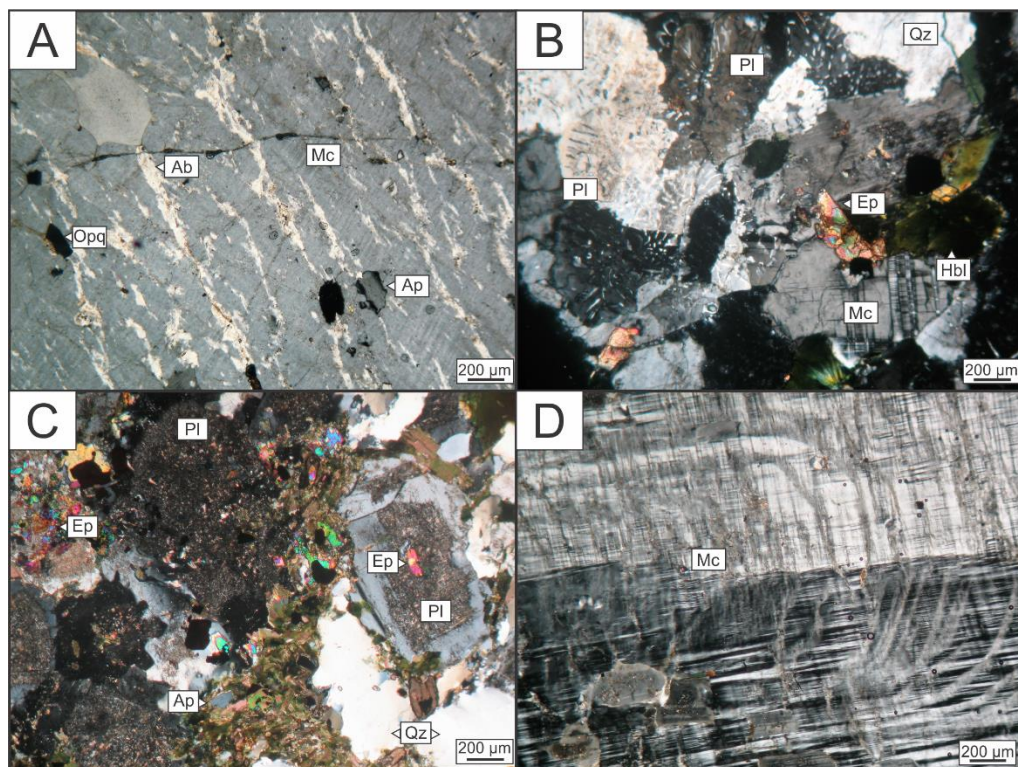


Figura 4.13: Texturas existentes na Fácies B do Granito Apiaí. A) Microclínio pertítico poiquilítico com inclusões de opacos, apatita e quartzo; B) Feição de intercrescimento mimerquítica; C) plagiocláio saussuritizado, com borda albitizada e epidoto e sericita no centro. D) Microclínio pertítico zonado com geminação *tartan*.

Tabela 4.3: Composição modal estimada para a Fácies B do Granito Apiaí com base na petrografia da amostra APB-27.

Mineral	Porcentagem modal estimada
Plagioclásio (Oligoclásio)	30
Quartzo	20
Microclínio (fenocristais)	20
Microclínio (matriz)	12
Biotita	7
Hornblenda	4
Opacos	2
Clorita	2
Epidoto	1
Apatita	1
Titanita	1
Zircão	tr
Albita	tr
Allanita	tr

4.1.3 Granito Apiaí Indistinto

Esta associação de rochas presente no corpo granítico encontra-se severamente brechadas ou milonitizadas, limitada espacialmente a zonas de falhas. Tal deformação possivelmente está associada a escapes de esforços tectônicos e movimentos de falhas que ocorreram durante a fase de deformação D₃.

A rocha apresenta coloração escura, e estrutura cataclástica ou milonítica. Pela intensa deformação e alteração dos cristais da rocha, não é possível classificá-la como sendo representativa da Fácies A ou B.

A descrição dessa associação foi feita com base na descrição petrográfica da amostra AP5-3-2B. Sua estrutura é de foliação milonítica, com coloração ocre e fenocristais de coloração bege (Figura 4.14A). Sua textura é alotriomórfica, os cristais são inequigranulares, e encontram-se severamente alterados.

Os fenocristais de microclínio ocorrem em formatos anhedrais, com dimensão média de 1,5 cm. Possuem alteração para sericita, marcada por pontilhados marrons em pequenos aglomerados. Os cristais apresentam geminação com padrão *tartan* (xadrez).

O plagioclásio (oligoclásio) ocorre como cristais subhedrais com dimensão média de 1 a 2 mm. São incolores à luz natural, apresentando contatos lobulados com outros feldspatos e denteado com a biotita. Tendem a apresentar geminação do tipo polissintética e apresentam

muitas feições do tipo *kink band*, indicativos de deformação. Alteram-se para sericita e epidoto, apresentam enorme quantidade de microfraturas e várias bordas observadas encontram-se intensamente albitizadas.

O feldspato alcalino (microclínio) presente na matriz ocorre na forma de cristais subedrais a anedrais de dimensão média igual a 0,8. É comum que os cristais apresentem superfície de alteração para sericita. A maioria dos contatos com outros minerais é lobulada. Destacam-se as feições de pertita em filme, que ocorrem com baixa frequência, e as feições mirmequíticas que ocorrem com alta frequência. Também ocorre a geminação tipo simples. São cristais incolores e de relevo baixo intensamente fraturados.

Os cristais de quartzo são anhedrais, com dimensão variando entre 0,2 e 0,4mm. O mineral é incolor, com baixo relevo e contatos lobulados com os demais minerais. Tende a apresentar elevada quantidade de extinção ondulante e cristais microgranulares nas bordas dos cristais maiores.

A hornblenda e biotita magmática alteraram-se quase que em totalidade para minerais secundários. Os minerais acessórios – apatita, titanita, allanita e zircão – encontram-se em dimensões menores que 0,2 mm e intensamente fraturados.

Os máficos ocupam espaços intersticiais nesta associação de fácies. São principalmente minerais de alteração, como epidoto, clorita e sericita (Figura 4.14B). Dispostos em massas amorfas, acompanham fraturamentos que transpassam a rocha, seguindo uma orientação cataclástica. Os aspectos mineralógicos e as porcentagens média das principais encontram-se na figura 4.15.

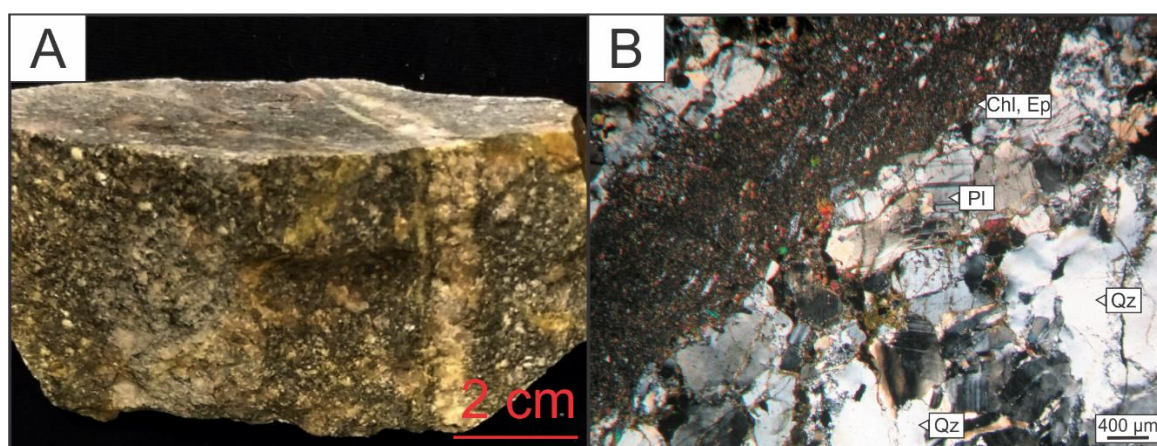


Figura 4.14: A) Aspectos mesoscópicos da amostra AP5-3-2B; B) Aspectos microscópicos a polarizadores transversais. Observar veios e cristais intensamente deformados, o que não ocorre com tanta proeminência nas fácies A e B do Granito Apiaí.

