



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Ana Caroline Duarte Dutra

**Metalogenia em terrenos de alto grau: Contexto geológico e propostas para
o modelo de geração das mineralizações sulfetadas de Rio Claro, RJ**

Rio de Janeiro

2013

Ana Caroline Duarte Dutra

Metalogenia em terrenos de alto grau: Contexto geológico e propostas para o modelo de geração das mineralizações sulfetadas de Rio Claro, RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Francisco José da Silva

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

D978 Dutra, Ana Caroline Duarte.
Metalogenia em terrenos de alto grau: Contexto geológico e propostas para o modelo de geração das mineralizações sulfetadas de Rio Claro, RJ / Ana Caroline Duarte Dutra. – 2013.
121 f. : il.

Orientador: Ronaldo Mello Pereira.
Coorientador: Francisco José da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia.

1. Piritas – Rio Claro (RJ) – Teses. 2. Zinco – Minas e mineração – Teses. 3. Chumbo – Minas e mineração – Teses. 4. Metalogenia – Rio Claro (RJ) – Teses. 5. Minas e recursos minerais – Rio Claro (RJ) – Teses. 6. Geologia econômica – Rio Claro (RJ) – Teses. I. Pereira, Ronaldo Mello. II. Silva, Francisco José da. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. IV. Título.

CDU 553.444(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Ana Caroline Duarte Dutra

Metalogenia em terrenos de alto grau: Contexto geológico e propostas para o modelo de geração das mineralizações sulfetadas de Rio Claro, RJ.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Aprovada em 30 de agosto de 2013.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira
Faculdade de Geologia – UERJ

Banca Examinadora: _____
Prof. Dr. Rodrigo Peternel
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Francisco José da Silva
Departamento de Geologia - UFRRJ

Prof. Dr. Everton Marques Bongioiolo
Instituto de Geociências – UFRJ

Rio de Janeiro

2013

DEDICATÓRIA

À minha família.
Em memória ao meu querido avô Eurico.

AGRADECIMENTOS

A luta foi árdua, o fardo pesado e a estrada longa demais para seguir sozinha. Tive o privilégio de ter pessoas incríveis para me auxiliar nesta jornada, e hoje posso, enfim, dizer que mais esta etapa está sendo concluída.

Agradeço primeiramente a Deus, minha fonte de sabedoria, meu elo com a criatividade, a cura dos meus anseios, criador das pessoas que amo e responsável direto da minha evolução.

A minha família, meu grande alicerce, minha paz, minha segurança, meu lar! Marcília, Benedita, Nilma, Nazaré, Norma, José, Karine, Thayane, Bárbara, Leizi, Hamilton, Francisco, e Renê.

Ao meu mestre com imenso carinho, Ronaldo Mello! Pelos ensinamentos, infinita paciência, puxões de orelha e orientação, tanto no plano pessoal como científico. Agradeço imensamente!

Ao meu co-orientador, Francisco José da Silva, pela paciência, conselhos, ensinamentos e companhia nos trabalhos de campo.

A Ingrid Ferreira Lima, pela incrível ajuda na confecção dos mapas desta dissertação, além do apoio natural, em razão de nossa amizade.

Guilherme Ramos e Luiz Wallace pela companhia nos trabalhos de campo, e à Diana, pelos seus valiosos conselhos profissionais.

Aos prestativos Gustavo, Daniel e Felipe no processamento das amostras no LGPA.

Aos meus chefes Rafael José Simão e Ricardo Branco, pela liberação no trabalho e, sobretudo, por entenderem a situação de uma futura mestra às vésperas da apresentação.

Aos amigos que me ajudaram indiretamente, que estiveram comigo na hora em que mais precisei, momentos de desânimo e desespero: Ethienne, Tamiris, Jaqueline, Elisabeth, Larissa, Lucas Marinho e Henrique Bruno.

Aos meus amigos de viagem, Priscilla, Rafael Alves, Rafael Rocha, Paulo e Vinnicius, pela alegria e bons momentos, que me fizeram repensar a vida.

Não posso deixar de agradecer ao Rafael Melo pela grande ajuda nos trabalhos de campo, pela companhia enquanto estava ao meu lado e incentivo em momentos em que me encontrava desmotivada.

Muito obrigada a todos!.

Cum mente et malleo

Lema da Geologia

RESUMO

DUTRA, Ana Caroline Duarte. Metalogenia em terrenos de alto grau: *Contexto geológico e propostas para o modelo de geração das mineralizações sulfetadas de Rio Claro, RJ*. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

A região de Rio Claro foi alvo de estudos de caráter econômico desde a década de 30, quando foram então descobertas as ocorrências de pirita na área. Trabalhos de prospecção mineral efetuados pela Riofinex, em meados da década de 70, determinaram a presença de corpos de sulfetos de Zn e Pb, porém de caráter subeconômico. O modelo proposto para o depósito de Rio Claro correspondeu ao tipo Mississippi Valley, em grau metamórfico mais alto (RIOFINEX, 1977). Com fins acadêmicos, foram desenvolvidas, mais tarde, duas dissertações de mestrado na área, uma com enfoque nos depósitos sulfetados (CHAVES 1987), e a outra com foco no mapeamento geológico da região (DIOS, 1995). No entanto, verificou-se que para uma melhor caracterização da tipologia da mineralização sulfetada, é necessária a discussão do ambiente deposicional dos litotipos encaixantes da mesma. Com essa finalidade foi feita a caracterização de detalhe dos litotipos através de mapeamento geológico da região na escala 1:50.000, bem como a observação da relação estratigráfica entre eles. Os trabalhos de campo desenvolvidos na região permitiram considerar a base cartográfica elaborada pela empresa Riofinex como o produto que mais se adequava ao fim proposto. Contudo, das dez unidades definidas pela Riofinex, optou-se por focar mais detalhadamente somente as unidades Valadão, São Roque e Lídice, esta última a hospedeira da mineralização, por se considerar que elas seriam as que melhor expressariam a paleogeografia da bacia deposicional. As rochas presentes na Unidade Valadão compreendem delgadas camadas estratiformes de magnetita quartzito, interpretadas como *ironstone* ou formações ferríferas bandadas metamorfisadas. Essa unidade foi considerada como sendo associada a processos turbidíticos. A Unidade São Roque é constituída, por sua vez, por litotipos metapelíticos, que apresentam características de sedimentação em ambiente mais profundo com possível influência de processos exalativos hidrotermais e onde se constata a formação de espessos pacotes de pelitos depositados em condições de sopé de talude. A Unidade Lídice, abrange rochas metapsamíticas e metapelíticas, cujo mais importante litotipo corresponde ao quartzito carbonático que encerra a mineralização sulfetada. Essa unidade foi interpretada como tendo sido depositada em plataforma rasa, influenciada pela maré. A proposta é que a rocha encaixante da mineralização faça parte do contexto de uma sabkha.

Palavras-chave: Depósito de zinco e chumbo. Rio Claro. Unidades litológicas. Unidade Valadão. Unidade São Roque. Unidade Lídice. Paleoambiente deposicional. Ambiente de Sabkha.

ABSTRACT

DUTRA, Ana Caroline Duarte. *Metallogeny in high-grade terrains: Geological context and proposals for the origin model of sulfide deposits in Rio Claro, RJ*. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

The region of Rio Claro has been the target of economic studies since the 30's, when there was the discovery of the occurrences of pyrite in the area. Mineral exploration conducted by Riofinex in the mid 70's, determined bodies of sulfides of zinc-lead, however of subeconomic character. The proposed model for the Rio Claro deposits corresponded to the Mississippi Valley type of higher grade metamorphic (RIOFINEX, 1977). In academic terms, two dissertations were carried out in the area, with the first one with a focus on the sulphide deposits (CHAVES, 1987), and the other focusing on geological mapping of the region (DIOS, 1995). However, it was found that for a better characterization of the type of sulphide mineralization is necessary to discuss the depositional environment of host rocks. For this, was characterized in detail of rock types by geological mapping of the region 1:50,000, and the stratigraphic relationship between them. The field campaign developed at the start of this work showed the base map prepared by the company Riofinex as the proposed goal. However, from the ten geological units defined by Riofinex, it was decided to detail only the the Valadão, San Roque and Lídice units, the latter hosting the mineralization, by considering that they would express the paleogeography of depositional basin. The rocks present in the Valadão unit besides different types of quartzites are also comprised thin layers of stratiform magnetite quartzite, interpreted as ironstone or metamorphosed banded iron formations. This unit was considered to be associated with turbiditic processes. The São Roque unit is mainly composed by metapelitic rock types which exhibit sedimentation characteristics of deeper environment with possible exhalative influence, probably related to formation of thick bundles of pelites deposited at the foot of slope paleotopography. The Lídice unit comprises metapsamitic and metapelitic rocks, whose most important lithotype corresponds to carbonate quartzite, which hosts the sulfide mineralization. This unit was interpreted as having been deposited in shallow platform with influence from tide variations. The proposal is that the host rock of the mineralization is part of a sabkha environment.

Keywords: Zinc-lead deposit. Rio Claro. Geological units. Valadão unit. São Roque unit. Lídice unit. Depositional paleoenvironment. Sabkha environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mosaico de figuras mostrando a área de desenvolvimento do trabalho...	16
Figura 2 –	Domínio geomorfológico presente na área de estudo e adjacências.....	17
Figura 3 –	Parte do Supercontinente Rodínia, destacando as massas continentais da América do Sul e suas articulações.....	21
Figura 4 –	O megacontinente Gondwana, com suas porções oriental e ocidental.....	22
Figura 5 –	Os continentes (crátons) e oceanos do Neoproterozoico no Brasil.....	23
Figura 6 –	Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira com destaque para a compartimentação da Faixa Ribeira e localização da área de estudo, dentro do item 9.....	24
Figura 7 –	Mosaico de figuras mostrando a área de estudo.....	26
Figura 8 –	Seção esquemática do depósito de Pb-Zn SE de Missouri.....	29
Figura 9 –	Seção esquemática do depósito de Pb-Zn mostrando a relação do minério de zinco com a brecha de colapso e os calcários dolomitizados no Distrito Cidade Mascott-Jefferson, Tennessee.....	30
Figura 10 -	A mineralização sulfetada em Zn-Pb-Ag e o zoneamento lateral dos elementos presentes em alguns depósitos do Tipo SEDEX	33
Figura 11 -	Esquema para o processo geológico que gerou o depósito de Pb, Zn, Ag de Broken Hill. Fluidos emitidos e mobilizados pelos granitos dissolveram e carregaram metais e enxofre de evaporitos.....	36
Figura 12 -	Localização das principais áreas pesquisadas para sulfetos de Pb-Zn pela Riofinex, na região de Rio Claro.....	38
Figura 13 -	Aspectos estruturais das rochas da Unidade Lídice e Passa Dezoito.....	46
Figura 14 -	Granada-biotita gnaisse estirado, apresentando textura milonítica.....	47
Figura 15 -	Unidades litológicas e subunidades propostas na presente dissertação....	48
Figura 16 -	Biotita gnaisse milonítico da Unidade Lorena (AC-116).....	49
Figura 17 -	Rochas da Unidade Valadão Inferior.....	50
Figura 18 -	Aspectos mineralógicos da rocha magnetita quartzito da Unidade Valadão Média.....	52
Figura 19 -	Modo de ocorrência do magnetita quartzito na Unidade Valadão Superior.....	52

