

INTRODUÇÃO

O presente trabalho contempla o resultado das pesquisas e estudos realizados em uma área de terrenos metamórficos de alto grau, envolvendo a análise petrográfica, geoquímica e geocronológica das rochas aflorantes na região entre as cidades de Espera Feliz (MG) e Porciúncula (RJ).

Para se obter um melhor entendimento da história geológica de um terreno orogênico de evolução complexa e policíclica é necessário que, primeiramente, se defina corretamente as unidades litotectônicas que o constituem, ou seja, que se faça a separação entre unidades do embasamento, da cobertura e aquelas contemporâneas ao desenvolvimento do orógeno. Em terrenos de alto grau metamórfico, nos quais as rochas foram intensamente retrabalhadas e suas texturas e estruturas primárias encontram-se obliteradas, esse é um tema que se torna particularmente crítico, dificuldade esta acentuada em terrenos carentes de mapeamento geológico de detalhe ou semi-detalhe.

1 APRESENTAÇÃO

As rochas estudadas na presente dissertação, segundo a literatura disponível, correspondem aos ortogranulitos pertencentes aos Complexos Juiz de Fora, Serra da Bolívia e Suíte Leopoldina e encontram-se inseridas, respectivamente, nos Domínios Juiz de Fora, Cambuci no setor norte da Faixa Ribeira, e setor meridional da Faixa Araçuaí. A correlação da porção setentrional da Faixa Ribeira com a Faixa Araçuaí é tema relevante, e vem sendo alvo de diversas pesquisas.

Portanto, a presente proposta pretende contribuir para o tema supracitado, utilizando-se da integração de diversas metodologias no estudo dos ortogranulitos, tais como: revisão e compilação de mapas geológicos disponibilizados, visando o estudo petrográfico-petroológico, caracterização litogeoquímica e geocronologia (U-Pb em zircão) no intuito de melhor compreensão da evolução tectônica da(s) faixa (s) Araçuaí e; ou Ribeira.

1.1 Objetivos

O principal objetivo da pesquisa é comparar as características petrográfica, geoquímica e a idade dos ortogranulitos aflorantes na área de estudo com as rochas tipo do Complexo Juiz de Fora e com as rochas de composição charnoenderbíticas pertencentes ao arco magmático da Faixa Araçuaí. Esse estudo pretende trazer contribuição relevante para a elaboração de modelos tectônicos mais adequados para o setor estudado, incluindo o entendimento da conexão Ribeira-Araçuaí.

1.2 Localização e vias de acesso

A área de estudo está localizada entre as cidades de Espera Feliz (MG) e Porciúncula (RJ), região da tríplice divisa entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, sudeste do Brasil. A área é delimitada pelos meridianos de longitude oeste de Greenwich e os paralelos de latitude sul do Equador, correspondentes às coordenadas $42^{\circ}4'35,94''\text{O}$ - $41^{\circ}45'50,05''\text{O}$ e $20^{\circ}35'14,98''\text{S}$ - $21^{\circ}0'40,67''\text{S}$, abrangendo quatro folhas topográficas (escala 1:100000): Carangola, Espera Feliz, Porciúncula e Varre-Sai (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Localização da área de estudo em diferentes escalas.

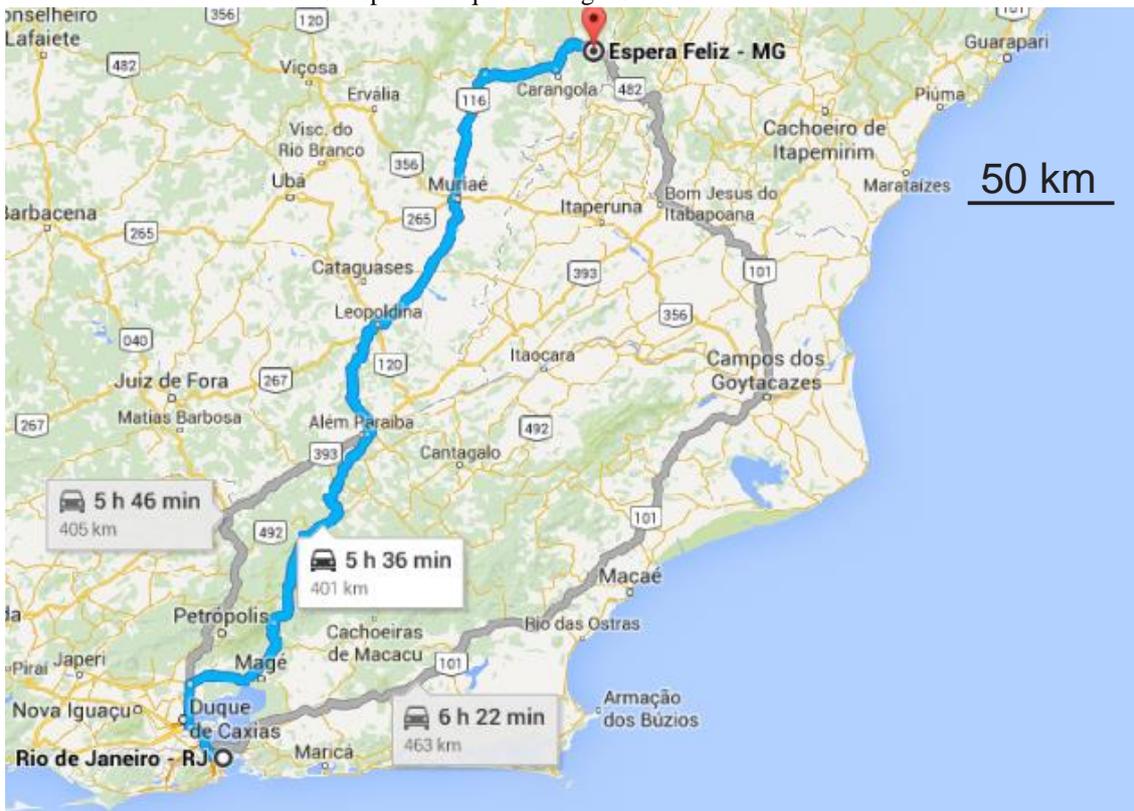


Fonte: A autora, 2015.

A cidade de Espera Feliz encontra-se a 450 km do Rio de Janeiro e a 351 km de Belo Horizonte, sendo que a distância entre as principais cidades da área de estudo (Porciúncula e Espera Feliz) é de 59,2 km.

A principal via de acesso, a partir da cidade do Rio de Janeiro, se dá em direção NW-NE pelas estradas federais BR-116 e BR-482. No entanto, existem também acessos secundários através das rodovias BR-101 ou BR-040 + BR-116 (Figura 1.2). Essas vias, juntamente às estradas estaduais MG-111 e RJ-230, interligam os principais municípios da região, como Porciúncula (RJ), Tombos (MG), Faria Lemos (MG) e Dorés do Rio Preto (ES).

Figura 1.2 – Principais vias de acesso, a partir do Rio de Janeiro, para Espera Feliz. Destaque para opções secundárias e suas respectivas quilometragens.



Fonte: Google Maps.

1.3 Atividades desenvolvidas

No presente trabalho, as pesquisas em petrologia foram realizadas a partir da análise quantitativa de dados de petrografia, litogeoquímica e geocronologia. Em síntese, para a realização desse trabalho, foram desenvolvidas diferentes procedimentos realizados de maneira sistemática, que são listados a seguir:

1.3.1 Levantamento Bibliográfico

Nessa fase inicial foi realizada a pesquisa bibliográfica, que envolveu a leitura de trabalhos de cunho regional que abordavam as principais questões, referentes aos diferentes domínios tectônicos e terrenos da porção setentrional da Faixa Ribeira e áreas adjacentes, bem como o setor meridional da Faixa Araçuaí. Dentre estes trabalhos, pode-se destacar os relatórios desenvolvidos durante a disciplina de Estágio de Campo II (disciplina curricular do Curso de Graduação em Geologia da UERJ) nos anos de 2010 e 2012. Esta etapa teve como

objetivo a aquisição do conhecimento atual sobre a área, bem como o levantamento dos temas que se encontram ainda controversos ou pouco esclarecidos.

1.3.2 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado nos arredores dos municípios de Caiana, Divininho, Espera Feliz e Carangola em duas campanhas. A primeira teve duração de 15 dias (27 de setembro de 2013 à 11 de outubro de 2013) e envolveu o mapeamento geológico na escala 1:50.000, a partir do acompanhamento dos grupos da disciplina Estágio de Campo II (2013/2), bem como a coleta de parte das amostras para os trabalhos de geocronologia e geoquímica/petrografia. O mapeamento geológico foi realizado de maneira sistemática, buscando-se, sempre que possível a execução de perfis ortogonais a estruturação da área. Os pontos foram realizados preferencialmente em locais com afloramentos de rocha pouco alterada, no entanto a fim de se ter uma densidade de pontos razoável, diversas vezes foi necessária a execução de pontos em rocha alterada, e saprólito, objetivando desta forma, a marcação de pelo menos um ponto a cada quilômetro.

A segunda campanha de campo foi realizada entre os dias 11/03/2014 e 14/03/2014 na mesma área. E envolveu o reconhecimento das unidades litológicas mapeadas pelos diversos grupos que já passaram pela disciplina Estágio de Campo II entre 2010 e 2013, neste período foi realizada a integração dos mapas produzidos na mesma disciplina, a fim de gerar um mapa geológico regional. Durante esta etapa, foi finalizada a coleta sistemática das amostras, objetivando após as etapas laboratoriais a obtenção dos concentrados de zircão, bem como o pó para geoquímica.

Cabe ressaltar que ambas campanhas de campo consistiram também observação e descrição dos afloramentos da área, com aquisição de dados estruturais, além de coleta de amostras para petrografia e acervo. Como ferramentas de campo, foram utilizados, além da bússola geológica, na qual foi utilizada a declinação oeste de $21^{\circ}42'$, um GPS e um mapa topográfico.

1.3.3 Análise Petrográfico-Petrológica das Unidades Litológicas

Nessa etapa está incluída a análise petrográfica, envolvendo a observação e descrição em microscópio óptico das principais feições encontradas nas lâminas delgadas, tais como de trama, estrutura, textura e paragêneses minerais. Essas observações são importantes para

determinar as condições metamórficas das litologias em questão. Para tal, foram confeccionadas 24 novas lâminas no LGPA (Laboratório Geológico de Processamento de Amostras) bem como foram utilizadas 59 lâminas preparadas durante a disciplina Estágio de Campo II dos anos de 2010, 2012, 2013, totalizando 83 lâminas analisadas, sendo que. Destas, 30 foram descritas detalhadamente, envolvendo a contagem modal completa e posterior classificação composicional das rochas segundo o diagrama QAP (Streickesen, 1976) bem como a descrição da mineralogia e suas alterações, trama e estruturação. Estas lâminas correspondem às amostras que foram enviadas para análise geoquímica e posteriormente tratadas.