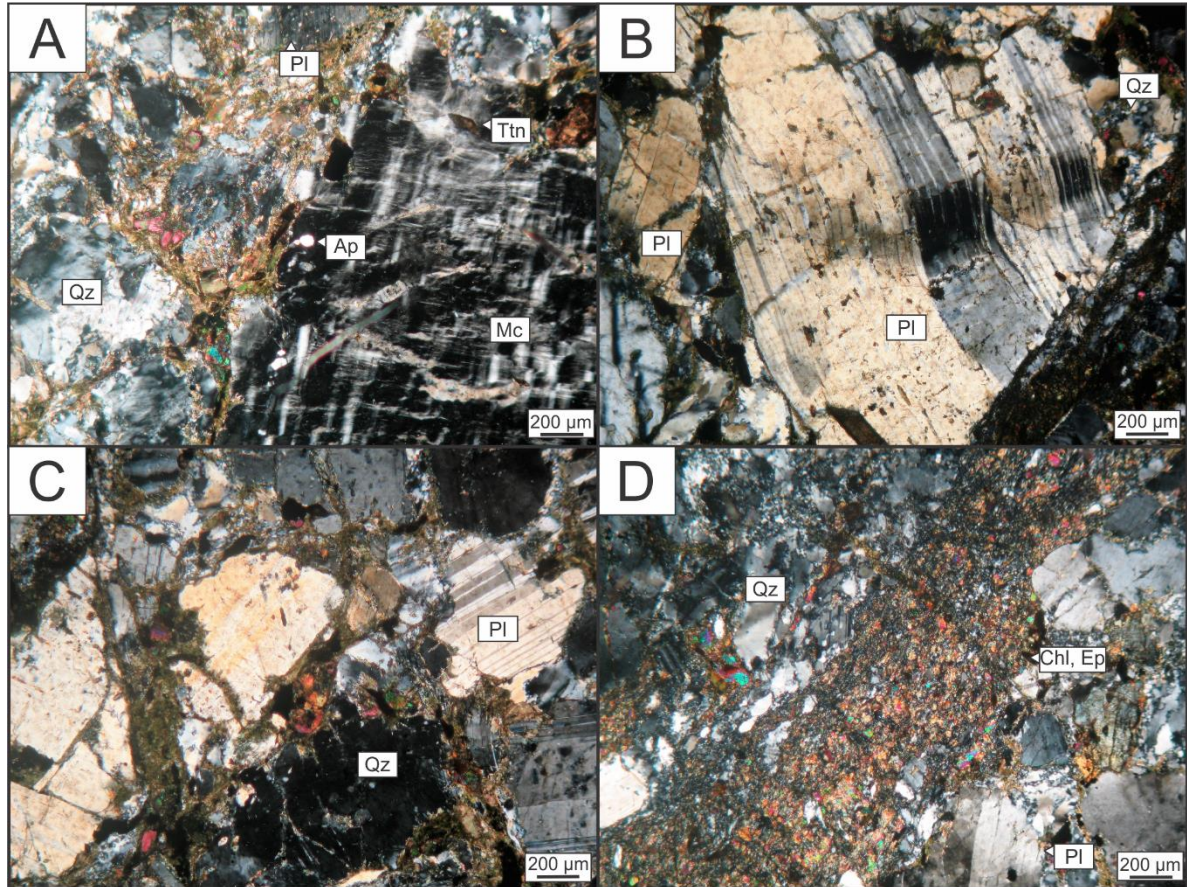


Figura 4.15: Aspectos do Granito Apiaí Indistinto. A) a D) Aspectos microscópicos a polarizadores transversais. Observar veios de epidoto e clorita que transpassam a rocha, plagioclásio com *kink bands*, minerais máficos em agregados amorfos, e cristais quartzo intensamente deformados.

Tabela 4.4: Composição modal estimada para a Fácies B do Granito Apiaí com base na petrografia da amostra AP5-3-2B.

Mineral	Porcentagem modal estimada
Plagioclásio (Oligoclásio)	23
Quartzo	24
Microclínio (fenocristais)	20
Microclínio (matriz)	10
Clorita	10
Epidoto	7
Biotita	4
Opacos	2
Apatita	tr
Titanita	tr
Zircão	tr
Albita	tr

5 LITOGEOQUÍMICA

O objetivo da litoquímica é classificar os litotipos utilizando-se diagramas geoquímicos de rochas e séries ígneas ao se relacionar seus os elementos constituintes (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Dados químicos de amostras de rocha total do Granito Apiaí.

Unidade geológica	Granito Apiaí								
Fácies	A ●					B ●			
Amostra	AP3-9-2	AP3-10-86	APB-6	APB-9	APB-13	AP4-4-14	AP3-3-10	APB-15	APB-27
Elementos maiores (peso %)									
SiO ₂	67.72	66.11	66.62	68	65.18	66.46	66.35	66.55	64.24
TiO ₂	0.62	0.68	0.66	0.61	0.66	0.73	0.69	0.75	0.92
Al ₂ O ₃	14.45	14.8	14.65	15.24	14.63	15.04	14.63	15.35	15.54
Fe ₂ O ₃	3.71	3.98	3.66	3.24	3.84	4.3	3.81	4.12	5.09
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07
MgO	1.43	1.54	1.53	1.33	1.41	1.55	1.48	1.48	2.05
CaO	2.76	2.74	2.81	2.51	2.49	2.61	2.56	2.23	3.21
Na ₂ O	4.32	3.77	3.89	4	3.63	4.07	3.74	3.8	3.75
K ₂ O	3.68	4.99	4.53	5.2	4.91	4.16	5.03	5.29	5.3
P ₂ O ₅	0.25	0.26	0.26	0.21	0.24	0.27	0.29	0.3	0.38
LOI	0.67	0.33	0.55	0.39	2.14	1.66	1.7	0.74	0.36
Total	99.66	99.25	99.21	100.78	99.19	100.9	100.33	100.66	100.91
Elementos-traço (ppm)									
Ag	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
As	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba	1146	2261	1916	2083	2042	1666	2268	2687	2714
Be	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Bi	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Cd	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Co	9	11	9	8	9	10	8	9	12
Cr	43	62	48	46	41	49	54	44	52
Cu	5	7	6	6	4	4	3	24	8
La	51	50	38	37	66	35	53	45	111
Li	21	22	21	19	23	24	21	13	25
Mo	4	7	4	3	<3	4	<3	3	<3
Ni	14	17	15	12	12	13	15	15	18
Pb	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8
Sb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sc	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sn	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	694	886	815	783	894	800	978	1024	1212
Th	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Tl	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
U	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
V	50	61	56	47	53	58	54	57	66
W	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Y	22	8	18	6	10	7	17	13	12
Zn	73	68	71	56	70	73	65	69	79
Zr	46	51	46	43	44	35	25	21	25
[La/Yb] _n	19.00	63.96	25.39	57.02	61.49	50.94	50.90	46.52	92.24
Eu*	74.10	47.57	52.42	40.58	51.13	52.77	55.63	56.32	73.70
Eu/Eu*	0.49	0.52	0.53	0.60	0.54	0.54	0.52	0.53	0.52
Ce-Sm	3.00	4.32	3.83	4.48	4.82	4.51	3.76	3.82	4.81
Gd-Yb	2.72	4.76	2.77	5.25	4.44	4.98	5.25	4.64	5.40

A distribuição dos elementos maiores encontra-se caracterizada nos diagramas de Harker (1909) (Figuras 5.1A a H). Os teores de sílica encontram-se entre 64% e 69% e apresentam desde termos iniciais mais empobrecidos em sílica a termos graníticos em sílica de rochas graníticas mais evoluídas.

