

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO COMPARATIVO DAS UNIDADES GNÁISSICAS E
MIGMATÍTIAS DA NAPPE SOCORRO-GUAXUPÉ E DOMÍNIO
EMBU, NA REGIÃO DE PINDAMONHANGABA (SP): GEOLOGIA E
PETROGRAFIA**

João Marcos Siqueira Silva

Orientadora: Profa.Dra. Lucelene Martins
Co-orientador: Geól. Francisco de Assis Negri

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2015 / 25)

SÃO PAULO

2015

TF
S586
JMS.e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IGc-Instituto de Geociências



Estudo comparativo das unidades gnáissicas e
migmatíticas da nappe Socorro-Guaxupé e domínio Embu
M26515



**ESTUDO COMPARATIVO DAS UNIDADES GNÁISSICAS E MIGMATÍTICAS DA
NAPPE SOCORRO-GUAXUPÉ E DOMÍNIO EMBU, NA REGIÃO DE
PINDAMONHANGABA (SP): GEOLOGIA E PETROGRAFIA**

João Marcos Siqueira Silva

Orientadora: Profa. Dra. Lucelene Martins

Coorientador: Dr. Francisco de Assis Negri

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2015 / 25)

SÃO PAULO

2015

TF
S586
JM S. e



INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

ESTUDO COMPARATIVO DAS UNIDADES QUANTICAS E NUCLEARES DA
MATERIA E DO CAMPO EM UM SISTEMA DE
PARTICULAS INTERAGENTES (SPIN, MOMENTO E ENERGIA)

Autores: [Illegible]

[Handwritten signature]

Coordenador: Prof. Dr. [Illegible]
Coordenador: Dr. [Illegible]

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FUNDAMENTOS

(19-2013-13)

SÃO PAULO

2013

"May your hands always be busy.

May your feet always be swift

May you have a strong foundation

When the winds of change shift

May your heart always be joyful

May your song always be sung

And may you stay forever young."

Bob Dylan.

AGRADECIMENTOS

Este Trabalho de Monografia que vos apresento não representa apenas a conclusão do curso. A realização e entrega do mesmo representa tudo que vivi nestes seis anos: pessoas que conheci, lugares que visitei, aprendizados que obtive, falhas que cometi e as consequentes lições que tive com cada uma.

A vida é o movimento, é a novidade, é a descoberta. Aquilo que estagna, para de viver. Viver é sonhar, desejar, é sempre buscar algo, mesmo que não saiba o que está se buscando.

Não sei o rumo que irei tomar ao concluir esta graduação. Creio que isto é bom. A incerteza pode ser boa as vezes, se acompanhada de uma boa surpresa.

Gostaria de agradecer a conclusão desta etapa da minha vida a Universidade de São Paulo, onde pude aproveitar e usufruir de toda sua ampla infraestrutura como o CEPEUSP, o sagrado bandex (principalmente quando rola um peixinho com pirão de legumes) e todos outros serviços que esta incrível faculdade dispõe. Gostaria de agradecer a todos funcionários do IGC-USP que sempre estão dispostos a ajudar no que precisamos, ao pessoal da portaria, ao pessoal dos laboratórios, ao pessoal da biblioteca, pessoal da limpeza, da cantina, da seção de alunos, enfim a todos.

Tive o privilégio de fazer este trabalho com a orientação de duas pessoas extraordinárias. Que souberam lidar com minhas dificuldades, com os problemas que tive ao longo deste último ano sempre me dando a ajuda necessária e o apoio para a conclusão do presente trabalho. Obrigado mesmo, sem vocês não haveria tal resultado, parte desta conclusão são suas Lu e Chico.

Gostaria de agradecer de uma maneira geral, a todos meus amigos. Obrigado aos Esbornudos de Pindamonhangaba, todo mundo que eu conheci nesta maravilhosa cidade, e com quais eu compartilho a eterna amizade. Obrigado a todos os amigos que fiz em meu intercâmbio para Portugal, vocês são incríveis, são parte de um dos melhores períodos da minha vida! Gostaria de agradecer a todos que conheci na USP, que me ensinaram muito com a maneira peculiar de cada pensamento.

Obrigado à Saudosa Rep. dos Virgens! Pela companhia de sempre, pelas brejas, jantares, domingos preguiçosos, sessões cinema, interfonadas da vizinhança. Obrigado mesmo, a convivência com vocês foi incrível! Vocês foram e são minha segunda família. Obrigado Matheus, Chico, Paulo Henrique, Gabozó, aos Bubbás: Iguma e Bruna.

Obrigado à galera do Geoboulder, o qual tenho o privilégio de fazer parte. Vocês foram a válvula de escape quando tudo estava difícil. A escalada me trouxe muitas alegrias na vida.

A energia de vocês é incrível para animar o dia, obrigado Arthur, Éric, Xupin, Caiçara, Marijuana, Adrian, Beto, Clebão, Hermann, Carol, Pini, Pessoal da Âncora, Letizia, Serena, Jesus, e todos outros frequentadores da parede. Vamos fazer muitos cumes juntos, pelo Brasil e pelo mundo!!!

Devo um agradecimento especial à Família Geobinho, que pelas conta é minha terceira Família. O comportamento e pensamento ímpar de cada um de vocês me acrescentaram muito na minha formação como pessoa. Vocês fazem parte do que sou hoje. Tudo que vivemos neste seis anos foram marcantes, todos cheques em branco, discos voadores, brejas no cepege, sinuquinha, jogos do timão, churras fim de semestre, rolês "x", golão golão, pei. Todo estes momentos são guardados em minha memória com muito carinho, vocês são irmãos! Obrigado Esperma, Xupin, Gardenal, Molestado, Lombardi, Boquete, Garçonete, Lontra, Sokaminha, Always, Kappa, Binho Lumbertt, Cookie, Lúcio Heleno, Marijuana, Pseudo, Froxo, Kankro, Palestina, Prepúcio, Eunucu, Xisto Betuminoso, Caiçara e Cudu (Xupa ECA).

Este agradecimento vai a maior companheira da minha vida, minha Mãe. Mãe, devo tudo isto a você, com toda certeza. Você só não deu a vida para mim, você se dá a mim integralmente todos os dias. Obrigado por sempre, zelar por mim, por todo o carinho que você sempre disponibiliza. Você é a maior guerreira deste mundo, já te disse! Você aguenta qualquer barra, sua força é grandiosa. Te amo demais! Carregue com você sempre esta força, e fé na vida!

Por fim, gostaria de agradecer a pessoa que foi mais fundamental em minha vida. Pai, eu sei que você gostaria de estar presente neste momento, sei como você sempre sonhou em ver um filho seu formando em uma Universidade. Mesmo não estando aqui, é para você a que dedico este Trabalho. Você é minha maior inspiração, você é meu herói, você é quem eu me espelho. Não importa para onde eu for, não importa os rumos que tomarei, sempre serão seus passos que irei seguir, sempre sua humildade que irei demonstrar, sempre seu sorriso que irei abrir e sempre sua coragem que irei incorporar.

Do seu filho e seu reflexo,

João Marcos Siqueira Silva

RESUMO

A transição entre o Domínio Embu e a Nappe Socorro-Guaxupé é alvo de constantes estudos. A região limitrofe entre ambos é marcada pela Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira, uma importante falha direcional que se estende ao todo de grande parte da região leste do estado de São Paulo. Há autores que acreditam que o Domínio Embu é parte da Nappe Socorro-Guaxupé e que a Zona de Cisalhamento limitante é apenas uma zona de interferência entre os blocos. Por outro lado, há autores que defendem a separação dos Terrenos.

Neste contexto, insere-se a região de Pindamonhangaba (SP). A exposição cristalina nesta região é marcada por gnaisses orto e para-derivados, associados com intrusões graníticas, corpos anfibolíticos e rochas calciossilicáticas. Comumente, estas rochas expõem processos de migmatização, apresentando estruturas estromáticas. Estas rochas também sofrem o intenso processo de milonitização resultado da ação da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira.

O reconhecimento das unidades de ambos os Terrenos através de trabalhos de campo e análises petrográficas indicaram mais distinções que semelhanças. Estas distinções são observadas em aspectos mineralógicos, estruturais e texturais das amostras coletadas na região.

As amostras da Nappe Socorro-Guaxupé localizadas a norte da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira caracterizam-se por biotita gnaisses. Possuem composição sienogranítica a monzogranítica, onde estimativas de teores de biotita podem chegar à 35% da rocha. A grande presença de biotita, associada com a ocorrência de muscovita secundária, gera por vezes aspecto xistoso na rocha. Frequentemente ocorrem estruturas de migmatito estromático, e também intrusões graníticas métricas a decamétricas, relacionadas as Suítes Serra Preta e Trabiju. O metamorfismo retrógrado gera intensos processos de saussuritização nestas rochas.

Os litotipos do Domínio Embu afloram a sul da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira. A unidade principal observada é um biotita gnaisse, de composições que gradam de monzograníticas a granodioríticas. Os teores de biotita variam de 5% a 10%. Há a ocorrência de porções migmatizadas com estruturas estromáticas e oftalmíticas, como na região da "Falésia" Paraíso. Comumente também observa-se foliação milonítica bem preservada, com *ribbons* de quartzo e porfiroclastos de feldspato com indicadores cinemáticos. A mineralogia acessória distingue-se das amostras da Nappe, com a presença de allanita, apatita e titanita. Consta-se no Domínio Embu um relevante número de corpos anfibolíticos e calciossilicáticos, presentes na forma de lentes ou *boudins* que podem atingir dimensões decamétricas.

Palavras Chave: Domínio Embu, Nappe Socorro-Guaxupé, Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira

ABSTRACT

The transition between Embu Domain and Socorro-Guaxupé Nappe is a target of constant studies. The region limitrophe between both is marked by Buquira/Jundiuvira Shear Zone, an important directional fault that extends on the whole east region of the state of São Paulo. There are authors who believe that Embu Domain is a part of Socorro-Guaxupé Nappe and the shear zone limiting is only an interference zone between the Terrains. On the other hand, there are authors who defend the separation of the Terrains. In this context, we insert the region of Pindamonhangaba (SP). The crystalline exposure in this region is marked by orthogneiss and paragneiss associated with granite intrusions, amphibolites and calc-silicates. Generally these rocks expose migmatization processes, showing stromatic structures. These rocks also suffer the intense process of mylonitization as a result of the Buquira/Jundiuvira Shear Zone.

The recognition of units of both Terrains by field work and petrographic analysis indicates more distinctions than similarities. These distinctions are observed in mineralogical and compositional aspects in samples collected in the region.

The samples of Socorro-Guaxupé Nappe located on the north side of Buquira/Jundiuvira Shear Zone are characterized by biotite gneiss. Their compositions are syenogranitic to monzogranitic, where levels of biotite can reach 35% of the rock. The large presence of biotite, associated with the occurrence of secondary muscovite, sometimes generates schistosity. Often they show structures of stromatic migmatites, and also metrics to decametric granite intrusions, related with Serra Preta Granite and Trabiju Granite. The retrograde metamorphism creates an intense process of saussuritization in these rocks.

The lithotypes of Embu Domain outcrop on the south side of Buquira/Jundiuvira Shear Zone. The main unit observed is a biotite gneiss, of composition that varies from monzogranites to syenogranites. The levels of biotite vary between 5% and 10%. There is an occurrence of magmatized portions with stromatic and ophiolitic structures, as in "Falésia" Paraíso. Generally also observe mylonitic foliation well preserved, with quartz *ribbons* and feldspar porphyroclasts with kinematic indicators. The accessory mineralogy distinguishes the Nappe with the presence of allanite, apatite and titanite. In Embu Domain occur a relevant number of amphibolites and calc-silicate rocks, in the lens shapes and *boudins*.

Keywords: Embu Domain, Socorro-Guaxupé Nappe, Buquira/Jundiuvira Shear Zone.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Localização	2
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
2.1. Trabalhos de Campo	6
2.2. Análises Petrográficas.....	7
2.3. Análises geoquímicas e isotópicas	8
3. REVISÃO DO CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	8
3.1. Domínio Embu	9
3.2. Nappe Socorro-Guaxupé	11
3.3. Intrusões graníticas.....	12
3.4. Zonas de Cisalhamento	12
4. Resultados Obtidos e interpretações preliminares	13
4.1. Descrições de Campo	13
4.2. Análises petrográficas	19
4.2.1. <i>Domínio Embu</i>	20
4.2.2. <i>Nappe Socorro-Guaxupé</i>	22
4.2.3. <i>Anfibolitos (A)</i>	24
4.2.4. <i>Suítes graníticas</i>	24
4.2.5. <i>Milonitos</i>	26
4.2.6. <i>Dique fonolítico</i>	27
4.3. Metamorfismo.....	27
4.3.1. <i>Metamorfismo progressivo</i>	28
4.3.2. <i>Metamorfismo retrógrado</i>	31
4.3.3. <i>Metamorfismo Dinâmico</i>	32
4.4. Análises químicas de rocha total	32
5. Discussão e interpretação de resultados	37
6. Conclusões.....	39
7. Referências Bibliográficas	40

1. INTRODUÇÃO

O município de Pindamonhangaba é localizado na macrorregião do Vale do Paraíba, a leste do estado de São Paulo. Está situado geologicamente no contexto de transição entre as entidades geotectônicas da Faixa Ribeira Central (Almeida *et al.* 1973) e Faixa Brasília Meridional. A evolução destas entidades estão relacionadas ao evento de aglutinação do bloco Paranapanema com o paleocontinente São Francisco, tendo seu limite marcado por uma zona de sutura (Campos Neto, 2000), definida inicialmente por Hasui *et al.* (1978) como Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira (Fig. 1). A norte da zona de sutura afloram rochas da Nappe Socorro-Guaxupé, e a sul rochas do Domínio Embu (Fig. 1).

A separação das unidades neoproterozoicas na região sul-sudeste de São Paulo, ainda gera diferentes interpretações na literatura. Foram obtidas no Domínio Embu idades de metamorfismo de 790 Ma (Vlach *et al.*, 2001), o que fez que autores como Heilbron *et al.* (2004) considerassem este Domínio junto ao Domínio Paraíba do Sul, definido inicialmente como embasamento paleoproterozoico do Embu. Recentemente Trouw *et al.* (2013) consideraram o Domínio Embu como parte da Nappe Socorro-Guaxupé, descrita originalmente por Campos Neto & Basei (1983). De acordo com os autores, as unidades possuem características estruturais e metamórficas similares (Fig. 2). Vinagre *et al.* (2014) reforça esta tese com dados obtidos no Batólito Serra da Água Limpa que ocorre em ambos domínios (Fig. 2). Por outro lado Campos Neto (2000) consideram estes terrenos distintos, limitados pela Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira (Fig. 1).

No presente trabalho de formatura buscou-se o reconhecimento das unidades litológicas cristalinas na região de Pindamonhangaba, onde afloram rochas do Domínio Embu e da Nappe Socorro-Guaxupé, no intuito de estabelecer distinções e semelhanças das duas unidades na área, por meio de estudos de campo e análises petrográficas, visando esclarecer a qual contexto geológico essas rochas pertencem.

1.1. Objetivos

O reconhecimento em campo e a caracterização petrográfica do embasamento orto e paraderivado na região de Pindamonhangaba teve por objetivo a comparação entre as unidades do Domínio Embu e da Nappe Socorro-Guaxupé na região de Pindamonhangaba (SP). A área de estudo localiza-se na transição destas províncias tectônicas, limitadas pela Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira. Ao Longo do trabalho de formatura, foram realizados trabalhos de campo, para obtenção de amostras e caracterização das unidades na área, que ainda é alvo de grandes embates por parte do meio científico.

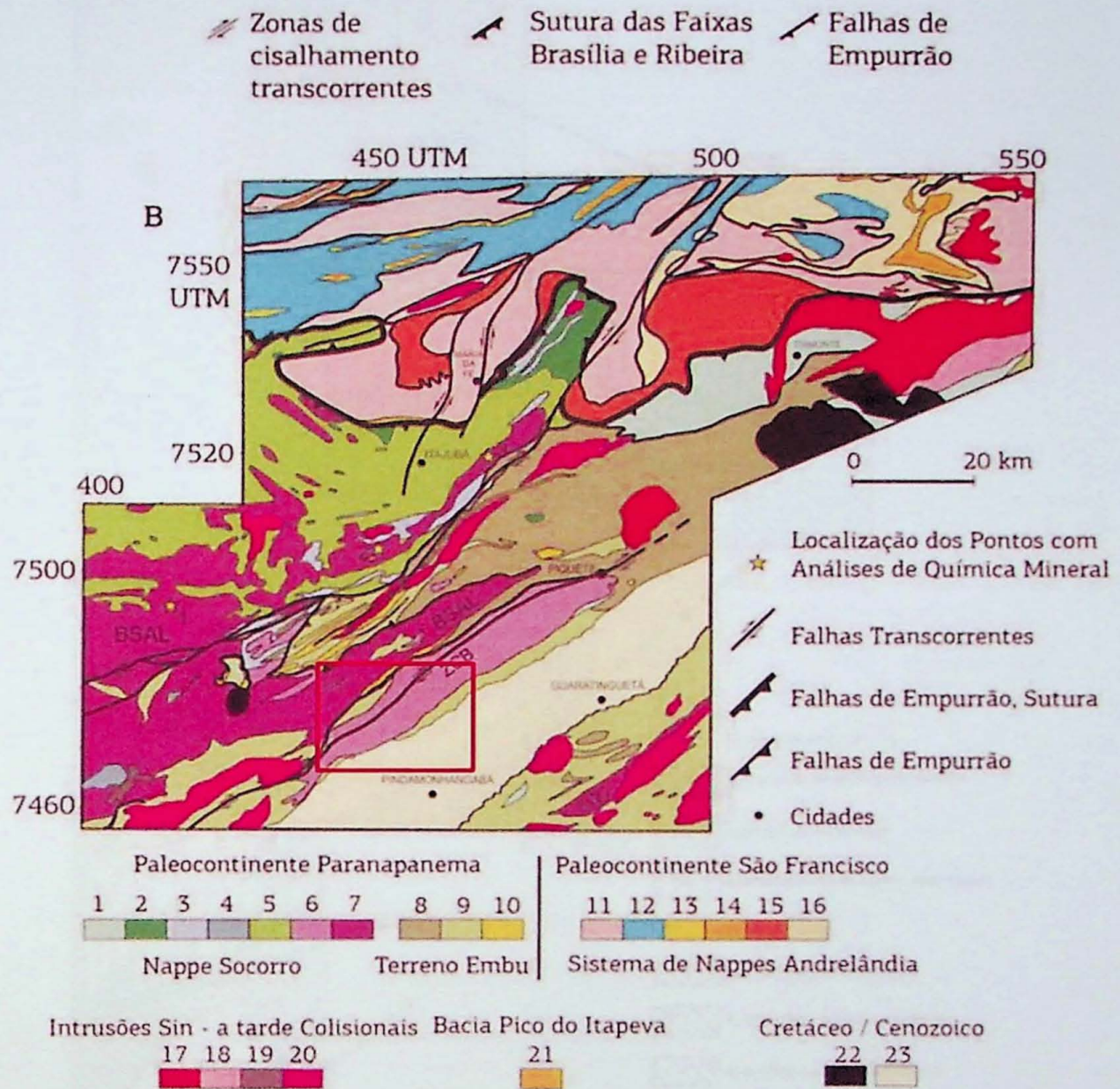


Figura 2. Mapa geológico regional, de Trouw *et al.* (2013), com a área de caracterização da monografia destacada no polígono vermelho: (1) Embasamento Paleoproterozoico na Nappe Socorro e no Terreno Embu, (2) Granulito com ortopiroxênio, (3) Granada sillimanita xisto, (4) Granada cordierita gnaiss, (5) Gnaiss bandado, 6. Hornblenda Ortognaiss, (7) Batólito Serra da Água Limpa (SAL); Terreno Embu (8-10), (8) Predominância de paragnaisses, (9) Xisto com predominância de biotita, (10) quartzito; Sistema de Nappes Andrelândia (11-16), (11) Fatias de embasamento Paleoproterozoico, (12) Unidade de São Vicente, paragnaisses; (13) Quartzito, (14) Unidade de Santo Antônio, biotita xistos, (15) Cianita K-feldspato gnaisses; Unidade Arantina, xistos de granulação grossa e gnaisses; intrusões Sin-tarde colisionais (17-20), (17) Granito com as idades entre 610-600 Ma, (18) Granitos com idades entre 600-590 Ma, (19) Granitos com idades entre 590-580 Ma, (20) Granito com idades na faixa de 580-570 Ma, (21) Metassedimentos da Bacia Pico do Itapeva (570-540 Ma, Teixeira e Petri, 2001), (22) Intrusão alcalina Cretáceo/Cenozoico; (23) Bacia de Taubaté (Cenozoico); BSZ, Zona de cisalhamento Buquira; SQC, Batólito Serrado Quebra-Cangalha. Nota-se que a Unidade 6, que aflora a sul da Zona de Cisalhamento Buquira, é inserida na Nappe Socorro-Guaxupé, diferenciando-se de trabalhos anteriores.