1.3.4 Análise Litogeoquímica

A análise litogeoquímica pode ser subdividida em três etapas dispostas a seguir e descritas detalhadamente no capítulo 4 referente à litogeoquímica:

- a) coleta de amostras;
- b) etapas laboratoriais;
- c) tratamento dos dados obtidos.

1.3.5 Análise Geocronológica

Esta etapa pode ser subdividida em cinco fases enumeradas a seguir, que serão descritas detalhadamente mais adiante no capítulo 5:

- a) amostragem sistemática;
- b) etapa laboratorial de processamento das amostras;
- c) imageamento por catodoluminescência e elétrons subespalhados;
- d) datação dos grãos;
- e) interpretação dos resultados obtidos.

1.3.6 Confecção do Documento Final

Esta última etapa compreende a fase de escritório, visando o refinamento e retrabalhamento de dados para a confecção final desta dissertação. Todas as interpretações, considerações e conclusões foram expostas, assim como as questões consideradas em aberto ou inconclusivas por falta de informação.

Por fim, foi produzido o texto final, confeccionado em Microsoft Word 2007. Esse texto consiste da integração e interpretação de todos os dados obtidos, representando a fase final do trabalho científico.

1.4 Nomenclatura adotada

O índice de cor das rochas foi classificado de acordo com Streckeisen (1973), obedecendo a seguinte relação: hololeucocráticas: $M < 5\%$; leucocráticas: $5\% < M < 35\%$; mesocráticas: $35\% < M < 65\%$; melanocráticas: $65\% < M < 90\%$; holomelanocráticas (ultramáficas): $M > 90\%$;

Para a denominação de rochas metamórficas e ígneas, os minerais mais abundantes foram colocados mais próximos do nome da rocha, seguindo em ordem decrescente de abundância até o primeiro mineral citado, de acordo com o critério elaborado pela IUGS (*International Union of Geological Sciences*);

A granulação foi classificada também de acordo com a IUGS: muito fina: $< 0,1$ mm; fina: entre 0,1 e 1 mm; média: entre 1 e 4 mm; grossa: entre 4 e 16 mm; muito grossa: maior que 16 mm.

O conteúdo de sílica na rocha foi classificado segundo a relação proposta por Streckeisen, (1973):

Tabela 1.1 – Classificação segundo teor de SiO₂

Classificação	Teor de SiO ₂
Ácida	$> 66\%$
Intermediária	$> 52\% < 66\%$
Básica	$> 45\% .. < 52\%$
Ultrabásica	$< 45\%$

Fonte: Adaptado de STRECKEINSEN (1973).

As texturas metamórficas foram classificadas de acordo com Winkler (1967) e Yardley (1989), enquanto as texturas ígneas foram determinadas de acordo com os critérios elaborados por Hall (1987);

Devido às controvérsias existentes acerca da nomenclatura das rochas metamorfizadas em fácies granulito, se faz necessário uma compilação de diversos trabalhos a fim de se estabelecer a melhor nomenclatura a ser utilizada no presente trabalho. O termo granulito inicialmente foi utilizado para descrever rochas da região de Erzgebirge, Alemanha, que não possuíam ortopiroxênio em sua composição tampouco apresentavam qualquer relação

petrogenética com o que se entende por rochas de fácies granulito nos dias de hoje. O nome foi escolhido apenas pela textura granular das rochas em questão. Pioneiramente, em 1954, Eskola definiu as fácies metamórficas e introduziu o termo granulito para nomear rochas com ortopiroxênio em sua paragênese. No entanto, cabe ressaltar que esse autor utilizou como base para seus estudos as rochas básicas, e que estas sempre terão química para formar ortopiroxênio em altas temperaturas e condições anidras, fato que não necessariamente ocorrerá com as rochas pelíticas, por exemplo. Por esse motivo, ao contrário do que defendia Eskola, nem toda rocha metamorfisada em fácies granulito será um granulito (ou rocha granulítica).

Nesse trabalho, adota-se que o ortopiroxênio é o mineral índice das rochas granulíticas (Winkler, 1976). Deste modo, estas rochas são formadas a partir de 800 C (Pattinson, 2003), geralmente em ambiente anidro e podendo ainda gerar duas paragêneses diagnósticas: ortopiroxênio + plagioclásio ou ortopiroxênio + clinopiroxênio + quartzo + granada.

Por não existir uma nomenclatura sistemática para as rochas formadas em fácies granulito, essa é também uma questão em constantes debates e discussão. Uma das mais polêmicas, sem dúvidas é acerca dos termos charnockito e enderbito, e se estes são ígneos ou metamórficos. Por um lado, temos a nomenclatura adotada pela IUGS e exposta no diagrama de Streckeisen (1976) para designar rochas ígneas que apresentam hiperstênio em sua assembléia mineralógica. Por outro lado, temos que essa nomenclatura pode ser aplicada em rochas metamorfisadas em fácies granulito com ortopiroxênio e quimismo granítico à tonalítico.

Holland (1900) inicialmente utilizou o termo charnockito para descrever rochas graníticas com hiperstênio observadas no sul da Índia. Posteriormente, trabalhos como Howie (1954) e Touret & Huizenga (2012) complementaram e explicaram (em parte) a causa da ambiguidade, introduzindo a idéia do metamorfismo plutônico; os magmas charnockíticos localizados em ambientes de crosta inferior e as encaixantes metamórficas (fácies granulito) estão próximos ao equilíbrio termal. A ausência da diferença de temperatura entre o magma charnockítico intrusivo e o ambiente ao redor na crosta inferior pode ser atribuída como a principal causa da dúvida entre a origem magmática e metamórfica dos charnockitos de composição granítica à tonalítica.

Nesta dissertação, os termos charnockito e enderbito serão utilizados juntamente com a sucessão dos principais minerais constituintes para nomear rochas metamórficas de fácies granulito com ortopiroxênio em sua composição. Por exemplo, uma rocha com ortopiroxênio

metamórfico, composição granítica e com mais de 5% de granada em sua composição será chamada de Granada ortogranulito charnockítico.

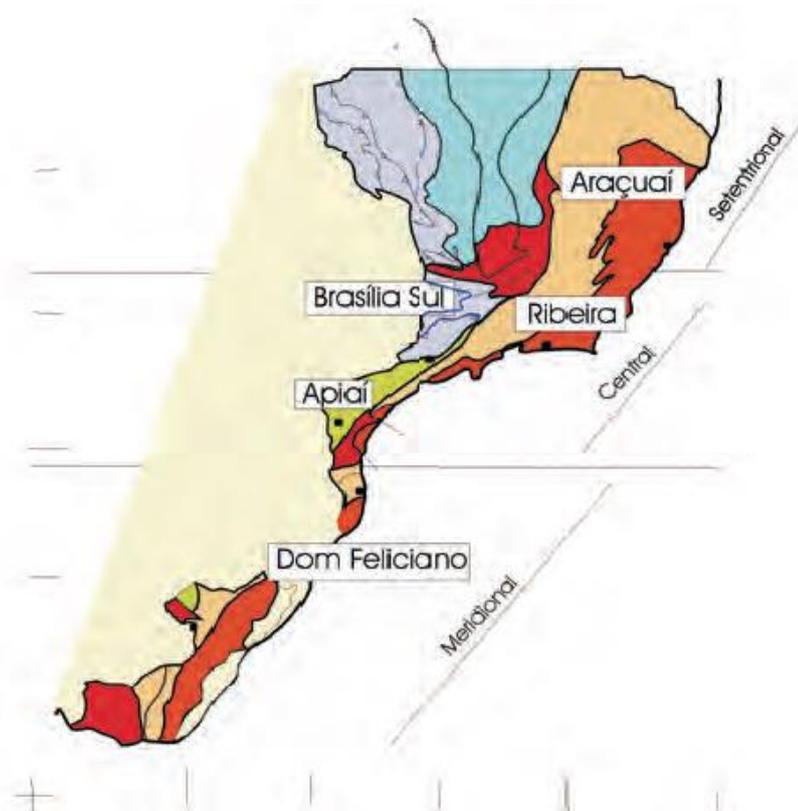
Para as rochas granulíticas de protólito básico, será adotada a nomenclatura proposta em Harley (1985), na qual as rochas metamorfasadas em fácies granulito são divididas em 3 grupos de acordo com a química dos protólitos: máfico, félsico e aluminoso. Assim, essa nomenclatura baseia-se na sucessão crescente dos minerais constituintes da rocha com proporção maior que 5% somada ao complemento granulito máfico no caso deste trabalho (ou félsico ou aluminoso).

2 CONTEXTO REGIONAL

A área enfocada neste trabalho situa-se em zona limítrofe das faixas móveis brasileiras pertencentes à Província Mantiqueira: faixas Ribeira e Araçuaí. Estas faixas são consideradas singenéticas, principalmente em virtude da ausência de estruturas marcantes que apontem para diferentes eventos tectônicos e da semelhança entre os litotipos presentes nos setores meridional da faixa Araçuaí e setentrional da faixa Ribeira, e devido à isto, a área estudada na presente pesquisa é considerada tectonicamente indefinida. A partir de uma compilação dos dados já existentes na literatura, este capítulo visa oferecer ao leitor um breve conhecimento do contexto geotectônico no qual se encontra a área de estudo, segundo distintos pontos de vista de diversos autores.

A Província Mantiqueira (Figura 2.1) é um sistema orogênico que se estende ao longo da costa Atlântica, do sul da Bahia até o Uruguai. Esta província é composta pelas faixas móveis Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel e a parte sul da Faixa Brasília (Almeida *et al.*, 1977; 1981). Sua formação se deu a partir da amalgamação de diversos paleocontinentes com a placa São Franciscana-Congo, durante a Orogenia Brasileira- Pan Africana (de idade Neoproterozóica), resultando na parte oeste do paleocontinente Gondwana. Após a subducção inicial, que gerou arcos magmáticos, ocorreram diversos eventos colisionais diacrônicos (envolvendo arco-continente e continente-continente). O mais antigo está datado em 790-700 Ma, registrados nos Orógenos Apiaí e São Gabriel. Sucessivamente ocorreram colisões envolvendo a porção sul da faixa Brasília (630-610 Ma - Campos Neto, 2000) e a faixa Dom Feliciano (600 Ma - Babinski *et al.*, 1997). No período entre 580 e 520 Ma ocorreu a colisão nos orógenos Ribeira e Araçuaí.

Figura 2.1 – Mapa indicando a subdivisão da Província Mantiqueira; As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozóicos.