Os teores de Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO e MnO apresentam no geral tendências bem definidas com correlação negativa em relação à sílica, e indicam as características de rochas leucocráticas, com relativo empobrecimento em minerais máficos. As exceções são para os médios de $\text{Na}_2\text{O} > 3,5\%$ (Figura 5.1F) e de $\text{K}_2\text{O} > 4\%$ (Figura 5.1G) que oscilam num intervalo de variação mais ou menos constante com o aumento da sílica.

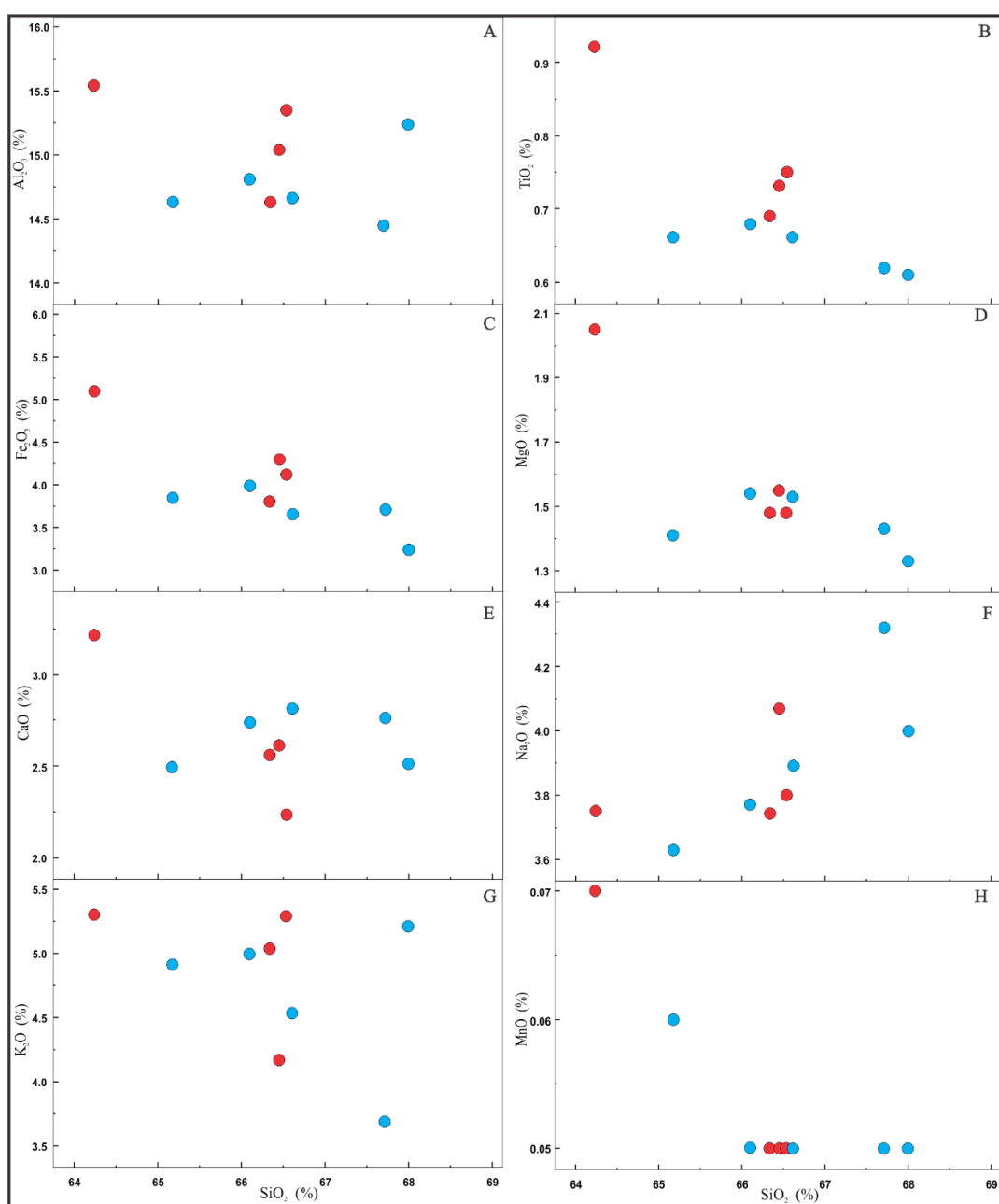


Figura 5.1: Diagramas de correlação de óxidos de elementos maiores por sílica tipo Harker (1909). A) Al_2O_3 ; B) TiO_2 ; C) Fe_2O_3 ; D) MgO ; E) CaO ; F) Na_2O ; G) K_2O ; H) MnO .

As rochas são classificadas nos diagramas petrográficos, da figura 5.2. Na figura 5.2A, de Le Maitre (1989) as amostras distribuem-se concentradamente no campo do quartzo monzonito.

Segundo Middlemost (1985) observado na figura 5.2B, os litotipos distribuem-se predominantemente como quartzo monzonitos, subordinadamente monzogranitos a granodioritos. No diagrama QAP da figura 5.2C de Lameyre & Bowden (1982), as rochas são classificadas como monzogranitos, com um exemplar de granodiorito.

Nos diagramas de séries magmáticas de Peacock (1931), as rochas são definidas segundo a figura 5.2D, em uma tendência cálcio-alcálica. Na figura 5.2E, de Debon et al. (1988), os litotipos são classificados predominantemente como granitos de afinidade com as séries subalcalinas.

Na figura 5.2F de Taylor (1976), observa-se que as amostras se distribuem na transição do campo da série cálcio-alcálica alto potássio, apresentando uma amostra evoluindo para série shoshonítica.

Nos diagramas de alumínio saturação, as rochas são classificadas segundo a figura 5.2G (Maniar & Picolli, 1989), como granitóides peraluminosos em razão da presença dominante de biotita. No diagrama de Debon & Le Fort (1983) da figura 5.2H, define-se para os litotipos um conjunto de granitos metaluminosos constituídos predominantemente por biotita e hornblenda (campo IV). A presença marcante de minerais cálcio-alcálicos, como hornblenda + biotita e os diagramas da figura 5.2, reforçam o caráter de um *stock* cálcio alcálico.

Quanto à distribuição dos elementos-traço dos diagramas binários das figuras 5.3A a D, observa-se que a distribuição de Ba e Sr apresentam um *trend* geral com caimento dos valores conforme aumenta-se o teor de SiO₂. No geral, o estrôncio apresenta correlação direta com cálcio, evidenciado na redução de plagioclásios para as rochas mais diferenciadas e enriquecidas em SiO₂. Portanto, sugere-se um processo de fracionamento magmático, envolvendo principalmente os feldspatos, com consequente aumento de feldspato potássico a partir da segregação e redução em plagioclásios, e empobrecimento de Sr do fundido magmático.

Os valores de zircônio mostram uma correlação negativa para a fácies mais diferenciada. O decréscimo do Zr indica forte fracionamento ao longo da evolução dos líquidos e sua diminuição nas concentrações nos líquidos mais diferenciados finais, sugere o fracionamento simultâneo de titanomagnetita, ilmenita e zircão no processo evolutivo do líquido magmático.

Os valores de ítrio são baixos e devido ao maior fracionamento magmático e correlação com o empobrecimento de minerais ferromagnesianos.