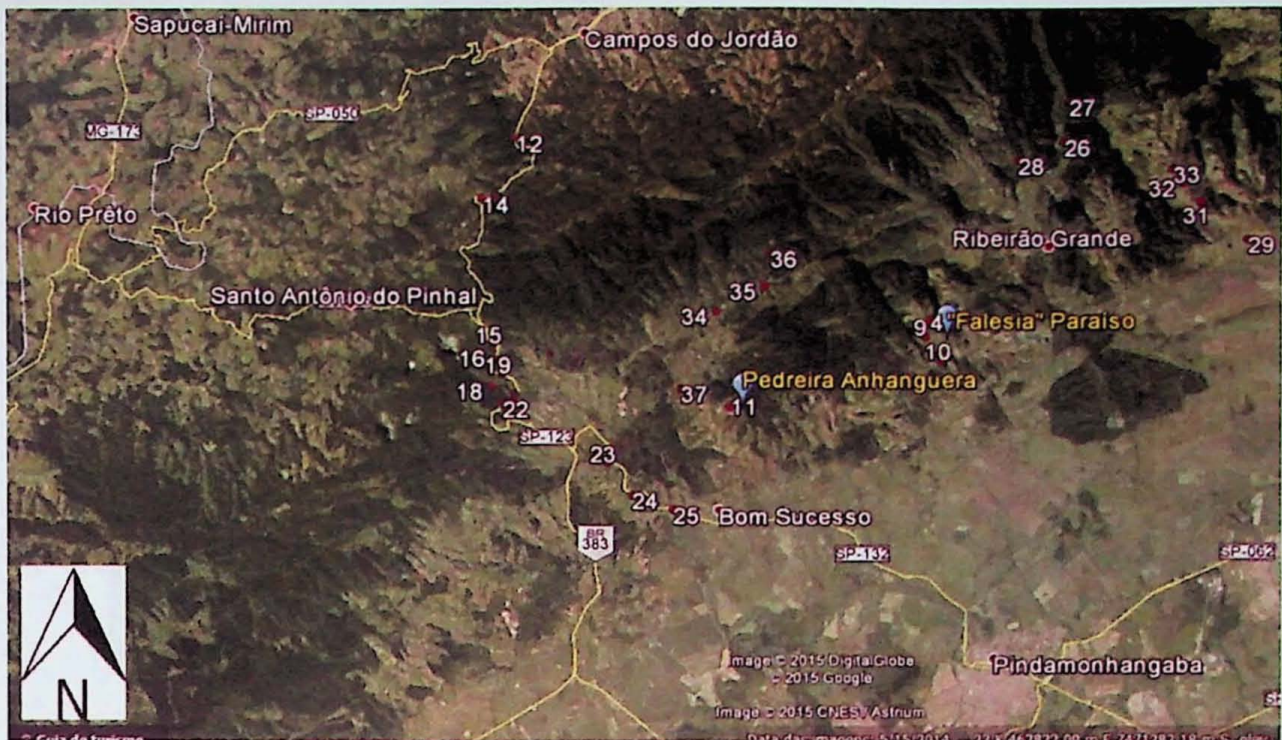


Figura 4. Arredores do município de Pindamonhangaba, SP, localizado na região do Vale do Paraíba, porção leste do estado de São Paulo. Em amarelo também estão as rodovias SP-132 e SP-383, as principais rodovias de acesso, partindo de Pindamonhangaba (SP) em direção a Campos do Jordão (SP). Destacam-se as regiões da Pedreira Anhanguera e "Falésia" Paraíso que são acessadas por estradas rurais. *Fonte:* Pindamonhangaba, SP, 22°55'26" S e 45°27'45" W, Google Earth, imagem obtida em 15/05/2014 e acessada em 29/10/2015.



Figura 5. A “Falésia” Paraíso, em Pindamonhangaba (SP) é uma das principais regiões da prática de escalada do Brasil. As estruturas dos gnaisses do Domínio Embu são ao mesmo tempo um apoio e um desafio aos escaladores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Trabalhos de Campo

Foram executadas duas etapas de campo durante o trabalho de formatura, para reconhecimento das rochas ao longo dos principais acessos, num total de cinco dias, com a descrição de um total de 37 pontos e coleta de 40 amostras (Tabela 1 e Anexo 1).

Na primeira etapa de campo foram mapeados dois paredões de rocha dentro das unidades rurais da área denominada “Falésia” Paraíso, assim como afloramentos mais próximos das estradas municipais (Fig. 4). Foram também coletadas amostras na Pedreira Anhanguera, localizada na Estrada Municipal Anhanguera, próxima a entrada da cidade de Pindamonhangaba na SP-132 (Fig. 4), onde os cortes das bancadas expõem uma variação composicional e textural das rochas gnáissicas, calciossilicáticas e anfíbolíticas.

Na segunda etapa de campo foi feito um reconhecimento da geologia da área, com elaboração de caminhamentos abrangendo a transição entre rochas do Domínio Embu e da Nappe Socorro-Guaxupé, passando também pelas intrusões graníticas da Suíte Serra Preta e Serra do Trabiju e pelas zonas de Cisalhamento do Buquira/Jundiuvira e Eugênio Lefrève (Anexo 1). Os caminhamentos foram realizados ao longo da rodovia SP-383, partindo de Campos do Jordão (SP) em direção a Pindamonhangaba (SP).

A compilação dos limites das unidades tectônicas e litológicas da área de estudo foi extraída de mapas originais (IPT, 1991) e é apresentada no Anexo 1, onde foram lançados os pontos amostrados, com ao auxílio do software Arcgis.

2.2. Análises Petrográficas

Os estudos petrográficos de 30 seções delgadas das amostras, coletadas durante o trabalho de campo, foram obtidos no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica do IGC-USP, utilizando microscópio petrográfico da marca Olympus, modelo BX-50. As fotomicrografias foram obtidas com uma câmera digital modelo Olympus E-330 integrada ao microscópio Olympus BX-50 do Laboratório de Microscopia Óptica do Núcleo de Apoio à Pesquisa (NAP) Geoanalítica, também do IGC-USP.

Tabela 1. Lista dos pontos visitados, com as coordenadas, amostras coletadas e dados estruturais.

Pontos	Longitude datum COA/Zona 23	Latitude	Localização	Unidade	Litologia principal	Amostras	LaminaçãoGeoquímica	plano	mergulho
Pinda 1	450682	7475701	Falésia Paraíso (setor boas vindas)	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 1	X	14	16 SE
Pinda 2	450723	7475727	Falésia Paraíso (setor 90° graus)	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino				
Pinda 3	450730	7475749	Falésia Paraíso (setor bat caverna)	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 3	X		
Pinda 4	450730	7475701	Falésia Paraíso (setor visual)	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino				
Pinda 5	450771	7475700	Falésia Paraíso (Setor Canions)	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino			52	27 SE
								53	34 SE
Pinda 6	450791	7474952	Sítio Dona Carmen	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 6a/6b			
Pinda 7	450304	7474980	Sítio Dra. Laura	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 7a/7b/7c	X	X	
Pinda 8	450191	7475021	Topo do paredão Sítio Dra. Laura	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 8	X		38 22 SE
Pinda 9	450306	7475008	Bloco rolado Sítio Dra. Laura	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 9	X		
Pinda 10	450882	7475269	Sítio Seu Renato	Domínio Embu	Biotita gnaisses fino	Pinda 10a/ 10b (1/2)	X	X	
Pinda 11	443816	7472772	Pedreira Anhanguera	Domínio Embu	Biotita-granada gnaisse com variação para biotita-hornblenda gnaisse, com intercalações de anfibólito	Pinda 11a/11b/11c/11d/11e/11f	X	X	
Pinda 12	436724	7481304	383	Suite Granítica Serra Preta	Granito porfirítico róseo	Pinda 12- róseo			
Pinda 13	436186	7479419	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Migmatitos estromáticos mesossoma de biotita xistos a gnaisses	Pinda 13		162	84
Pinda 14	435709	7479295	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Granito leucocrático grosso	Pinda 14		154	72
Pinda 15	436177	7474551	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Gnaisse bandado	Pinda 15a/b/c/d		154	44
Pinda 17	436121	7473775	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Gnaisse fino micáceo	Pinda 16		295	50
Pinda 16	436223	7474055	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Granito quartzo-feldspáticos				
Pinda 18	436206	7473164	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Mobilizado quartzo-feldspáticos	Pinda 18a/b		350	90
Pinda 19	436492	7473573	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Gnaisse bandado migmatítico	Pinda 19a/b/c		135	31
Pinda 20	436924	7472913	383	Granito Trabiju	Biotita granito porfirítico	Pinda 20			
Pinda 21	436857	7472693	383	Granito Trabiju	Granito porfirítico				
Pinda 22	436539	7472581	383	Nappe Socorro-Guaxupé	Gnaisse bandado milonítico			158	70
Pinda 23	439942	7470740	Rod. SP-132	Domínio Embu	Gnaisse bandado	Pinda 23		165	33
Pinda 24	440784	7469693	Rod. SP-132	Domínio Embu	Dique fonolítico	Pinda 24		140	61
Pinda 25	442125	7469255	Rod. SP-132	Domínio Embu	Gnaisse bandado	Pinda 25		148	31
Pinda 27	454234	7483366	Rib. Grande	Domínio Embu	Gnaisse granítico cinza	Pinda 27		140	25
Pinda 26	454165	7482046	Rib. Grande	Domínio Embu	Gnaisse granítico cinza	Pinda 26			
Pinda 28	452713	7481383	Faz. Gokula	Domínio Embu	Gnaisse granítico				
Pinda 29	460159	7479055	Rib. Grande	Domínio Embu	Gnaisse migmatítico				
Pinda 30	458657	7480140	Rib. Grande	Domínio Embu	Gnaisse quartzoso				
Pinda 31	458594	7480244	Rid. grande	Granito Morro da Piedade	Granito leucocrático médio	Pinda 31			
Pinda 32	458023	7480852	Rib. Grande	Domínio Embu	Gnaisse bandado cinza	Pinda 32		142	34
Pinda 33	457677	7481302	Rib. Grande	Domínio Embu	Gnaisse bandado				
Pinda 34	443228	7475960	Piracuama	Zona de cisalhamento Buquira/Jur	Gnaisse milonítico				
Pinda 35	444752	7476850	Piracuama	Zona de cisalhamento Buquira/Jur	Gnaisse alterado			120	34
Pinda 36	444888	7477928	Piracuama	Zona de cisalhamento Buquira/Jur	Milonito	Pinda 36		118	21
Pinda 37	442204	7473322	Piracuama	Zona de cisalhamento Buquira/Jur	Gnaisse bandado	Pinda 37a/b		149	34

2.3. Análises geoquímicas e isotópicas

No Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA) do Núcleo de Apoio à Pesquisa Geoanálítica do IGc-USP (NAP Geoanálítica), cinco amostras foram fragmentadas manualmente com marreta para retirar as capas de alterações, britadas em britador primário de mandíbula de aço, sendo reduzidas à fragmentos de 1 mm, e depois quarteadas (no quarteador tipo Jones, em X) até um volume de 70 ml. O material foi então reduzido em prensa hidráulica motorizada. Depois cada amostra foi moída por aproximadamente 15 minutos, em moinho de anéis de ágata. Do material reduzido a pó foram retirados 7,5 gramas para micronização com álcool. As amostras foram reduzidas por fim à um tamanho de 500 mesh.

As amostras micronizadas resultantes foram submetidas a uma temperatura de 60 °C, em estufa, durante dois dias, sendo depois homogeneizadas juntamente com parafina (20% em relação ao peso da amostra). A mistura homogeneizada foi levada a prensa Herzog, sendo submetida a uma pressão de 30 toneladas. Foram preparadas cinco pastilhas prensadas.

Com um grama do pó das amostras também foram preparadas cinco pastilhas fundidas, produzidas com nove gramas de fundentes (80% de metaborato de lítio e 20% de tetraborato de lítio). A mistura foi fundida em cadinho de platina, em máquina de fusão, por aproximadamente 27 minutos.

As pastilhas foram enviadas ao Laboratório de Fluorescência de Raios X do NAP Geoanálítica para obtenção de elementos maiores, menores e alguns traços.

Análises de perda ao fogo foram obtidas pela calcinação do pó das amostras, para identificar a presença de voláteis..

3. REVISÃO DO CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977) é um complexo sistema de cinturões orogênicos de 3000 km de extensão evoluídos ao longo do Neoproterozoico ao início do Paleozoico. É subdivida em faixas de dobramentos caracterizadas por eventos de aglutinações de blocos e microplacas.

A região do leste do Estado de São Paulo, próxima a divisa com o sul de Minas Gerais, está inserida no contexto geológico da transição de dois sistemas orogênicos, a Faixa Ribeira Central (Almeida *et al.*, 1973) e a Faixa Brasília (Almeida *et al.*, 1967). Segundo Campos Neto (2000) esta transição é marcada pelas Zonas de Cisalhamento

Buquira/Jundiuvira de componentes transcorrentes, com movimentação horária (Cinturão Transcorrente Rio Paraíba do Sul, Ebert & Hasui, 1998), e estão relacionadas ao segundo estágio de colisão entre o bloco Paranapanema e o paleocontinente São Francisco (Trouw *et al.*, 2000, Heilbron *et al.*, 2004, Peternel *et al.*, 2005). Este segundo estágio colisional é caracterizado por um transporte tectônico para NNW, com planos axiais de dobras, e lineações de estiramento de alto ângulo, mergulhando para SSE. As datações U-Pb em zircão e monazita revelaram que este evento ocorreu entre 590-560 Ma (Heilbron *et al.*, 2003, 2004 e 2008, Janasi *et al.*, 2003).

Trouw *et al.* (2013) apresentaram dados, por meio de mapeamentos e datações U-Pb em zircão, evidenciando que o Domínio Embu (pertencente a Faixa Ribeira Central) possui semelhanças estruturais e metamórficas com a Nappe de Socorro (pertencente a Faixa Brasília). Esta constatação pode indicar que o Domínio Embu e a Nappe Socorro-Guaxupé apresentam evolução similar e pertençam a um único bloco crustal, assim como as zonas de cisalhamento que limitam as duas unidades maiores.

As unidades pré-cambrianas são constituídas pelas unidades do Domínio Embu e da Nappe Socorro-Guaxupé, assim como, pelas rochas miloníticas das zonas de cisalhamento e as intrusões graníticas.

3.1. Domínio Embu

As rochas que compõe o embasamento do Vale do Paraíba, assim como sua compartimentação tectônica foram inicialmente caracterizadas por Ebert (1967, 1968), onde definiu-se o Grupo Paraíba, constituído por rochas de fácies anfíbolito caracterizadas por paragneisses, quartzitos, ortogneisses, com porções metamorfasadas em fácies granulito.

Hasui & Sadowski (1976) reconheceram no sudeste Paulista o então nomeado Complexo Embu, caracterizado por rochas gnáissico-migmatíticas. Durante os Trabalhos do Projeto Radam Brasil, Machado Filho *et al.* (1983) denominam o Complexo Paraíba do Sul como o embasamento de grau metamórfico mais baixo das sequências supracrustais do Complexo Embu. O Complexo Paraíba do sul foi interpretado posteriormente segundo Hasui *et al.* (1989) como uma sequência metavulcano-sedimentar, associada ao Complexo Juiz de Fora.

Vieira & Tassinari (1988) obtiveram idade de 750 Ma para xistos do Complexo Embu. Fernandes (1991) sugere que esta idade representa a fase metamórfica principal do Complexo Embu.

Os regimes deformacionais desta região foram detalhados no trabalho de Hasui (1978), onde a compartimentação tectônica do leste paulista foi baseada em blocos limitados por falhas. Foram então caracterizadas as grandes zonas de cisalhamento transcorrentes Taxaquara, Buquira, Jundiuvira, Alto do Fartura. Assim, Theodorovicz *et al.* (1991) observaram dois eventos deformacionais no Complexo Embu, o primeiro de caráter dúctil, em um regime de cavalgamento de baixo ângulo de mergulho, enquanto o segundo está ligado à zonas de cisalhamento transcorrentes, com movimentação horária.

O levantamento geológico do IPT (1990), para o Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Pró-Minério, assinalou na região das folhas topográficas de Tremembé e Pindamonhangaba, nas escalas 1:50.000, uma estruturação fortemente vinculada as zonas de cisalhamento do Buquira e de Jundiuvira, de caráter dúctil e rúptil. Ambas possuem caráter compressivo com direção nordeste e mergulho para sul, delimitando em mapa uma estrutura em forma de sigmoide. No caso das Zonas de cisalhamento Eugênio Lefrève e da falha do Morro da Piedade, representa um significado estratigráfico. Próximo ao limite do contato das unidades gnáissico-migmatíticas com a Bacia de Taubaté há o desenvolvimento de falhas normais e inversas, gerando altos estruturais.

Este mesmo levantamento caracterizou as rochas do embasamento nas folhas topográficas de Tremembé e Pindamonhangaba como pertencentes aos Complexos Embu e Paraíba do Sul, embora alguns autores caracterizam as unidades da áreas referentes apenas ao Complexo Embu, como Santoro (1998). O levantamento geológico do IPT (1990) discute a grande variação composicional das unidades presentes na área e admite-se na região o Complexo Embu como unidade mais recente, com evolução a partir do Mesoproterozoico, e o Complexo Paraíba do Sul como sendo unidade mais antiga, com evolução iniciada no Paleoproterozoico.