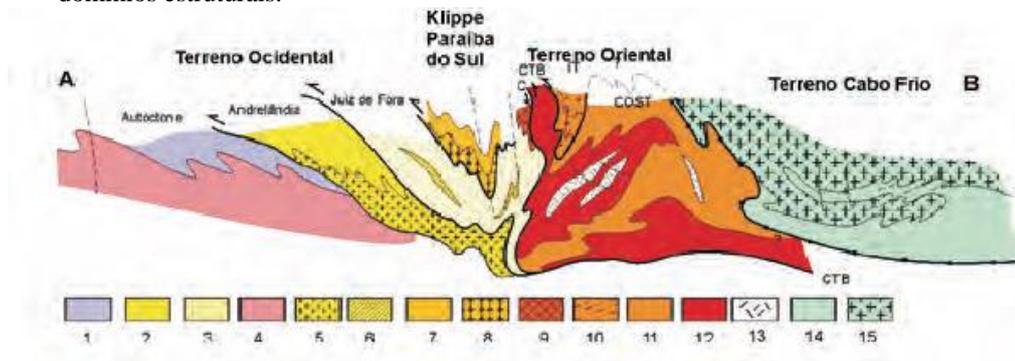
Fonte: HEILBRON et al, 2004.

2.1 Faixa Ribeira

A Faixa Ribeira é um cinturão de dobramentos e empurrões de direção NE-SW e idade neoproterozóica a eopaleozóica que ocorre na borda SSE do Cráton do São Francisco (Hasui *et al.* 1975; Almeida 1977; Almeida *et al.* 1981; Campos Neto 2000; Trouw *et al.* 2000; Heilbron *et al.* 2004). Seus limites são dados pela porção meridional do Cráton do São Francisco à W, pela Faixa Brasília Meridional a SW, a sul pelo Cráton de Luiz Alves (Heilbron *et al.*, 2004), e a noroeste pela zona de interferência entre os sistemas orogênicos Ribeira e Araçuaí.

A Faixa Ribeira pode ser subdividida em quatro terrenos definidos por Heilbron *et al.* (2000), separados por zonas de cisalhamento e por empurrões, denominados, de NW para SE: Terreno Ocidental, *Klippe* Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio (Figura 2.2), sendo a colagem deste último terreno tardia em relação aos demais, ocorrendo em 520 Ma (Schmitt & Trouw, 1997; Schmitt *et al.*, 1999).

Figura 2.2 – Seção estrutural composta do Orógeno Ribeira com a relação entre os diferentes terrenos e domínios estruturais.



Legenda: Terreno Ocidental (1-6): 1 a 3- Megassequência Andrelândia nos domínios Autóctone, Andrelândia e Juiz de Fora, Terreno Ocidental; 4 a 6- Associações do embasamento (Complexos Barbacena, Mantiqueira e Juiz de Fora); Terreno Paraíba do Sul (7-8); 13- Granitos colisionais; Terreno Cabo Frio(14-15)

Fonte: HEILBRON et al, 2004.

A subdivisão tectono-estratigráfica adotada para descrever cada orógeno supracitado foi: o embasamento ortoderivado pré-1,8 Ga, coberturas supracrustais metassedimentares e metavulcânicas associadas e rochas granitoides brasileiras. Na tabela 1.1 tem-se um resumo das litologias apresentadas no perfil do segmento central da Faixa Ribeira (Figura 2.2).

Tabela 2.1 – Unidades lito-estratigráficas do segmento central da Faixa Ribeira.

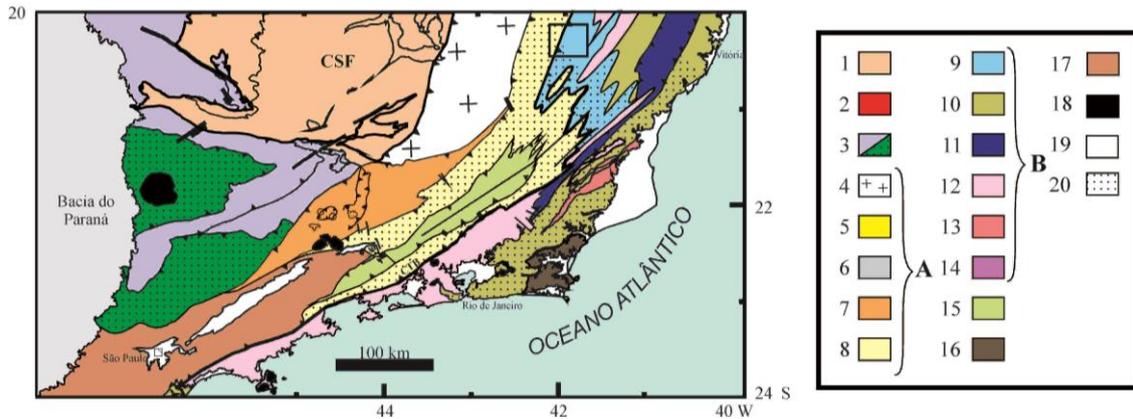
	Associações Litológicas/ Unidades Tectônicas	Embasamento pré-1.8 Ga.	Cobertura Metassedimentar pós-1.8 Ga.	Rochas Granitoides Brasileiras
Terreno Ocidental	Domínio Autóctone	Complexos Barbacena e Mantiqueira	Bacia Andrelândia; Bacia Carandaí; Bacia São João del Rei (Ciclos Depositionais Lenheiro e Tiradentes)	
	Domínio Andrelândia	Complexo Mantiqueira	Bacia Andrelândia	Granitoides sin a tardi-colisionais
	Domínio Juiz de Fora	Complexo Juiz de Fora	Bacia Andrelândia	Granitoides sin a pós-colisionais
	Domínio Tectônico Paraíba do Sul	Bacia do Paraíba do Sul (?) Suíte Quirino	Bacia do Paraíba do Sul (?)	Granitoides sin a pós-colisionais
Terreno Oriental	Domínio Costeiro	?		Granitoides pré, sin e pós-colisionais e pós-tectônicos
	Domínio Cambuci		Bacia Italva	
	Domínio Italva			
Terreno Cabo Frio		Complexo Região dos Lagos	Sequência Búzios	Leucogranitos

Fonte: HEILBRON et al., 2000.

Do ponto de vista de Heilbron *et al.* (2004) a área de estudo encontra-se na porção setentrional da Faixa Ribeira e está inserida em região limítrofe dos Terrenos Ocidental e

Oriental, compreendendo os Domínios Tectônicos Juiz de Fora e Cambuci, respectivamente(Figura 2.3).

Figura 2.3- Mapa tectônico da região sudeste do Brasil, com destaque para a área de estudo em destaque



Legenda: 1 - Cráton do São Francisco. 2 - Cráton Luís Alves. 3 - Extremo sul da Faixa Brasília (cor verde com hashuras para as ocorrências de granulitos). A - Domínio Externo da Faixa Araçuaí e Terreno Ocidental da Faixa Ribeira: 4 - Complexos gnáissicos arqueanos a eoproterozóicos; 5 - Sequência rift mesoproterozóica; 6 - Sequências rift e de margem passiva neoproterozóicas, com remanescentes oceânicos; 7 - Domínio Andrelândia; 8 - Domínio Juiz de Fora. B - Domínio Interno da Faixa Araçuaí e Terreno Oriental da Faixa Ribeira: 9 - Domínio Cambuci (Faixa Ribeira) ou Grupo Rio Doce (Faixa Araçuaí); 10 - Domínio Costeiro (Faixa Ribeira) ou Complexo Paraíba do Sul (Faixa Araçuaí); 11 - Domínio Itálva; 12 - Granitóides neoproterozóicos pré-colisionais (arco magmático brasileiro); 13 - Granitóides neoproterozóicos sin-colisionais; 14 - Granitóides neoproterozóicos pós-colisionais. 15 - Klippe Paraíba do Sul. 16 - Terreno Cabo Frio; 17 - Faixa Apiaí/Paranapiacaba 18 - Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; 19 - Coberturas terciárias (Bacias de Resende, Taubaté e São Paulo) e coberturas quaternárias; 20 - Granulitos. Área de Estudo

Fonte: compilado e modificado de PEDROSA SOARES et al., 2001; HEILBRON et al., 2000; TROUW et al., 2000; BASEI et al., 2000; e CAMPOS NETO, 2000.

O Terreno Ocidental no compartimento em questão é representado pelo Domínio Juiz de Fora, que pode ser caracterizado pela interdigitação entre escamas de rochas ortogranulíticas pré-1,7 Ga e escamas de rochas metassedimentares pós-1,7 Ga (Heilbron, 1993, 1995; Duarte *et al.* 1994; Machado *et al.*, 1996; Valladares, 1996; Duarte 1998; Duarte *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 2001). O Complexo Juiz de Fora é constituído por um conjunto de ortognaisses ácido à intermediário (de composição calcioalcalina) e básicos (toleíticas e alcalinas), com paragênese mineral diagnóstica da fácies granulito. Idades encontradas para essa unidade variam de arqueanas (2,9 Ga; Silva *et al.*, 2002) a paleoproterozóicas (entre 2,1 e 1,9 Ga; Machado *et al.*, 1996; Fernandes André, 2009; Heilbron *et al.*, 2010)

Já o Terreno Oriental, no segmento em questão, pode ser subdividido em três Domínios que, da base para o topo, são; Cambuci, Costeiro e Itálva. O Domínio Cambuci é o mais relevante para o presente trabalho, pois teoricamente é o Domínio onde está inserida a área de estudo e portanto, será melhor detalhado a seguir. Ele está justaposto tectonicamente

ao Domínio Juiz de Fora e compreende uma sequência metavulcano-sedimentar com lentes de mármore, cortada por diversas rochas granitóides (Tupinambá *et al.*, 2007). O conjunto mais antigo, denominado Complexo Serra da Bolívia (623 ± 5 Ma – Heilbron e Machado, 2003), compreende diversos ortognaisses de composição variada (granodiorítica à quartzo-diorítica, monzo-gabróica à sienítica) e caráter predominantemente metaluminoso. Muitas vezes, estes ortognaisses possuem coloração esverdeada e, nestes casos, o ortopiroxênio é a fase máfica predominante. Trabalhos recentes indicam que o Complexo Serra da Bolívia possui pelo menos três grupos de rochas subalcalinas e um grupo de caráter transicional para alcalino. No primeiro grupo, os representantes de magmatismo calcioalcalino apresentam assinaturas típicas para arcos magmáticos e são correlacionados, em parte, à Suíte Galiléia da Faixa Araçuaí. Dados U-Pb em zircão revelaram idade de cristalização entre 596 -591 Ma (Heilbron *et al.*, 2013), contrastando com o único dado anterior obtido pelo método TIMS que apontava para idades de cristalização de 623 ± 5 Ma (Heilbron e Machado, 2003).