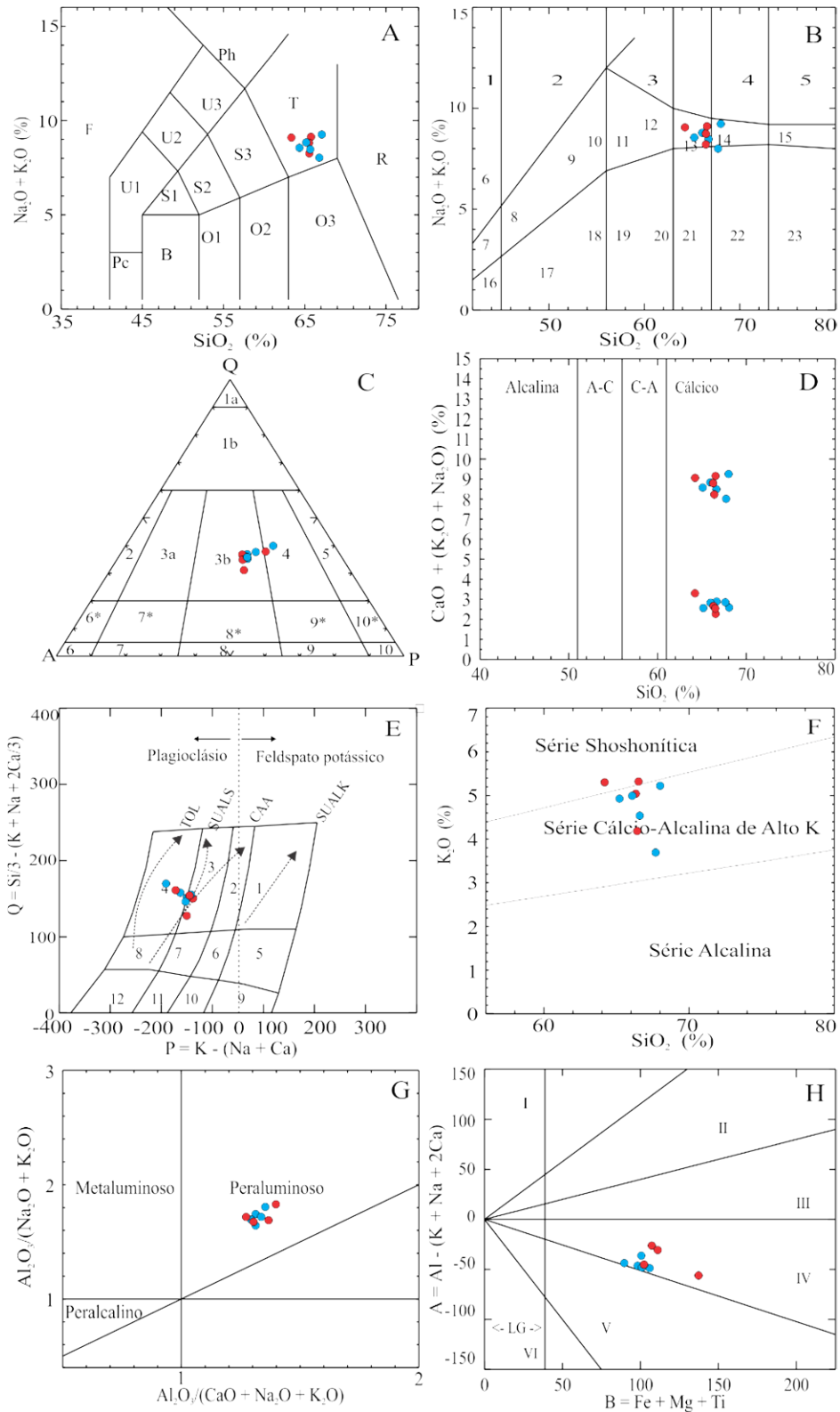


Figura 5.2: Diagramas de classificação geoquímica quanto à composição. A) Sílica por álcalis de Le Maitre (1989), T – quartzo monzonito; B) Sílica por álcalis de acordo com Middlemost (1985), 13 – quartzo monzonito, 14 – monzogranito 22 – monzogranito a granodiorito; C) Diagrama QAP (quartzo, feldspatos alcalinos, plagioclásios), de acordo com Le Maitre (1989), 3b – monzogranito, 4 – granodiorito; D) De acordo com Peacock (1931); E) Q por P, de acordo com Debon *et al.* (1988), 3 – Granodiorito, 4 – Tonalito; F) De acordo com Taylor (1976); G) Índice de Shand de Maniar & Picolli (1989); e H) A vs B, de Debon & Le Fort (1983), IV – Leucogranitos metaluminosos com hornblenda e biotita.

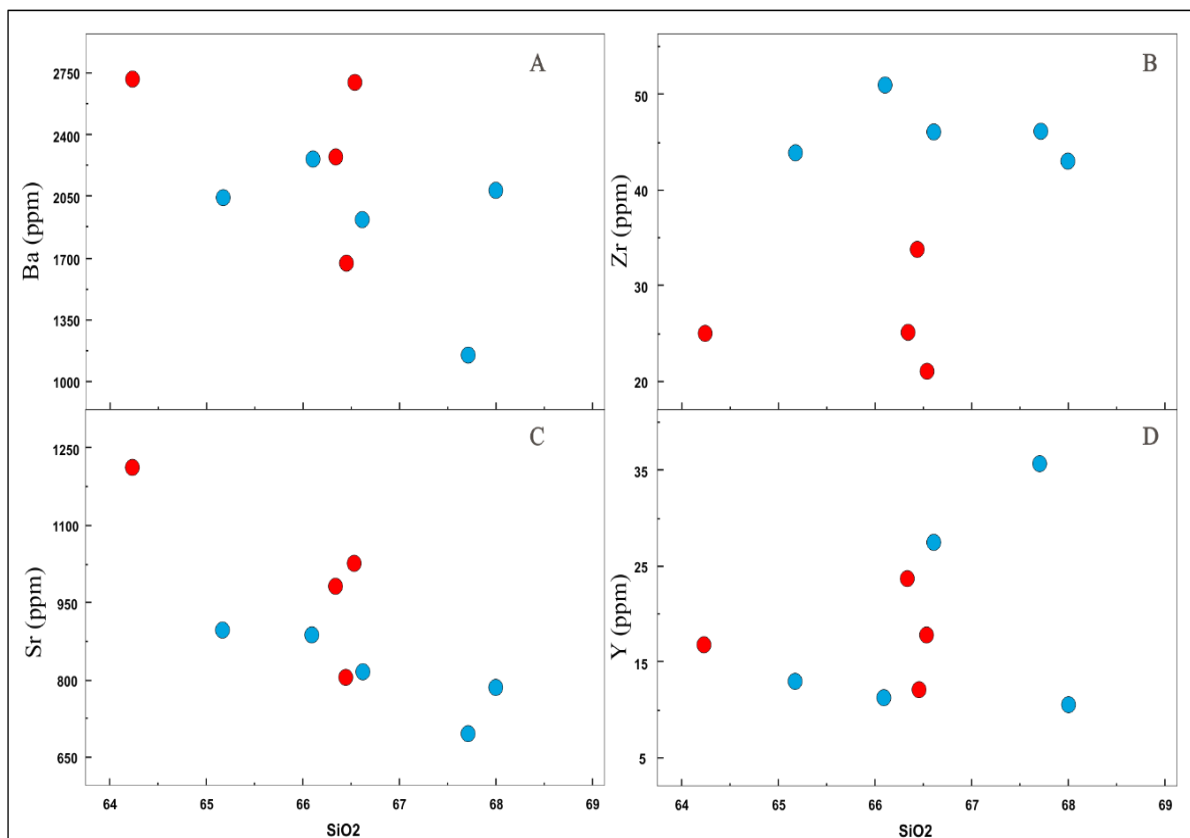


Figura 5.3: Diagramas geoquímicos binários de elementos-traço para amostras do Granito Apiaí.

Nos diagramas de caracterização de ambiente geotectônico, observa-se na figura 5.4A, que as amostras se encontram distribuídas no campo sin colisional a tardi orogênico de ambiente de arco magmático (Batchelor & Bowden, 1985). No diagrama da figura 5.4B (Frost et al., 2001), as amostras são identificadas como granitos magnesianos do Tipo I Cordilheirano sin colisional de ambiente de arco magmático.