Figura 20 -	Aspectos texturais do biotita gnaissé presente na Unidade São Roque inferior.	54
Figura 21 -	Aspectos mineralógicos e texturais das rochas da Unidade São Roque Média.	55
Figura 22 -	Modo de ocorrência das rochas da Unidade São Roque Média I.....	57
Figura 23 -	Rochas da Unidade São Roque Média II.....	57
Figura 24 -	Aspectos microscópicos do Granadito presente na Unidade São Roque Média II.	59
Figura 25 -	Aspectos petrográficos do biotita gnaissé presente na Unidade São Roque Superior.....	60
Figura 26 -	Modo de ocorrência do granada-biotita gnaissé migmatítico presente na Unidade Lídice Inferior.	62
Figura 27 -	Modo de ocorrência da grafita na Unidade Lídice Média I.....	63
Figura 28 -	Modo de ocorrência e aspectos petrográficos de biotita gnaissé na Unidade Lídice Média II.....	64
Figura 29 -	Aspectos petrográficos do gnaissé calcissilicático presente na Unidade Lídice Média II.	66
Figura 30 -	Quartzitos da Unidade Lídice Superior.....	68
Figura 31 -	Fotomicrografia dos quartzitos da Unidade Lídice Superior.....	69
Figura 32 -	Fotomicrografia do granada biotita gnaissé da Unidade Passa Dezoito...	70
Figura 33 -	Aspectos texturais e petrográficos do gnaissé calcissilicático presente na Unidade Passa Dezoito.....	71
Figura 34 -	Aspectos petrográficos do charnockito presente no Complexo Juiz de Fora.....	73
Figura 35 -	Localização dos pontos de amostragem geoquímica (concentrados de bateia).....	78
Figura 36 -	Esquema litoestratigráfico da Unidades presente na área.....	80
Figura 37 -	Vista esquemática dos mares epicontinentais e pericontinentais (de plataforma).....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Principais minerais de zinco e chumbo.....	27
Tabela 2 –	Comparação das principais características dos depósitos Proterozoicos Australianos SEDEX e depósitos BHT.....	37
Tabela 3 –	Quadro comparativo entre os PRINCIPAIS modelos genéticos para Pb-Zn e a mineração sulfetada da região de Rio Claro.....	42
Tabela 4 –	Correlação entre as nomenclaturas litoestratigráficas definidas na região de Rio Claro.....	44
Tabela 5 –	Mineralogia dos concentrados de bateia.....	77
Tabela 6 –	Proporção de magnetita nos litotipos das unidades Valadão e São Roque...	93

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	13
1	ASPECTOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
1.1	Localização da área de estudo.....	15
1.2	Objetivos propostos.....	15
1.3	Elementos da geografia física.....	17
1.3.1	<u>Contexto geomorfológico e hidrografia.....</u>	17
1.3.2	<u>Clima e vegetação.....</u>	19
1.4	Métodos e técnicas.....	19
2	CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLÓGICO REGIONAL.....	21
2.1	Província Mantiqueira – Contexto geotectônico.....	21
2.2	Faixa Ribeira – Compartimentação tectônica e contexto geológico.....	23
3	PRINCIPAIS DEPÓSITOS SULFETADOS EM ZINCO E CHUMBO.....	27
3.1	Origem da mineralização.....	27
3.2	Modelos metalogenéticos.....	29
3.2.1	<u>Modelo <i>Mississippi Valley type</i> (MVT).....</u>	29
3.2.2	<u>Modelo Sedimentar Exalativo (SEDEX).....</u>	32
3.2.3	<u>Modelo <i>Broken Hill</i>.....</u>	34
4	BREVE HISTÓRICO SOBRE A MINERALIZAÇÃO SULFETADA DE RIO CLARO.....	38
4.1	Estudos realizados na área	39
4.2	Modo de ocorrência da mineralização.....	39
4.3	Aspectos geoquímicos da mineralização.....	40
5	GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
5.1	Aspectos gerais da área.....	43
5.2	Descrição das unidades litológicas na área de estudo.....	43
5.2.1	<u>Aspectos estruturais.....</u>	45
5.2.2	<u>Unidade Lorena.....</u>	48
5.2.3	<u>Unidade Valadão.....</u>	48
5.2.4	<u>Unidade São Roque.....</u>	53
5.2.5	<u>Unidade Lídice.....</u>	60
5.2.6	<u>Unidade Passa Dezoito.....</u>	69

5.2.7	<u>Charnockitos do Complexo Juiz de Fora.....</u>	71
6	AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA E DESCRIÇÃO DOS CONCENTRADOS DE BATEIA.....	75
6.1	<u>Coleta de dados.....</u>	75
6.1.1	<u>Área 1 – Centro de Lídice.....</u>	76
6.1.2	<u>Área 2 – Canoas e Passa Dezoito.....</u>	76
7	DISCUSSÕES.....	79
7.1	Considerações sobre a análise paleoambiental das unidades litológicas.....	79
7.2	Considerações sobre a mineralogia encontrada nos concentrados de bateia.	82
7.3	Considerações sobre o paleoambiente deposicional da Unidade Lídice.....	84
7.4	Considerações sobre a tipologia dos depósitos sulfetados de Rio Claro e sua correlação com os modelos metalogenéticos mencionados.....	87
7.5	Relação entre o ambiente evaporítico e as mineralizações sulfetadas.....	91
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
	RECOMENDAÇÕES.....	96
	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICE A – Mapa de pontos.....	105
	APÊNDICE B – Esquema geológico.....	106
	APÊNDICE C – Descrição das lâminas delgadas.....	108
	APÊNDICE D – Tabela de pontos.....	115

INTRODUÇÃO

Nesta dissertação, foi elaborado um esquema geológico da região de Rio Claro, Rio de Janeiro, onde encontra-se a mineralização de zinco e chumbo, com o intuito de definir a relação estratigráfica entre os diversos litotipos presentes, bem como, o possível ambiente deposicionados mesmos e a tipologia da mineralização.

Preliminarmente, faz-se um breve estado da arte sobre três importantes modelos metalogenéticos relacionados à mineralização de zinco e chumbo: Mississippi Valley (MVT), Sedimentar Exalativo (SEDEX) e Broken Hill (BHT). Eles foram selecionados devido à similaridade com a associação litológica presente na área de estudo, bem como, as características do depósito sulfetado da região.

A região considerada tem sido alvo de estudos desde a década de 30, quando foram descobertos os depósitos de pirita de Rio Claro. Desde então, diferentes hipóteses foram propostas para a origem da mineralização, dentre estas se destacam: derivação por hidrotermalismo (ABREU & OLIVEIRA, 1934), metamorfismo de contato (SOUSA, 1939; LEONARDOS, 1942), e origem singenética (SUSZCZYNSKY, 1975; FONSECA *et al*, 1979).

Estudos de caráter econômico, foram efetuados na década de 1970 pela Riofinex, uma subsidiária da RTZ (Rio Tinto Zinc), consistindo de mapeamento geológico e prospecção geoquímica por sedimentos de corrente e geofísica, utilizando diversos métodos na área (IP, magnetometria e eletrorresistividade), que foram realizados com o intuito de potencializar os corpos mineralizados em sulfetos de metais base. Após a sua realização, esses estudos permitiram determinar a presença de corpos de sulfetos de Zn e Pb, porém, de caráter subeconômico. O modelo proposto para a mineralização teve como correspondente os depósitos epigenéticos do tipo Mississippi Valley, em grau metamórfico mais alto (RIOFINEX, 1977). Com fins acadêmicos, mas ainda do ponto de vista econômico, foi desenvolvido na área um estudo centrado na mineralogia do depósito, sendo considerado por Chaves (1987) como do tipo exalativo.

O minério compreende os minerais pirita, pirrotita, esfalerita, galena e calcopirita que ocorrem disseminados, em conformidade com os quartzitos carbonáticos, ou remobilizados em veios de quartzo. Apesar do caráter subeconômico, o depósito tem recursos estimados em

cerca de 1.600t (com 950t Zn) a 9.200t (5.500t de Zn), onde o principal sulfeto é a esfalerita (RIOFINEX, 1977; CHAVES, 1987).

Mais tarde, a área foi mapeada na escala de 1:50.000, também em estudos relacionados a dissertação de mestrado (DIOS, 1995). Este trabalho foi, posteriormente, integrado ao Mapa Geológico da Folha Volta Redonda na escala de 1:100.000 (PRONAGEO, 2006), onde o conjunto de rochas mapeado foi interpretado como a porção distal da margem do Cráton São Francisco, denominada Megassequência Andrelândia (HEILBRON *et al.*, 2004).

Os trabalhos de campo foram centrados dentro dos limites de Rio Claro, localizado na porção central da Faixa Ribeira, no contexto geotectônico do Domínio Juiz de Fora, que abrange os paragneisses da Megassequência Andrelândia. Estas atividades permitiram considerar como o produto mais adequado ao propósito desta dissertação, a base cartográfica geológica na escala de 1:50.000 elaborada pela RIOFINEX. Das 10 unidades litológicas que compõem o mapa elaborado pela empresa optou-se, no presente levantamento, por focar as unidades Valadão, São Roque e Lídice, em razão da sua relevância em relação à caracterização dos paleoambientes de formação dos diferentes litotipos e em virtude da última hospedar a mineralização sulfetada. Em função das descrições macroscópicas e petrográficas das rochas encontradas na área, tornou-se possível efetuar uma melhor caracterização das unidades da área. Desta forma a unidade Valadão foi dividida em três subunidades (essencialmente pelítica, pelítica – psamítica e psamítica), tendo como base a ocorrência de delgadas camadas estratiformes de magnetita quartzito em cada uma delas. A Unidade São Roque, de caráter predominantemente metapelítico, foi subdividida em quatro subunidades, tendo como critério básico a ocorrência de espessartita gnaisses, níveis de coticule/gonditos e anfibolitos intercalados à sucessão de rochas.

A unidade hospedeira da mineralização, representada pela Unidade Lídice, foi dividida em quatro subunidades, sendo caracterizada basicamente por uma sequência de rochas metapsamíticas e metapelíticas, marcada pela presença de um pacote de quartzito carbonático portador da mineralização sulfetada, além de gnaisses biotíticos, quartzitos, sillimanita-grafita gnaisses e rochas calcissilicáticas.

A principal contribuição do presente estudo é a proposta de caracterização paleoambiental das unidades Valadão, São Roque e Lídice, visando o enquadramento tipológico da mineralização do depósito de zinco e chumbo da região de Rio Claro, com base nas relações de cunho geológico, geotectônico e petrográfico das litologias mapeadas em campo.

1. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

1.1. Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada dentro dos limites do município de Rio Claro, região sudoeste do Estado do Rio de Janeiro, que integra junto com os municípios litorâneos, Mangaratiba, Angra dos Reis e Paraty, a porção do estado denominada como Costa Verde. Mais precisamente, a área insere-se entre os distritos de Lídice e Passa Três, limitado por um paralelogramo de coordenadas entre 578000-602000 e 747200-7484000 (Figura 1).

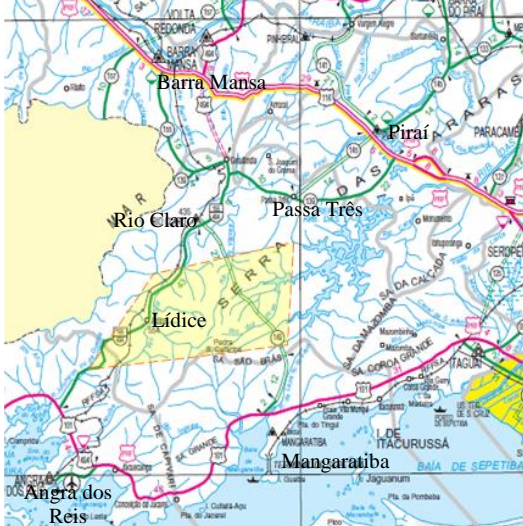
As cidades mais próximas da área de estudo são Barra Mansa, Piraí, Mangaratiba e Angra dos Reis. As duas primeiras cidades estão situadas às margens da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), enquanto as cidades litorâneas se desenvolvem segundo o eixo da Rodovia Governador Mário Covas (BR-101). Desta forma, distam de Rio Claro, respectivamente, 36 km, 43 km, 46 km e 62 km. O acesso pode ser realizado através da BR-116 (Rio - São Paulo) e RJ-149 até o Distrito de Passa Três, a partir de Piraí. O percurso a partir de Barra Mansa é feito pela BR-116 e RJ-155 (Barra Mansa – Angra dos Reis), enquanto o trajeto por meio dos municípios ao sul, pode utilizar a BR-101 (Rodovia Rio-Santos) seguida da RJ-155, a partir de Angra dos Reis, ou RJ-149 (Mangaratiba – Rio Claro), quando o trajeto é realizado a partir de Mangaratiba. Para chegar a pontos situados fora das rodovias estaduais, foram utilizadas também vias secundárias não-pavimentadas.

A região estudada encontra-se inserida na Folha Mangaratiba e Piraí 1:50.000 (IBGE).

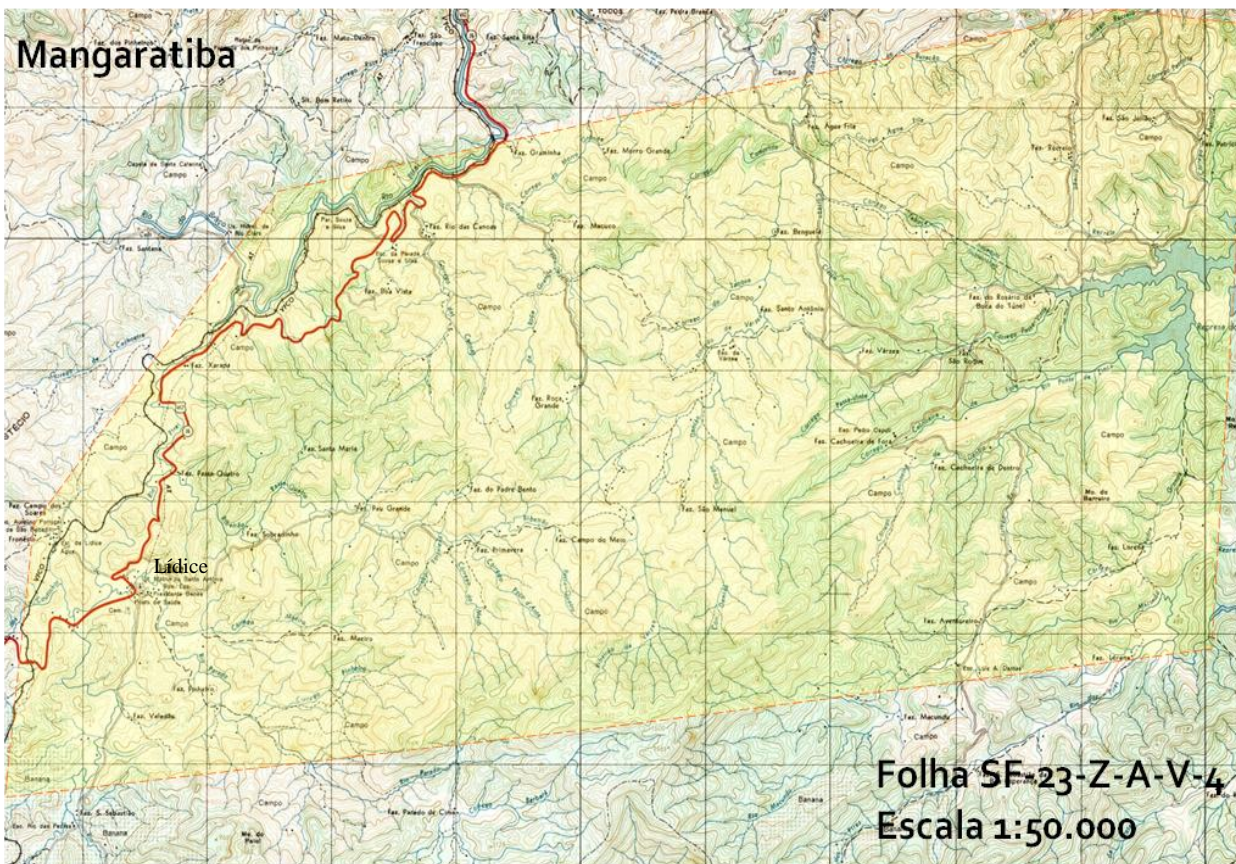
1.2. Objetivos propostos

Diversos estudos envolvendo mapeamento geológico já foram realizados na área em razão do potencial econômico existente e da diversidade de litotipos ali encontrados. No entanto, existem lacunas no que se refere ao enquadramento tipológico da mineralização em metais base (modelos propostos), como aos paleoambientes de sedimentação das diversas unidades litológicas presentes.

Figura 1 – Mosaico de figuras mostrando a área de desenvolvimento do trabalho.



Localização da área



Fonte: Adaptado da Folha SF-23-Z-A-V-4 (Folha Mangaratiba)

A proposta desta dissertação é sintetizar as informações existentes e confeccionar um esquema geológico na escala de 1:50.000, baseado nos mapas existentes como nos novos trabalhos de campo efetuados na área. E a partir da identificação e caracterização de alguns tipos petrográficos não usuais que ocorrem na região, estabelecer uma melhor divisão das unidades Valadão, São Roque e Lídice, de forma a possibilitar um melhor entendimento sobre as relações estratigráficas existentes entre elas, além de contribuir para a discussão acerca da metalogênese do depósito sulfetado na região em questão.

1.3. Elementos da geografia física

1.3.1. Contexto geomorfológico e hidrografia

A região contemplada por este estudo está inserida na porção leste do Planalto da Serra da Bocaina, no contexto geomorfológico regional do Planalto Atlântico, entre o domínio interplanáltico do Paraíba do Sul e os domínios geomorfológicos da Escarpa da Serra do Mar e da Baía de Ilha Grande (*Apud* EIRADO, 2006 - Figura 2).

Figura 2 – Domínio geomorfológico presente na área de estudo e adjacências (em vermelho, Lídice e Rio Claro).



Fonte: Retirado e adaptado do Google Earth (2013).

A Serra do Mar, localmente denominada como Serra da Carioca, apresenta como característica marcante domínios elevados com baixas amplitudes topográficas, geralmente compreendendo cotas entre 450 e 950 metros, mostrando linhas de serra com orientação NE-SW, que representam o padrão de estruturação das unidades geológicas da Faixa Ribeira. As porções mais elevadas estão situadas no extremo sul, que atinge a cota máxima de 1550 metros. As escarpas situadas nesta região exibem encostas de alto gradiente topográfico e forma convexa com solos pouco espessos associados. Esta porção da área possui grande relevância pois representa, localmente, parte da borda da Serra do Mar, além de atuar como um importante divisor de águas, cujo convergência das águas recai para norte, em direção ao Paraíba do Sul.

A altitude das serras tendem a diminuir progressivamente em direção a porção norte da área de estudo e também para leste, onde está localizada a Represa de Ribeirão das Lages. Neste caso, são observados morrotes sem interconexão, que apresentam solos residuais mais desenvolvidos e espessos com horizontes bem definidos.

Os vales fluviais ocorrem estreitos e encaixados e os fundos de vales aplainados onde ocorrem os sedimentares aluviais. Estão encaixados nas discontinuidades presentes, comumente entre fraturas com orientação E-W, no entanto, aparecem entalhando contatos geológicos com direção NE-SW, ou ainda na direção NW-SE. No geral, os vales tributários apresentam cachoeiras e pequenas corredeiras ao longo do curso.

No contexto da zona que contém a mineralização sulfetada, os córregos relevantes ao estudo são o Passa Dezoito, Canoas e Paraguay. Estes córregos drenam para o principal rio da região o Pirai, que por sua vez, desemboca a nordeste da área de estudo, no rio Paraíba do Sul. Entretanto, na porção leste da área, a rede de drenagem é direcionada à Represa do Ribeirão das Lages.

1.3.2. Clima e vegetação

O clima da região é tropical super úmido, com temperatura média anual de 23°C. O período de chuvas menos intenso vai de maio a agosto, quando também as temperaturas são mais baixas. A vegetação da Mata Atlântica está representada por árvores de grande porte como o murici, palmeiras, embaúbas, canelas e baguaçus.

1.4. Métodos e técnicas

Para o desenvolvimento do trabalho foram adotadas quatro etapas básicas que consistem em: Levantamento bibliográfico, etapa de campo, etapa laboratorial e elaboração da dissertação.

A revisão bibliográfica acerca da geologia da região de Rio Claro teve como base principalmente o mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro na escala 1:500.000, efetuado pelo Departamento de Geologia da CPRM, em convênio com o DRM-RJ ; mapa geológico da folha Volta Redonda 1:100.000, elaborado pelo programa PRONAGEO desenvolvido no ano 2007 pela UERJ, em convênio com o MME/CPRM; e mapas geológicos na escala de 1:50.000 produzidos pela RIOFINEX , 1977, além de mapas apresentados nas monografias de Chaves (1987) e Dios, (1995). Essa revisão resultou em um mapa geológico compilado que serviu de base para a etapa de campo.

A revisão dos conceitos sobre a metalogênese dos depósitos de chumbo e zinco, principalmente os associados em terrenos de alto grau metamórfico, foi fundamental para a discussão dos pontos abordados nessa dissertação.