O Complexo Paraíba do Sul aflora nas referidas folhas como ortognaisses migmatíticos e milonitizados, com intercalação de xistos, calciossilicáticas e quartzitos. Os litotipos mais abundantes na região são representados por biotita gnaisses de composição monzogranítica, granodiorítica à tonalítica, com porfiroblastos de feldspatos com indicadores cinemáticos sigmoides. Neste litotipo é comum corpos anfibolíticos e calciossilicáticos intercalados em lentes e *boudins* centimétricos à métricos.

No caso do Domínio Embu, as rochas aflorantes são descritas como rochas de médio grau metamórfico, atingindo fácies anfibolito superior, que ocorrem como micaxistos e gnaisses finos, gnaisses granatíferos associado a micaxistos, xistos e gnaisses migmatizados e milonitizados, migmatitos com mesossoma xistoso, migmatitos com mesossoma gnáissico, e por fim, corpos de anfibolitos associados.

Os processos metamórficos e de migmatização são alvo de difícil separação, devido a complexa história evolutiva das rochas. Registra-se na região um metamorfismo progressivo de médio grau, chegando a anfibolito superior com a geração de hornblenda-biotita gnaisse e sillimanita nos paragnaisses, e um metamorfismo retrógrado gerador de cloritização, epidotização e saussuritização, associados ao soerguimento regional (Santoro, 1998). Segundo o levantamento do IPT (1990), foi observado presença de hiperstênio em rochas do Paraíba do Sul na Folha Tremembé, indicando uma porção granulítica, resistente aos processos de migmatização.

Segundo o mesmo levantamento admitiu-se na região ao menos dois eventos geradores de migmatização no Domínio Embu, o primeiro durante o Riáciano-Estateriano, e o segundo, durante a orogenia do Neoproterozoico. Estes processos são geradores de diversas estruturas, como *schlierens* e textura nebulítica. Texturas tipo *schlieren* e megacristais de feldspato potássico também são observados nos migmatitos do Domínio Embu.

3.2. Nappe Socorro-Guaxupé

A Nappe Socorro-Guaxupé, descrita inicialmente por Campos Neto & Basei (1983), é reconhecida como sendo resultado de uma espessa lasca tectônica neoproterozoica alóctone, subdividida nas unidades Granulítica Inferior, Diatexitica Intermediária e Migmatítica Superior (Campos Neto & Caby, 2000).

Atualmente, a Nappe Socorro-Guaxupé é definida por um segmento continental composto por crosta inferior e média, de um ambiente de arco magmático tipo andino, produzido pela subducção da placa oceânica existente entre o paleocontinente São Francisco e o bloco Paranapanema (Janasi, 1999, Campos Neto & Caby, 2000, Campos Neto 2000, Campos Neto *et al.*, 2011, Trouw *et al.*, 2000 e 2013).

A Nappe Socorro-Guaxupé apresenta registro de rochas cálcio-alcálicas com idades entre 670 Ma a 610 Ma, sendo interpretada como uma continuação sul do Arco Mágmatco de Goiás (Campos Neto *et al.*, 2011). As porções mais basais da nappe possuem registro de grau metamórfico característico de zonas de alta pressão e temperatura, onde se desenvolveu foliações produzidas durante o auge do metamorfismo, como também lineações minerais e de estiramento mineral que indicam um transporte tectônico de E-NE e NW.

3.3. Intrusões graníticas

Diversos autores descrevem em seus trabalhos numerosos corpos graníticos tanto na Nappe Socorro-Guaxupé quanto no Domínio Embu. Estas intrusões estariam relacionadas aos eventos de aglutinação do Gondwana durante o Neoproterozoico e início do Cambriano. As características texturais, químicas e geocronológicas permitiram a separação destes corpos em: pré, sin e pós-colisional.

Janasi *et al.* (2003) descreveram no Domínio Embu numerosas ocorrências graníticas neoproterozoicas caracterizadas por granitos marginais a fracamente peraluminosos.

Santoro (1998) define na na área de estudo duas intrusões graníticas nas rochas do Domínio Embu, sendo elas a Suíte Serra Preta e a Suíte Serra do Trabiju (Anexo 1). Conforme o autor a Suíte Serra Preta forma um corpo alongado de aproximadamente sete km de espessura, com direção NE, sendo intrusiva no Domínio Embu nas unidades de xistos e gnaisses migmatizados e nos migmatitos na forma de diques e pequenos *stocks*. Os granitos da Suíte Serra Preta possuem composição de biotita monzogranitos variando para sienogranitos e quartzo monzonitos. Texturalmente esse granitos são inequigranulares porfiríticos, com presença de fenocristais idiomórficos centimétricos de feldspato róseo ou cinza. A mineralogia acessória é composta por apatita, titanita, epidoto e allanita, com uma matriz rica em biotita. Ocorrem por vezes, vênulas e diques aplíticos e pegmatíticos. A deformação afeta essas rochas e gera texturas miloníticas.

Ainda de acordo com o autor a Suíte Serra do Trabiju é representada por vários corpos graníticos de pequenas dimensões, que intrudem os xistos e gnaisses migmatíticos do Domínio Embu. Ocorrem nas escarpas da Serra da Mantiqueira entre as zonas de cisalhamento Buquira e Jundiuvira. Composicionalmente são sienogranitos e monzogranitos de coloração cinza a rósea, com textura inequigranulara porfirítica, e fenocristais centimétricos de feldspato potássico. A ação do cisalhamento é visto em estruturas miloníticas, apresentando *ribbons* de quartzo.

3.4. Zonas de Cisalhamento

A região de estudo é marcada por zonas de cisalhamento transcorrentes, com movimentação horária, com orientação NE. São representadas pelas Zonas de Cisalhamento Buquira, Jundiuvira e Eugênio Lefrève. Santoro (1998) ressalta o intenso tectonismo Brasileiro, gerador do encurtamento crustal com direção NW, associado a estas zonas de cisalhamento de médio a alto ângulo.

No Anexo 1 observa-se que a Zona de Cisalhamento Buquira sofre ramificação próximo à região do Rio Piracuama com a Zona de Cisalhamento Jundiuvira, gerando uma macroestrutura sigmoidal, onde afloram milonitos e protomilonitos da Suíte Serra do Trabiju, assim como dos xistos e gnaisses do Domínio Embu (Santoro, 1998).

A Zona de Cisalhamento Eugênio Lefrève é relativamente estreita, estende-se do Planalto de Santo Antônio do Pinhal, até a região do Pico do Itapeva (Anexo 1).

O produto destas zonas de cisalhamento são rochas miloníticas a protomiloníticas. De acordo com Santoro (1998) estas rochas foram geradas predominantemente por processos dúcteis, as estruturas nelas observadas são: bandamento milonítico, lineações de estiramento mineral sub-horizontal ou com mergulhos entre 10° a 15° e indicadores cinemáticos, como *boudins* e foliações "S" e "C".

4. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES PRELIMINARES

4.1. Descrições de Campo

A principal unidade aflorante nas proximidades a norte da cidade de Pindamonhangaba é um biotita gnaiss, localmente com hornblenda, por vezes milonitizado (afloramentos Pinda-01 a Pinda-11; Tabela 1 e Anexo 1). As rochas observadas são ortoderivadas, de composição monzogranítica variando a porções granodioríticas, com índices de cor (IC) de ~ 10%. Localmente ocorrem estruturas miloníticas, com veios estirados de quartzo, e porfiroclastos subcentimétricos (sigmoide) e ovalados de feldspato potássico (Figs. 6a, b e d). Localmente ocorrem hornblenda-biotita gnaiss e corpos anfíbolíticos intercalados em formas de lentes e *boudins* (Fig. 6c). Por vezes, os biotita gnaisses estão migmatizados, com estrutura estromática, localmente dobradas.

Comumente observa-se intercalado nas unidades gnáissicas migmatíticas corpos lenticulares e/ou *boudins* anfíbolíticos e calciossilicáticos, que chegam a dimensões métricas. Por vezes estão milonitizados, com corpos rompidos e em formas de sigmoide. Mobilizados graníticos de coloração cinza a rósea cortam em corpos subconcordantes a foliação do gnaiss. Tratam-se de biotita sienogranitos com textura inequigranular grossa porfirítica, com megacristais centimétricos de feldspato potássico (Fig. 6e).

Na região da Pedreira Anhanguera, em Pindamonhangaba, os gnaisses ortoderivados ocorrem em contato com unidades paraderivadas representadas por sillimanita-granada-biotita gnaisses (Fig. 7). De acordo com (Santoro, 1998), o contato entre estes dois diferentes tipos litológicos é tectônico. A unidade paraderivada está localmente mais afetada pela zona de cisalhamento, com estruturas de alívio de pressão, porfiroblastos

rotacionados de feldspato e granada e/ou em σ , foliação dobrada e intercalações de rochas anfíbolíticas e calciossilicáticas, na forma de *boudins* (Fig. 7a-f).

A porção N-NE da pedreira (Fig. 7) aflora a correlação tectônica entre paragneisses, representados por sillimanita-granada-biotita gnaisses e provavelmente ortogneisses, representados por biotita gnaisses e por vezes hornblenda-biotita gnaisses. Os paragneisses possuem porfiroblastos de granada rotacionados em regime dúctil, a foliação é definida pela biotita, e gera um aspecto xistoso na rocha. Os ortogneisses possuem estruturas de alívio de pressão assim como corpos métricos anfíbolíticos e calciossilicáticos intrudindo-os em um regime semi-plástico. Observam-se a presença de uma quantidade de veios de quartzo truncando a foliação nesta porção.

Na porção S-SE, da pedreira afloram biotita gnaisses, elocalmente hornblenda-biotita gnaisses. Há resquícios de fusão da rocha, que geram bolsões quartzo-feldspáticos róseos. Há a presença de porfiroblastos de até 3 cm de feldspatos levemente rotacionados, e *ribbons* de quartzo. Esta porção da pedreira aparentemente não se formou em regime dúctil como a porção N-NE, sugerindo que esta porção era de uma zona mais rasa da crosta e foram colocados lado a lado pelos falhamentos normais de alto ângulo comum nestas proximidades.

No caminhamento realizado a norte, ao longo da rodovia SP-383, partindo de Campos do Jordão (SP), a prioridade foi o reconhecimento da área de uma maneira geral, e as descrições abrangeram as unidades a norte e a sul da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira. Nessa área ocorre uma unidade representada por biotita xistos feldspáticos a biotita gnaisses com porções migmatizadas e milonitizadas (Fig 8a). Essas rochas possuem granulação fina e composição monzogranítica a sienograníticas, e por vezes são granatíferas, transicionando para xistos de granulação fina com teores de biotita de aproximadamente 30%. Observam-se porfiroblastos circulares de feldspatos, chegando a cristais centimétricos. Associadas a essas rochas ocorrem corpos monzograníticos, provavelmente relacionados às intrusões graníticas Serra Preta e Trabiju. Nas proximidades das intrusões graníticas observam-se rochas quartzíticas e veios de quartzo que truncam a foliação. Comumente os gnaisses gradam para migmatitos, com a ocorrência de estruturas principalmente estromáticas e dobradas (Fig. 8b). Devido à proximidade das Zonas de Cisalhamento Buquira e Eugênio Lefrève, a foliação encontra-se em diferentes direções de mergulho, mas mantendo o *trend* estrutural de direção nordeste.

Próximo ao túnel da rodovia SP-383 nota-se a grande variação litológica nesta unidade, com porções gnáissicas/xistosas ricas em muscovita e biotita por vezes milonitizadas, assim como migmatitos estromáticos cortados por corpos graníticos.

O Granitóide Serra Preta aflora entre a Zona de Cisalhamento Eugênio Lefrève em contato com os gnaisses e xistos do Complexo Metamórfico Piracaia (ou unidade Migmatítica Superior de Campos Neto & Caby, 1999). Trata-se de rochas monzograníticas de granulação grossa, por vezes porfíricas. Localmente são cortados por veios pegmatóides. Estas rochas também encontram-se comumente deformadas e milonitizadas (Fig. 8c; Ponto Pinda-12).

A Suíte Serra do Trabiju ocorre entre as Zonas de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira em corpos de pequenas dimensões, apresentando contato brusco e subconcordante, por vezes, nas unidades do Domínio Embu. Foram reconhecidos em campo corpos expressivos que afloram no túnel da SP-132, próximos a Campos do Jordão. Estas rochas são caracterizadas pela coloração cinza a rosa, textura inequigranulara porfírica, com megacristais centimétricos de feldspato potássico, com algumas ocorrências de porções equigranulares. Localmente possuem estrutura gnáissica deformada (Fig. 8d; Ponto Pinda-20).

Seguindo na estrada municipal Anhanguera (Fig. 4; pontos Pinda-23, 24 e 25), chega-se a Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira, onde afloram milonitos e protomilonitos (Fig. 9a). Grande parte dos afloramentos estão alterados (Fig. 9b), nos mais preservados ficam evidentes as estruturas bandadas, com bandamentos máficos ricos em biotita e hornblenda orientados segundo o eixo do cisalhamento, e também grande quantidade de *ribbons* de quartzo. Há porfiroclastos milimétricos de feldspato em sigmoide e/ou rotacionados. Em meio aos biotita gnaisses milonitizados do Domínio Embu, ocorre um dique fonolítico, de coloração cinza esverdeado, no ponto Pinda-24 (Fig. 10), às margens da rodovia SP-132, próximo ao bairro Piracuama.

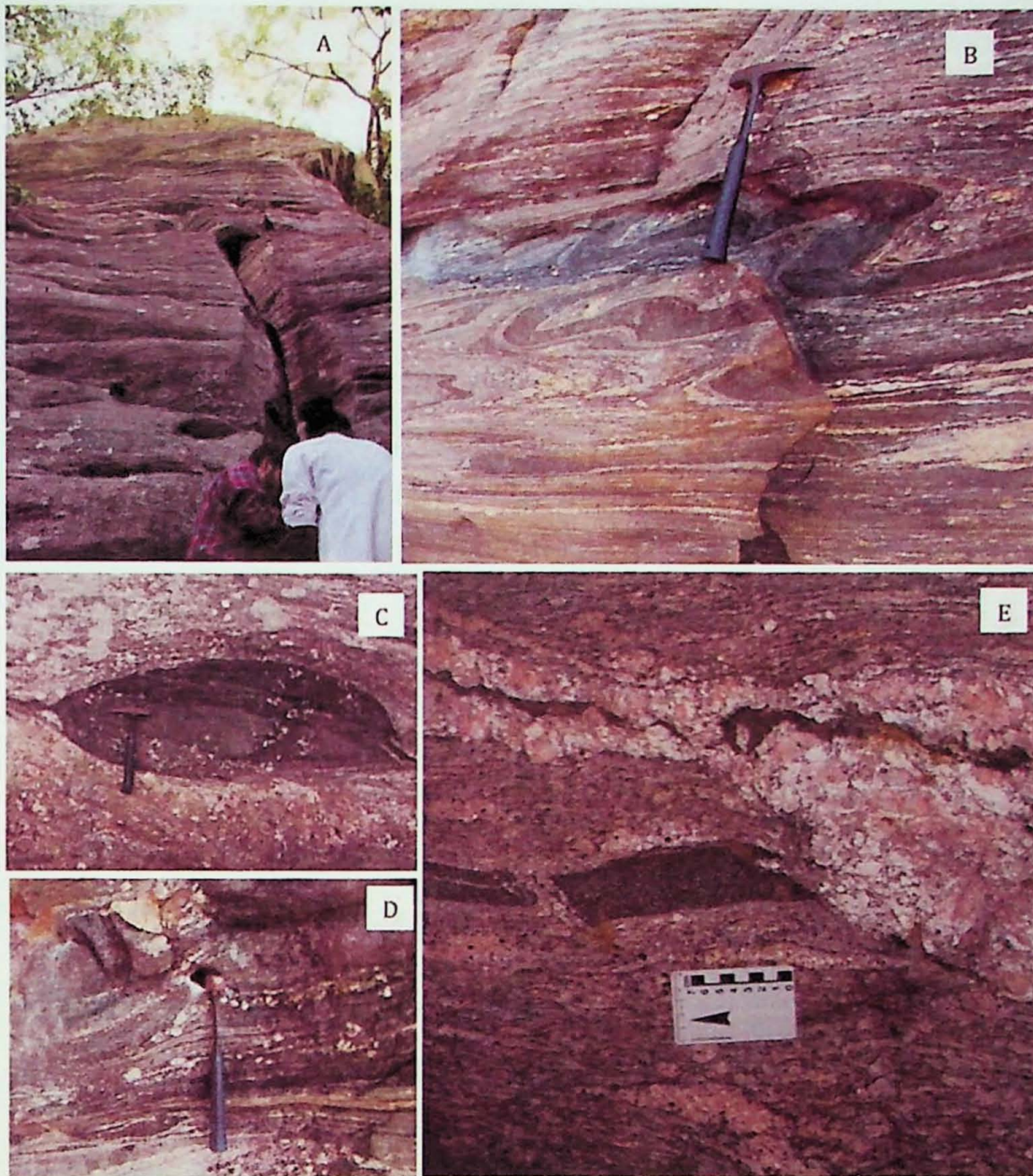


Figura 6. Afloramentos Pinda-01 a Pinda-05 (Anexo 1) da denominada "Falésia" Paraíso, uma região de escarpas: (A) paredão de 27 metros de altura e 36 metros de extensão de parede exposta de biotita gnaissado dobrado, (B) migmatito estromático intercalado com faixas de biotita gnaissado mais fino, ambos dobrados, (C) lentes decimétricas a métricas de rochas anfíbolíticas intercaladas nos gnaissado migmatíticos, (D) porfiroclastos assimétricos de feldspato potássico denunciam os sinais de cisalhamento, (E) veios graníticos discordantes da foliação principal e enclaves de biotita gnaissado são frequentes.