2.1.1 Evolução Geológica

Segundo Heilbron *et al.* (1995, 1999, 2000), a evolução tectônica da Faixa Ribeira pode ser dividida em cinco diferentes estágios, cada um com características próprias, baseadas em dados geocronológicos, estruturais, metamórficos e magmáticos. São eles:

a) Período pré-colisional (630 – 595 Ma): Essa fase é marcada pela subducção, evidenciada pela formação do Arco magmático Rio Negro localizados no Terreno Oriental. Apenas a porção plutônica do Arco Magmático Rio Negro está preservada e compreende ortognaisses tonalíticos a graníticos, cálcio-alcalinos, com corpos gabróticos associados. Estes granitóides estão alojados em paragnaisses do Domínio Costeiro, que provavelmente integravam a porção distal (turbidítica) da margem passiva do Terreno Oriental (Heilbron *et al.*, 2000);

b) Período cedo-colisional (595 – 565 Ma): neste período ocorre a estruturação do Orógeno Ribeira. Uma série de empurrões dúcteis e inúmeros dobramentos associados à fase de deformação D_1+D_2 são originados neste período. Estas estruturas indicam vergência em direção ao Cráton do São Francisco e representam o início do encurtamento crustal. O desenvolvimento desta fase está associado à colisão entre os Terrenos Oriental e Ocidental. Ainda neste período ocorre o principal pulso metamórfico;

c) Período sin-colisional (565 – 540 Ma): este período é marcado por uma convergência oblíqua com deformação penetrativa significativa;

d) Período tardi-colisional (540 – 520 Ma): ainda em regime convergente, formam-se zonas de cisalhamento dúcteis de caráter *strike-slip*, além de um intenso magmatismo calcioalcalino. Este estágio está relacionado à fase de deformação D₃ que gerou estruturas como a megassinformal do Paraíba do Sul e a Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul;

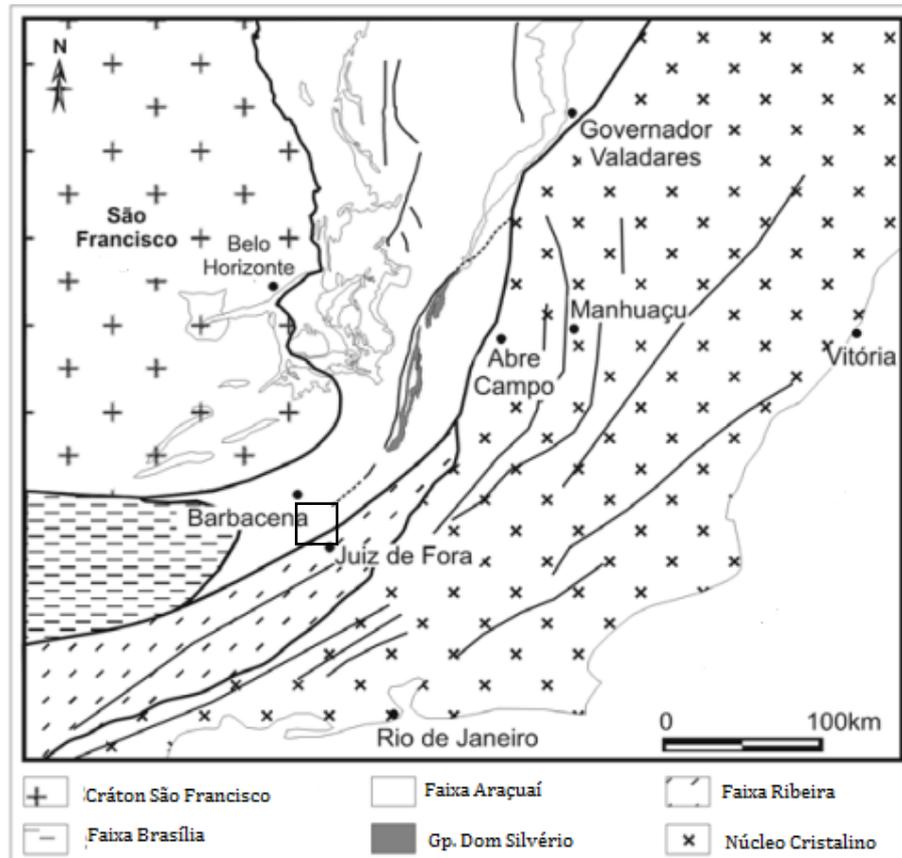
e) Período pós-tectônico: este período é associado à geração de zonas de cisalhamento transtensivas ligadas ao período de subsidência termal, sendo assim relacionadas à fase de relaxamento do orógeno (D₄). Este registro de caráter extensional ocorreu durante o Fanerozóico (Heilbron *et al.*, 1990 & Trouw *et al.*, 2000).

2.3 Faixa Araçuaí

A faixa Araçuaí (Almeida, 1977) é definida como uma faixa de dobramentos neoproterozóica edificada paralelamente à margem sudeste do Cráton do São Francisco. Pode ser caracterizada como um conjunto de zonas de cisalhamento tipo *strike-slip*, com *trend* NNE, em condições de baixa pressão e alta temperatura, gerando localmente características de zonas de ultrametamorfismo e fusão parcial (Ebert (1968), Almeida *et al.* (1973), Fyfe & Leonardos (1973) e Hasui *et al.*, (1975)).

Como não se verifica descontinuidade estratigráfica ou metamórfica na zona limítrofe das faixas Ribeira e Araçuaí, apenas uma variação no *trend* principal (provavelmente em resposta aos esforços compressivos em direções diferentes ao longo da borda SE do Cráton do São Francisco), o limite sul da faixa Araçuaí foi balizado pela extremidade sul do Cráton do São Francisco na altura do paralelo 21° S (Pedrosa-Soares & Noce 1998, Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001). Partindo deste princípio, a área de estudo está inserida no domínio interno, setor meridional da faixa Araçuaí (Figura 2.4).

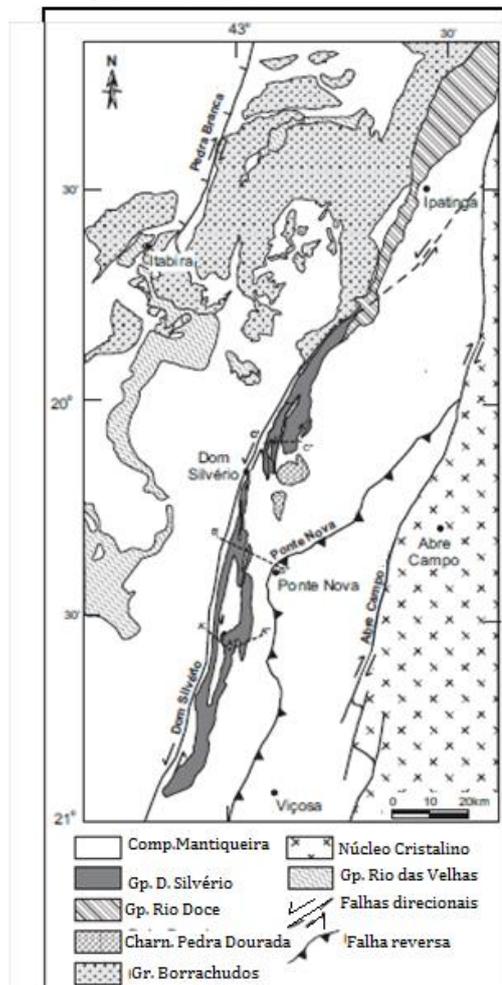
Figura 2.4- Mapa geológico simplificado, com as localizações das Faixas Móveis Ribeira, Araçuaí e Brasília, e o núcleo cristalino. Modificado de Brueckner et al. (2000) in Peres (2004). Localização da Área .



Fonte: modificado de BRUECKNER et al. (2000) in PERES (2004).

Os principais compartimentos tectônicos da Faixa Araçuaí, segundo Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000), são os Domínios Externo (Alkmin 2007 chama de Guanhaes ou cavalgamento espinhaço), Interno e a Inflexão Setentrional. No setor meridional da Faixa Araçuaí, o limite entre o Domínio Interno e o Domínio Externo é dado através da zona cisalhamento Abre-Campo, interpretada também como uma zona de sutura neoproterozóica, por separar duas unidades com distintas histórias metamórficas (Fischel *et al*, 1998). Além desta estrutura, mais três zonas de cisalhamento de escala regional (Figura 2.5) compõem a principal arquitetura estrutural na parte sul da faixa Araçuaí: Ponte Nova, Dom Silvério e Pedra Branca (Alkmin, 2004).

Figura 2.5- Mapa esquemático do Sul da Faixa Araçuaí, mostrando a estruturação marcada pelas 4 Zonas de Cisalhamento



Fonte: PERES et al., 2004.

O domínio externo é caracterizado por rochas de baixo grau metamórfico como aquelas do grupo Macaúbas e do supergrupo espinhaço com foliações de baixo ângulo e lineações N-S, as quais, na medida em que se avança em direção ao Cráton do São Francisco, passam, gradualmente, a uma foliação de médio ângulo e uma lineação com caimento para E, associadas a transporte para W (Peres et al. 2004). O Bloco Guanhões corresponde ao embasamento e é constituído por gnaisses TTG de idades similares aos do substrato do Cráton do São Francisco (Noce et al. 2003).

O domínio interno é o compartimento no qual se insere a área mapeada, corresponde ao Núcleo Cristalino e representa o núcleo metamórfico-anatético do orógeno, apresentando grande quantidade de rochas graníticas. Observa-se o predomínio do metamorfismo de fácies granulito com uma extensa zona de anatexia. O transporte tectônico para sudoeste é predominante na parte ocidental do Domínio Interno e na porção leste de sua região oriental. Seu embasamento é representado pelos complexos paleoproterozoicos Juiz de Fora e Pocrane,

e pelas bordas orientais dos complexos Guanhães e Mantiqueira, ambos constituídos por rochas granito-gnáissicas do arqueano e paleoproterozoico (Peres *et al*, 2004). As demais unidades presentes são suítes graníticas pré- a pós-colisionais (G1 a G5) e assembléias metavulcano-sedimentares e metassedimentares mais jovens que 630 Ma, correspondentes ao Grupo Rio Doce e aos complexos paragnáissicos (Alkmin *et al*, 2007).

2.2.1 Evolução Geotectônica

Relacionando as fases de deformação às estruturas descritas no item anterior, Alkmin *et al.* (2004) elaboraram um modelo para evolução tectônica do Cinturão Araçuaí Meridional durante o Evento Brasileiro: a primeira fase de deformação (D₁), sincrônica a um metamorfismo regional de fácies anfibolito M₁, associou-se a um transporte tectônico geral para norte ao longo da zona de cisalhamento sinistral Dom Silvério e no segmento de baixo ângulo a ela conectado. A segunda e terceira fases representam estágios progressivos de um encurtamento com movimentação geral para oeste e podem ser associadas às fases de deformação D₂ + D₃. Esse estágio evolutivo é marcado pelo desenvolvimento de um sistema transpressional dextral no núcleo cristalino, além de diversos empurrões localizados e intensos dobramentos em todas as escalas. A quarta fase (D₄) é extensional com a presença de falhamentos normais bem como reativação normal das zonas de cisalhamento pré-existent, refletindo o colapso do orógeno.

2.3 **Unidades litológicas regionais**

Neste item será descrita uma síntese das associações litológicas regionais de maior importância para este trabalho, a fim de que possam ser comparadas de acordo com suas características particulares ou restritas regionalmente. Essas descrições são baseadas em descrições petrográficas e definições de diversos autores.