Diversas incursões a campo foram realizadas a fim de efetuar um reconhecimento geológico semiregional, calcado nas bases cartográficas 1:50.000 do IBGE, principalmente na folha Mangaratiba. Os trabalhos de campo foram realizados mediante a disciplina de Prospecção, ministrada pelo professor Ronaldo Mello, na Faculdade de Geologia da UERJ, com a finalidade de buscar evidências da presença de eventuais elementos prospectivos que favorecessem o enquadramento tipológico das mineralizações. Um total de 16 amostras de rocha foram coletadas para posterior análise petrográfica e 6 amostras de rochas para separação de cristais de magnetita, além de coleta de 6 concentrados de bateia em leitos de rios, para análise em lupa binocular.

A fase laboratorial incluiu a descrição de 16 lâminas petrográficas, no Laboratório de Petrografia (Faculdade de Geologia – UERJ), análise dos concentrados de minerais pesados em lupa binocular e separação de magnetita das amostras de rocha, para obtenção de teores relativos do mineral, ambas análises realizadas no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA - Faculdade de Geologia da UERJ), e a confecção dos mapas Geológico e de Pontos da área de estudo, no Laboratório de Estudos Geotectônicos (LET-TEKTOS/DGRG/FGEL).

Em relação às lâminas delgadas descritas, 10 delas apresentavam protólito pelítico, incluindo os granada biotita gnaisses, rochas calcissilicáticas, granadito e quartzito impuro. As 6 lâminas petrográficas restantes, compreenderam representantes de protólito ígneo com e

sem a presença de magnetita, tais como hornblenda biotita gnaisses e gnaisses charnockíticos (Descrições no **APÊNDICE C**).

A etapa final incluiu a confecção do esquema geológico revisado da região de estudo, na escala 1:50.000, a interpretação final dos resultados obtidos, bem com a elaboração do manuscrito.

A história geológica que remonta o ambiente precursor da Faixa Ribeira é extensa e bastante complexa, e engloba eventos que se relacionam com o fechamento de oceanos, passando por eventos tafrogênicos, processos acrescionários até grandes colisões de massas continentais. Desta forma, se faz relevante uma breve revisão acerca da evolução geológica que deu origem a essa estruturação, iniciada no Proterozoico, e responsável pela configuração tectônica presente atualmente e, principalmente, os fatores que influenciaram a existência de mineralização sulfetada na região contemplada pelo projeto.

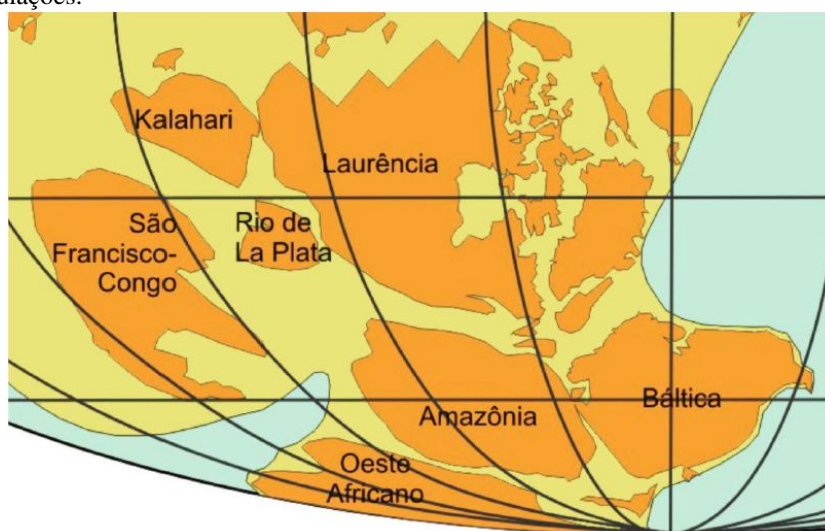
2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLÓGICO REGIONAL

A história geológica que remonta o ambiente precursor da Faixa Ribeira é extensa e bastante complexa, e engloba eventos que se relacionam com o fechamento de oceanos, passando por eventos tafrogênicos, processos acrescionários até grandes colisões de massas continentais. Desta forma, se faz relevante uma breve revisão acerca da evolução geológica que deu origem a essa estruturação, iniciada no Proterozoico, e responsável pela configuração tectônica presente atualmente e, principalmente, os fatores que influenciaram a existência de mineralização sulfetada na região contemplada pelo projeto.

2.1. Província Mantiqueira - Contexto geotectônico

O Supercontinente Rodínia (Figura 3) se formou no fim do Mesoproterozoico, por volta de 1,1-1,0 Ga, como resultado da amalgamação dos continentes derivados do Supercontinente Colúmbia, Amazônia, África Ocidental, Báltica, Laurência, atualmente registrado como o continente mais antigo, consolidado no Paleoproterozoico (HASUI, 2010) .

Figura 3 - Parte do Supercontinente Rodínia, destacando as massas continentais da América do Sul e suas articulações.



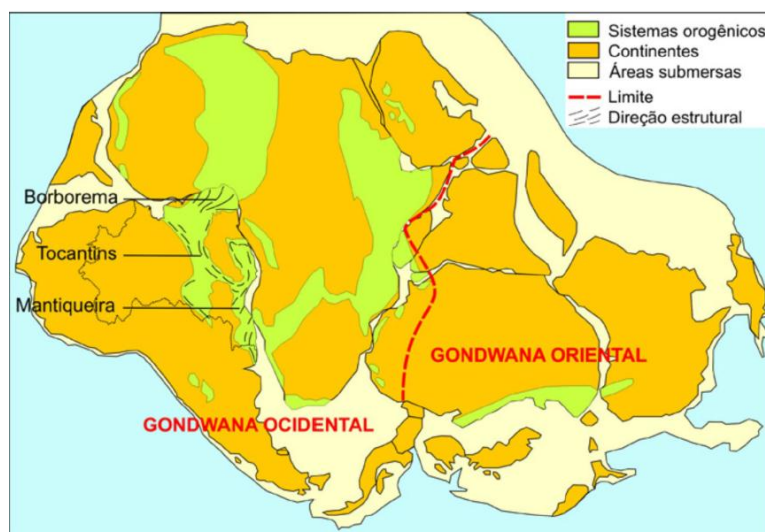
Fonte: Hasui (2010).

O evento tafrogênico Toniano-Criogeniano que ocorreu no Neoproterozoico (BIZZI *et al.*, 2003) resultou na fragmentação e dispersão do supercontinente Rodínia e no

desenvolvimento de diversos oceanos. Como resultado desta fase de quebras, foram individualizadas três porções continentais principais: Laurência, constituído por partes da América do Norte e Europa, Groenlândia e Sibéria; Gondwana Leste, compreendendo parte da África e Antártica (Craton Kalahari- Grunehogna), Madagascar, Índia e Austrália; e Gondwana Oeste - Amazônia, África Leste, Rio de la Plata, e vários blocos menores: Pampia, Central de Goiás, Luis Alves, entre outros.

No Neoproterozoico, ocorreu a amalgamação do Megacontinente Gondwana como resultado da inversão do processo de deriva e instalação dos processos orogênicos diacrônicos dos continentes Gondwana Leste e Gondwana Oeste. Nesse evento, denominado Brasiliano-Panafricano, as massas continentais da América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártida, vinham se agutinando desde cerca de 900 Ma até por volta de 500 Ma (HASUI, 2010 - Figura 4).

Figura 4 - O megacontinente Gondwana, com suas porções oriental e ocidental.

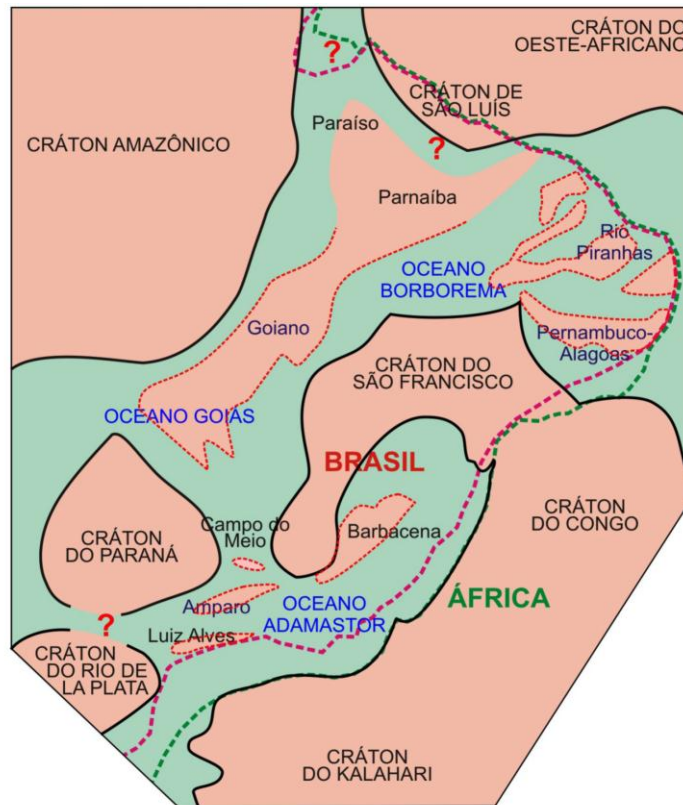


Fonte: Retirado de Hasui (2010).

O processo de colagem Brasiliana-Panafricana, entre os continentes Sulamericano e Africano, ocorreu com a interação entre os crátons São Francisco, Amazônico, Paraná, Congo e Kalahari, gerando o fechamento dos oceanos mesoproterozoicos Adamastor, Goiás e Borborema, e a estruturação dos grandes sistemas orogênicos brasileiros, como Mantiqueira, Tocantins e Borborema, no Neoproterozoico (Figura 5 – HEILBRON *et al.*, 2004; HASUI, 2010). Concomitante a formação do Gondwana, segundo Hasui (2010), os continentes

Laurentia, Báltica, Sibéria, Sudeste Asiático, se espalharam e voltaram a se agrupar no Triássico para formar o Pangea.

Figura 5 - Os continentes (crátons) e oceanos do Neoproterozoico no Brasil.



Fonte: Hasui (2010).

Sob o ponto de vista do contexto geotectônico regional, a área de estudo pertence ao Sistema Orogênico Mantiqueira, que compreende um conjunto de orógenos justapostos diacronicamente, cujo registro reflete a atividade tectônica do Neoproterozoico ao início do Paleozoico. Esses orógenos são representados pelos cinturões de dobramentos Araçuai, Ribeira, Dom Feliciano, São Gabriel, e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira (Figura 6 – HEILBRON *et al.*, 2004).