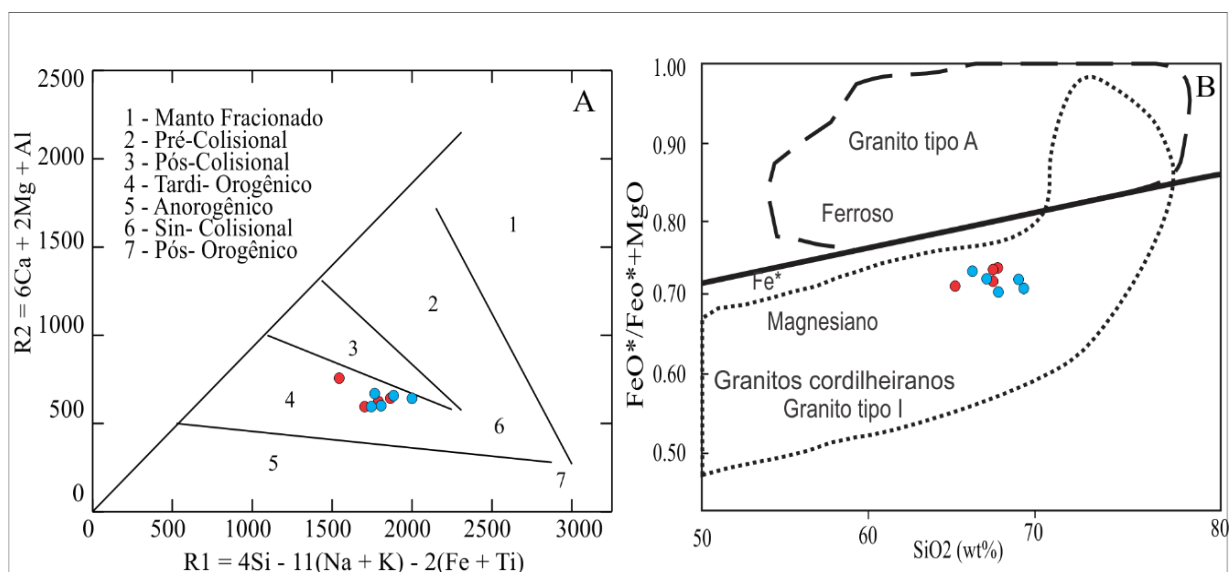


Figura 5.4: Diagramas geoquímicos de classificação de ambientes geotectônicos para amostras do Granito Apiaí. A) R1 vs R2 de Batchelor & Bowden (1985). B) De acordo com Frost et al. (2001).

Nos variogramas de multielementos da figura 5.5A, os elementos-traço foram normalizados para os valores de meteoritos condríticos de Thompson (1982) e na figura 5.5B para os valores de crosta inferior de Weaver & Tarney (1984).

A maioria dos litotipos exibe um forte empobrecimento em Rb e Zr, e enriquecimento em Nd, Sm e Y. Evidenciando, processos de fracionamento envolvendo feldspatos e máficos. Os valores dos elementos traços e as razões de Ba/Rb altas evidenciam rochas fracamente diferenciadas

Os diagramas de elementos terras-raras (ETR) foram normalizadas segundo os valores de meteoritos condríticos de Boynton (1984) (Figura 5.5C) e na figura 5.5D, normalizadas segundo os valores para crosta inferior Weaver & Tarney (1984).

Os padrões gerais de distribuições de elementos terras-raras obtidos para o agrupamento de rochas são similares e com uma distribuição assimétrica e paralela, o que evidencia amostras distintas e cogenéticas. Apresenta valores crescentes de elementos terras raras leves (ETRL) para as rochas mais diferenciadas e redução dos valores de elementos de terras raras pesadas (ETRP) e fraca a ausente anomalia negativa em Eu, o que sugere a intensificação do processo de fracionamento magmático, a partir do magma inicial, através da remoção dos plagioclásios e enriquecimento de feldspato.

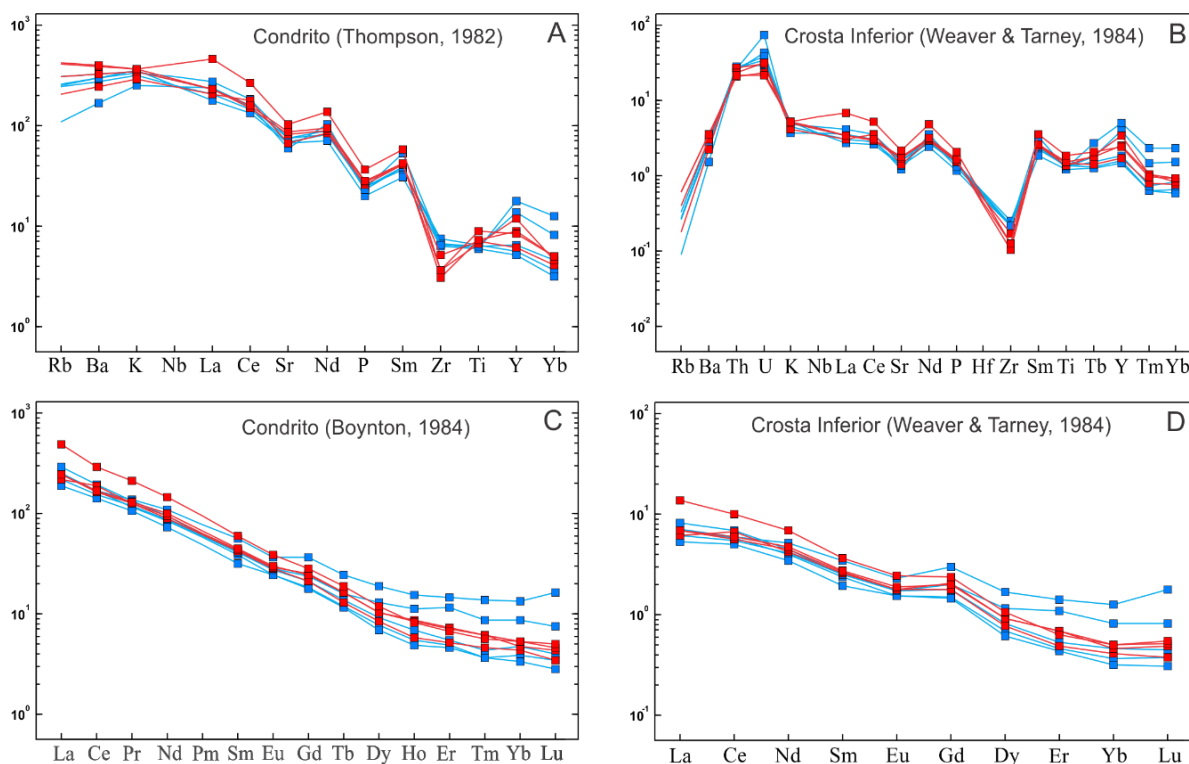


Figura 5.5: Diagramas de variogramas de multielementos incompatíveis e elementos de terra-raras para as amostras de rochas do Granito Apiaí. A) Valores para meteoritos condríticos de Thompson (1982); B) Valores da crosta inferior de Weaver; Tarney (1984); C) Valores dos meteoritos condríticos de Boynton (1984); e D) Valores da crosta inferior de Weaver & Tarney (1984).

O padrão geral de distribuição dos elementos terras-raras (ETR) normalizados pelo condrito (Boynton, 1984) apresentam para a fácies A $[La/Yb=57.01]_N$, e para fácies B $[La/Yb=50.92]_N$, o que sugere que, durante o fracionamento magmático, não ocorreu uma expressiva participação das fases enriquecidas em elementos terras-raras pesadas (ETRP), consequência do empobrecimento em minerais ferromagnesianos e minerais acessórios.

Apresentam fraca anomalia negativa de Eu, para a fácies A $[Eu/Eu^*=0.53]_N$, e para fácies B $[Eu/Eu^*=0.52]_N$, assimetria definida pela relação de elementos terras-raras leves para a fácies A $[Ce/Sm]_N=4.32$, e para a fácies B $[Ce/Sm]_N=5.16$ em relação ao empobrecimento de elementos terras-raras pesadas para a fácies A $[Gd/Yb]_N=4.43$, para a fácies B $[Gd/Yb]_N=5.11$ o que indica um conjunto de rochas pouco evoluídas.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Granito Apiaí na área mapeada foi subdividido em duas fácies dominantes: Fácies A – Hornblenda-Biotita Monzogranito Porfíritico, que ocorre no extremo sudoeste da área e Fácies B - Biotita Monzogranito Porfíritico com hornblenda, predominando na parte central e nordeste.