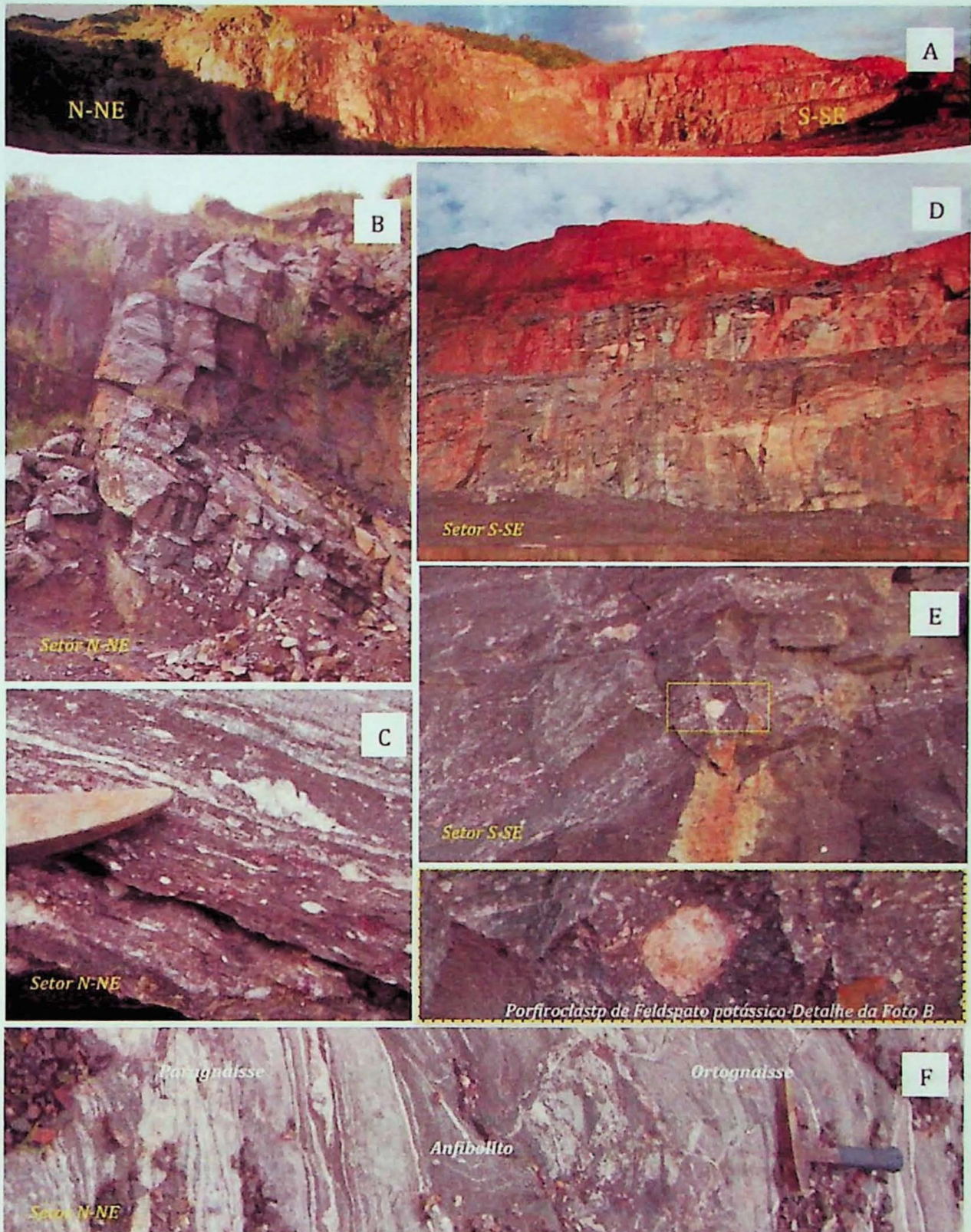


Figura 7. Pedreira Anhanguera (afloramento Pinda-11): (A) Vista Geral da Pedreira, mostrando os setores N-NE e S-SE. No setor N-NE afloram granada-biotita gnaisses micáceos, em contato tectônico com biotita gnaisses e anfibolitos, enquanto no setor S-SE afloram apenas granada-biotita gnaisses e anfibolitos afetados pela zona de cisalhamento, (B) biotita gnaiss do setor S-SE, (C) detalhe do granada-biotita gnaiss micáceos com sillimanita. Observe os porfirobastos de granada, com até 2 cm, rotacionados, (D) biotita gnaiss do setor N-NE, (E) biotita gnaiss, com detalhe dos porfiroclastos arredondados de feldspato potássico, (F) em planta, relação de contato entre os granada-biotita gnaisses (paragnaisse), biotita gnaiss (ortognaisse) e anfibolitos.

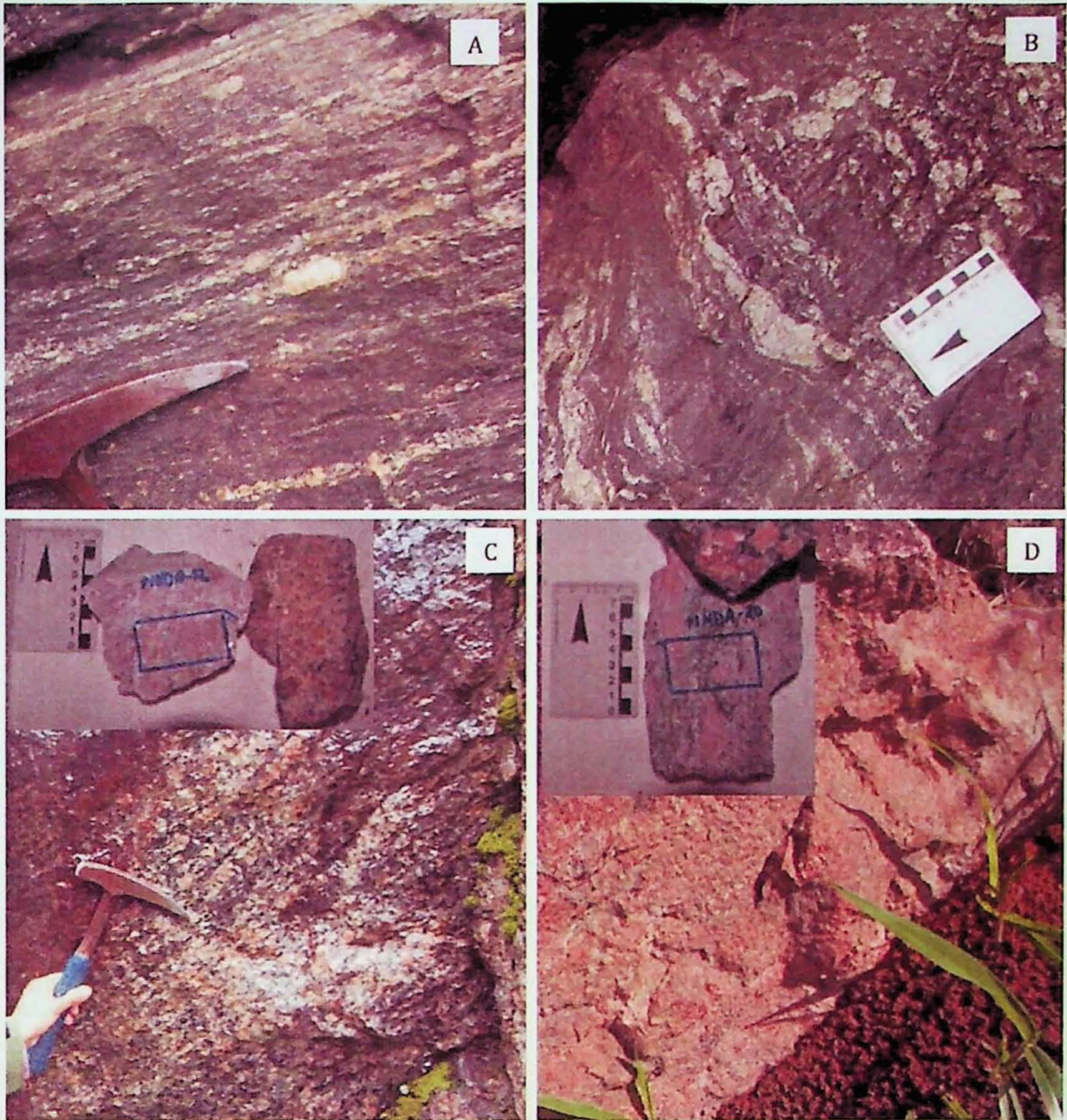


Figura 8. Na rodovia Floriano Rodrigues Pinheiro, que liga as cidades de Pindamonhangaba e Campos do Jordão, foi iniciado o perfil das unidades gnáissicas da Nappe Socorro-Guaxupé e Embu: (A) biotita gnaíse milonitizado (Pinda-15), (B) biotita gnaíse migmatizado estromático (Pinda-19), (C) na entrada da cidade de Campos do Jordão, aflora o granito da Suíte Serra Preta, deformado, com textura tipo *augen* (Pinda-12), (D) biotita granito da Suíte Serra do Trabiju deformado (Pinda-20).

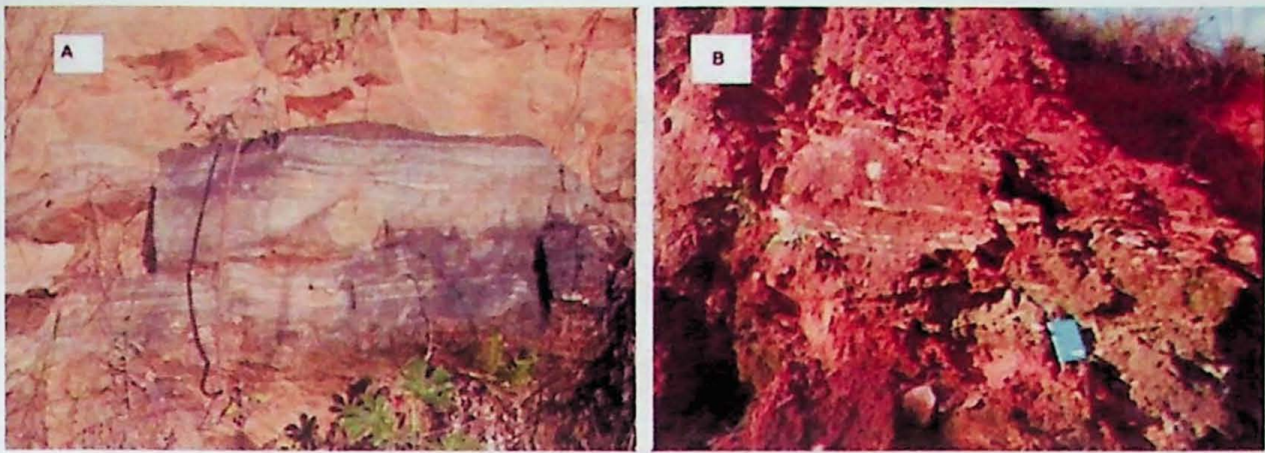


Figura 9. Milonito da ZC Buquira/Jundiuvira, com *ribbons* de quartzo e matriz de granulação fina a muito fina quartzofeldspática de coloração cinza, com padrão de fraturas subverticais subhorizontais da rocha (A). Milonitos alterados, caracterizando a maioria dos afloramentos desta porção (B).

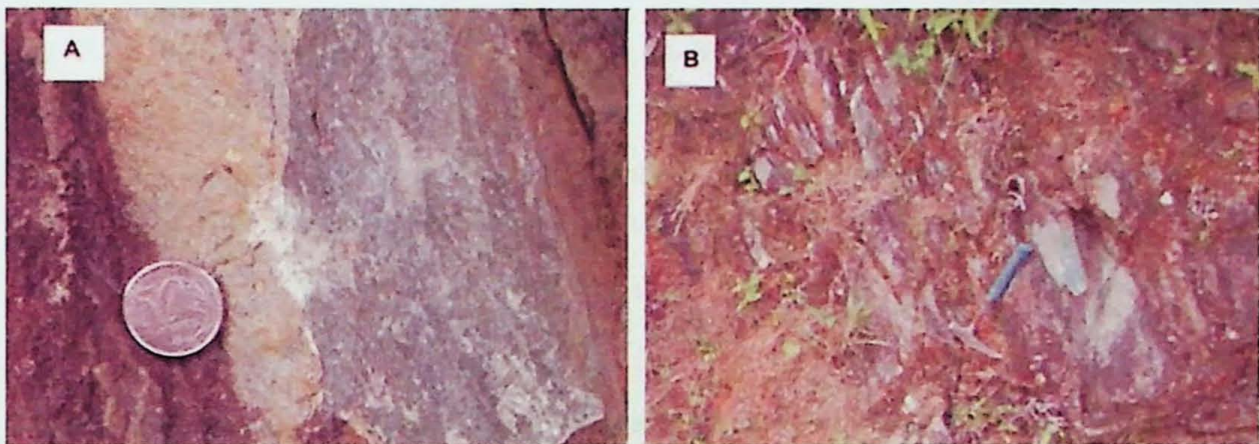


Figura 10. Ponto Pinda-24, caracterizado por um dique fonolítico, no detalhe (A) no afloramento com atitude 140/61 (B).

4.2. Análises petrográficas

Foram feitas descrições de 30 seções delgadas, provenientes de amostras dos paredões que afloram a norte da cidade de Pindamonhangaba, da Pedreira Anhanguera, ambas regiões reconhecidas na literatura como pertencentes ao Domínio Embu, e também das amostras coletadas em ambos os lados da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira, abrangendo assim os litotipos da Nappe Socorro-Guaxupé e do Domínio Embu. De forma geral as amostras analisadas são gnaisses orto e paraderivados, por vezes micáceos e com estruturas migmatíticas e miloníticas. Também foram descritos os granitos intrusivos nestas unidades, corpos anfibolíticos, rochas calciossilicáticas e o dique fonolítico.

Estimativas das composições modais foram obtidas e os valores plotados no diagrama QAP, modelo Streckeisen (1976), mostraram composições monzo a granodioríticas no Embu e sieno a monograníticas na Nappe Socorro-Guaxupé (Fig. 11).

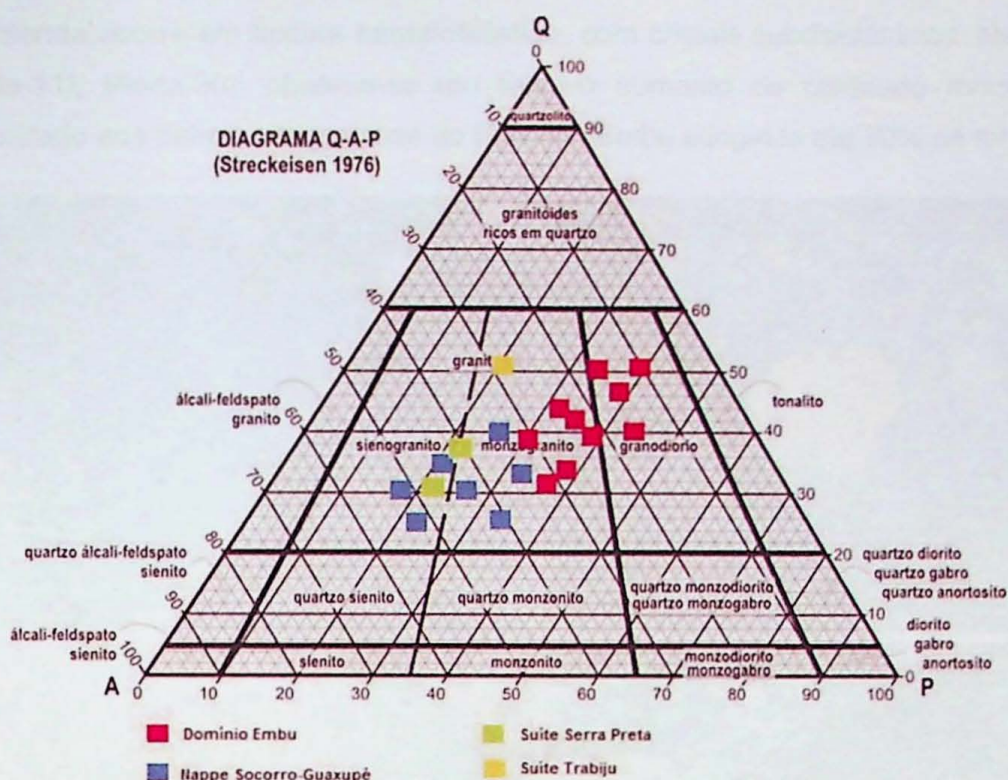


Figura 11. Diagrama QAP com a estimativa modal das amostras estudadas. Note a diferença composicional entre as amostras do Domínio Embu e da Nappe Socorro.

4.2.1. Domínio Embu

4.2.1.1 *Biotita gnaïsse e hornblenda-biotita gnaïsse (GMB)*

Os ortognaïsses possuem, no geral, matriz granoblástica quartzo feldspática de granulometria fina a muito fina, com porfiroblastos de feldspato de tamanhos variados, podendo atingir até alguns centímetros (Fig. 12a). Também ocorrem porfiroblastos de anfibólio e quartzo (Fig. 12b-c). Os porfiroblastos por vezes estão rotacionados ou em formas de sigmoide. Ao redor dos porfiroblastos estão presentes quartzo recristalizado, por vezes dispostos em sombras de pressão (Fig. 12a, b). Estima-se nestas rochas uma composição modal granodiorítica. A foliação gnáïssica é dada principalmente pela orientação da biotita (Fig. 12c), que ocorre em textura lepidoblástica com porcentagem que atinge teores entre 5% a 10% da rocha. O bandamento possui trama planar desenvolvida em regime semi-plástico. Como mineralogia acessória ocorre a presença de titanita, allanita, zircão, apatita e minerais opacos (Fig. 12e). A ação do cisalhamento gera feições de *ribbons* de quartzo (Fig. 12f).

A presença de hornblenda, ocorre localmente nos biotita gnaïsses, por vezes com cristais subarredondados milimétricos rotacionados pelo cisalhamento. Comumente há inclusões de quartzo, biotita, e minerais acessórios como allanita e titanita. Possuem composição modal em torno de 3% da amostra. Em regiões de maior grau metamórfico a

hornblenda ocorre em textura nematoblástica, com cristais subdioblásticos. Nestas porções (Pinda-11I, Pinda-36), observa-se um relativo aumento do conteúdo modal de biotita, comparado aos outros ortognaisses do Domínio Embu atingindo até 30% da amostra.

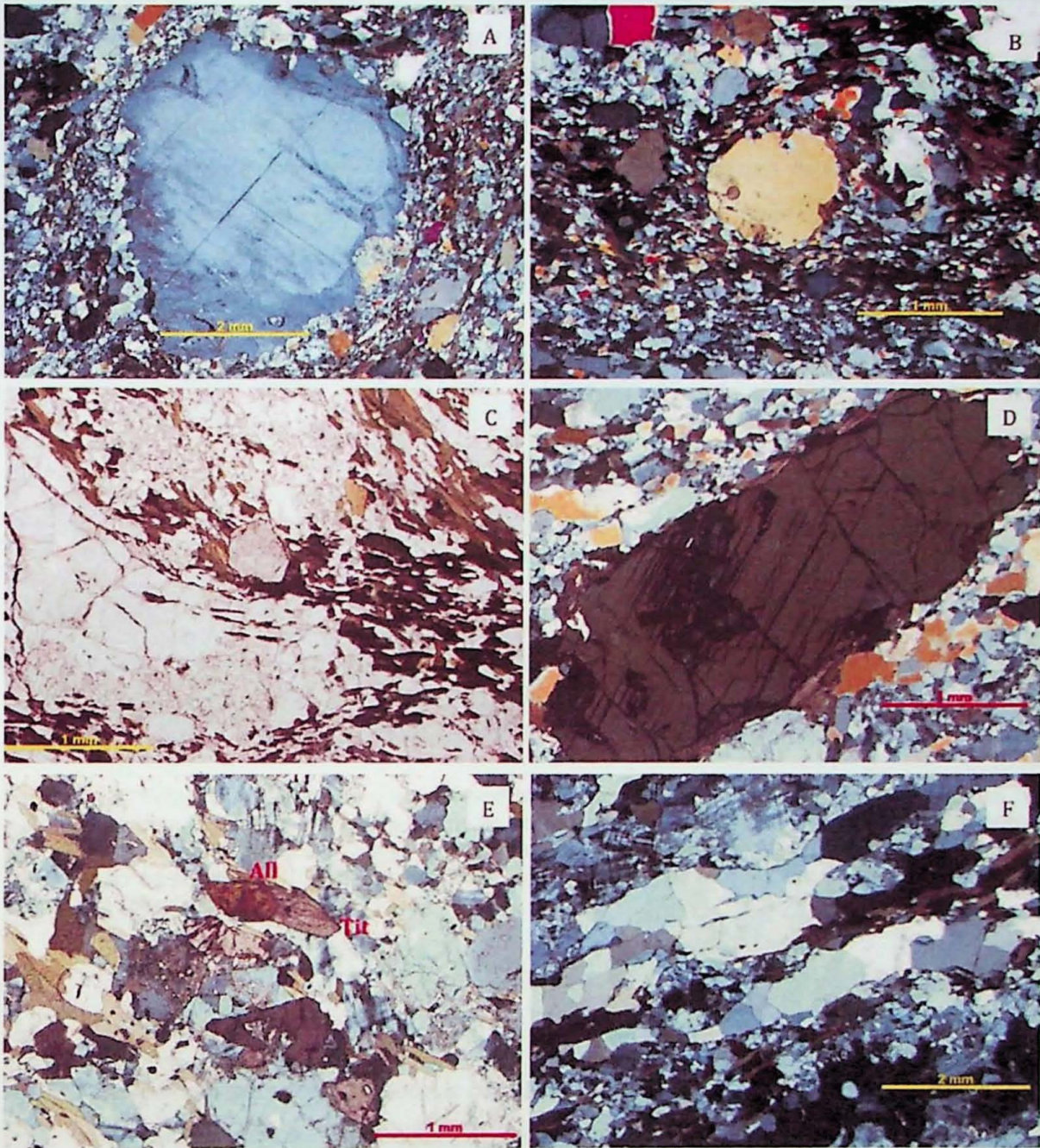


Figura 12. Fotomicrografias do biotita gnaiss e do anfibólio-biotita gnaiss: (A) porfiroclastos de feldspato alcalino, com exsoluções lamelares de albita, em meio a matriz mais fina recristalizada (Pinda-01), (B) porfiroclasto arredondado de plagioclásio, em matriz de quartzo e feldspato recristalizados e biotita orientada formando sombra de pressão assimétrica (Pinda-01), (C) cristal de apatita ao centro em meio a lentes de biotita orientadas e *ribbons* de quartzo (Pinda-01), (D) porfiroclasto de hornblenda em meio a matriz quartzo feldspática mais fina (Pinda-11), (E) cristais de allanita e titanita, típicos minerais acessórios dessas rochas, (F) *ribbons* de quartzo, de granulação mais grossa, associado à matriz mais fina recristalizada. As fotos A, B, D e F estão com os polarizadores cruzados.