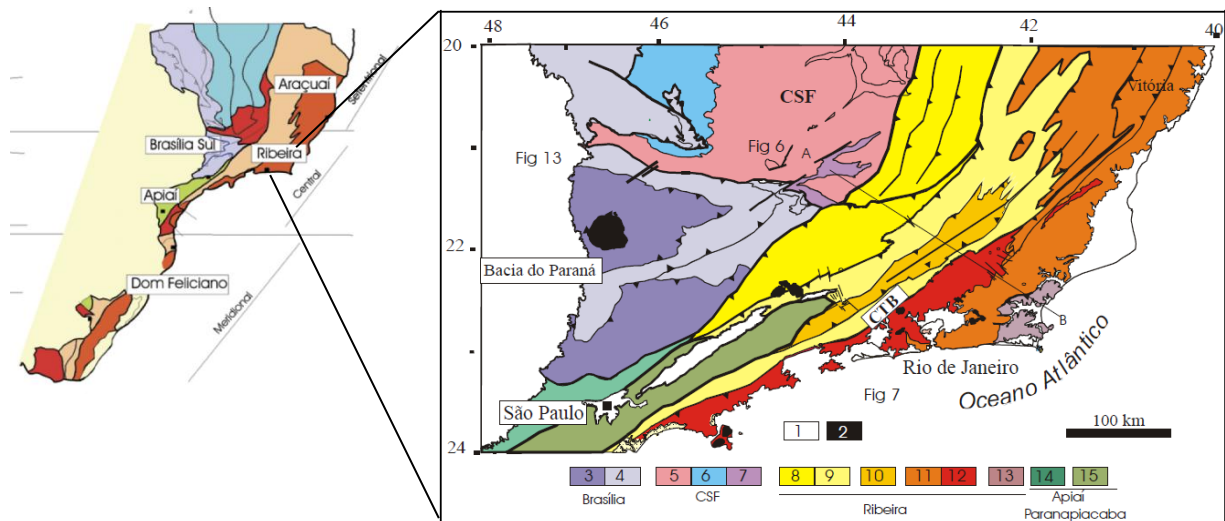
2.2. Faixa Ribeira – Compartimentação e contexto geológico

A área de estudo está situada na Faixa Ribeira, componente do sistema orogênico Mantiqueira, localizada a sul do Cráton de São Francisco. Este sistema se estende na direção NNE-SSW por mais de 3.000 km, ao longo da região sudeste do Brasil, fazendo limite com

as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná, e à leste, pela margem continental e bacias costeiras (BIZZI *et al.*, 2003).

No breve contexto geotectônico apresentado anteriormente para a evolução dos supercontinentes e formação dos grandes registros orogênicos, a Faixa Ribeira se insere como um Órogeno derivado do processo de fechamento do oceano mesoproterozoico Adamastor, seguida da colisão das massas continentais, representadas principalmente pelo Cráton do São Francisco e o Cráton do Congo, durante o Evento Brasileiro, no Neoproterozoico (BIZZI *et al.*, 2003). Esta faixa compreende uma série de terrenos tectônicos, separados por falhas de empurrão e zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas, empilhados em direção a margem do Cráton de São Francisco (HEILBRON *et al.*, 2000; HEILBRON *et al.*, 2004).

Figura 6 – Subdivisão do Sistema Orogrênico Mantiqueira com destaque para a compartimentação da Faixa Ribeira e localização da área de estudo, dentro do item 9.



Legenda-1- Riftes Cenozoicos; 2- Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília (3-4): 3- Nappes Inferiores; 4- Nappes Superiores; 5- Embasamento do CSF e domínio autóctone; 6- Supergrupo São Francisco; 7- Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13): 8- Domínio Andrelândia e 9- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10- Klippe Paraíba do Sul; 11- Terreno Oriental; 12- Granitóides do Arco Magmático Rio Negro; 13- Terreno Cabo Frio; Orógeno Apiaí/Paranapiacaba (14-15): 14- Terrenos São Roque e Açunguá; 15- Terreno Embu.

Fonte: Adaptado de Heilbron *et al.*, 2007.

A compartimentação tectônica atual proposta para o segmento central da Faixa Ribeira foi apresentada por Heilbron *et al.* (2000, HEILBRON *et al.*, 2004), onde são definidos quatro terrenos tectono-estratigráficos denominados como Klippe ou Terreno Paraíba do Sul, Terreno Oriental, Terreno Ocidental e Terreno Cabo Frio. Estes terrenos foram empilhados

em direção ao Cráton de São Francisco durante os eventos orogênicos ocorridos entre 605 e 520 Ma, quando por fim ocorreu a colagem do Terreno Cabo Frio (SCHMITT *et al.* 2004).

O Terreno Paraíba do Sul é representado por ortognaisses do Complexo Quirino, e a cobertura apresenta metassedimentos do Grupo Paraíba do Sul. Estes metassedimentos são representados por sillimanita granada-biotita gnaisses e níveis de leucossoma granatífero.

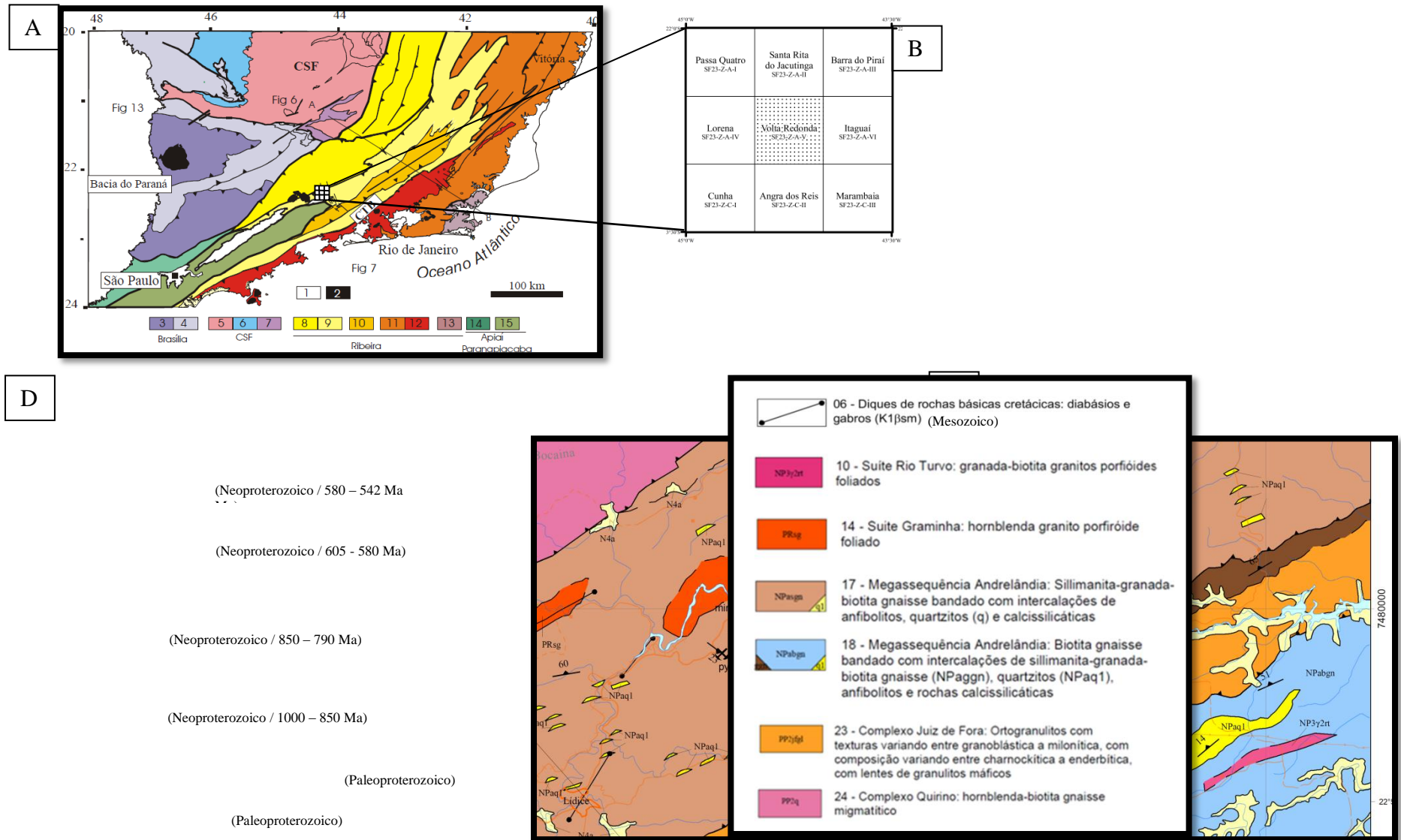
O Terreno Oriental compreende três domínios tectônicos representados por Cambuci, Costeiro e Klippe de Italva associados ao desenvolvimento de arcos magmáticos neoproterozoicos. Os Domínios Cambuci e Italva representam as bacias ante-arco e retro-arco, respectivamente, enquanto o Domínio Costeiro aloja o Arco Magmático Rio Negro. A porção metavulcanossedimentar da Klippe Cambuci é representada pela Unidade Cambuci, constituído por gnaisses associados a rochas metamáficas, gonditos, rochas calcissilicáticas e mármores dolomíticos. Esta sucessão de rochas abrangem uma sucessão metavulcanossedimentar metamorfisada em fácies anfíbolito alto a granulito, cortada por rochas granitóides (HEILBRON *et al.*, 2007).

O Terreno Ocidental compreende os domínios Juiz de Fora e Andrelândia. Abrange intercalações tectônicas entre as rochas do embasamento pré-1,7 Ga (Complexo Juiz de Fora) e os metassedimentos neoproterozoicos da Megassequência Andrelândia, metamorfisados em fácies Anfíbolito Superior a Granulito. É interpretado como margem passiva do Cráton São Francisco retrabalhado (HEILBRON *et al.*, 2007).

A região onde o presente trabalho foi calcado, se insere no contexto da Faixa Ribeira, no Terreno Ocidental (Figura 7), particularmente na porção definida como Megassequência Andrelândia, onde são encontrados litotipos metapelíticos de alto grau, constituídos por granada-biotita gnaisses bandados, às vezes com sillimanita, apresentando intercalações com rochas manganesíferas, biotita gnaisses bandados, rochas calcissilicáticas, quartzitos e granada-plagioclásio gnaisses.

As rochas deste domínio representam uma cobertura metassedimentar cuja fonte aponta idade paleoproterozoica, com menores contribuições de sedimentos Arqueanos, Meso e Neoproterozoicos (VALLADARES *et al.*, 2001, 2004; VALERIANO *et al.*, 2004). Estão relacionadas à sedimentação marinha em ambiente profundo, que posteriormente foi amalgamada no processo Orogênico que resultou na estruturação da Província Mantiqueira.

Figura 7 – Mosaico de figuras mostrando mostrando a área de estudo.



Legenda: A) arcabouço tectônico da Faixa Ribeira exibindo a articulação dos Mapas geológicos na região; B) Articulação das Folhas, com ênfase para a folha central; C) Mapa geológico da Folha Volta Redonda 1:100.000 (HEILBRON *ET AL.*, 2007); e D) Recorte do Mapa geológico da Folha Volta Redonda 1:100.000, mostrando a área de estudo.