Mineralogicamente, a existência de hornblenda, allanita, titanita fornecem o caráter de Granito tipo I – de acordo com Chappell & White (1974) e observado no enquadramento do corpo de acordo com as principais classificações de granitos presente na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Diferentes classificações para granitos e o enquadramento do Granito Apiaí em cada um deles.

Autores	Classificação baseada	Classificação	Granito Apiaí
Ivanova & Butuzova (1968)	Mineralogia	Titanita-allanita; Ilmenita-monazita	Titanita-allanita
Chappel & White (1974)	Geoquímica de elementos maiores	I; S	I
Ishihara (1977)	Mineralogia de óxidos	Magnetita; Ilmenita	Magnetita
Loiselle & Wones (1979)	Geoquímica de elementos maiores	I; A; S	I
Lameyre & Bowden (1982)	Geoquímica de elementos maiores	Séries de granitoides	Cálcio-alcalina de alto K
Pitcher (1982)	Ambiente tectônico e geoquímica	M; I; A;S	I
Maniar & Piccoli (1989)	Ambiente tectônico e geoquímica	IAG; CAG; CCG; POG; RRG; CEUG; OP	CAG

Micro estruturalmente, a existência de uma foliação incipiente marcada pela orientação

dos fenocristais de microclínio; minerais essenciais como biotita e oligoclásio dobrados, com ou sem *kink bands*, quartzo com extinção ondulante, ou *bulging*, e subgrãos com padrão “tabuleiro de xadrez”; e acessórios, como apatita, zircão e titanita, fraturados, denotam o caráter sin colisional do Granito Apiaí. Em comparação com a Fácies A, a Fácies B do Granito Apiaí apresenta: i) fenocristais de microclínio menores, porém em maior quantidade; ii) menor quantidade de biotita e hornblenda; e iii) minerais relativamente menos deformados.

Tais microestruturas são respostas intracristalinas à deformação em condições de baixo grau (entre 300 e 400 °C) à qual os litotipos foram submetidos (Passchier & Trouw, 2005). Apesar de todo o *stock* ser deformado, a Fácies A, situada na porção sudoeste do plúton apresenta maior quantidade dessas feições se comparada à nordeste.

As análises geoquímicas corroboram com as petrográficas para tal classificação. Os diagramas geoquímicos expostos previamente comprovam que o magmatismo é compatível com os granitos do tipo I sin colisionais cordilheiranos.

No que tange a evolução geológica da área, as informações supracitadas e a relação de contato entre o Granito Apiaí e suas unidades encaixantes permitem inferir que sua colocação é sin colisional em relação à fase deformacional D₁, uma vez que injeções do granito em tais unidades foram deformadas nas fases subsequentes.

Por fim, a existência dos granitos indistintos (brechados ou milonitizados) evidencia a ocorrência da fase deformacional D₃ no Granito Apiaí. Quanto mais próximo das zonas de cisalhamento locais, mais deformado encontra-se o granito devido à tal interferência.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Granito Apiaí é um *stock* granítico de 65 Km² que pode ser subdividido em duas fácies principais: (A) Hornblenda-Biotita Monzogranito Porfirítico, (B) Biotita Monzogranito Porfirítico com Hornblenda; e uma secundária Granito Indistinto. Sua composição química o denota um caráter de granito Tipo I Cordilheirano, cálcio-alcálico de alto potássio a shoshonítico, predominantemente metaluminoso.

Pode-se inferir que a colocação dos *plúton* dividiu-se em duas fases ou pulsos magmáticos: o primeiro marcado pela solidificação de um magma menos diferenciado representado pela Fácies A e, o segundo pela cristalização do magma levemente mais diferenciado representado pela fácies B

A partir das relações de campo, petrográficas e geoquímicas, classifica-se o Granito Apiaí como um corpo de colocação em um ambiente sin colisional, durante a fase de deformação regional D₁.

8 REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. O domínio morfoclimático dos mares de morros no Brasil. São Paulo, USP, Instituto de Geografia, **Geomorfologia**, 2, 1966.
- ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da Plataforma Brasileira**. DNPM, 1967.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande. **Atas do...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977. p. 363-391.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian Structural Provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews, Amsterdam**, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. O Pré-cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711- 728, 2013.
- BASEI, M.A.S.; SIGA, O. Jr.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 2, p. 216-221, 1992.
- BASEI, M.A.S.; FRIMMEL, H.E.; NUTMAN, A.P.; PRECIOZZI, F. West Gondwana amalgamation based on detrital zircon ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano belts of South America and comparison with coeval sequences from SW Africa. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 294, n. 1, p. 239-256, 2008.
- BASEI, M.A.S.; BRITO NEVES, B.B.; SIGA, O. Jr.; BABINSKI, M.; PIMENTEL, M.M.; TASSINARI, C.C.G.; HOLLANDA, M.H.B.; NUTMAN, A.P.; CORDANI, U.G. Contribution of SHRIMP U–Pb zircon geochronology to unravelling the evolution of Brazilian Neoproterozoic fold belts. **Precambrian Research**, v. 183, n. 1, p. 112-144, 2010.
- BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. Petrogenetic Interpretation of Granitic Rocks Series Using Multicationic Parameters. **Chemical Geology**, v.48, p. 43-55. 1985.
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. Estudos preliminares na série Açungui. VIII – A formação Votuverava. **Boletim do Instituto de História Natural**, v.2, p. 1-6, 1958a.
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. Contribuição à geologia da região sul da série Açungui (estado do Paraná). **Boletim Paulista Geografia**, v. 29, p. 1-14, 1958b.
- BITENCOURT, M.F. **Granitóides sintectônicos da região de Porto Belo, SC: uma abordagem petrológica e estrutural do magmatismo em zonas de cisalhamento**. Porto Alegre, 1996. Tese (PhD em Geociências), Instituto de Geociências - Universidade Federal

do Rio Grande do Sul.

- BOYNTON, W.V. Cosmo chemistry of the rare-earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P. Rare-Earth Elements Geochemistry. Amsterdam: **Elsevier**, p. 63-114, 1984.
- BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M. The Brasiliano collage in South America: a review. **Brazilian Journal of Geology**, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 493-518, 2014.
- CAMPANHA G.A.C. **Tectônica proterozoica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo, 296p. 1991. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- CAMPANHA, G.A.C. **O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira**. São Paulo, 2002. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- CAMPANHA, G.D.C.; GIMENEZ FILHO, A.; CAETANO, S.L.V.; PIRES, F.A.; DANTAS, A.S.L.; TEIXEIRA, A.L.; DEHIRA, L.K. **Geologia das folhas Iporanga (SG.22-X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG.22-X-B-VI-1), estado de São Paulo**. São Paulo. Contrato IPT/Pró-Minério, 1985. (IPT. Relatório, 22.352.
- CAMPANHA, G.A.C.; GIMENEZ FILHO, A.; BISTRICHI, C.A. Geologia da Folha Itararé em 1:250 000. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4. Águas de São Pedro, 1995. **Boletim....** Águas de São Pedro: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 111.
- CAMPANHA, G.A.C. & SADOWSKI, G. R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). **Precambrian Research**, v. 98, n. 1-2, p. 31-51, 1999.
- CAMPANHA, G.A.C.; SADOWSKI, G.R. Determinações da deformação finita em rochas metassedimentares da Faixa Ribeira na região de Iporanga e Apiaí, SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 1, p. 107-118, 2002.
- CAMPANHA, G.A.C.; BASEI, M.S.; FALEIROS, F.M.; NUTMAN, A.P. The Mesoproterozoic to early Neoproterozoic passive margin Lajeado Group and Apiaí Gabbro, Southeastern Brazil. **Geoscience Frontiers**, v.7, p. 683-694, 2015.
- CAMPOS NETO, M.C., FIGUEIREDO, M.C.H. The Rio Doce orogeny, Southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 2, p.143-162, 1995.
- CHAPPEL, B.W. & WHITE, A.J.R. Two contrasting granite types. **Pacific Geology**, v. 8, n. 2, p. 173-174, 1974.
- CHIODI FILHO, C.; MORETZSHON, J.S.; SANTOS, J.F.; SOARES, P.C. Aspectos geológicos e metalogenéticos dos granitos Morro Grande, Piedade e Varginha-Vale do Ribeira-Paraná. In: SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba.

- Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2009. v. 2, p. 515-542.
- CURY, L.F. **Geocronologia e litogeoquímica dos stocks graníticos da porção sudeste da Faixa Apiaí, estado do Paraná.** São Paulo. 2003. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- CURY, L.F.; SIGA JR, O.; HARARA, O.M.M., PRAZERES FILHO, H.J.; BASEI, M.A. S. Aspectos tectônicos das intrusões dos granitos do Cerne, Passa Três e Rio Abaixo, sudeste do Pré-cambriano Paranaense: estudo baseado em datações. **Revista Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 87-104, 2008.
- CURY, L.F.; KAULFUSS, G.A.; SIGA JR, O.; BASEI, M.A.S.; SATO, K.; HARARA, O.M.M. Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitoides alcalinos deformados dos núcleos Betara e Tigre: evidências de regimes extensionais do Estateriano na faixa Apiaí. **Serie Científica. Geologia**, n. 2, p.95-108, 2002.
- DEBON, F. & LE FORT, P. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences**, v. 73, p. 135-149, 1983.
- DEBON, F.; LE FORT, P.; SABATÉ, P. Uma classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 18, n. 2, p. 122-133, 1988.
- DELGADO, I.M.; SOUZA, J.D.; SILVA, L.C.; SILVEIRA FILHO, N.C.; SANTOS, R.G.; PEDREIRA, A.J.; GUIMARÃES, J.T.; ANGELIM, L.A.A; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, I.P.; LACERDA FILHO, J.V.; VALENTE, C.R.; PERROTTA, M.M.; HEINECK, C.A. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Brasília: CPRM, 2003. p. 227-334.
- DIDIER, J. & BARBARIN, B. Enclaves and granite petrology. **Developments in Petrology**, v. 13, n. 625, 1991.
- ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.
- FALEIROS, F.M. **Zona de Cisalhamento Ribeira: deformação, metamorfismo e termobarometria de veios sin-tectônicos.** São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo.
- FALEIROS, F.M. **Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR).** São Paulo, 306 p. 2008. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

- 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 retroarco calimiana. *Geologia USP. Série Científica*, v. 11, n. 2, p. 135-155, 2011.
- FALEIROS, F.M.; MORAIS, S.M.; CROSTA, V.S. **Geologia e Recursos minerais da Folha Apiaí – SG.22-X-B-V, Estados de São Paulo e Paraná, Escala 1:100.000**. São Paulo: CPRM, 107 p., 2012.
- FERNANDEZ, A.N. & GASQUET, D.R. Relative rheological evolution of chemically contrasted coeval magmas: example of the Tichka plutonic complex (Morocco). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 116, n. 3, p. 316-326, 1994.
- FIORI, A.P. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui, PR. *Boletim IG-USP. Série Científica*, v. 23, p. 55-74, 1992.
- FIORI, A.P. Evolução geológica da bacia Açungui. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 42, p. 7-27, 1994.
- FROST, B.R.; BARNES, C.G.; COLLINS, W.J.; ARCULUS, R.J.; ELLIS, D.J.; FROST, C.D. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, v. 40, p. 261-293, 2001.
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; TREIN, E. Contribuição ao estudo das rochas graníticas do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 23, p. 25, 1967.
- GIMENEZ FILHO, A.G. **Evolução do Complexo Três Córregos a noroeste de Apiaí - SP**. São Paulo, 1993. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GIMENEZ FILHO, A.G.; TEIXEIRA, W.; FIGUEIREDO, M.C.H.; TREVIZOLI JR, L. Geologia, petrografia, e litogeoquímica do Complexo Granítico Três Córregos na região de Barra do Chapéu e Ribeirão Branco, SP. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 2, p. 92-106, 1995.
- GIMENEZ FILHO, A.G.; JANASI, V.A.; CAMPANHA, G.AC.; TEIXEIRA, W.; TREVIZOLI Jr., L.E. U-Pb dating and Rb-Sr isotope geochemistry of the Eastern portion of the Três Córregos Batolith Ribeira Fold Belt, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 45-50, 2000.
- GORAIEB, C.L. **Contribuição à Gênese do Depósito Primário Polimetálico (Sn, W $\pm$, Zn, Cu, Pb) Correias, Ribeirão Branco (SP)**. São Paulo, 2001. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES, G.B. **O complexo granítico Cunhaporanga na região de Joaquim**

- Murtinlio, Pirai do Sul (PR): caracterização faciológica das rochas granitóides.** São Paulo, 1995. Tese (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES, G.B. **As rochas granitóides do complexo granítico Cunhaporanga, PR: aspectos geológicos, geofísicos, geoquímicos e mineralógicos.** São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES, G. & ULBRICH, H.H.G.J. Aspectos geoquímicos das rochas granitóides do complexo granítico Cunhaporanga, Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUIMICA, 7, 1999, Porto Seguro. **Anais.** Porto Seguro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1999, p. 522-524.
- HACKSPACHER, P.C. DANTAS, E.; SPOLADORE, A.L.; FETTER, A.H.; OLIVEIRA M.A.F. Evidence for Neoproterozoic backarc basin development in the central Ribeira belt, southeastern Brazil: new geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui groups. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 110-114, 2000.
- HARKER, A. **The Natural History of Igneous Rocks.** London, Methuen, 384 p., 1909.
- HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, p. 141-169, 2010.
- HASUI, Y. Sistema Orogênico Mantiqueira. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (Org.). **Geologia do Brasil.** São Paulo: Beca, 2012. p. 331-372.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, p. 254-267, 1975.
- HEILBRON, M.C.P.L. Evolução tectono-metamórfica da seção Bom Jardim de Minas (MG) - Barra do Pirai (RJ): setor central da faixa Ribeira. São Paulo, 1993. **Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica)**, Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- HEILBRON, M. & MACHADO, N. Timing of Terrane Accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira Orogen SE Brazil. **Precambrian Research**, v. 125, p. 87-112, 2003.
- HEILBRON, M.C.P.L.; VALERIANO, C.D.M.; VALLADARES, C.S.; MACHADO, N. A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 249-266, 1995.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J. & JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Editora Beca, p. 203-234, 2004.

- IBGE. Folha Topográfica - Apiaí. São Paulo: IBGE, 1987.
- IBGE. Folha Topográfica - Araçáiba. São Paulo: IBGE, 1975.
- IBGE. Folha Topográfica – Mina do Espírito Santo. São Paulo: IBGE, 1974.
- ISHIHARA, S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. **Mining Geology**, v. 27, n. 145, p. 293-305, 1977.
- IUGS - Subcommission on the systematics of igneous rocks. **Geotimes**, n. 18, p. 26 – 30, 1973.
- IVANOVA, G.F. & BUTUZOVA, Y.G. Distribution of tungsten tin and molybdenum in granites of eastern Transbaykaliya. **Geochemistry International USSR**, v. 5, n. 3, p. 572-&, 1968.
- JANASI, V.A.; VASCONCELLOS, A.C.B.C.; VLACH, S.F.R.; MOTIDOME, M.J. Granitoides da região entre as cidades de São Paulo e Piedade (SP): faciologia e contexto tectônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. **Anais...**Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. v. 4, p. 1925-1935.
- JANASI, V.A.; LEITE, R.J.; VAN SCHMUS, W.R. U/Pb chronostratigraphy of the granitic magmatism in the Agudos Grandes Batholith (west of São Paulo) – implications for the evolution of the Ribeira Belt. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 363-376, 2001.
- JERRAM, D. & PETFORD, N. **Igneous Rocks in the Field**. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 229 p., 2011.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. Plutonic rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 14, n. 1-2, p. 169-186, 1982.
- LE MAITRE, R.W. **A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms**, Cambridge University Press, Cambridge, England, 2002
- LE MAITRE, R.W. **Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendationsof the International Union of Geological-Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks**. Blackwell, Oxford, 193 p. 1989.
- LEITE, C.M.M.; SANTOS, R.A.; CONCEIÇÃO, H. A Província Toleiítica-Alcalina de Campo Alegre de Lourdes: geologia e evolução tectônica. In: SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, Belo Horizonte, 1993. **Atas...**Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, p. 56-59.
- LEITE, R.J. **Geologia, petrografia e geoquímica dos granitos da região de Piedade (SP)**. São Paulo, 1997. Tese (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