2.3.1 Complexo Juiz de Fora

Ebert (1955) foi o pioneiro a utilizar o termo Juiz de Fora para englobar paragnaisses com paragêneses diagnósticas para a facies granulito que ocorrem na porção centro-oeste da cidade de Juiz de Fora e cercanias. A ocorrência de ortogranulitos associados levou alguns autores a incluir também estes sob a denominação de Série ou Complexo Juiz de Fora

(Cordani *et al.*, 1973; Fonseca *et al.*, 1979; Oliveira, 1980, 1983; Machado Filho *et al.*, 1983; Barbosa e Grossi Sad, 1983a, 1983b, 1983c; Grossi Sad e Barbosa, 1985; e Pinto, 1991). A partir de trabalhos realizados na região noroeste fluminense, outras terminologias foram adotadas para esse conjunto. A posterior constatação, em vários segmentos da Faixa Ribeira, de que somente rochas ortoderivadas tinham paragêneses diagnósticas para a facies granulito, induziu diversos autores a utilizarem o termo Complexo Juiz de Fora para agrupar tais rochas (por exemplo: Figueiredo *et al.*, 1989; Campos Neto & Figueiredo, 1990, Heilbron, 1993; Nogueira, 1994; Duarte, 1998; Duarte *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 1995; Heilbron *et al.*, 2004). Assim, a utilização do termo Juiz de Fora, ao longo das últimas duas ou três décadas, foi pouco a pouco se afastando da definição original, levando a forte associação do termo aos ortognaisses com paragêneses da facies granulito.

Na porção Setentrional da Faixa Ribeira, o Complexo Juiz de Fora constitui um conjunto de ortogranulitos esverdeados, com termos básicos a ácidos. Os afloramentos possuem aspecto heterogêneo, como consequência da diversidade de litotipos que constituem o Complexo Juiz de Fora. Estes litotipos podem ser agrupados, basicamente em três diferentes conjuntos: ortogranulitos básicos, em geral máficos e, subordinadamente, ultramáficos; ortogranulitos enderbíticos a charnockíticos, de cor verde-cana e granulação fina a média; e ortogranulitos charnockíticos, de cor bege-caramelo e granulação média a grossa. É comum a ocorrência de afloramentos onde os três litotipos dispõem-se em bandas centimétricas mais ou menos regulares.

Todos os litotipos supracitados apresentam textura granoblástica, sua paragênese é dada por ortopiroxênio \pm clinopiroxênio + plagioclásio \pm ortoclásio \pm hornblenda + quartzo que indica metamorfismo sob condições da fácies granulito. Essas rochas tornam-se ortognaisses de textura protomilonítica, milonítica ou ultramilonítica próximo às zonas de cisalhamento. Nessas zonas, biotita e/ou hornblenda, nas rochas ácidas a intermediárias, e granada e/ou hornblenda, nos litotipos básicos, formam-se como resultado de metamorfismo retrógrado sob condições da facies anfibolito superior. Alguns desses novos minerais, dependendo de sua estrutura interna, ocorrem normalmente orientados ao longo da foliação milonítica.

2.3.2 Complexo Serra da Bolívia

Unidade basal do Domínio Cambuci, o Complexo Serra da Bolívia é representado por ortognaisses de granulação média à grossa, inequigranulares a porfiríticos, com fenocristais de

hornblenda e/ou biotita em matriz quartzo-feldspática. São encontrados gabros (hornblenda gabronoritos), dioritos e quartzo dioritos, tonalitos, monzodioritos e quartzo-monzodioritos, e monzogranitos. Adotando-se os critérios de Lameyre & Bowden (1982), percebe-se a presença de pelo menos duas séries plutônicas distintas, ambas de natureza cálcio-alcálica: tonalito-granodiorito e outra série monzonítica, além de rochas graníticas e meta-gabros. Foram identificadas quatro associações litológicas diferentes (Heilbron *et al.* 2012). A principal, compreendendo hornblenda-biotita granitóides, de granulação grossa, cor cinza a cinza escura, textura granoblástica, ora com fraca foliação descontínua, ora com forte xistosidade, variando até foliação milonítica próximo aos contatos basais. Sua composição varia de granodiorítica, tonalítica a diorítica.

A segunda associação é representada por leucogranito gnaisses, com composição monzo a sienogranítica, por vezes com porfiroblastos tabulares de feldspato. Sua mineralogia compreende quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita. Apresenta granulação fina e cor cinza clara. Sua foliação é marcada principalmente pela orientação dos grãos de biotita. É comum encontrar enclaves máficos dentro do leucogranito, que em geral são ricos em biotita e geralmente estão orientados de acordo com a foliação (Heilbron *et al.*, 2012).

A terceira associação compreende gnaisses mesocráticos, de coloração verde escuro acinzentado e composição diorítica, quartzo-diorítica, monzo-diorítica e monzogabroica, que ocorrem em forma de paredões nas serras e em lajes nos cortes de estrada. Estes gnaisses são compostos por quartzo, feldspato, plagioclásio, biotita, hornblenda e piroxênio. Como acessórios ocorrem titanita, zircão e allanita. As variedades de monzo-dioritos e monzogabros possuem terrores baixos de quartzo. Texturalmente apresentam porções homogêneas maciças de textura granítica e porções de textura gnáissica com leucossomas e melanossomas restritos, formando foliações descontínuas (Heilbron *et al.*, 2012).

A quarta associação compreende monzogranitos, quartzo-monzonitos e quartzo-sienitos. É formada por rochas de coloração cinza, mesocráticas, de granulação grossa, com textura gnáissica, foliação marcante e composta de quartzo, feldspato e biotita.

As rochas do Complexo Serra da Bolívia são classificadas, de acordo com o diagrama QAP como granodioritos, quartzo-monzonitos, tonalitos, monzogranitos, quartzo-sienitos, quartzo-monzodioritos e quartzo-dioritos (Tupinamba *et al.* 2007).

2.3.3 Suíte Leopoldina

Inicialmente, as rochas dessa suíte foram nomeadas de Suíte Divino por Novo, (2009), que as considerou como representadas principalmente por granitoides de composição charnockítica à enderbítica aflorantes próximo à cidade homônima. Posteriormente, perceberam que essas rochas ocorrem em corpos lenticulares por toda a região e as renomearam de Suíte Leopoldina (Novo *et al* 2012).

Os granitóides charnockíticos possuem coloração esverdeada, ampla variação composicional e de granulação e sua composição varia de granítica à tonalítica. Geralmente apresenta aspecto maciço, mas, nas raras exposições onde a foliação é bem desenvolvida e evidente, observa-se o alinhamento das palhetas de biotita, com cristais de piroxênio, anfibólio, quartzo e feldspato estirados na mesma direção.

Esta mesma rocha pode exibir textura protomilonítica, com porfiroclastos de anfibólio, plagioclásio, feldspato potássico e ortopiroxênio rotacionados e formando sombra de pressão (Novo *et al* 2012).

A associação mineralógica dos granitoides charnockíticos é dada por proporções variáveis de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, hornblenda, hiperstênio e clinopiroxênio. Independentemente da sua granulação ou composição química, os granitóides charnockíticos sempre apresentam a associação mineralógica descrita acima.

A Suíte Leopoldina pode ser subdividida, em termos petrográficos, em três conjuntos diferentes baseado em sua composição química; ácido, intermediário e básico. Em média, o primeiro conjunto é composto de quartzo (38%), feldspato potássico (26%), minerais máficos (piroxênio + hornblenda + biotita + opacos = 21%) e plagioclásio (16%). O conjunto intermediário é constituído, por 33% de minerais máficos (piroxênios + hornblenda + biotita + opacos), 27% de plagioclásio, 26% de quartzo e 12% de feldspato potássico. A proporção modal para o conjunto básico é dada por 40% de minerais máficos (piroxênios + hornblenda + biotita + opacos), 29% de plagioclásio, 18% de quartzo e 13% de feldspato potássico. Apesar da variação na proporção modal dos três conjuntos, nota-se grande similaridade em suas características texturais e estruturais, sendo assim, de modo geral um grupo de rochas homogêneo.

2.3.4 Suítes G1, G2, G3, G4, G5

Os estágios tectônicos da faixa Araçuaí foram definidos a partir das idades obtidas nas rochas das suítes G1, G2, G3, G4 e G5 (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2008, Silva *et al.* 2005).

A Suíte G1 é constituída majoritariamente por tonalitos e granodioritos, com fácies e autólitos dioríticos e máficos, portadores de xenólitos de rochas metassedimentares. Ocorrem na forma de batólitos e *stocks* que apresentam a foliação regional, muitas vezes milonítica, e outras estruturas impressas pela deformação sin-colisional, em quase toda sua extensão. Possui assinatura geoquímica que evidencia uma suíte cálcio-alkalina expandida, característica do arco magmático de margem continental ativa, edificado entre *ca.* 630 e 585 Ma, com assinatura híbrida e contribuição de magmas crustais predominante sobre magmas mantélicos.

O grupo G2 ocorre em corpos tabulares, batólitos, *stocks* e engloba a granitogênese tipo S do estágio sin-colisional. É constituído essencialmente de granito peraluminoso (com granada onipresente e cordierita e/ou sillimanita freqüentes), tendo granito a duas micas e granodiorito granatífero subordinados. Xenólitos e *roof-pendants* de rochas encaixantes são muito freqüentes.

A Suíte G3 é composta por leucogranitos granatíferos e corresponde à fusão dos granitos pertencentes à Suíte G2. Não apresenta foliação e os corpos são pobres em micas. Idades U-Pb de leucogranitos G3 indicam cristalização magmática no intervalo 545-520 Ma (Whittington *et al.* 2001, Silva *et al.* 2005, 2007, Castañeda *et al.* 2006, Pedrosa-Soares *et al.* 2006).

Por fim, as suítes G4 e G5 que são associadas ao estágio pós-colisional, constituem plútons intrusivos, livres da foliação regional. Os grandes distritos pegmatíticos produtores de gemas e minerais industriais estão relacionados às suítes G4 e G5. A Suíte G4, do tipo S, é composta essencialmente por granitos a duas micas que, localmente, preservam cúpulas de granito pegmatóide ou raízes de biotita granito. Enquanto a Suíte G5 corresponde ao magmatismo cálcio-alkalino tipo I e A2. Apresentam composição predominantemente granítica ou charnockítica, com termos enderbíticos e noríticos subordinados, além de diversas evidências de misturas de magmas (*mingling* e *mixing*) e fluxo ígneo geralmente bem marcado (Pedrosa Soares *et al.*, 2000).

3 GEOLOGIA LOCAL

Neste capítulo serão apresentados os aspectos litológicos e estruturais da área estudada. A partir do mapeamento geológico, da compilação e integração de dados obtidos em relatórios produzidos pelos alunos da disciplina Estágio de Campo 2 (no período entre 2010-2013) foi produzido o mapa geológico (**Anexo A**), no qual puderam ser individualizadas sete (07) unidades litológicas.