Fonte: Mapa geológico da Folha Volta Redonda 1:100.000 (HEILBRON *ET AL.*, 2007)

3. PRINCIPAIS DEPÓSITOS SULFETADOS EM ZINCO E CHUMBO

3.1. Origem da mineralização e tipos de depósitos

Os elementos químicos zinco e chumbo fazem parte, juntamente com o cobre, do seletto grupo denominado metais base. Sua deposição está relacionada a diversos parâmetros físico químicos, que incluem a temperatura, pressão, pH e estado de oxidação. Esses elementos são encontrados principalmente sob a forma de sulfetos, mas também podem ocorrer na forma de óxidos, carbonatos e silicatos de Zn e Pb, como pode ser observado na tabela 1. Os minerais primários, esfalerita e galena, respectivamente, constituem os principais sulfetos em depósitos metalíferos associados ao zinco e chumbo. Entretanto, outras formas primárias podem ocorrer na forma de silicatos como a willemita, hemimorfita, ou na forma de óxidos como a zincita, ou ainda como espinélios, no caso da gahnita e franklinita. As formas secundárias aparecem geralmente na forma de carbonatos e também silicatos de Pb e Zn, nessa ordem, cerussita, smithsonita, hidrozincita e hemimorfita. Em menor abrangência ocorrem também como sulfato, fosfato, vanadato e molibdato os seguintes minerais: anglesita, piromorfita, vanadinita e wulfenita (MCQUEEN, 1995).

Tabela 1 - Principais minerais de zinco e chumbo.

PRINCIPAIS MINERIAS DE ZINCO E CHUMBO			
MINERAL DE ZINCO	COMPOSIÇÃO	MINERAL DE CHUMBO	COMPOSIÇÃO
<i>Esfalerita</i>	ZnS	<i>Galena</i>	PbS
<i>Willemita</i>	(Zn ₂ SiO ₄)	<i>Cerussita</i>	PbCO ₃
<i>Smithsonita</i>	(ZnCO ₃)	<i>Anglesita</i>	PbSO ₄
<i>Hemimorfita</i>	(2ZnO.SiO ₂ .H ₂ O)	<i>Piromorfita</i>	Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl
<i>Wurtzita</i>	(Zn,Fe)S	<i>Vanadinita</i>	Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl
<i>Franklinita</i>	(Zn,Mn)Fe ₂ O ₄	<i>Crocroíta</i>	PbCrO ₄
<i>Hidrozincita</i>	[Zn ₅ (OH) ₆ (CO ₃) ₂]	<i>Wulfenita</i>	Pb(MoO ₄)
<i>Zincita</i>	(ZnO)		
<i>Gahnita</i>	ZnAl ₂ O ₄		

Fonte: A autora, 2013.

A mineralização de zinco e chumbo está presente em diversos tipos de rochas, em proporções variáveis, como resultado de processos magmáticos, processos exalativos ou por processos sedimentares.

3.2. Modelos metalogenéticos

A formação da mineralização sulfetada com filiação magmática envolve a imiscibilidade de líquidos, onde os minerais de minério se separam da massa fundida por um mecanismo peculiar, tal como cristalização fracionada ou fluxo dinâmico. Deste modo, os depósitos derivados deste processo são denominados como do tipo Sulfetos Maciços Vulcanogênicos (do inglês *Volcanogenic Massive Sulphide*, VMS), que apresentam como característica marcante a mineralização encerrada tanto em rochas vulcânicas, rochas piroclásticas e outras rochas associadas (FRANKLIN *et al.*, 2005; RIABI & THEART, 2010), como também em rochas sedimentares passando a ser chamado de tipo Sedimentar Exalativo (SEDEX). Estes depósitos compreendem principalmente os elementos Zn, Cu, Pb, Ag e Au (FRANKLIN & HANNINGTON, 2002; GALLEY *et al.*, 2007).

Os depósitos mineralizados em Pb e Zn referente ao sistema hidrotermal podem ocorrer também controlados por fraturamentos e falhas, exibindo um sistema de veios ou *stockworks*. Assim como podem ocorrer na forma de depósitos de substituição, onde grande parte dos fluidos hidrotermais circulantes reagem com a rocha encaixante, ocorrendo assim a transferência e/ou substituição de elementos, como no caso dos depósitos epigenéticos do tipo *Mississippi Valley* (MVT - WILLIAM-JONES *et al.*, 1992). Em outros casos, a deposição de sulfetos pode estar relacionada a circulação de águas provenientes de salmouras, neste caso, associada a rochas sedimentares porosas, como em alguns depósitos do tipo MVT (AYUSO *et al.*, 1987).

Em terrenos metamórficos podem ocorrer depósitos com filiação hidrotermal, sendo contudo relacionados a sistemas de veios estruturalmente controlados de caráter epigenético (MCQUEEN, 1995).

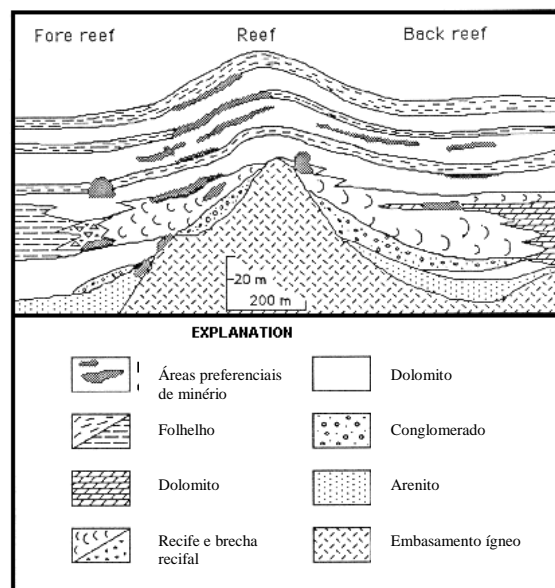
Existem diversos modelos genéticos para a geração de depósitos mineralizados em zinco e chumbo, relacionados a diferentes paleoambientes e processos. Os depósitos sulfetados pertencentes ao ambiente sedimentar, apesar de ocorrerem em coexistência num único paleoambiente, podem ser gerados por diferentes processos mineralizadores, sendo então englobados em modelos metalogenéticos específicos, como é o caso dos modelos detalhados a seguir.

3.2.1. Modelo Mississippi Valley type (MVT)

O modelo conhecido como *Mississippi Valley type* (MVT) compreende depósitos epigenéticos *stratabounds* mineralizados em Pb e Zn, com típica associação de elementos compreendendo Pb-Zn-Fe±Ag-Cu-Ba, formados em ambiente de plataforma continental estável. De uma maneira geral, está relacionado a formações carbonatadas, junto a barreira de recifes ou paleoaltos desenvolvidos no embasamento.

Os depósitos MVT estão comumente relacionados a recifes e/ou paleoaltos do embasamento (Figura 8), onde os minerais de minério galena, esfalerita e calcopirita encontram-se hospedadas em calcarenitos e brechas sedimentares carbonáticas, e localmente podem ocorrer também em dolomitos, arenitos, conglomerados e folhelhos carbonáticos, a exemplo dos depósitos de Missouri (BRISKEY, 1986; LEACH & SANGSTER, 1993).

Figura 8 - Seção esquemática do depósito de Pb-Zn SE de Missouri.

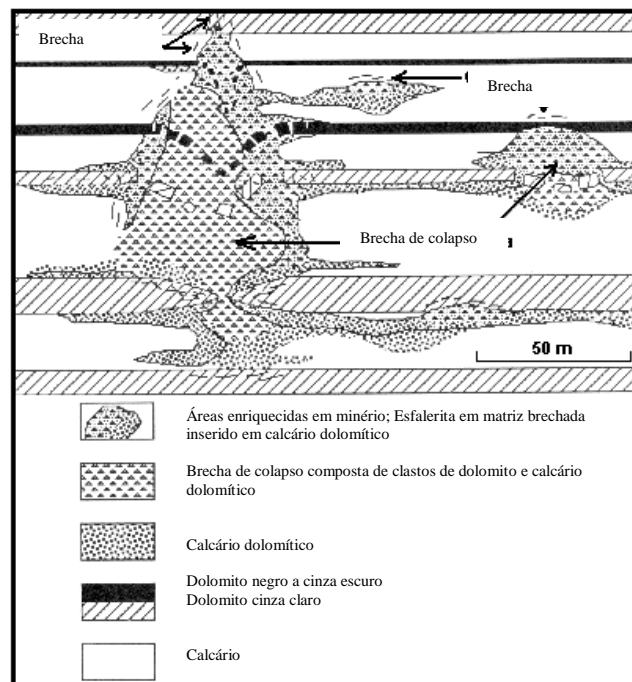


Fonte: Retirado e adaptado de BRISKLEY, 1982.

Uma variedade do modelo MVT pode ser encontrado na região dos Apallaches, compreendendo esfalerita, barita, fluorita, subordinadamente, pirita, gipsita, anidrita, e pontualmente galena, ocorrendo hospedado em dolomitos e calcários (Figura 9), se desenvolvendo principalmente em brechas distribuídas ao longo de zonas de falha (WILLIAM-JONES *ET AL.*, 1992; ALLDRICK & SANGSTER, 2005).

Outro importante depósito epigenético, conhecido como tipo Irlandês ou *Tynagh*, pode ser relacionado neste trabalho. Este se trata de um depósito que apresenta características tanto dos depósitos tipo MVT quanto dos depósitos Sedimentares Exalativos (SEDEX), ocorrendo associado a rochas sedimentares marinhas, químicas e rochas vulcânicas, que incluem folhelhos, siltitos, arenitos, cherts, dolomitos, calcário micrítico, turbiditos e localmente evaporitos, rochas vulcânicas, tufitos, brechas de escorregamento e conglomerados, sendo geralmente associadas com falhas sinsedimentares. A mineralização é constituída principalmente por pirita, pirrotita, esfalerita, galena e esporádica barita e calcopirita (SANGSTER, 1995; HITZMAN, 1996; HITZMAN & BEATY, 1996; HITZMAN, 1999).

Figura 9 - Seção esquemática do depósito de Pb-Zn mostrando a relação do minério de zinco com a brecha de colapso e os calcários dolomitizados no Distrito Cidade Mascott-Jefferson, Tennessee.



Fonte: Retirado e adaptado de ARMSTRONG & LAWRENCE, 1983.

3.2.1.1. Características gerais do minério e controle da mineralização

A mineralogia do minério é composta principalmente por galena e esfalerita, fluorita e barita, podendo conter até 30 ppm Ag, e secundariamente calcopirita (BRISKEY, 1982). As rochas mineralizadas são comumente dolomitos, calcários, ou calcários dolomíticos, relacionados geralmente a ambientes de maré, onde complexos recifais podem ser desenvolvidos, em plataforma continental estável. Localmente o minério pode ser encontrado em arenitos, conglomerados ou folhelhos carbonáticos.

Os sulfetos podem ocorrer disseminados entre os fragmentos de brechas, depositados como camadas em cima de fragmentos ou preenchendo os poros da rocha. A precipitação é usualmente na ordem de pirita (marcassita) → esfalerita → galena. A ganga da mineralização é constituída por dolomita, marcassita, pirita, quartzo, calcita e gipsita. Embora alguns distritos MVT exibam um zoneamento metálico, esta não é uma característica comum (ALLDRICK & SANGSTER, 2005).