- LOISELLE, M.C. & WONES, D.R. Characteristics and origin of anorogenic granites. **Geological Society of America**, v. 11, p. 468, 1979.
- MANIAR, P.D. & PICOLLI, P.M. Tectonic Discrimination of Granitoids. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, p. 635-643, 1989.
- MARINI, O.J.; TREIN, E.; FUCK, R.A. O Grupo Açungui no estado do Paraná. In: BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; PINTO, V. M. Geologia do Pré-Devoniano e Intrusivas Subsequentes da porção oriental do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 23-25, p. 43-104, 1967.
- MELCHER, G.C.; GOMES, C.B.; CORDANI, U.G.; BETTENCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; GIRARDI, V.A.; MELFI, A.J. Geologia e petrologia das rochas metamórficas e graníticas associadas do Vale do Rio Ribeira de Iguape, SP e PR. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 97-123, 1973.
- MELLO, I.S.C. **Geologia e aspectos metalogenéticos do Maciço Itaoca, Vale do Ribeira, SP e PR**. São Paulo. 1995. 168 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências.
- MIDDLEMOST, E.A.K. **Magma and Magmatic Rocks. An Introduction to Igneous Petrology**. London: Longman, 206 p., 1985.
- OLIVEIRA, M.A.F.D.; MANIESI, V.; TEIXEIRA, W.; DAITX, E.C. Caracterização isotópica de metabasitos e anfibolitos dos Grupos Açungui e Setuva na Porção Sul da Faixa Ribeira. **Geologia USP. Série Científica**, v. 2, p. 161-170, 2002.
- PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. **Microtectonics**. Springer Science & Business Media, 336 p., 2005.
- PEACOCK, M.A. Classification of igneous rock series. **Journal Geology**, v. 39. p. 54-67. 1931.
- PERROTTA, M.M. **Potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geoquímicos, geofísicos e de sensores remotos num sistema de informações geográficas**. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. Mapa geológico do estado de São Paulo, escala 1:750.000. **Programa Geologia do Brasil - PGB**. CPRM, São Paulo, 2005.
- PICANÇO, J.L. **Composição isotópica e processos hidrotermais associados aos veios auríferos do Maciço Granítico Passa Três, Campo Largo, PR**. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

- PIRES, F.A. **Análise paleoambiental e estratigráfica de sequências metassedimentares (Grupo Açungui), na região de Iporanga e Apiaí - São Paulo**. São Paulo, 1990. Tese (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- PITCHER, W.S. Granite type and tectonic environment. **Mountain building processes**, p. 19-40, 1982.
- PRAZERES FILHO, H.J. **Litogeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, Estado do Paraná**. 2000. Tese (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- PRAZERES FILHO, H.J. **Caracterização geológica e petrogenética do Batólito Granítico Três Córregos (PRSP): geoquímica isotópica (Nd-Sr-Pb), idades (ID-TIMS/ SHRIMP) e $\delta^{18}\text{O}$ em zircão**. São Paulo. 2005. 207 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PRAZERES FILHO, H.J.; BASEI, M.A.S.; PASSARELLI, C.R.; HARARA, O.M; SIGA, O. JR U-Pb zircon ages of post-orogenic granitic magmatism in Apiaí Folded belt (Paraná State, Southern Brazil): Petrological and geotectonic significance. In: South American Symposium on Isotope Geology Salvador, IV, Salvador, 2003. **Anais...**Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003, v. 2, p. 656-659,
- PRAZERES FILHO, H.J.; BASEI, M.A.S.; HARARA, O.M.; PASSARELLI, C.R.; SIGA JR., O.; REIS NETO, J.M.; SATO, K. The Alto Ribeira Magmatic Arc (Paraná State-Southern Brazil): geochemical and isotopic evidences of magmatic focus migration and its tectonic implications. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 3, 2001, Pucón. **Proceedings...** Pucón, Chile: Sociedad Geológica de Chile, 2001. p. 213-216.
- PRAZERES FILHO, H.J.; HARARA, O.M.; PASSARELLI, C.R.; SIGA JÚNIOR, O. Litoquímica, 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. **Geologia USP. Série Científica**, v. 3, p. 51-70, 2003A.
- PREFEITURA DE APIAÍ. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Programa de Fortalecimento dos Instrumentos de Planejamento do Setor de Saneamento**. Relatório R4. Apiaí: Prefeitura, 2010.
- REIS NETO, J.M. **Faixa Itaiacoca: registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozoico**. São Paulo, 1994. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, T.B.; TASSINARI, C.C.G.; FONSECA, P.E.; MUNHÁ, J.M. Geodynamic

- evolution of the Ribeira Fold Belt (SE Brazil): Preliminary geochronological and geochemical evidence for diachronic collision, slab break-off and underplating. **Comunicações Geológicas**, v. 101, p. 49-52. 2014.
- SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente – SMA. **Relatório Final da Proposta de Macrozoneamento do Vale do Ribeira**. Contrato ENGEORPS. São Paulo: SMA, 1996.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente – SMA. **Zoneamento Ecológico-Econômico Setor Costeiro do Vale do Ribeira**. São Paulo: SMA, 2014.
- SIIVOLA, J. & SCHMID, R. List of mineral abbreviations. *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Sub commission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. **American Mineralogist**, v. 95, n. 1, 185-187, 2010.
- SILVA, M.G.; ROCHA NETO, M.B.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (Org.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras**. Belo Horizonte: CPRM, 2014.
- SOARES, P.C. & FIORI, D.P. Lógica e sistemática de análise e interpretação de fotografia aérea em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.
- STRECKEISEN, A.L. Classification and nomenclature of igneous rocks. **Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen**, v. 107, p. 144-240, 1967.
- STRECKEISEN, A.L. Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks. **Geotimes**, n. 18, p. 26 – 30, 1973.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Reviews**, v. 12, n. 1, p. 1-33, 1976.
- TAYLOR, W.P. Intrusion and differentiation of granitic magma at high level in the crust: the Puscao Pluton. Lima, Peru. **Journal of Petrology**, p. 82-133, 1976.
- THOMPSON, R.N. British Tertiary volcanic province. **Journal of Geology**, v. 18, p. 49-107, 1982.
- TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.; VALERIANO, C.; ALMEIDA, J.H.; TUPINAMBÁ, M.; ANDREIS, R. The central segment of the Ribeira Fold Belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds). **Tectonic Evolution of South America**, p.297-310. Rio de Janeiro, 2000.
- TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B.P.; NOGUEIRA, J.R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L.G. E.; MEDEIROS, S.R.; ALMEIDA, C.G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C.D.; MENDES, J.; LUDKA, I. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuáí. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 67-79, 2007.

- WALKER, R.G. & JAMES, N.P. **Facies models: response to sea-level changes**. Stittsville: Geological Association of Canada, 1992.
- WEAVER, B. & TARNEY, J. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. **Nature**, v. 310, p. 575-57, 1984.
- WERNICK, E.; RIGO JR., L.; GALEMBECK, T.M.B.; WEBER-DIEFENBACH, K. Os complexos granitóides Cunhaporanga e Três Córregos (PR): zoneamento magmático e implicações geotectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 9, p. 67-85, 1990.
- WHITNEY, D.L. & EVANS, B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. **American Mineralogist**, v. 95, n. 1, p. 185-187, 2010.