4.2.1.2 Granada-biotita gnaiss (Gmb)

As unidades paragnáissicas que ocorrem na Pedreira Anhanguera, são caracterizadas petrograficamente como sillimanita-granada-biotita gnaisses. Ocorrem megacristais centimétricos de granada de núcleo poiquiloblástico com inclusões de quartzo, biotita e opacos (Fig. 13a). A matriz possui textura lepidogranoblástica, com o desenvolvimento de megacristais ovalados de feldspato potássico. Observa-se também *ribbons* de quartzo, assim como, indicadores cinemáticos nos porfiroblastos de granada e feldspato, gerando sigmoides e cristais rotacionados com quartzo recristalizado nas bordas. A sillimanita ocorre como cristais xenomórficos inclusos em cristais de granada ou em forma de fibrolita, junto a xistosidade biotítica. Os principais minerais acessórios são zircão, apatita e minerais opacos (Fig. 13b)

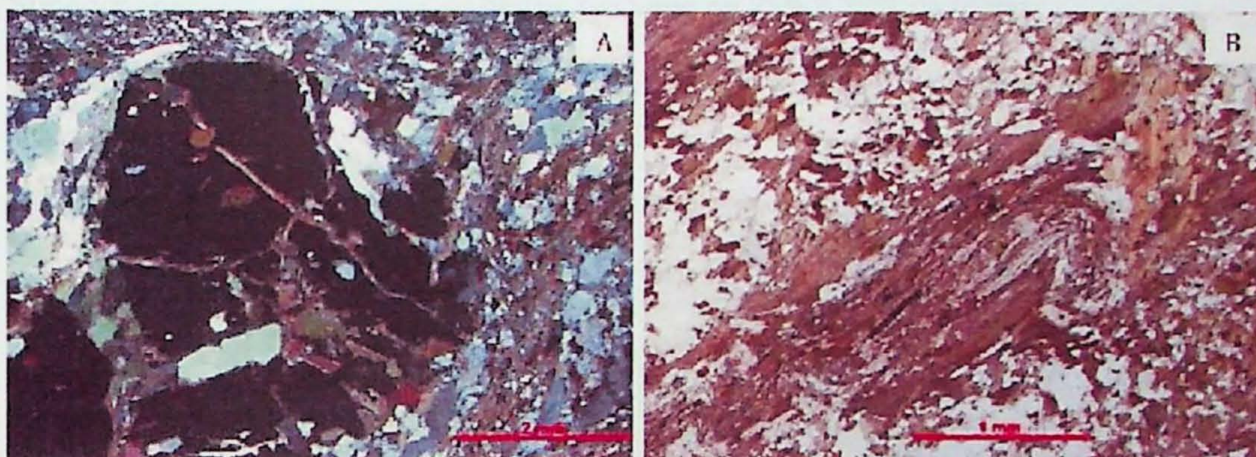


Figura 13. Fotomicrografias do granada-biotita gnaiss: (A) porfiroblastos de granada de textura poiquilítica, com inclusões de quartzo e biotita, com fraturas preenchidas por biotita verde. Nota-se a matriz de quartzo, feldspatos e biotita recristalizados nas bordas do porfiroclastos, formando sombras de pressão assimétricas, (B) matriz lepidoblástica formada por bandas crenuladas contendo biotita, sillimanita (fibrolita) e muscovita.

4.2.2. Nappe Socorro-Guaxupé

4.2.2.1 Biotita xistos feldspáticos e biotita gnaisses

Os biotita xistos feldspáticos e biotita gnaisses possui aspecto gnáissico, com bandas ricas em máficos e bandas félsicas, com composição que varia de sienograníticas a monzograníticas. As amostras estudadas ocorrem com alto grau de alteração, resultado de processos de saussuritização, onde observam-se sericita, clorita e carbonatos (Fig. 14a e d). O Plagioclásio está sericitizado na grande maioria das amostras, comumente ocorre como microclíneo e por vezes exibe geminação lei de albita, onde se consta um teor de anortita de aproximadamente 55%, inserido no campo da labradorita.

O quartzo ocorre em bolsões com textura granoblástica em cristais idioblásticos a subdioblásticos de granulação fina à média, com contatos poligonizados e interlobados.

Localmente, nas porções mais cisalhadas, observa-se *ribbons* de quartzo. Ao redor dos porfiroblastos de k-feldspato e plagioclásio, observam-se quartzo recristalizado em granulação muito fina. É comum a ocorrência de porfiroblasto de k-feldspato e plagioclásio (Fig. 14b).

Bandas ricas em biotita geram um aspecto xistoso macroscopicamente na rocha. Microscopicamente observam-se bandas com cristais subdioblásticos angulosos de granulação que varia de muito fina a média, não possuindo uma textura lepidoblástica definida. A muscovita ocorre junto a biotita, gerada provavelmente secundariamente junto aos processos de hidrotermalismo durante o metamorfismo retrógrado..

Diferentemente dos biotita-gnaisses do Domínio Embu, as Unidades Migmatíticas Superior possuem um alto teor de biotita, em torno de 25% a 30% da rocha.

Discretamente, foi observado a presença de granada na amostra Pinda-15D e sillimanita nas amostras Pinda-15B, Pinda-15C e Pinda-15D.

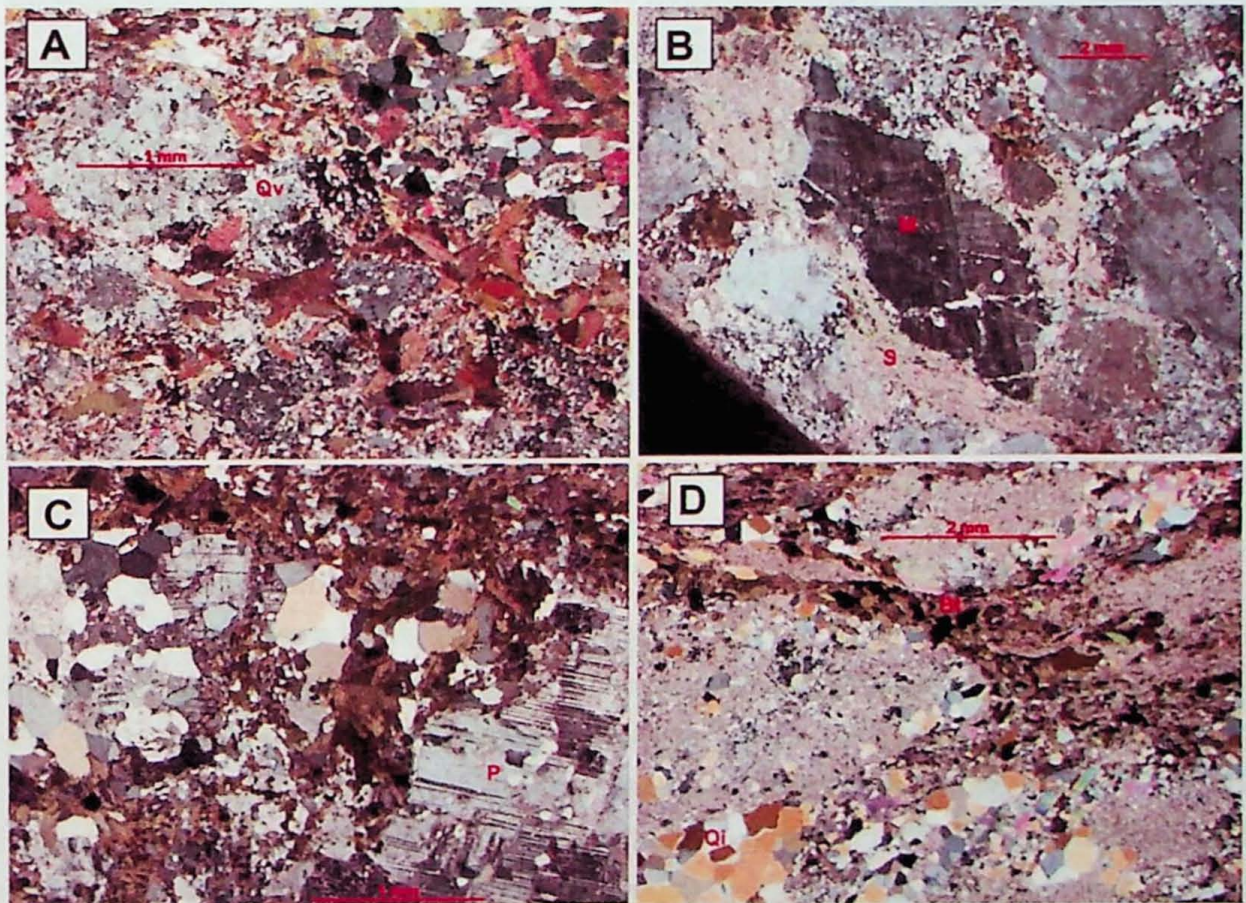


Figura 14. Fotomicrografia (A) - Quartzo em textura granofírica vermicular da amostra Pinda-22A. Fotomicrografia (B) - Amostra Pinda-15B proveniente de uma porção granítica, observa-se um porfiroclasto de microclínio, com quartzo recristalizado nas bordas e intenso processo de sericitização (S). Fotomicrografia (C) - biotita gnaisses com porfiroblastos de plagioclásio (P) em geminação lei da albíta na amostra Pinda-15C, com alto teor de biotita e a presença de um porfiroblasto de plagioclásio (P). Fotomicrografia (D) - Biotita gnaisses, com plagioclásio sericitizado nas bandas leucocráticas onde ocorrem quartzo em contato interlobado (Pinda19A).

4.2.3. Anfibolitos (A)

Os corpos anfibolíticos destacados na forma de *boudins* e lentes, com tamanhos variando de poucos centímetros a metros, são petrograficamente caracterizados pelos minerais hornblenda, clinopiroxênio e plagioclásio labradorita (Fig. 15a e b). Quartzo, minerais opacos, zircão e apatita são raros. Possuem no geral textura nematogranoblástica, desenvolvida pela hornblenda. O clinopiroxênio em grão irregulares está parcialmente substituído pela hornblenda. Na amostra de anfibolito da Pedreira Anhanguera a mineralogia máfica perfaz mais de 80% da rocha.

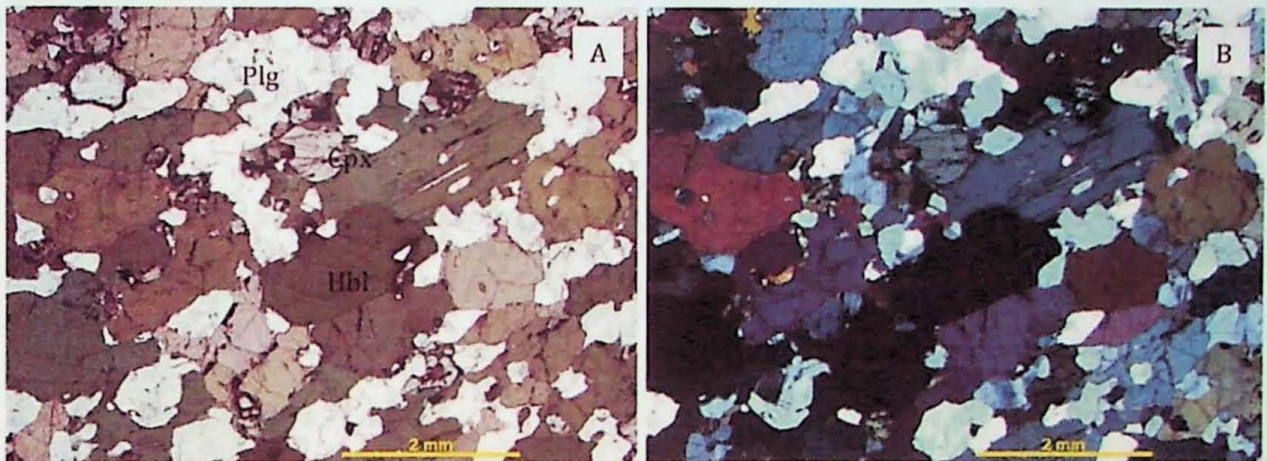


Figura 15. Amostra Pinda-03 de anfibolito da denominada "Falésia" Paraíso: (A) hornblenda com pleocroísmo variando de verde escuro a claro, clinopiroxênio parcialmente substituído por hornblenda e plagioclásio. Observa-se a textura nematogranoblástica desenvolvida pela hornblenda, (B) mesma imagem de A, com os polarizadores cruzados.

4.2.4. Suítes graníticas

4.2.4.1 Suíte Granito Serra Preta

O granito Serra Preta, amostras Pinda-13 e Pinda-14, é um biotita monzogranítico, inequigranular seriado, por vezes apresentando textura porfiroclástica (amostra Pinda-13; Fig 16a). A amostra Pinda-14 possui granulação média com aspecto mais leucocrático, apenas com 2% de biotita e sua mineralogia acessória é composta por opacos (Fig. 16b). Quando milonítico, observam-se *ribbons* de quartzo, que ocorre em bolsões de granulação média com contatos poligonizados e interlobados, assim como também recristalizados em granulação muito fina ao redor dos cristais de feldspato (Fig. 16a). Os megacristais de feldspato ocorrem subarredondados, com aspecto de porfiroclastos, orientados segundo o eixo do cisalhamento. O plagioclásio ocorre com geminação lei da albita. Alguns cristais de plagioclásio estão saussuritizados. O teor de máficos destas amostras é de

aproximadamente 5%, representados pela biotita. Como mineralogia acessória observa-se opacos em cristais subdiomórficos.

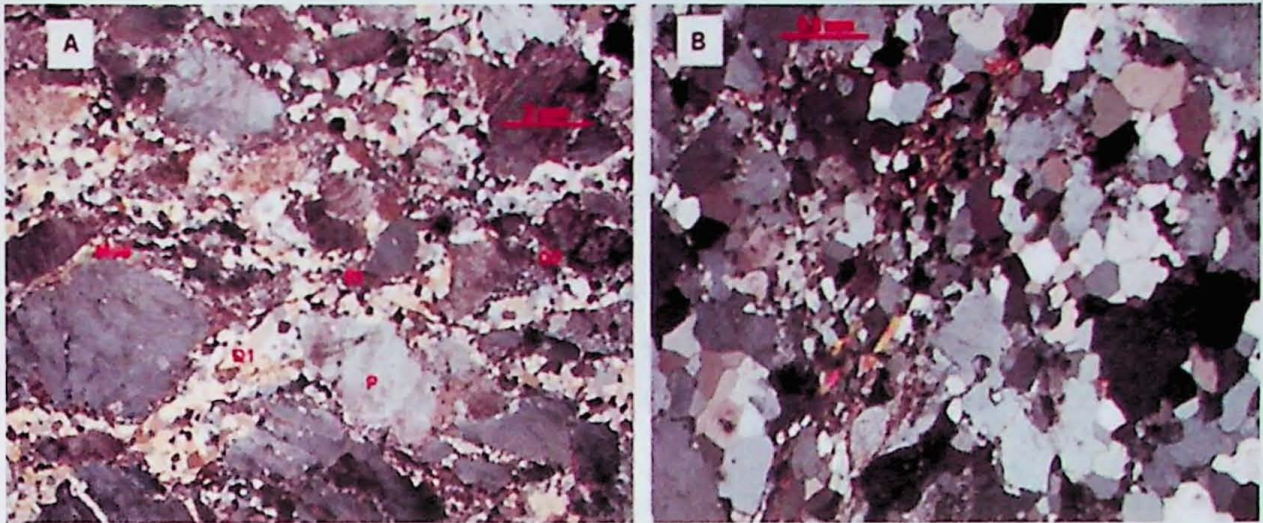


Figura 16. Amostra Pinda-13 (A), onde nota-se megacristais sericitizado de plagioclásio (P), quartzo em contato poligonizado com granulação fina (Q1), quartzo recristalizado (Q2), muscovita ao redor do porfiroclasto de feldspato (Mus), biotita (Bt). Amostra Pinda-14 (B) com aspecto inequigranular seriado, com o quartzo com granulação média.

4.2.4.2 *Suíte Granito Trabiju*

A suíte granítica Trabiju foi analisada na amostra Pinda-20, um biotita monzogranito de textura inequigranular porfírica, com megacristais de feldspato potássico e plagioclásio, no geral, subarredondados, com inclusões de quartzo e biotita e presença de quartzo recristalizado nas bordas (Fig. 17). O quartzo predomina a amostra (em torno de 44%) com cristais de granulação fina a média em contatos poligonizados e interlobados. A biotita ocorre em agregados lenticulares, onde também é possível notar a ocorrência de muscovita. Como mineralogia acessória ocorrem cristais subdiomórficos a idiomórficos de minerais opacos.