Dentro da zona mineralizada é comum, praticamente em todos os depósitos MVT, ocorrerem alterações nas rochas carbonáticas, tais como dissolução, recristalização e brechação hidrotermal. Estes efeitos podem ser desenvolvidos em conjunto com silicificação e/ou dolomitização, acarretando o preenchimento dos poros da rocha encaixate e limitação da mineralização (LEACH & SANGSTER, 1993).

O controle da mineralização é geralmente litológico, influenciado principalmente pela porosidade pré-existente nas rochas, além de estar presente dentro de brechas ou paleocarstes desenvolvidos em carbonatos litificados. Todavia, em muitos depósitos o controle está associado a existência de discordâncias, características de terrenos cársticos. Alguns depósitos são localizados entre fácies situadas no limiar entre a plataforma carbonática e os folhelhos baciais. Em minoria, brechas de falha e recifes permeáveis podem ser encontrados mineralizados (ALLDRICK & SANGSTER, 2005).

3.2.1.2. Ambientes de geração dos fluidos mineralizadores

O modelo de formação mais aceito dos depósitos do tipo MVT, corresponde às soluções provenientes de ambientes evaporíticos, com a movimentação dos fluidos através de aquíferos ou falhas (ALLDRICK & SANGSTER, 2005). Com isso, dois processos principais têm sido propostos para mover as soluções contendo o minério:

- a) Compactação de aquíferos subterrâneos devido ao peso das camadas sobrepostas, promovendo a expulsão dos fluidos evaporíticos baciais nos interstícios do reservatório;
- b) Gravidade, através da circulação de águas subterrâneas, onde os fluidos salinos de subsuperfície fluem das áreas de recarga para áreas de descarga.

3.2.1.3. Aspectos geoquímicos e considerações sobre as jazidas

As assinaturas geoquímicas para Zn e Pb são facilmente detectáveis em solos residuais e sedimentos de corrente, sendo encontrados em associação com Cu, Mo, Ag, Co, Ni, Cd, Mg, F (ALLDRICK & SANGSTER, 2005).

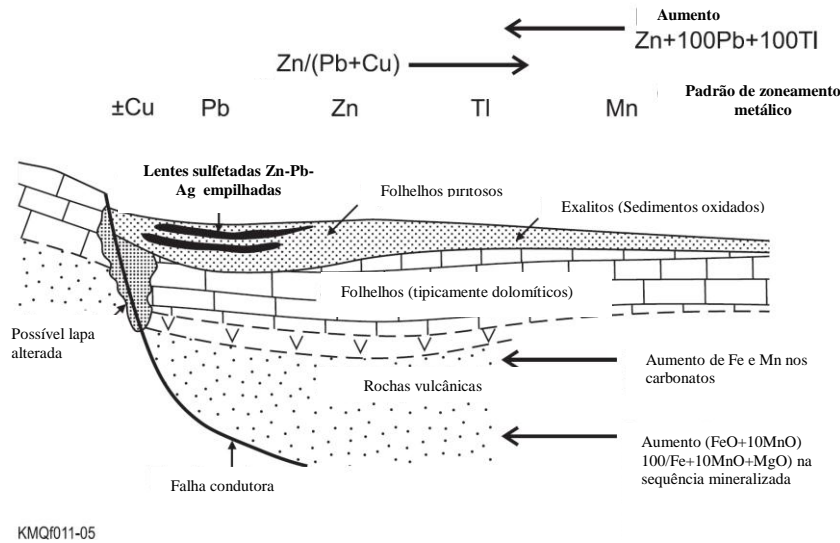
A maioria dos depósitos são pequenos, entre 1 a 10 Mt. Grande parte dos depósitos apresenta maior quantidade de zinco. O teor de prata não é frequentemente referido, uma vez que tipicamente ocorre apenas em solução sólida com os sulfetos.

Os depósitos MVT tendem a ocorrer em grupos, geralmente referidos como distritos. O distrito de Pine Point, por exemplo, contém mais de 80 depósitos, o distrito de Mississippi Valley mais de 400. Depósitos em tais distritos, portanto, pode conter coletivamente tonelagens extremamente grandes. Dos depósitos do distrito de Pine Point (Canadá), 40 foram minerados produzindo um total de 80 milhões de toneladas com 6,5% de Zn e 3% de Pb. O maior depósito (X15) continha 17,4 milhões de toneladas e o mais rico depósito (N81) produziu 2,7 milhões de toneladas de minério com 12% de Zn e 7% de Pb (ALLDRICK & SANGSTER, 2005).

3.2.2. Modelo Sedimentar Exalativo (SEDEX)

O modelo Sedimentar Exalativo abrange depósitos mineralizados em Zn e Pb, formados em bacias marinhas intracratônicas ou epicratônicas, onde o fluido mineralizante é derivado, originamente, de exalações submarinas, estando intimamente associado a sedimentação química (BIONDI, 2003). A mineralização é normalmente singenética e o padrão de dispersão tende a ser maior ao longo da camada e limitada na vertical. Os corpos de minério são geralmente tabulares e estratiformes e são localizados em pequenas sub-bacias controladas por falhas próximos às margens dos depocentros principais. Apresentam zoneamento lateral definido por Cu-Fe > Pb > Zn (Figura 10).

Figura 10 – A mineralização sulfetada em Zn-Pb-Ag e o zoneamento lateral dos elementos presentes em alguns depósitos do Tipo SEDEX.



Fonte: Adaptado de Large & McGoldrick, 1998.

Os minerais de minério compreendem comumente esfalerita, galena, pirita, marcassita e pirrotita. Subordinadamente contém calcopirita, arsenopirita e tetrahedrita. Os minerais que constituem a ganga da mineralização são os sulfetos de ferro, pirita, marcassita e em menor quantidade pirrotita e barita.

Os depósitos mundialmente conhecidos como (Cu, Zn-Pb) tipo McArthur River, Century, Mt. Isa, Hilton e George Fisher são classificados como depósitos do tipo SEDEX mineralizados em Zn-Pb-Ag. Nos depósitos de Cu, Zn-Pb de McArthur River (Austrália), os minerais de minério compreendem pirita, esfalerita, galena e calcopirita, ocorrendo intercalados em dolomitos e folhelhos carbonosos com contribuições tufáceas. O minério apresenta variação lateral em razão da solubilidade e temperatura, onde os teores de Cu são aparentemente maiores próximo da falha, enquanto os valores de Pb e Zn tendem a ser maiores em posições distais (GARVEN *et al.*, 2001; LARGE *et al.*, 2005).

Outros exemplos do tipo SEDEX podem ser encontrados hospedados em rochas sedimentares marinhas, geralmente em bacias intracratônicas ou epicratônicas. A mineralização ocorre em folhelhos carbonosos carbonáticos e cherts, como por exemplo os depósitos de Sullivan (British Columbia), folhelhos dolomíticos ou siltitos em Mount Isa (Austrália) e Silvermines (Irlanda), e calcários micríticos em Meggen (Alemanha) e Tynagh (Irlanda). Estão associadas a este depósitos sequências espessas de conglomerados, arenitos

ou siltitos, e rochas vulcânicas máficas ou félsicas. Turbiditos e brechas de escorregamento podem estar localmente presentes, além de tufos vulcânicos (SANGSTER, 1990).

A hipótese sugerida para a origem dos fluidos mineralizados em Pb e Zn, dos depósitos do tipo SEDEX, deriva da circulação de soluções provenientes de salmouras marinhas (LARGE *et al.*, 2005). Entretanto, apesar da importância dos fluidos salinos, a fonte do sal ainda é pouco compreendida.

3.2.2.1. Aspectos geoquímicos e parorrama das jazidas

As sequências que hospedam os depósitos estratiforme de Zn-Pb-Ag possuem valores anômalos em Pb, Zn, Fe e Mn, compreendendo uma associação de elementos que inclui basicamente Ba, As, Sb, Bi, Cd, Hg e In (MAYNARD, 1983; LARGE & MCGOLDRICK, 1998). Concentrações anormais de prata \pm arsênio e antimônio em minerais sulfossais e de manganês são também comuns nesses depósitos (MAYNARD, 1983).

Os depósitos do tipo sedimentar exalativo são responsáveis por mais de 50% das reservas de zinco (Zn) e chumbo (Pb) no mundo e fornecem mais do que 25 % da produção mundial destes dois metais (GOODFELLOW & LYDON, 2007). Mais de 129 depósitos deste tipo são reconhecidos em bacias sedimentares ao redor do mundo.

Os maiores depósitos deste tipo são, respectivamente em ordem decrescente, Bacia McArthur - Mt. Isa (7 depósitos, totalizando 112 milhões de toneladas de Zn + Pb metal), Bacia Selwyn (17 depósitos, totalizando 55 milhões de toneladas), Brooks Range (três depósitos no total de 40 milhões de toneladas), Rajasthan (5 depósitos totalizando 20 milhões de toneladas), Belt-Purcell (um depósito com 19 milhões de toneladas), e da Bacia Rhenish (2 depósitos, totalizando 11 milhões de toneladas (LEACH *et al.*, 2005; GOODFELLOW & LYDON, 2007).

3.2.3. Modelo Broken Hill

As mineralizações sulfetadas em Pb, Zn, Ag do tipo Broken Hill são consideradas como depósitos estratiformes *stratabounds* de grandes dimensões, tanto em espessura quanto em extensão lateral, hospedados dentro de uma sucessão de rochas sedimentares clásticas e químicas, submetidas a eventos de deformação regional e metamorfismo de fácies anfibolito superior a granulito (PLIMER, 1979; BEESON, 1990; PARR, 1994; MORLAND & WEBSTER, 1998).