A estruturação da área será apresentada de forma resumida, apenas para se ter melhor compreensão da abordagem feita sobre a geologia local (que será apresentada no item a seguir), bem como da disposição das unidades litológicas. Por este motivo, ao contrário do convencional, as características estruturais serão apresentadas anteriormente aos aspectos litológicos.

É importante ressaltar que o mapeamento geológico e a geologia estrutural não fazem parte do escopo do presente trabalho e, portanto, uma análise mais detalhada envolvendo a cinemática, geometria e estatística não foi realizada e por isso não serão aqui mencionadas.

3.1 Súmula estrutural

A análise estrutural compreendeu basicamente a observação das características impressas nas rochas, descrição de campo e suas correlações com as feições microestruturais, objetivando apenas uma breve caracterização do comportamento deformacional da região. As feições utilizadas para o estudo correspondem principalmente a estruturas de caráter dúctil como dobras isoclinais à apertadas, lineamentos de estiramento mineral e foliação milonítica.

A área apresenta um padrão de deformação complexo por localizar-se na zona limítrofe entre os orógenos Araçuaí e Ribeira e, possivelmente por esse motivo, apresenta características estruturais de ambas as faixas móveis. Em primeira análise, as estruturas planares impressas nas rochas na maior parte da área mapeada, principalmente no centro desta possuem o mesmo *trend* principal *NNE-SSW* que predomina na porção meridional do orógeno Araçuaí, e estão relacionadas à fase principal de deformação da faixa, imposta pelo Evento Brasileiro. Entretanto, na parte sudeste da área mapeada ocorre que estas estruturas estão reorientadas apresentando uma foliação formada posteriormente com *trend* geral *NE-SW*, que corresponde ao *trend* predominante no segmento central da Faixa Ribeira.

Estruturalmente a área, encontra-se bastante deformada com diversas estruturas típicas de terrenos intensamente deformados. A principal e mais marcante feição na estruturação da área é sem dúvidas, a Zona de Cisalhamento Espera Feliz (ZCEF), definida neste trabalho. Esta zona de cisalhamento é caracterizada como uma faixa milonítica de 5km de largura e com, pelo menos, 40 km de extensão que atravessa toda a área de estudo, desde o município de Espera Feliz até Tombos, superpondo as rochas da unidade ortogranulitos heterogêneos aos paragnaisses das unidades (Sillimanita) (Granada) Biotita gnaisse (na parte centro-norte da área) e Biotita gnaisse migmatítico, na parte sul da área mapeada (**Anexos A e B**). As zonas de cisalhamento brasilianas, em sua maioria de caráter dúctil, são de grande interesse para a correlação das grandes unidades tectônicas no âmbito regional, na medida em que representam estruturas geradas durante a evolução da Faixa Ribeira, intersectando feições tectônicas pertencentes à Faixa Araçuaí.

A zona de cisalhamento de Espera Feliz apresenta direção NNE-SSW com ângulo de mergulho intermediário para ESSE. Nos entornos da zona de cisalhamento as rochas pertencentes às unidades do Ortogranulito Heterogêneo e (Sillimanita) Granada biotita gnaisse encontram-se intensamente deformadas com bandamento retilíneo tabular e fitas de quartzo, em lâmina delgada observa-se recristalização dinâmica (com diminuição da granulação), caracterizando assim uma típica foliação milonítica (Sn) (Figura 3.1).

Figura 3.1- Foliação milonítica observada nas rochas presentes na zona de cisalhamento Espera Feliz.



Legenda: Sillimanita-Granada Biotita gnaiss (fotos 1 e 3), Ortognesito Heterogêneo (2 e 4), Biotita Gnaiss (5), de cima para baixo, e da esquerda para direita.

Fonte: A autora, 2015.

As estruturas lineares apesar de presentes são nesse caso, mais raras e de mais difícil identificação, devido principalmente ao alto grau de intemperismo de diversas rochas mapeadas, e massiva presença de blocos. No entanto apesar dessas dificuldades, durante o

mapeamento geológico foi possível constatar que associada à foliação milonítica, estão presentes lineações de estiramento mineral de médio ângulo com caimento para ESE, próximo à down dip. Ademais observa-se, embora com menos frequência, lineações obliquas com caimento para NE. É importante ressaltar que estas lineações possuem o mesmo trend dos eixos de dobras isoclinais e /ou sem raiz, que podem ser observados próximos às regiões mais deformadas. A presença destas dobras, que apresentam caimento de eixo entre 15° e 30° , acaba por caracterizar uma componente compressiva para essa zona de cisalhamento. Porifiroclastos rotacionado de diversos minerais (como k-feldspato, ortopiroxênio, granada, sillimanita) também são frequentemente observados em meio à matriz recristalizada dos milonitos.

Baseando-se nas litologias encontradas durante o mapeamento, bem como nas características mineralógicas, texturais e estruturais destas, a área mapeada pode ser dividida em dois domínios; o domínio à oeste da zona de cisalhamento Espera Feliz (DO) e domínio à leste(DL).

No domínio leste há uma clara predominância de rochas graníticas e/ou ortoderivadas. As rochas da unidade ortogranulito heterogêneo, segundo mapas presentes na atual literatura (CPRM e CODEMIG) supostamente correspondem ao embasamento, sendo a unidade dominante juntamente com os granada charnockitos. Os paragnaisses são muito escassos e quando aflorantes ocorrem sempre associados aos granada charnockitos, geralmente na forma de lentes e/ou camadas não muito espessas. Estruturalmente, o domínio leste apresenta trend predominantemente NNE/SSW, que corresponderia à foliação S_n , acompanhando a Zona de cisalhamento principal, no entanto na parte sudeste, próximo à região de Guaçuí observa-se uma mudança deste trend. Neste setor há a presença de uma zona de cisalhamento subsidiária, estruturas frequentemente observada por toda área, e passa a predominar uma foliação milonítica (S_{n+1}) que possui direção NE-SW com mergulho médio à íngreme (**Anexo A**), típica da faixa Ribeira, associada à esta Zona de cisalhamento ocorre uma lineação obliqua com sentido NNE.

Por outro lado, o domínio oeste (DO) apresenta grandes quantidades de rochas metassedimentares como o Biotita gnaisse migmatítico e (Sillimanita) (granada) biotita gnaisse (também aflorante no domínio leste), com granitóides do tipo S subordinados, além de ortogranulitos enderbíticos à charnoenderbíticos com aspecto mais homogêneo, quando comparados aos existentes no domínio leste, de posicionamento tectônico desconhecido, podendo corresponder ao embasamento e/ou à um corpo intrusivo mais tardio.

Estruturalmente, este domínio é caracterizado pela predominância de estrutura planar (foliação metamórfica) $S_n + 2$ de direção N/S, facilmente observada na maioria dos litotipos aflorantes no norte do mapa (**Anexo A**), com exceção do Charnoenderbito e do Granito Porfirítico que apresentam predominantemente textura ígnea preservada, embora localmente possam assumir a foliação tectônica e/ou metamórfica. Na altura da cidade de Faria Lemos é observada uma inflexão no trend dominante e a foliação passa a apresentar a mesma direção (S_n) da zona de cisalhamento Espera Feliz, NNE/SSW. Frequentemente, as foliações $S_n + 2$ e S_n podem apresentar bandamento migmatítico, como observado em alguns afloramentos da unidade biotita gnaiss e sillimanita- biotita gnaiss, esta estrutura evidencia a fusão parcial da rocha (anatexia) com a formação de leucossoma e melanossoma, que em muitos afloramentos pode ser observado juntamente ao mesossoma. Embora, por vezes, o leucossoma possa também ser individualizado como outra unidade que será descrita no próximo item.

3.2 Unidades mapeadas

A partir do mapeamento geológico, foi possível definir sete unidades litológicas, individualizadas a partir de suas características mineralógicas, petrográficas, estruturais e genéticas: Ortogranulito enderbítico, Biotita Charnoenderbito, Biotita gnaiss migmatítico, Biotita granito porfirítico, Ortogranulito heterogêneo, Sillimanita-granada-biotita gnaiss e Granada charnockito,

As três unidades; ortogranulito enderbítico, ortogranulito heterogêneo e biotita charnoenderbito constituem o escopo principal desta dissertação e, portanto, posteriormente, serão apresentadas, de forma mais detalhada, quanto a sua análise petrográfica, litogeoquímica e geocronológica. Neste capítulo as unidades serão apresentadas de acordo com o domínio (Domínio leste ou Domínio oeste, ambos definidos no item 3.1) em que se encontram inseridas.

Em ambos domínios a relação estratigráfica entre as unidades supracitadas não é clara. Este fato ocorre principalmente em virtude da área mapeada constituir um terreno de alto grau metamórfico, no qual evidências da cronologia de deposição e/ou intrusão das rochas encontram-se mascaradas pela(s) deformação(ões) sofrida(s) em evento(s) tectônico(s)/metamórfico(s) posteriores. No entanto, será apresentada a seguir uma sugestão/hipótese para a litoestratigrafia da área estudada baseada na compilação de trabalhos

anteriores realizados na região, além de mapas produzidos a partir destes trabalhos (Horn *et al*, 2012; Novo, 2009; Noce *et al* 2012) (Tabela 3.1):

Tabela 3.1- Litoestratigrafia proposta para a área estudada, segundo compilação feita a partir de mapas e relatórios de diversos autores

	Domínio Oeste	Domínio Leste
Indefinido	Biotita Charnoenderbito	
Granitóides da orogênese brasileira	Granito Porfirítico	
	Granada Charnockito	Granada Charnockito
Supracrustais	Sill Gr Bt gnaiss	Sill Gr Bt gnaiss
	Biotita Gnaiss migmatítico (com quartzitos subordinados)	
Embasamento	Ortogramulito Enderbítico	Ortogramulito Heterogêneo (com leucoenderbito subordinado)

Fonte: A autora, 2015.

Segundo os trabalhos supracitados, no domínio leste, a unidade Ortogramulito Heterogêneo corresponde ao embasamento que é coberto pelo paragnaisse constituinte das unidades Sillimanita-granada-biotita gnaiss, esta unidade está relacionada aos granitoides do granada charnockito possivelmente oriundos da fusão desta rocha. Por outro lado, no domínio oeste, o ortogramulito enderbítico é o embasamento paleoproterozóico que se encontra recoberto pelos metassedimentos formadores das unidades sillimanita-granada-biotita gnaiss e biotita gnaiss migmatítico. As unidades restantes, Granito Porfirítico, Granada Charnockito e Biotita Charnoenderbito são tidos como granitoides originados durante a orogenia brasileira. No entanto, como dito anteriormente, esse empilhamento não pode ser claramente observado durante as campanhas de campo e muitas unidades são de posicionamento

duvidoso, principalmente no que tange as três unidades ortogranulíticas que são o foco deste trabalho (Ortogramulito heterogêneo, enderbítico e biotita charnoenderbito) e uma das propostas desta dissertação é, com base em ferramentas como mapeamento geológico, análise litogeoquímica e geocronológica, definir o posicionamento estratigráfico mais adequado para as rochas pertencentes a estas unidades.