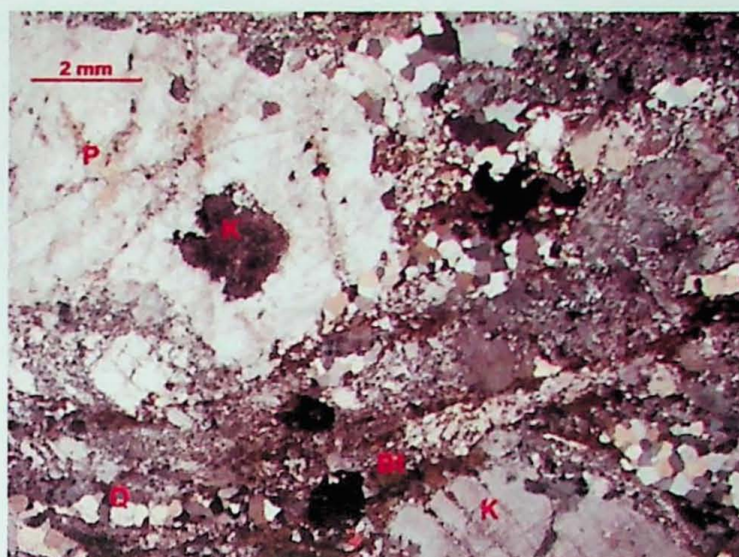


Figura 17. Amostra Pinda-20, onde nota-se megacristais centimétricos de k-feldspato(k) e plagioclásio (P) levemente sericitizado, que altera-se para k-feldspato em seu interior. Observam-se lentes de quartzo de granulação fina a média em contato poligonizado e interlobados. Ao redor dos megacristais nota-se quartzo recristalizado, assim como porções biotíticas (Bt).

4.2.5. Milonitos

As amostras Pinda-36, Pinda-37A e Pinda-37B são milonitos referentes a Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira. Composicionalmente, estas amostras são similares aos biotita-gnaisses milonitizados(GMb), com 5~7% de biotita, e a presença dos minerais acessórios allanita e titanita. No geral as rochas possuem um alto teor de quartzo, atingindo 70% da composição modal nas amostras Pinda-37A e Pinda 37B, gerando textura granoblástica com cristais de contatos poligonizados e interlobados de granulação fina à muito fina. Observam-se cristais de hornblenda subarredondados rotacionados (Fig. 18a), assim como porfiroclastos milimétricos de feldspatos em sigmoides com a presença de quartzo recristalizado nas bordas. É comum a ocorrência de *ribbons* de quartzo (Fig. 18b).

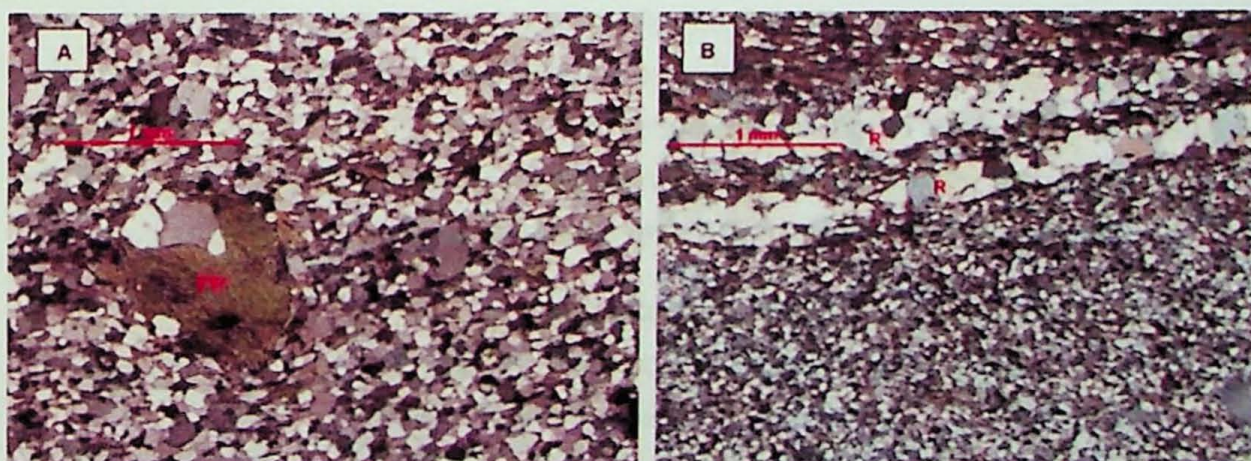


Figura 18. Fotomicrografia A - Amostra Pinda-37A com polarizador cruzado. Nota-se o porfiroclasto de 1mm de Hornblenda rotacionado. Fotomicrografia B – Amostra Pinda-36 com polarizador cruzado, nota-se *ribbons* de quartzo comuns nos milonitos da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira.

4.2.6. Dique fonolítico

Foi constatado a presença de um dique fonolítico (Pinda-24) em meio a unidade de biotita-gnaisses milonitizados (GMB) no Domínio Embu. A amostra possui alta concentração do feldspatóide cancrinita, caracterizado pela semelhança com a muscovita, porém trata-se de um mineral uniaxial. A amostra possui quartzo em contatos interlobados, indicando uma saturação em sílica do dique. Titanita ocorre como mineral acessório, em cristais milimétricos idiomórficos (Fig. 19).

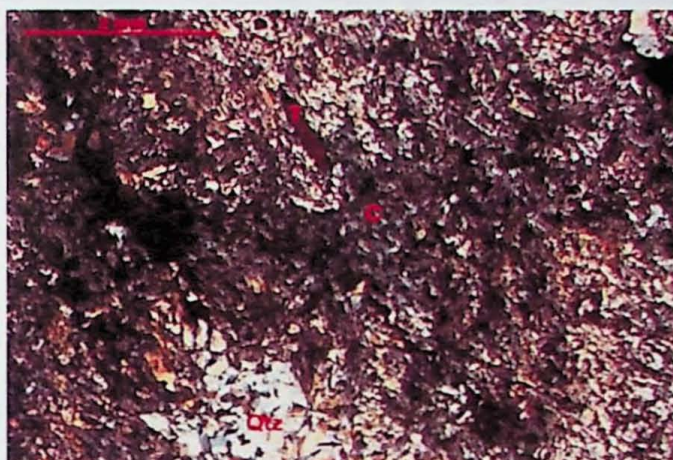


Figura 19. Amostra Pinda-24, de um dique fonolítico com titanita idiomórfica (T), bolsão de quartzo em contato interlobado (Qtz) e feldspatóide cancrinita com birrefringência acinzentada em aspecto de agulhas de granulação fina.

4.3. Metamorfismo

As análises petrográficas das amostras estudadas indicam que na região o metamorfismo atinge um grau médio. Segundo Santoro (1988) o Domínio Embu é caracterizado por rochas com pico metamórfico de médio a alto grau. Ainda segundo o autor, a presença de um metamorfismo retrógrado é relacionado a fase de soerguimento regional do Domínio. Nas zonas de sutura, ocorre metamorfismo de grau fraco, gerando foliações de sistema dúctil. Fernandes (1991) associa o metamorfismo de alto grau a processos de migmatização, e o metamorfismo de médio grau a formação de sillimanita.

Vinagre *et al.* (2014) indicam o aumento do grau metamórfico em um perfil de SE para NW na área, indo de fácies anfibolito de baixa temperatura a fácies granulito (Fig. 20). Ainda segundo os autores, as fácies anfibolito de baixa temperatura estariam relacionadas às rochas metamórficas sem fluidos anatéticos, passando para fácies anfibolito de alta temperatura, com a presença de rochas metamórficas associadas a corpos leucocráticos resultados de fusão parcial, dando aspecto estromático a rocha. Nesta porção são comuns também a presença de rochas anfibolíticas e calciossilicáticas. E os autores concluem por

fim, que as associações de fácies granulito ocorrem mais a norte, próximas ao município de Paraisópolis-Mg, onde ocorrem ortopiroxênios em protólitos ígneos básicos.

No mapa metamórfico apresentado Vinagre *et al.* (2014), a região de Pindamonhangaba estudada, abrange as porções com fácies anfíbolito de baixa e alta temperatura.

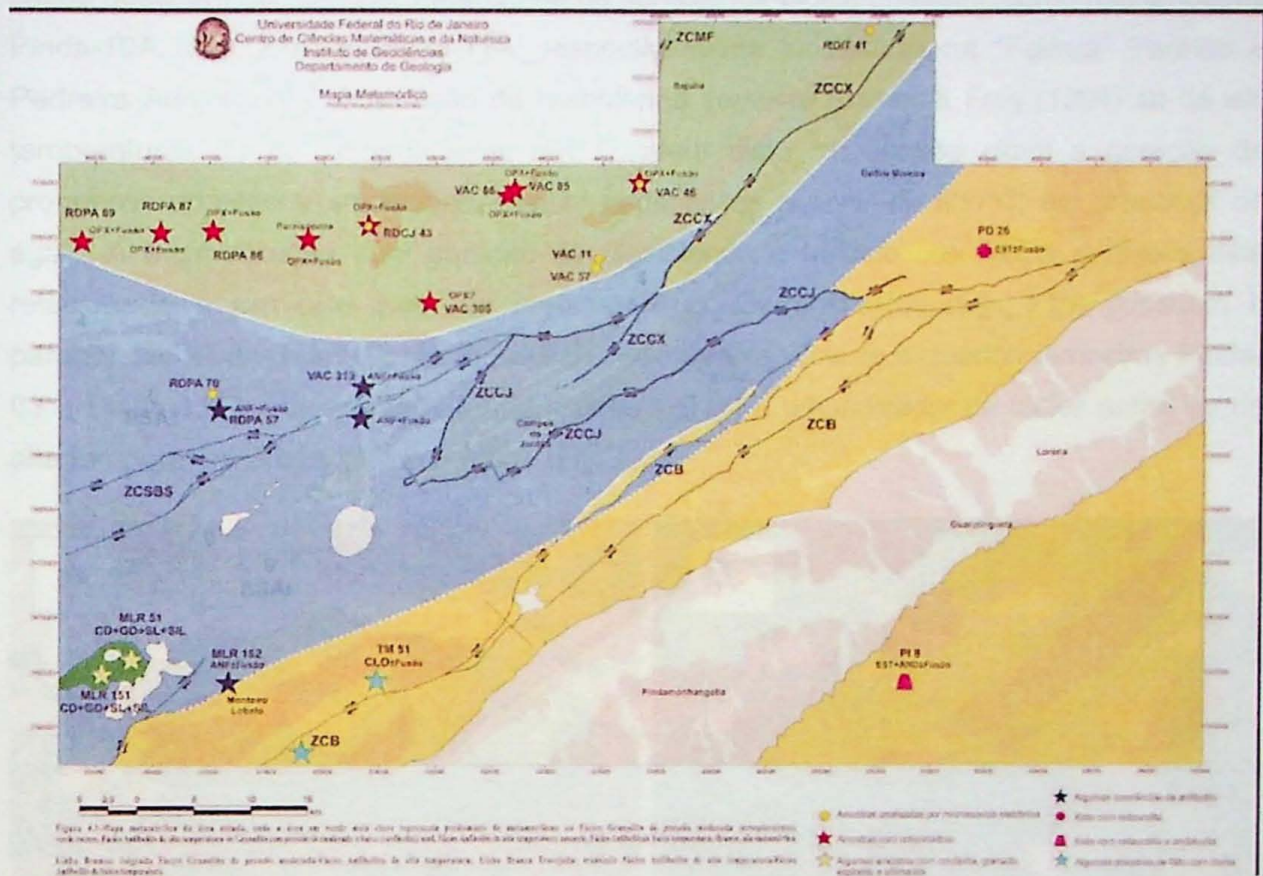


Figura 20. Mapa metamórfico da área, de Vinagre *et al.* (2014), onde a região de cor amarela indica fácies anfíbolito de baixa temperatura, e a região de cor azul indica fácies anfíbolito de alta temperatura e a região de cor verde indica fácies granulito.

4.3.1. Metamorfismo progressivo

O Pico metamórfico na região estudada atinge fácies anfíbolito de alta temperatura, porém as rochas estão em sua grande maioria em fácies anfíbolito de baixa temperatura.

As unidades que atingem fácies anfíbolito de baixa temperatura, são caracterizadas por porções sem evidências de fusão parcial, segundo o mapa do Vinagre *et al.* (2014) (Fig. 20), estas concentram-se a sul da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira. Observam-se nesta porção os biotita gnaisses do Domínio Embu com a paragênese biotita+feldspato potássico+plagioclásio+quartzo.

Localmente há regiões onde se atinge o pico metamórfico de fácies anfibolito de alta temperatura, onde se observa presença de migmatização e corpos anatéticos. Pode-se correlacionar a estas regiões a presença de uma grande quantidade de corpos intrusivos anfibolíticos, calciossilicáticos e graníticos, como na região da Pedreira Anhanguera e da "Falésia" Paraíso, onde ocorrem grande quantidade de corpos leucocráticos, presentes em veios, e estruturas migmatíticas principalmente estromáticas. A ocorrência destes corpos pode elevar a temperatura e fundir a rocha gerando tais estruturas. Os ortogneisses nestes casos possuem hornblenda, tratando-se de hornblenda-biotita gnaisses, como nas amostras Pinda-10A (Fig. 21a) e Pinda-11A, respectivamente localizadas na "Falésia" Paraíso e Pedreira Anhanguera. A geração da hornblenda segundo Bucher & Frey (1994) se dá em temperaturas de aproximadamente 600°C, além disto, os autores citam a geração de processos anatéticos em rochas quartzo feldspáticas a partir de 650°C, em presença de água. A migmatização com geração de hornblenda e fundido nos biotita gnaisses está relacionada a um pico local de metamorfismo. Os anfibolitos (Fig. 21b) possuem a paragênese olivina+clinopiroxênio+anfíbólio+biotita+plagioclásio e quartzo (amostras Pinda-03 e Pinda-11F), que segundo Vinagre *et al.* (2014) é um indicador de fácies anfibolito de alta temperatura em protólitos básicos (Fig. 22).

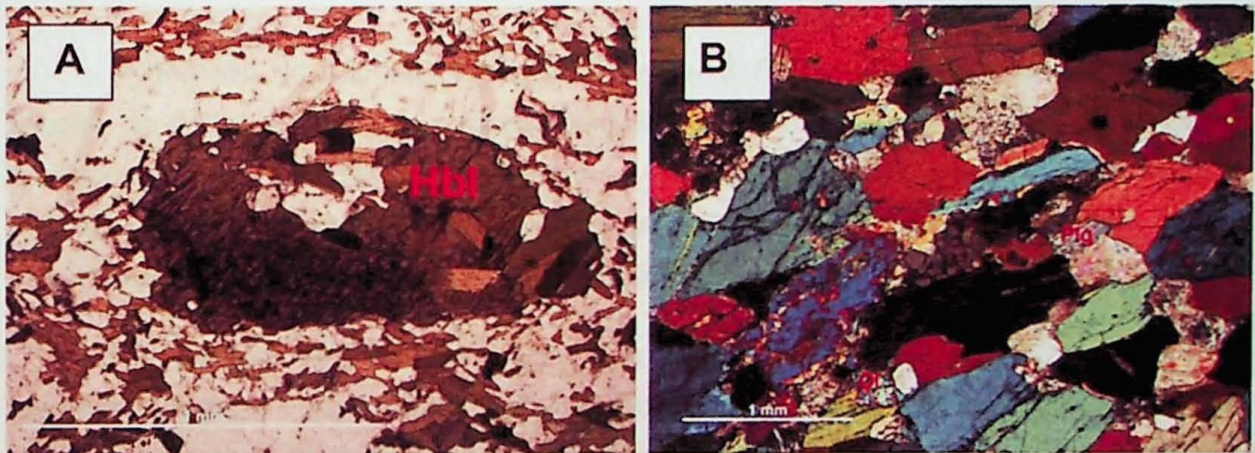


Figura 21. Fotomicrografia (A) - Amostra Pinda-10A, com a presença de hornblenda subarredondada, com inclusões de biotita, quartzo e opacos; Fotomicrografia (B) - Amostra Pinda-11F, nota-se a presença do plagioclásio (Plg) laboradorita com geminação lei da albita com porções sericitizadas e a presença de olivina (Ol).

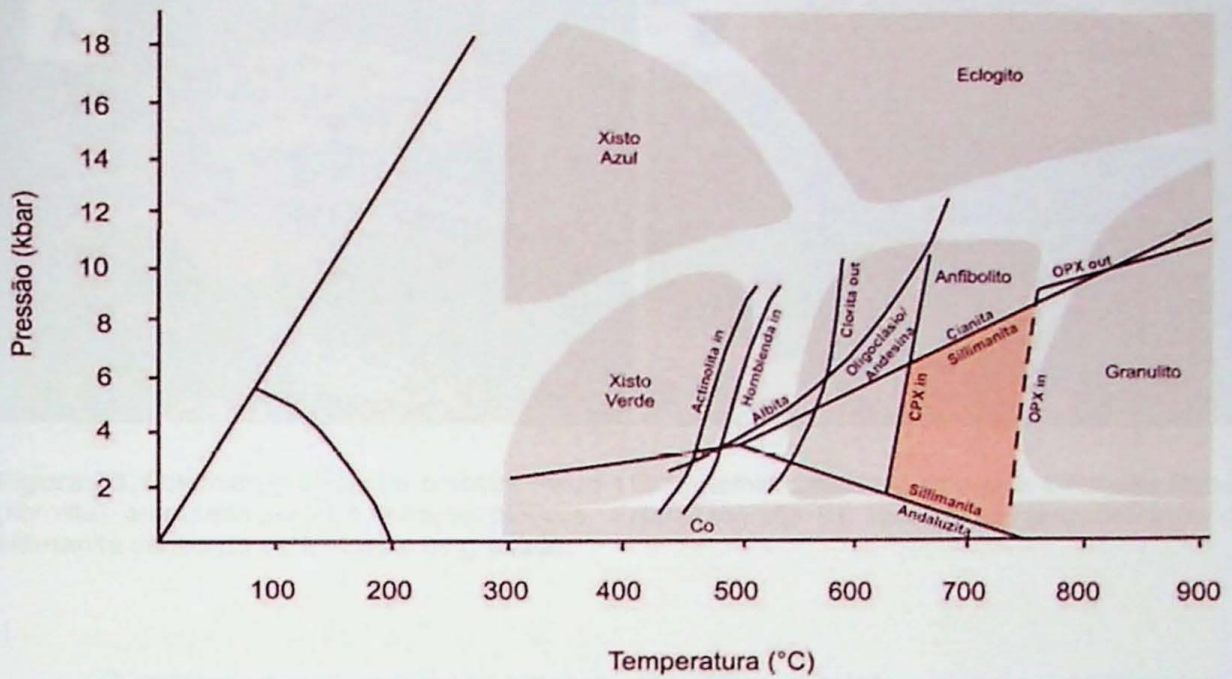


Figura 22. Gráfico de estabilidade P-T para rochas de protólito básico adaptado de Yardley (1989) por Vinagre *et al.* (2014). No gráfico destaca-se o campo de metamorfismo fácies anfibolito de alta temperatura indicado pelo autor através de análises de suas seções delgadas.

A geração de sillimanita, segundo Bucher & Frey (1994), pode se dar através da reação de desidratação com a decomposição da muscovita na presença de quartzo em pressões acima de 4 kbar, caracterizando a segunda isógrada sillimanita. Esta reação é definida por $\text{Muscovita} + \text{Quartzo} = \text{K-feldspato} + \text{Sillimanita} + \text{H}_2\text{O}$. Caso haja um sistema saturado em água, a reação tem início a baixas temperaturas.

Nos paragneisses do Domínio Embu a sillimanita ocorre intercrescida nos cristais de granada e também, deformadas junto a gnaissificação. Neste último caso o mineral não indica o pico metamórfico deformacional, pois deforma-se junto à foliação na forma de fibrolitas (Fig. 23a). No primeiro caso, a sillimanita intercresce em sua forma não fibrosa, dentro dos porfiroblastos de granada, posteriormente aos eventos deformacionais, indicando fácies anfibolito de altas temperaturas (Fig. 23b).

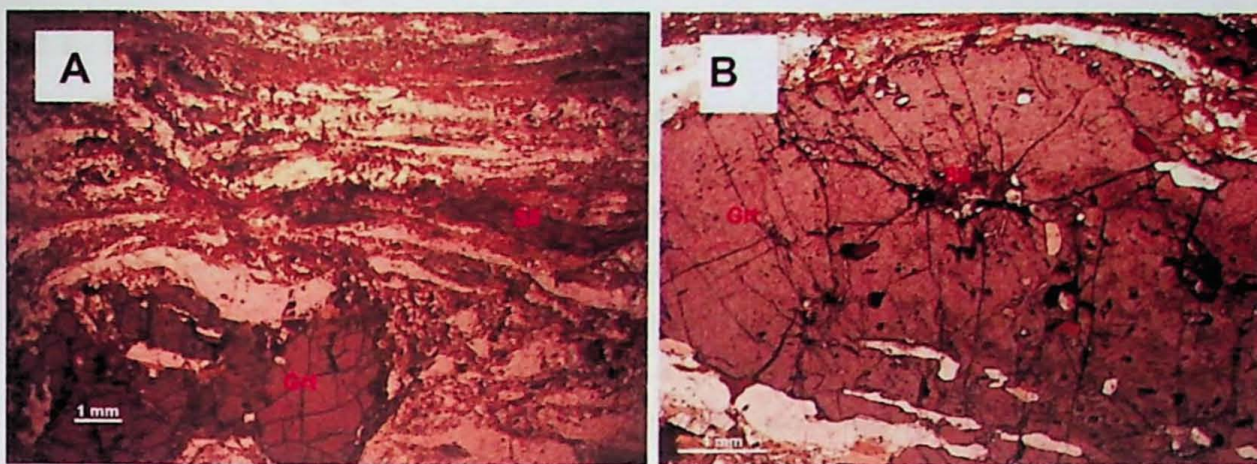


Figura 23. Fotomicrograficas da amostra Pinda-11B. Fotomicrografia (A) nota-se a sillimanita fibrosa (fibrolita) crenulada junto à foliação biotítica. Fotomicrografia (B) nota-se o intercrescimento de sillimanita dentro do porfiroblasto de granada.

O metamorfismo progressivo nos biotita xistos e biotita gnaisses pertencentes a Nappe Socorro-Guaxupé é de difícil caracterização, pois estas rochas encontram-se sob intenso processo de alteração hidrotermal, principalmente a saussuritização do plagioclásio. No entanto, durante os trabalhos de campo, foi possível reconhecer nestas unidades porções migmatizadas significativas, em estruturas estromáticas e dobradas. Segundo Janasi & Vasconcellos (1996) a Nappe Socorro-Guaxupé possui áreas migmatíticas de gradientes P×T na faixa de 4,5kbar/750°C, um grau de metamorfismo anfibolito de alta temperatura,

4.3.2. Metamorfismo retrógrado

O metamorfismo retrógrado final está associado, segundo Santoro (1998), a saussuritização, com a formação de albita+clinozoizita+sericita+carbonatos, e também a cloritização e epidotização da biotita e da granada. Ainda segundo o autor, o metamorfismo retrógrado sugere a descompressão isotérmica regional, que de acordo com Harley (1989) ocorrem em regiões de processos colisionais, espessamento crustal e exumação tectônica pós-colisional relativamente rápida.

Pelas análises das seções delgadas as amostras aflorantes acima da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira possuem uma intensa saussuritização. Os biotita xistos e biotitas gnaisses migmatíticos da Nappe Socorro-Guaxupé possuem os plagioclásios sericitizados e saussuritizados, com ocorrência de sericita, carbonatos, e formação de albita. A geração de clorita, também é um indicador dos processos de metamorfismo retrógrado.

4.3.3. Metamorfismo Dinâmico

A presença da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira gera milonitos a protomilonitos, além de afetar as unidades proximais a esta. Os gnaisses do Domínio Embu e da Nappe Socorro-Guaxupé, assim como, os corpos graníticos intrusivos Serra Trabiju e Serra Preta demonstram a ação do cisalhamento com foliações miloníticas, com a formação de porfiroclastos de plagioclásio e feldspato potássico recristalizados, indicadores cinemáticos, e fitas de quartzo. A recristalização do plagioclásio ocorre em temperaturas em torno de 450-500°C, enquanto as fitas de quartzo são desenvolvidas em temperaturas superiores a 350-400°C. Essas temperaturas são compatíveis com condições metamórficas de grau fraco a médio (Santoro, 1998).

4.4. Análises químicas de rocha total

Foram obtidas análises de elementos maiores, menores e alguns traços por Fluorescência de raios X para 6 amostras, sendo elas a Pinda-10A, da "Falésia" Paraíso, e as amostras Pinda-11A, Pinda-11C, Pinda-11D, Pinda-11F, da Pedreira Anhanguera, todas pertencentes ao Domínio Embu. Os dados são apresentados na Tabela 2. O tratamento dos dados e obtenção dos diagramas foi feito com o programa GCDkit 3.00.

As Amostras Pinda-10A, Pinda-11A e Pinda-11D são ortognaisses representados por biotita gnaiss (Pinda-10A) e hornblenda-biotita gnaiss (Pinda-11A e Pinda-11D). A amostra Pinda-11C é a porção paragnáissica caracterizada por um sillimanita-granada-biotita gnaiss. Por fim a amostra Pinda-11F é um anfibolito.

No diagrama de Middlemost (1985) (Fig. 24), nota-se nas amostras de composição granítica (Pinda-10A, Pinda-11A, Pinda-11C e Pinda-11D) um caráter granodiorítico/granítico, de acordo com o resultado obtido nas análises modais realizadas nas seções delgadas. A composição de SiO₂ indicam valores entre aproximadamente 63% a 71% nos gnaisses do Domínio Embu. O anfibolito (Pinda-11Fa e Pinda-11Fb) plota no campo do gabro, também correspondendo a análise petrográfica.

No diagrama AFM (Irvine and Baragar, 1971) (Fig. 25) nota-se uma tendência cálcio alcalina dos gnaisses do Domínio Embu, enquanto o anfibolito possui caráter mais ferro-magnésiano (toleítica).

Nos diagramas de Frost (2001) (Fig. 26), específico para rochas de composição granítica, observou-se nos gnaisses um caráter magnésiano, com exceção da amostra Pinda-10A, que possui uma composição mais ferrosa. No Diagrama de Na₂O+K₂O-CaO x SiO₂ observa-se que os ortognaisses apresentam composição álcali-cálcica e calcioalcalina,

e o paragnaisse (Pinda-11C) possui composição alcalina. Por fim, com base no gráfico A/NK x ASI nota-se que a única rocha com caráter peraluminoso é o paragnaisse (Pinda-11C), já evidenciado na análise petrográfica pela presença de sillimanita e granada.

Nos diagramas tipo Harker de variação geoquímica (elementos maiores, menores e traços) usando SiO₂ como índice de diferenciação (Fig. 27; Tabela 2), é possível observar que as amostras (hornblenda)-biotita gnaisses dos dois afloramentos principais apresentam teor de SiO₂ variando de 61 a 69%, mesmo intervalo da amostra de paragnaisse, que se destaca pelos maiores valores de Al₂O₃ e K₂O e menores de CaO e Na₂O. Os teores de Fe₂O₃ variam de 0,5 a 3% para. Como esperado, a amostra de anfibolito apresenta os mais baixos teores de SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O e P₂O₅ maiores de CaO, MgO e Fe₂O₃ (Tabela 2 e Fig. 27).

No diagrama de variação composicional multi-elementos (Fig. 28) (Thompson 1982), normalizados para o condrito, é possível observar que as amostras de orto e paragnaises do Domínio Embu apresentam padrão paralelo, embora não coincidentes em termos de valores absolutos, e são relativamente enriquecidas nos elementos incompatíveis, em especial nos elementos terras raras leves (La, Ce, Nd). Esse enriquecimento é evidenciado nas amostras pela presença dos minerais allanita, titanita e apatia.

Tabela 2. Resultado das análises de elementos maiores e menores (em porcentagem em peso) e traços (em ppm)

Teor/Amostra	Pinda 10A	Pinda 11A	Pinda 11C	Pinda 11D	Pinda 11Fa	Pinda 11Fb
SiO ₂	68,92	62,16	61,12	66,17	49,88	50,02
TiO ₂	0,687	0,821	0,838	0,514	0,638	0,653
Al ₂ O ₃	13,67	14,69	17,24	14,41	11,06	10,98
Fe ₂ O ₃	4,24	7,02	7,91	4,71	9,81	9,84
MnO	0,053	0,099	0,190	0,067	0,167	0,168
MgO	0,53	3,29	3,05	1,73	11,38	11,46
CaO	2,02	3,58	1,16	3,42	12,10	12,11
Na ₂ O	2,73	3,43	1,49	3,81	0,84	0,84
K ₂ O	5,97	3,28	4,62	3,00	0,71	0,71
P ₂ O ₅	0,148	0,276	0,097	0,156	0,046	0,043
Lol	0,40	0,69	1,20	1,59	2,13	2,09
Total	99,37	99,34	98,92	99,58	98,76	98,91
Ba	1256	820	503	752	68	63
Ce	305	87	76	153	< 35	< 35
Co	6	20	22	13	53	54
Cr	15	113	88	49	367	366
Cu	9	24	8	36	13	13
Ga	18	19	26	18	11	12
La	175	57	38	83	< 28	< 28
Nb	26	13	16	9	< 9	< 9
Nd	99	32	26	51	< 14	< 14
Ni	10	40	38	20	228	229
Pb	27	10	5	6	9	10
Rb	212	140	221	114	27	27
Sc	< 14	< 14	< 14	< 14	45	44

Nota: As amostras Pinda 11f(a) e (b) são réplicas. O sinal < indica valores abaixo do limite de detecção.

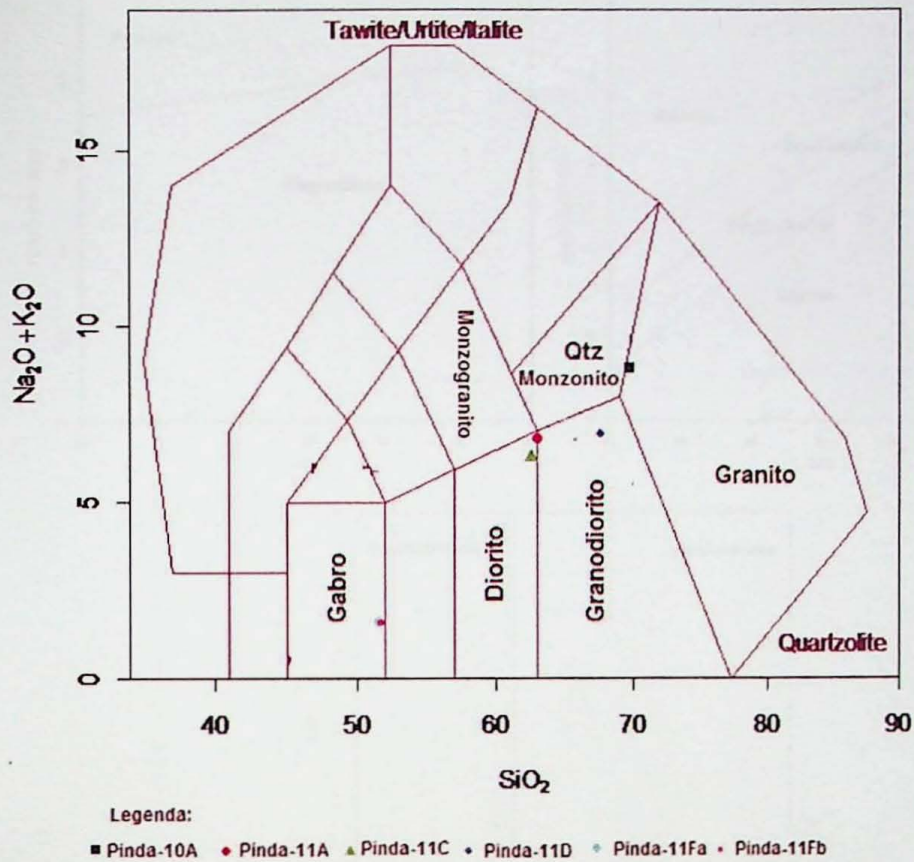


Figura 24. Diagrama de Middlemost (1985), evidenciando nos gnaisses do Domínio Embu uma composição granítica/granodiorítica e também demonstrando nos anfibolitos uma composição referente ao campo do gabro.

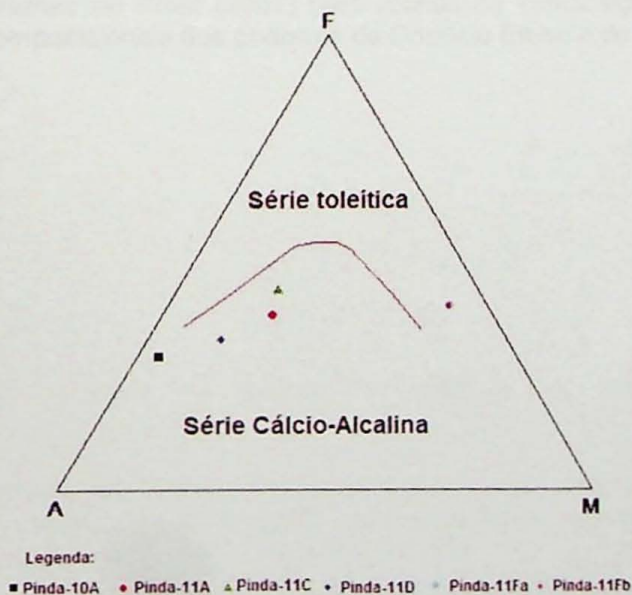


Figura 25. Diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971) indicando que as amostras gnáissicas do Domínio Embu possuem vertentes mais alcalinas, e que o anfibolito possui caráter ferro-magnésiano.

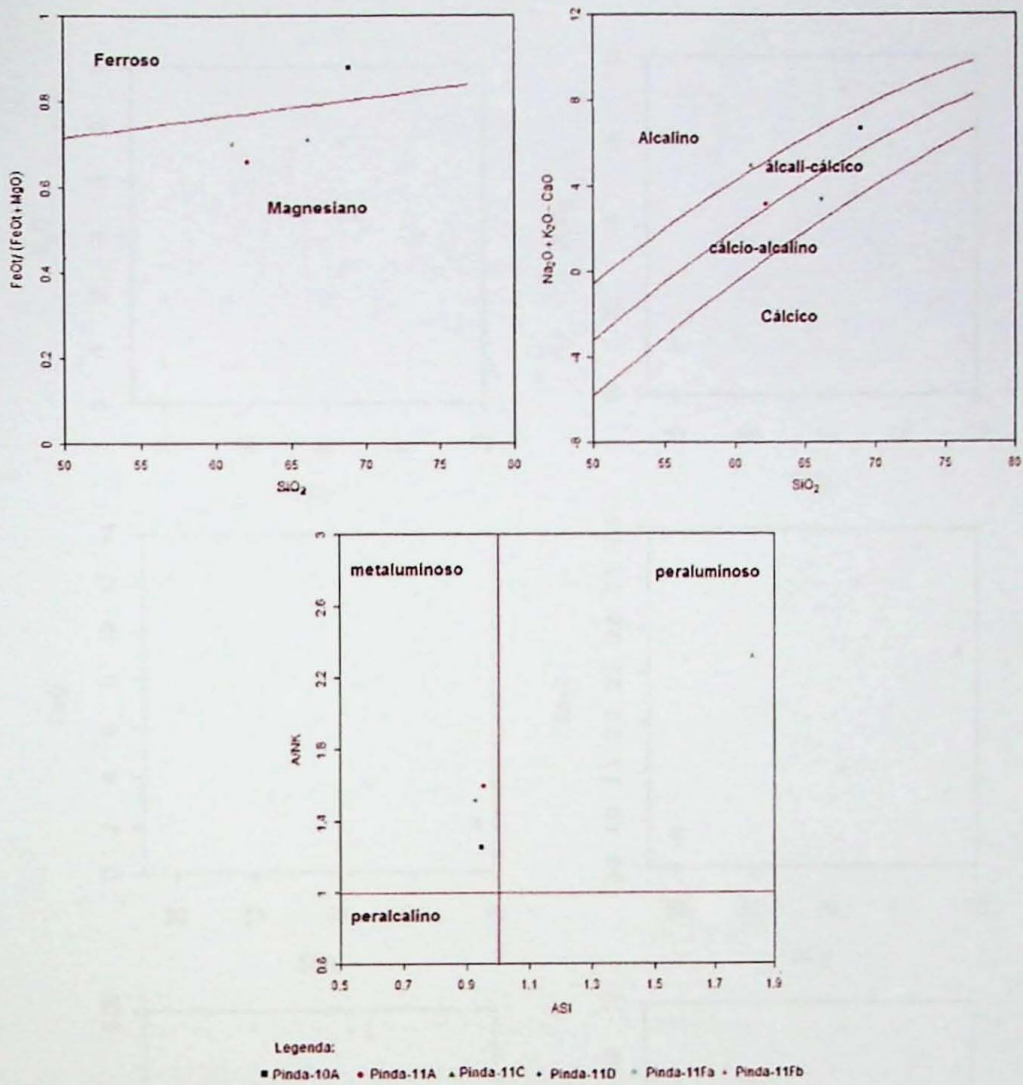
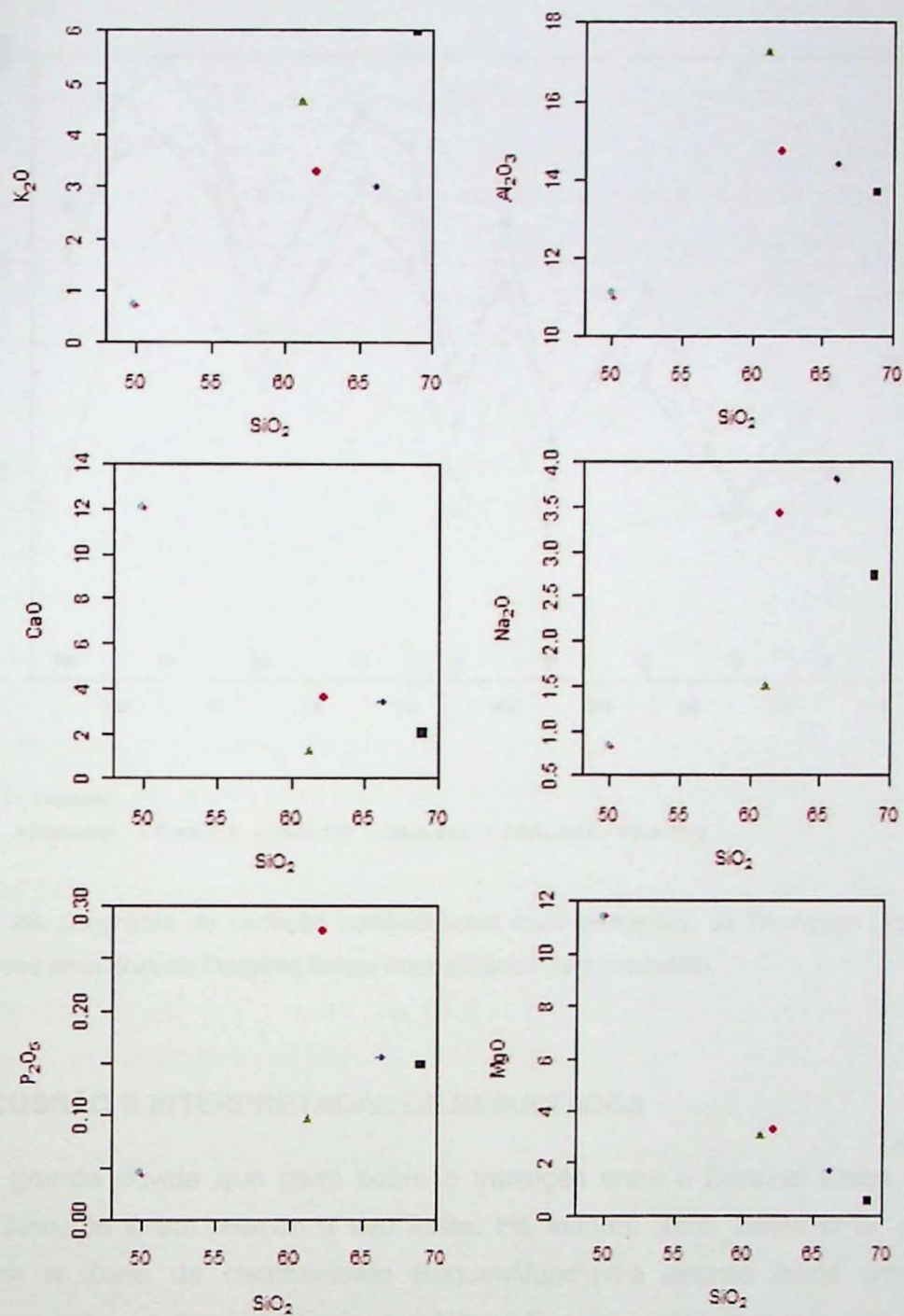


Figura 26. Diagramas de Frost (2001) para rochas de composição granítica, onde é possível as características composicionais dos gnaisses do Domínio Embu e do anfibólito.