Uma importante ressalva deve ser feita para melhor compreensão deste trabalho; como pode ser observado na tabela 3.1, as unidades (sillimanita)-(granada)-(biotita) gnaiss e granada charnockito estão presentes em ambos domínios, isto se deve ao fato de que com as ferramentas utilizadas para caracterizar estas rochas (análise de campo e petrográfica) não foram encontradas diferenças substanciais de forma sistemática, a fim de permitir a individualização em diferentes unidades de acordo com o domínio em que estão inseridas.

3.3 Descrição das unidades litológicas

Neste item serão descritas as sete unidades encontradas e definidas durante o mapeamento geológico. Estas serão apresentadas por domínio e, portanto, primeiramente serão descritas as unidades pertencentes ao domínio leste e a seguir as unidades exclusivas no domínio oeste.

As três unidades de rochas granulíticas que são o tema deste trabalho serão mais detalhadas do que as demais, tendo em vista que a análise petrográfica é de grande importância para uma melhor compreensão dos dados litogeoquímicos, bem como para caracterizar uma unidade e diferenciá-la das demais.

3.3.1 Domínio Leste:

3.3.1.1 Ortogramulito Heterogêneo

Esta unidade é a principal, em termos de recobrimento areal, à leste da zona de cisalhamento. Geralmente, ocorre em afloramentos do tipo lajedo em meia encosta, "dorso de baleia", bem como em blocos e barrancos em corte de estrada. Sua forma de relevo mais comum é representada por paredões rochosos que sustentam as serras (Figura 3.6).

Pode apresentar diversos graus de intemperismo, no entanto, mais frequentemente, apresenta-se pouco alterada com fina capa de alteração e cor cinza esverdeada. Quando mais

intemperisada, apresenta cor branca devido à alteração dos feldspatos para argilominerais, além de, frequentemente, originar solos alaranjados, devido à alteração dos minerais fêmicos presentes.

Possui aspecto marcadamente heterogêneo em escala de afloramento, de mapa e até microscópico (Figura 3.6 e 3.7), compreendendo um conjunto de rochas ortogranulíticas com composições e aspectos estruturais variados, sendo geralmente foliado, mas podendo, por vezes, apresentar estrutura migmatítica e milonítica. Na área mapeada puderam ser observados 4 litotipos distintos (Ortognaisse charnoenderbítico à enderbítico, ortognaisse charnockítico, ortogranulito básico e leucoenderbito homogêneo). Estes litotipos frequentemente podem ocorrer num mesmo afloramento, no entanto, em alguns pontos observa-se a clara predominância ou apenas a presença de um único litotipo.

O ortognaisse charnoenderbítico à enderbítico é o litotipo predominante e pode ser caracterizado como uma rocha leucocrática de coloração cinza esverdeada, granulação fina à média e inequigranular (Figura 3.2). Em lâmina delgada, apresenta textura granoblástica e estruturação marcante, dada pelo bandamento gnáissico. Por vezes, em locais menos deformado, exhibe apenas uma foliação dada pela orientação preferencial dos minerais máficos (Figura 3.9 e 3.10). Sua mineralogia principal é composta por plagioclásio (45), quartzo (20), ortoclásio (7), e hiperstênio (15), hornblenda (10) outros (2). O hiperstênio frequentemente apresenta bordos de hornblenda e/ou biotita, e ocorre como grãos relativamente grandes, de aproximadamente 2,5 mm de diâmetro, orientados segundo a xistosidade presente na rocha. Nas zonas mais deformadas este litotipo, apresenta textura milonítica marcante, com porfiroclastos do tipo delta e sigma de ortopiroxênio, quartzo e K-feldspato em meio à uma matriz recristalizada fina (Figura 3.8 e 3.10). Como minerais acessórios, ocorrem titanita, estando associadas ou não aos minerais opacos, além de zircão e apatita.

Quando plotado no gráfico QAP, a rocha apresenta composição que varia de granodiorítica a tonalítica (enderbítica) (Figura 3.5).

Figura 3.2 - Amostra de mão do litotipo Ortognaisse Charnoenderbítico á Enderbítico



Fonte: A autora, 2015.

O ortognaisse charnockítico consiste de uma rocha leucocrática de cor cinza esverdeada, com granulação média à grossa. Apresenta textura equigranular à inequigranular e localmente porfirítica, na qual grãos de ortopiroxênio de até 0,5mm destacam-se em meio à matriz quartzo-feldspática. Em lâmina delgada, observou-se que a mineralogia principal é constituída de quartzo (33), ortoclásio (30) plagioclásio (22) hiperstênio (10) outros (5) Pode apresentar textura milonítica evidenciada pelas fitas de quartzo, bandamento retilíneo constante de dimensões milimétricas, bem como a presença da matriz quartzo-feldspática (Figura 3.3). finamente recristalizada. Frequentemente pode ser observada na forma de bandas de espessuras centimétricas à milimétricas que alternam com outro litotipo (ortognaisse charnoenderbítico à enderbítico ou ortogranulito básico) (Figura 3.7). O protólito que gerou esta rocha possui composição sienogranítica à monzogranítica, segundo o QAP de Streickesen (Figura 3.5).

Figura 3.3- Amostra de mão do litotipo Charnockito



Fonte: A autora, 2015.

O terceiro litotipo corresponde aos ortogranulitos básicos. Geralmente ocorrem na forma de enclaves ou bandas milimétricas à centimétricas dentro do litotipo principal (Figura 3.6 e 3.10b). Raras vezes é encontrado como litotipo predominante no afloramento e quando ocorre apresenta-se mais intemperizado que os demais litotipos.

Em escala de mão, a rocha tem aspecto homogêneo, com índice de cor mesocrático à melanocrático. Apresenta granulação fina à média e cor preta-esverdeada. Apresenta textura inequigranular granoblástica, com contato entre grãos de forma irregular, com frequente presença de extinção ondulante e formação de subgrãos. Sua mineralogia essencial é composta por ortopiroxênio (32), clinopiroxênio (10), plagioclásio (30), quartzo (7), ortoclásio (3). Hornblenda (8) e biotita (5) ocorrem substituindo parcialmente os piroxênios. Como minerais acessórios estão presentes zircão e opacos (5).

O último litotipo encontrado é o Leucoenderbita Homogêneo. Esta unidade ocorre como lentes dentro da unidade Ortogranulito Heterogêneo, na parte sudoeste da área. Ao contrário dos demais litotipos da unidade, um corpo pode ser individualizado no mapa (**Anexo A**) dentro da escala utilizada (1:150000). Este corpo apresentava aspecto heterogêneo, sendo constituído por uma porção muito intemperizado com coloração avermelhada e com manchas pretas indicativas da presença de óxido de manganês que transicionava para uma porção mais maciça, com capa de alteração espessa, mas com núcleo preservado que representaria este litotipo.

A rocha apresenta aspecto homogêneo, leucocrática, com menos de 25% de minerais máficos, de coloração cinza com tons esverdeados conferidos pelos feldspatos. Apresenta granulação fina à média e textura granoblástica inequigranular (Figura 3.4). É composta essencialmente de plagioclásio, ortoclásio, quartzo, hiperstênio, hornblenda e biotita, tendo ainda opacos, zircão e apatita como minerais acessórios. Em algumas porções do afloramento essa rocha apresenta textura protomilonítica com presença de porfiroclastos (com aproximadamente 0,5 mm de diâmetro) de hiperstênio e feldspato e fitas de quartzo imersos em matriz essencialmente félsica com alto índice de recristalização.

Figura 3.4 - Aspecto do litotipo Leucoenderbito Homogêneo



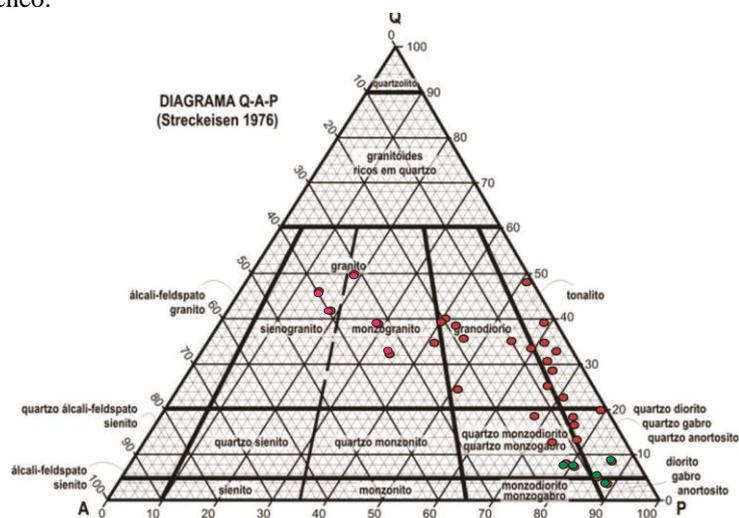
Fonte: A autora, 2015.

O contato da unidade dos ortogranulitos heterogêneos com as demais adjacentes, geralmente, se faz de forma brusca, principalmente no limite oeste, em que seu contato se faz com o sillimanita-granada-biotita gnaiss. Essa região é marcada por uma influente zona de cisalhamento (zona de cisalhamento de Espera Feliz) e o contato é muito tectonizado, gerando faixas de espessuras milimétricas à decimétricas compostas por rochas de textura milonítica, granulação fina, com porfiroclastos rotacionados de granada e ortopiroxênio. Em lâmina delgada, pode-se observar que estas faixas representam uma fina intercalação entre o paragneiss supracitado e o ortogneiss charnoenderbítico – enderbítico, como uma "mistura" das duas unidades. Desta forma, faixas de dimensões milimétricas compostas de uma fina matriz milonítica composta de quartzo e plagioclásio alternam com faixas ricas em minerais aluminosos, como biotita, sillimanita e granada. Porfiroclastos de aproximadamente 2mm de diâmetro de plagioclásio sigmoidal, ortopiroxênio com bordas recristalizadas e granada com até 5 mm de diâmetro ocorrem em meio à matriz fina.

Ainda no que tange este litotipo, próximo à zona de cisalhamento principal, destacam-se as texturas de desequilíbrio que apontam para a ocorrência de metamorfismo retrógrado, como visto nas lâminas EF-I-24C e EF-I-38A, em que há ocorrência de ortopiroxênio com borda de biotita. Isso indica que o metamorfismo, inicialmente, ocorreu no grau forte, fácies granulito, cuja paragênese típica é dada por ortopiroxênio + plagioclásio, porém, provavelmente, durante o cisalhamento, houve entrada de água no sistema (e com diminuição da temperatura), hidratando assim o ortopiroxênio e fazendo com que este se transformasse em biotita, com metamorfismo retrógrado da fácies granulito para a fácies anfibolito.

Cabe ainda ressaltar a presença de veios de quartzo e/ou pegmatito que estão frequentemente presentes. Os veios de quartzo apresentam diversos tamanhos, desde poucos milímetros até alguns metros. Ocorre sempre discordante à encaixante, com strike predominantemente WSW-ENE. Os pegmatitos foram observados próximos à zona de cisalhamento Espera Feliz, embora não esteja claro nenhum tipo de relação com a mesma. Ocorrem em dimensões de até algumas dezenas de metros e sua mineralogia é composta por quartzo, feldspato e muscovita.

Figura 3.5- Diagrama QAP de Streckeisen, 1967, para os diferentes litotipos da unidade Ortogranulito Heterogêneo.



Legenda: Os pontos em magenta correspondem ao litotipo charnockítico, os pontos em vermelho correspondem ao litotipo principal ortognaisse Enderbítico à charnoenderbítico e os pontos em verde aos litotipos básicos.

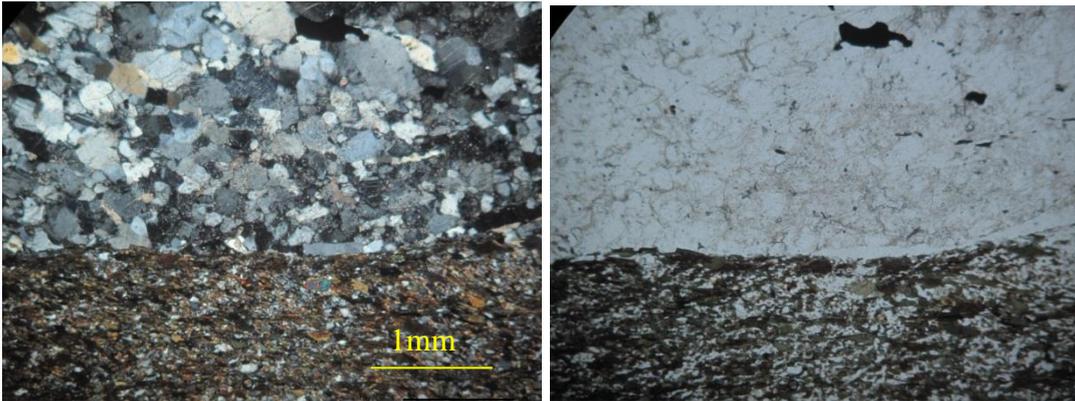
Fonte: A autora, 2015.

Figura 3.6- Típica forma de afloramento das rochas do Ortogranulito Heterogêneo



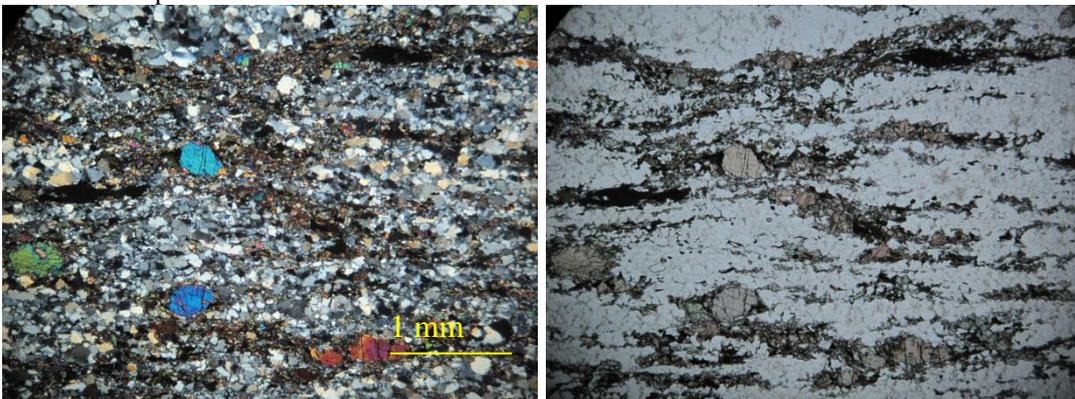
Fonte: A autora, 2015.

Figura 3.7- Lâmina petrográfica exibindo contato entre o litotipo básico e o chanorckítico



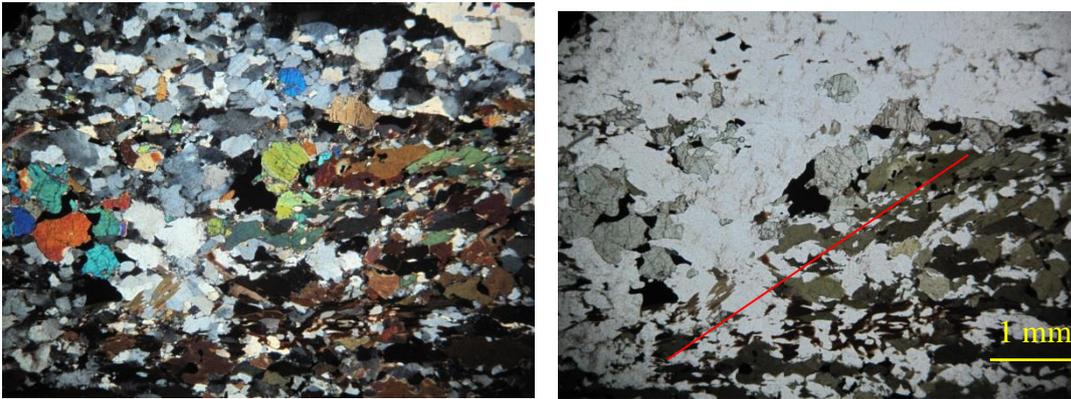
Fonte: A autora, 2015.

Figura 3.8- Lâmina petrográfica com textura protomilonítica com porfiroclastos de opx ponto EF-03-08, próximo à Zona de Cisalhamento.



Fonte: A autora, 2015.

Figura 3.9- Lâmina petrográfica do ponto PRCH-RH-07, no qual a rocha apresenta-se menos deformada, exibindo apenas leve orientação preferencial dos minerais máficos.



Fonte: A autora, 2015.

Figura 3.10 - Diferentes variações do litotipo Ortognaisse Enderbítico à charnoenderbítico de acordo com a deformidade local. Da esquerda superior para direita: rocha com foliação dada pela orientação preferencial dos minerais máficos, rocha com bandamento composicional (e protomilonítica), rocha com foliação milonítica e porfiroclastos de k-feldspato.



Fonte: A autora, 2015.

3.3.1.2 Granada Charnockito

Essa unidade heterogênea é composta por dois litotipos e ocorre por toda a área, distribuída de forma regular e pôde ser encontrada nos dois domínios (leste e oeste). Inicialmente, buscou-se características que pudessem diferenciar os corpos de acordo com o lado no mapa em que afloram, no entanto com as ferramentas disponíveis (petrografia e análise de campo) não foram encontradas diferenças composicionais, texturais que pudessem dividir a unidade. Suas principais formas de afloramento são do tipo bloco (in situ e/ou rolado) e dorso de baleia, sendo predominante nas áreas de relevo mais íngreme, formando paredões que sustentam as cotas mais elevadas existentes na área, além da serra do Caparaó (no norte da área estudada) (Figura 3.11). Normalmente apresentam-se pouco alterada, com coloração caramelo-esverdeada, e fina capa de alteração de coloração preta. No entanto, quando mais intemperizada, exibe cor de alteração branca refletindo a mineralogia predominantemente félsica.

O litotipo principal que dá nome à unidade caracteriza-se como uma rocha homogênea, leucocrática de granulação média. Sua mineralogia é composta por quartzo, ortoclásio, ortopiroxênio e granada. Em relação à estruturação, apresenta-se geralmente com alto grau de deformação, com o desenvolvimento de textura milonítica a ultramilonítica, fitas de quartzo e um fino bandamento composicional retilíneo e constante de espessuras milimétricas (Figura 3.12). Nas áreas menos deformadas, apresenta apenas uma leve foliação dada pela orientação dos minerais máficos. Em campo, não foi possível observar qualquer relação de contato com as unidades adjacentes, considerando-se, assim, que se trata de um contato brusco.

As observações feitas em lâmina mostram que ortopiroxênio pode ocorrer como cristais individualizados ou completamente estirados, formando bandas máficas de dimensões milimétricas, que alternam com bandas compostas por minerais félsicos como quartzo e feldspato (tanto plagioclásio como o ortoclásio). Pode-se observar porfiroclastos, de aproximadamente 1,5 mm, de clinopiroxênio e, mais raramente, de plagioclásio. Porfiroclastos de ortoclásio são mais abundantes, possuem 3mm de diâmetro, apresentam bordas recristalizadas, e estão envoltos numa matriz contendo grãos "tritutados" de granada (syn-milonitização), grãos de plagioclásio e quartzo. A granada pode ocorrer também inclusa no feldspato. Esse fato nos leva a afirmar que a rocha possui duas gerações de granada: A mais velha, que ocorre como cristais maiores, e a mais nova, na qual os grãos de granada na matriz ocorrem totalmente recristalizados. A análise modal por visada nos aponta para: 38%

de ortoclásio, 21% de quartzo, 13% de plagioclásio, 12% de ortopiroxênio, 7% clinopiroxênio, 6% de granada, 3% de outros, sendo sua composição, predominantemente granodiorítica.

O litotipo subordinado, o granada leucogranito, é observado apenas na parte central da área, e principalmente próximo à Zona de Cisalhamento de Espera Feliz. Apresenta índice de cor leucocrático, com aproximadamente 20% de minerais máficos em sua composição modal. Sua mineralogia é constituída de quartzo (35), microclima (20), ortoclásio (17), plagioclásio (6), granada (10) e biotita (10). Minerais opacos e zircão (2) ocorrem como minerais acessórios, além de carbonato proveniente da alteração do plagioclásio. A rocha possui aspecto ígneo com textura granular média à grossa (Figura 3.13). Nas áreas mais deformadas, adquire textura milonítica à ultramilonítica, com fina matriz recristalizada, fitas de quartzo e porfiroclastos rotacionados de granada.

Devido principalmente à forma observada em campo; sempre associada à unidade (Sillimanita)-Granada-Biotita, onde o charnockito apresenta fragmentos de diversos tamanhos (principalmente em escala de afloramentos) deste paragnaisse, esta unidade pode ser interpretada como um granitoide tipo S, supostamente produto da fusão do paragnaisse.

Figura 3.11- Forma de afloramento do Granada Charnockito Foliado, e aspecto da rocha nos pontos mais deformados.



Fonte: A autora, 2015

Figura 3.12- Aspecto do Granada Charnockito Foliado, nos pontos mais deformados.



Fonte: A autora, 2015

Figura 3.13 - Granada Leucogranito com aspecto ígneo em zonas menos deformadas.



Fonte: a autora, 2015.