Legenda:

■ Pinda-10A ◆ Pinda-11A ▲ Pinda-11C ◆ Pinda-11D ◆ Pinda-11Fa ● Pinda-11Fb

Figura 27. Diagramas tipo Harker de variação geoquímica (elementos maiores, menores e traços) usando SiO₂ como índice de diferenciação para as unidades gnássicas do Domínio Embu.

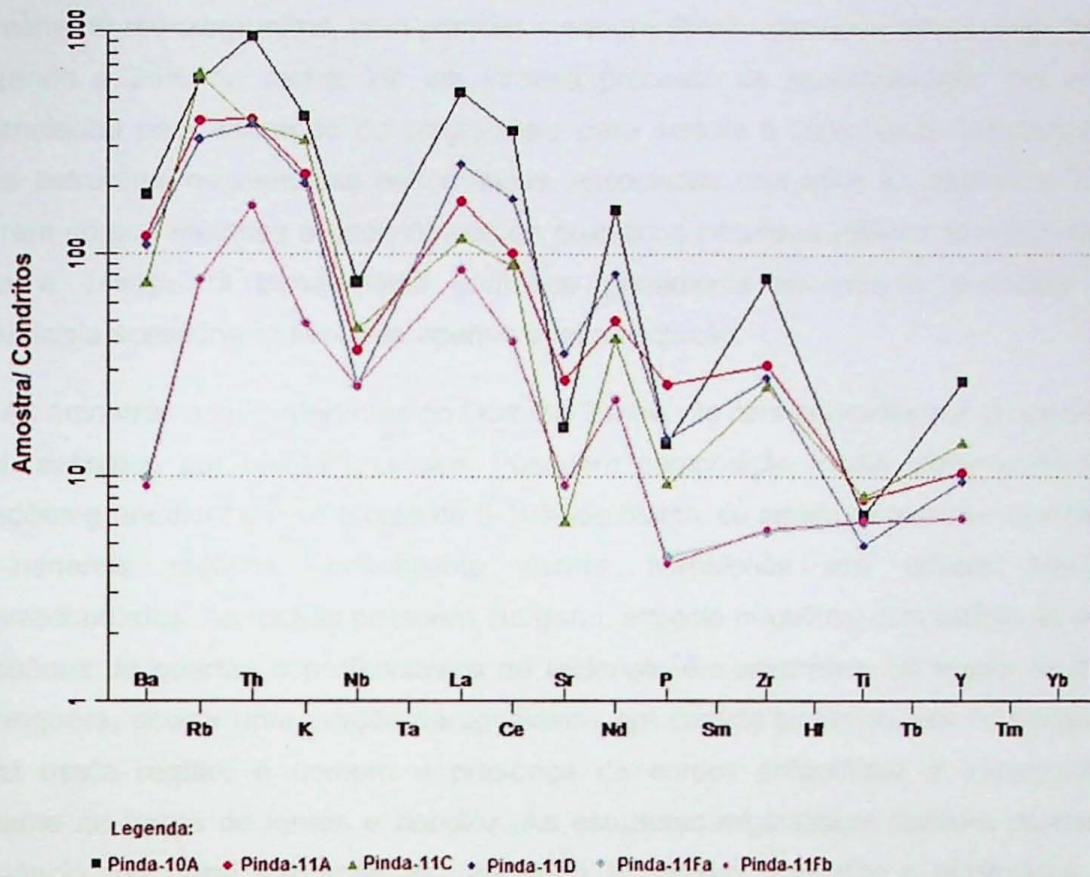


Figura 28. Diagrama de variação composicional multi-elementos, de Thompson (1982), com os dados das amostras do Domínio Embu normalizados para o condrito.

5. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

A grande dúvida que paira sobre a transição entre o Domínio Embu e a Nappe Socorro-Guaxupé é em relação a seu limite. Há autores como Trouw *et al.* (2013), que descrevem a Zona de cisalhamento Buquira/Jundiuvira apenas como uma zona de interferência entre os domínios Embu e a Nappe Socorro, associando aos dois Domínios a mesma gênese, enquanto que outros autores, como Campos Neto & Caby (2000), que defendem a separação das duas unidades, relacionando-as a diferentes eventos tectônicos.

O trabalho aqui proposto teve por objetivo o reconhecimento de ambos os Domínios a norte e a sul da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira, assim como caracterizar as semelhanças e distinções entre estes Terrenos Neoproterozoicos, que apresentam gnaisses com porções migmatíticas e milonitizados, e com relevante presença de corpos intrusivos. Por meio das análises realizadas nos trabalhos de campo e em seções delgadas das amostras coletadas, foi possível identificar diferenças entre as rochas coletadas a norte e as rochas coletadas a sul da Zona de Cisalhamento Buquira/Jundiuvira.

As amostras a norte, referentes a Nappe Socorro-Guaxupé tem composição modal que varia de monzogranitos, com porções sienograníticas, possuem altos teores de biotita, chegando a 35% da rocha. Há um intenso processo de saussuritização nas amostras evidenciados pela alteração do plagioclásio para sericita e carbonatos. Observam-se por vezes estruturas migmatíticas estromáticas, associadas com veios leucocráticos. Também ocorrem corpos métricos a decimétricos de graníticos intrusivos, relacionados a Suíte Serra Preta e Trabiju. O bandamento gnáissico geralmente encontra-se crenulado. Como mineralogia acessória observa-se apenas opacos e zircão.

As amostras a sul, referentes ao Domínio Embu são caracterizadas por ortognaisses no geral, definidos por biotita gnaisses. Possuem composição modal monzogranítica, com variações granodioríticas, e teores de 5-10% de biotita, ou seja com menores porcentagens de minerais máficos. Localmente ocorre hornblenda em cristais milimétricos subarredondados. As rochas possuem, no geral, aspecto milonítico, com estruturas planares de *ribbons* de quartzo e porfiroclastos de feldspato em sigmoides. Na região da Pedreira Anhanguera, ocorre uma porção paragnáissica em contato tectônico com os ortognaisses. Ainda nesta região, é comum a presença de corpos anfíbolíticos e calciossilicáticos, presente na forma de lentes e *boudins*. As estruturas migmatíticas também ocorrem com frequência, no geral estromáticas, gradando a porções dobradas e oftalmíticas. Como mineralogia acessória observa-se a presença de titanita, allanita, opacos e zircão.

O pico metamórfico na região estudada é registrado em ambos os Terrenos como fácies anfíbolito de alta temperatura de acordo com Vinagre *et al.* (2014). Regiões que atingem fácies granulito foram registradas por Vinagre *et al.* (2014) apenas no sul do estado de Minas Gerais. Como registro do pico metamórfico nas rochas estudadas do Domínio Embu, observa-se o desenvolvimento de hornblenda metamórfica nos ortognaisses, sillimanita não fibrosa inclusas em granadas nos paragnaisse e a presença de clinopiroxênio nos corpos anfíbolitos. Nas amostras estudadas na Nappe Socorro-Guaxupé, os indícios de pico metamórfico são difíceis de identificar devido ao metamorfismo retrógrado, presente na intensa saussuritização da rocha. Apesar da alteração, nos trabalhos de campo, foi possível reconhecer processos de migmatização das rochas da Nappe. A fusão parcial é indicadora também de fácies anfíbolito de alta temperatura.

6. CONCLUSÕES

Comparando ambas as unidades aflorantes na região de Pindamonhangaba (SP) nos Domínios Pré-Cambriano Embu e Nappe Socorro-Guaxupé, identifica-se principalmente uma diferença mineralógica/composicional. Apesar do intenso processo de saussuritização na Nappe Socorro-Guaxupé, foi possível reconhecer tais diferenças.

Os gnaisses do Domínio Embu possuem composições que gradam de monzogranitos a granodioritos, enquanto os gnaisses da Nappe Socorro-Guaxupé possuem composição que tendem mais ao campo do sienogranito, com porções monzograníticas.

No que se refere a mineralogia, o teor de biotita na Nappe Socorro-Guaxupé é claramente maior. Em algumas amostras chega-se a estimar em torno de 35%. Este alto conteúdo de filossilicatos gera uma aparência por vezes xistosa nos gnaisses. No Domínio Embu, estima-se os teores de biotita entre 5 a 10% da rocha, gerando em grande parte, trama planar nos gnaisses. Além disto, a presença de hornblenda nos gnaisses do Embu também o distingue dos gnaisses da Nappe Socorro-Guaxupé, que não apresentou tal mineral nas rochas estudadas. Como mineralogia acessória, observam-se titanita, allanita, apatita, zircão e opacos no Domínio Embu. Esta associação mineralógica não ocorre nas amostras estudadas da Nappe, onde se nota apenas a presença de minerais opacos e zircão como acessórios.

Ambas as unidades são intensamente afetadas intensamente pela zona de cisalhamento Buquira/Jundiuvira, bem como possuem indicadores de processos de fusão parcial, com presença de migmatitos estromáticos e dobrados.

Em relação aos litotipos associados, na Nappe Socorro-Guaxupé há uma significativa presença de corpos graníticos intrusivos métricos a decamétricos, devido à proximidade com as Suítes Serra Preta e Trabiju. Estas suítes não foram observadas no Domínio Embu, que diferentemente da Nappe, possui corpos anfibolíticos e calciossilicáticos associados, presentes como lentes e *boudins*.

A Zona de transição entre a Nappe Socorro-Guaxupé e o Domínio Embu possui vários contrapontos na literatura e, apesar da área de estudo não abranger toda a extensão das unidades, as observações realizadas indicam que a Nappe Socorro-Guaxupé e o Domínio Embu são Terrenos de composição e gênese distintas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. (1977). O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Almeida, F. F. M. (1967). Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM (DNPM/DGM. Boletim, 241), pp. 1-36.
- Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, H.G., Kawashita, K. (1973). *The Precambrian evolution of South American cratonic margin, South of Amazon River*. In: Nairs, A.E.M. and Stehli, F.G. (Eds.). *The ocean basins and margins* (v. 1, 411-446). New York: Plenum.
- Alves, A. (2009). Petrogênese de plútons graníticos do leste paulista: geocronologia, geoquímica elemental e isotópica. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências, 122p.
- Fonseca, A. C. (2010). Geoquímica dos elementos terras raras (ETR). Disponível em: <http://www.geobrasil.net/geoinfo/docs%5Cgeoquimica.pdf>
- Bucher, K. Frey, M. (1994) *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*.(6. ed.) Berlim: Springer-Verlag.
- Campos Neto M.C. (2000). *Orogenic systems from southwestern Gondwana – an approach to Brasiliano-Panafrican cycle and orogenic collage in southeastern Brazil*. In: Cordani, U.G, Milani, E.J. and Thomaz Filho, A. (Eds.) *Tectonic Evolution of South America* . Rio de Janeiro, Brazil, p. 335-365.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S. (1983). Evolução estrutural Brasileira do NE de São Paulo: dobramentos superpostos e esboço estratigráfico e tectônico. In: Anais do 4º Simpósio Regional de Geologia de São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1: pp. 61-78.
- Campos Neto, M.C. and Caby, R. (2000). Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*, 19: 669-687.
- Campos Neto, M. C., Basei, M. A. S., Janasi, V. A., Moraes, R. (2011). Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe system: An Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 393-406.
- Ebert, H. (1967). A estrutura pré-cambriana do sudeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. *Bol. Paran. Geoc.*, (v, 26) 42-45.

- Ebert, H. (1968). Ocorrência de fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes em dependência da estrutura orogênica: hipótese sobre sua origem. Rio de Janeiro: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. (v, 40) 215-229.
- Ebert, H.D., Hasui, Y. (1998). Transpressional tectonics and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of southeast Brazil. *Geological Society, London, Special Publications*, **135(1)**: 231-252.
- Fernandes A.J. (1991). As unidades regionais do Complexo Embu e seu embasamento, no leste do Estado de São Paulo. *Simpósio de Geologia*, v. 2, 501-508. São Paulo: SBG.
- Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D., (2001). A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42 (11): p.2033-2048.
- Hasui, Y., Sadowski, G.R. (1976). Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **6(3)**, 180-200.
- Hasui, Y. (1989). Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo (Pró – Minério). São Paulo: *Instituto de Pesquisas Tecnológicas*. (Relatório IPT, 27394).
- Hasui, Y., Almeida, F.F.M., Neves B.B de B. (1978). As estruturas brasileiras. In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, 1978. *Anais...* Recife: SBG. (v. 6). 2423-2437.
- Heilbron, M., Machado, N. (2003). Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira Orogen (SE Brazil). *Precambrian Research* **125**: 87-112.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. C., Silva, L. C., Trouw, R. A .J., Janasi, V.A. (2004). A *Província Mantiqueira*. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R., Brito Neves, B. B. (eds.) O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, p. 203-234.
- Heilbron, M., Valeriano C. M., Tassinari, C.C.G., Almeida J.C.H., Tupinambá M, Siga Jr. O., Trouw, R.J.A. (2008). Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J, Brito Neves, B.B., De Wit M.J. (Eds). West Gondwana Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. *The Geological Society of London*. London **294**, p.211-237.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT. (1990). Geologia das folhas Jacareí (SF-23-Y-D-II-3) Tremembé (SF-23-Y-B-V-4), Taubaté (SF-23-Y-D-II-2) e Pindamonhangaba (SF-23-Y-B-VI-3), escala 1: 50.000, Estado de São Paulo. São Paulo. V.1. (IPT. Relatório 28732).

- Irvine, T.N. Baragar, W.R.A. (1971). A Guide to the chemical classification of the common rocks. *Journal Earth Science*. Canadá, 8, p.523-48
- Janasi, V. A, Alves, A., Vlach, S. R. F., Leite, R. J. (2003). Granitos peraluminosos da porção central da Faixa Ribeira, Estado de São Paulo: Sucessivos eventos de reciclagem da crosta continental no Neoproterozóico. *Geologia-USP (Série Científica)*, 3: 13-24.
- Janasi, V.A., VAasconcelos, A.C.B.C. (1996). Anatexia de crosta inferior e média e geração de granitos na Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé, SE do Brasil uma síntese preliminar . *Boletim IG-USP. Publicação Especial*, Brasil, n. 18, p. 63-65
- Janasi, V.A. (1999). Petrogênese de granitos crustais na nappe de empurrão Socorro Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Livre Docência (no prelo): 304 p.
- Machado Filho, L., Ribeiro, M.W., Gonzales, S.R., Schenini, C.A., Santos Neto, A., Palmeira, R.G.B., Pires J.L., Teixeira, W. & Castro, H.E.F. de. (1983). Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF-23/24, Rio de Janeiro/Vitória, 1. Rio de Janeiro: MME.
- Middlemost E.A.K. (1985). *Magma and Magmatic Rocks*. Longman Group Limited. Essex.
- Peternel, R., Trouw, R. A. J., Schmitt, R. S. (2005). Interferência entre duas faixas móveis Neoproterozóicas: o caso das Faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, p. 297-310.
- Santoro, E. (1998). Evolução geológica do Pré-Cambriano da região de Santo Antonio do Pinhal, SP: importância tectônica das zonas de cisalhamento. Tese (Doutorado) São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Theodorovicz, A., Yamato, A. A, Vasconcelos, C.S., Santarém, P.C., Silva, L.C., Silva, V. A. (1991). Características lito-estruturais do Cinturão de Cisalhamento Transcorrente São Paulo-Região Leste da Grande São Paulo. *In: Simpósio de geologia do Sudeste*, 2, 1991, São Paulo. Atas... São Paulo: SBG. P. 473-480.
- Thompson, RN (1982) Magmatism of the British Tertiary province Scottish. *Journal of Geology*, v.18, p. 49-107.
- Trouw, R. A. J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F. V. P., Valeriano, C. M., Almeida, J. C. H., Tupinambá, M., Andreis, R.R., (2000). The central segment of the Ribeira Belt. *In: Tectonic Evolution of South America*, Cordani, U.G, Milani, E.J. and ThomazFilho, A. (Editors), pp. 287-310.
- Trouw, R.A.J., Peternel R., Ribeiro A., Heilbron M., Vinagre R., Duffles P., Trouw C.C., Fontainha M., Kussama H. (2013). A new interpretation for the interference zone

between the Southern Brasília Belt and the Central Ribeira Belt, SE Brazil. *Journal of South American Earth Science*. **48**: 43-57.

Vieira, S. R. S. S., Tassinari, C. C. G. (1988). Estudo petrológico e geocronológico das rochas da região de Embu-Guaçu, Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém. *Anais*. Recife: SBG, v. 3, p. 1391-1399.

Vinagre, R., Trouw, R. A. J., Mendes, J. C., Ludka, I. (2014). Química mineral e geotermobarometria do Batólito Serra da Água Limpa, Nappe Socorro-Guaxupé, Faixa Brasília Meridional, Sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, **44**(3), 387-414.

Vlach, S.R.F. (2001). Microprobe monazite constraints for an early (ca. 790 Ma) Brasiliano orogeny: The Embú Terrane, Southeastern Brazil. In: Simposio Sudamericano en Geología Isotópica, 3, Pucón, Extended Abstracts, 265-268. (CD-ROM).