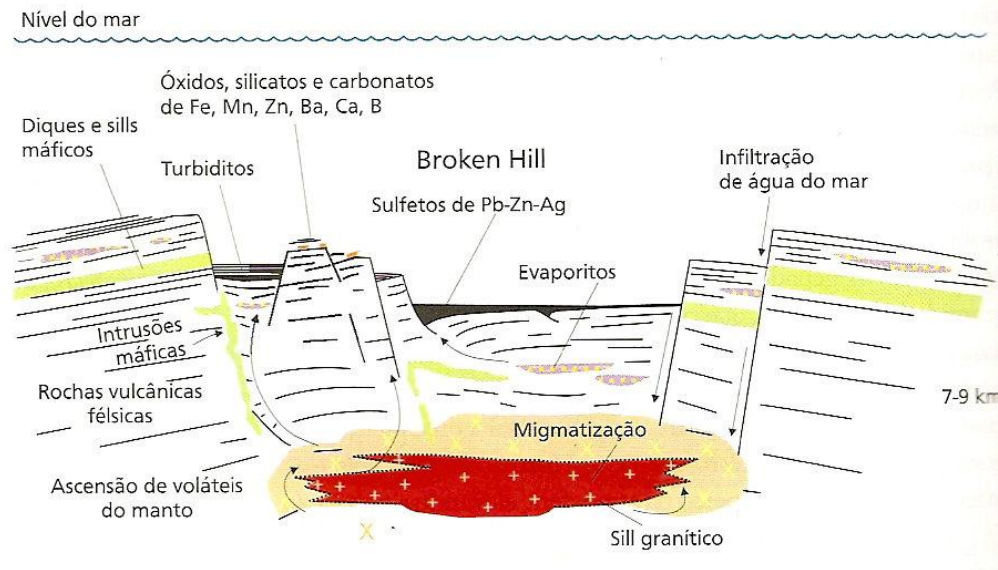
Os depósitos de Broken Hill encontram-se encerrados numa suíte metamórfica pertencente ao Grupo Broken Hill (Supergrupo Willyama), que compreende rochas metassedimentares consideradas como provenientes de turbiditos plataformais distais retrabalhados (Figura 11). O ambiente precursor para deposição dessas rochas ainda é controverso, entretanto, têm sido interpretado como originado numa bacia marinha de mar epicontinental ou numa bacia tipo rift intracontinental (PARR & PLIMER, 1993; PAGE *et al.* 2005), enquanto a fluido mineralizado se caracteriza como um misto de composição exalativa e evaporítica (PARR & PLIMER, 1993).

A mineralização sulfetada está hospedada predominantemente em gnaisses quartzo-feldspáticos de protólito psamítico, constituído essencialmente por quartzo, feldspato, granada, biotita e anfibólio, associados diretamente à granada-biotita gnaisses, sillimanita granada-biotita gnaisses, anfibólitos, rochas exalativas e subordinadamente formações ferríferas bandadas. (PARR & PLIMER, 1993; PARR, 1994). Os exalitos incluem cherts, gonditos, quartzitos com magnetita e granada, quartzitos com gahnita, rochas ricas em bário, rochas calcissilicáticas, rochas carbonatadas manganésíferas e turmalinitos (WILLIS *et al.*, 1983).

O minerais de minério são representados pela galena argentífera, esfalerita e subordinadamente pirrotita, calcopirita e arsenopirita. A ganga consiste predominantemente em quartzo, granada, gahnita, fluorita, calcita, rodonita, bustamita, hedembergita e apatita . Os depósitos exibem um zoneamento em escala regional, porém não muito definido, onde encontra-se zinco ocorre nas porções inferiores da rocha hospedeira (WALTERS, 1995).

A estruturação deste depósito é extremamente complexa, compreendendo 5 fases de deformação, sendo as quatro primeiras referente a dobramentos e o último evento envolve cisalhamento. O pico do metamorfismo resultou na remobilização maciça dos sulfetos para o eixo das dobras, e em eventos retrometamórficos tardios associados com zonas de cisalhamento, os sulfetos foram reprecipitados em zonas de falhas (PLIMER, 1979).

Figura 11 – Esquema para o processo geológico que gerou o depósito de Pb, Zn, Ag de Broken Hill. Fluidos emitidos e mobilizados pelos granitos dissolveram e carregaram metais e enxofre de evaporitos.



Fonte: BIONDI, 2003.

3.2.3.1. Aspectos geoquímicos e comparativo com os depósitos do tipo SEDEX

Nos depósitos de Broken Hill, as zonas enriquecidas em Fe, Si, Mn, Ca, P, F, K e carbonato podem representar guias de exploração, relacionando tanto a proximidade quanto indicar as dimensões do depósito. De acordo com Walters (1995), o grande enriquecimento em Ca-Mn-F, associação com rochas calcissilicáticas, indicam a proximidade com as maiores ocorrências mineralizadas, enquanto a predominância de Fe-Si-Mn caracteriza depósitos com menores ocorrências nos distritos BHT. A associação de elementos menores incluem Cu, Au, Bi, Sb, W, Co e As.

Muitas características dos depósitos de Broken Hill são similares aos depósitos tipo SEDEX, entretanto algumas diferenças podem ser observadas na Tabela 2, que inclui principalmente, a possível associação com rochas vulcânicas, ocorrência de magnetita e química com altos teores de F, Mn, P, Ca e Mg, e baixo conteúdo de sulfeto de ferro (GOODFELLOW *et al.*, 1993).

Tabela 2 – Comparação das principais características dos depósitos Proterozoicos Australianos SEDEX e depósitos BHT.

Características	SEDEX	BHT
Exemplos	Mc Arthur River, Mt. Isa, George Fisher, Century, Lady Loretta	Broken Hill, Cannington
Metamorfismo	Baixo a alto grau	Alto a muito alto
Conteúdo da mineralização	Folhelhos negros, carbonatos	Metapelitos, arenitos, metavulcânicas (anfíbolitos)
Conteúdo de metais	Comumente Zn > Pb; baixo a moderado teor de Ag	Comumente Pb > Zn; baixo teor de Ag
Tamanho do sulfeto	Fino a grosso	Grosso
Abundância de pirita	Menor a maior, comumente py > sp, ga	Menor; comumente sp, ga > py
Abundância de Magnetita	Ausente a baixa	Baixa a alta
Associação de elementos	Mg, Fe, Ba, Mn, CO ₂ , Ti	Ca, Fe, Mn, Si, P, F
Isótopos de Pb	Homogênea, fonte crustal	Homogênea, fonte mantélica
Rocha hospedeira (estado redox)	Reduzida	Mistura de oxidada e reduzida

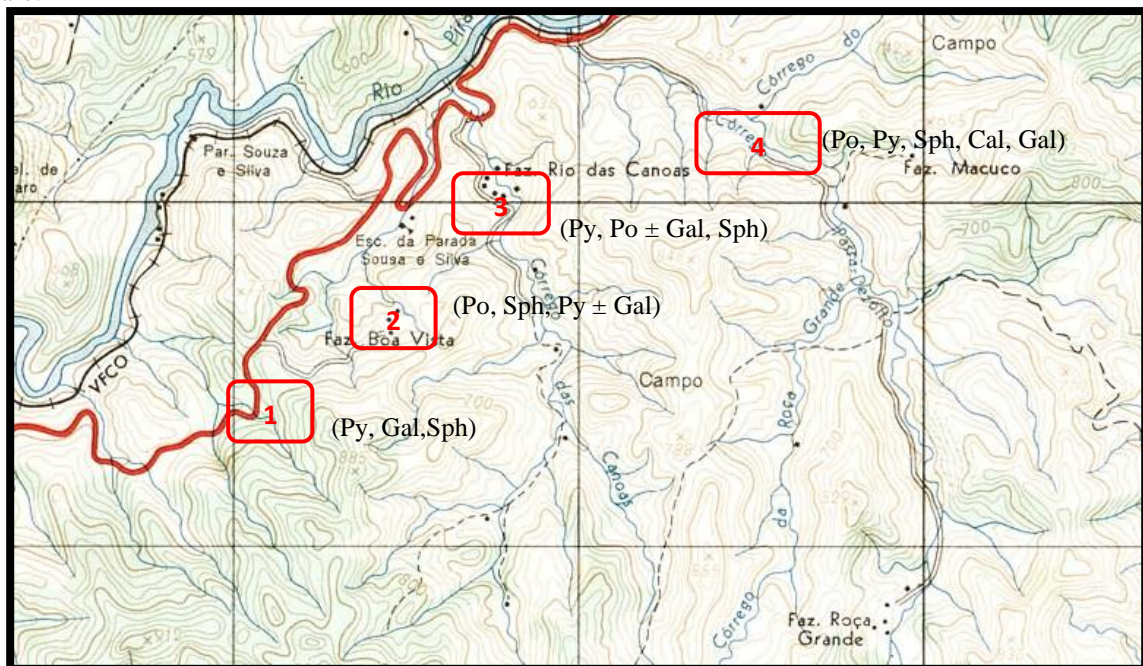
Adaptado e Modificado de LARGE *et al*, 2005.

4. BREVE HISTÓRICO SOBRE A MINERALIZAÇÃO SULFETADA DE RIO CLARO

O depósito de pirita de Rio Claro é conhecido desde a década de 30 do século passado, quando foi aberta na região uma mina para exploração desse mineral. A área tem sido estudada desde então.

Pesquisas da década de 70, realizadas pela empresa RIOFINEX, com interesse na mineralização de pirita e outros metais base em geral, foram efetuadas, principalmente, nas áreas de Colengo, Córrego Paraguay, Rio das Canoas e Córrego Passa Dezoito (Figura 12). Neste trabalho, as mineralizações sulfetadas são enquadradas numa sequência litoestratigráfica metassedimentar, constituída basicamente por quartzitos, rochas calcissilicáticas e Quartzitos carbonáticos.

Figura 12 - Localização das principais áreas pesquisadas para sulfetos de Pb-Zn pela Riofinex, na região de Rio Claro.



Legenda: (1) Córrego do Paraguay; (2) Colenga; (3) Rio das Canoas e (4) Passa Dezoito. Siglas: Py=Pirita; Po=Pirrotita; Sph= Spheno (esfalerita); Gal=Galena; Cal=Calcopirita.

Fonte: Adaptado da Folha topográfica Mangaratiba.

4.1. Estudos realizados na área

Estudos realizados na década de 30 por Abreu & Oliveira (1934), sobre as piritas da Fazenda Rio das Canoas, resultaram na caracterização do depósito como de origem hidrotermal. Entretanto, Sousa (1939) sugeriu que o depósito em questão teria sido originado por metamorfismo de contato. Neste caso, associado a mineralização preenchendo preferencialmente fraturas. Este autor, sugeriu ainda, que a sua origem estaria relacionada à intrusão de um plúton granítico nas lentes calcárias presentes, produzindo assim escarnitização do pacote e subsequente acreção de sulfetos.

Na década seguinte, Leonardos (1942) mencionou em seus estudos, sobre a mineralogia do minério e das rochas encaixantes, que o depósito estaria associado ao hidrotermalismo derivado do metamorfismo de contato (skarns).

Suszczynsky (1975), diferentemente de todas as proposições anteriores sobre a origem do depósito, propôs que a unidade calcária mineralizada seria controlada estratigraficamente, assinalando que a deposição dos sulfetos teria caráter singenético, assim como destaca Fonseca et al. (1979) em seu trabalho.

Com base em análises geofísicas, químicas e petrológicas, a Riofinex (1977) indicou um controle estratigráfico para as mineralizações, onde os sulfetos ocorrem restritos às camadas de quartzitos carbonáticos. A partir disso, sugeriu que a origem da mineralização seria epigenética, semelhante ao modelo genético Mississippi Valley, metamorfisado em alto grau, citando como exemplo os depósitos pertencentes ao Distrito de Belmont-Eduards (NY, USA). Em adição, Chaves (1987) concorda que a mineralização teria controle estratigráfico, no entanto, sugere caráter singenético para as mineralizações sulfetadas, tomando como exemplo os depósitos de Broken Hill (South Wales, Austrália).

Embora diversos estudos tenham sido executados na área, permanece ainda em aberto a proveniência do fluido mineralizado responsável pela gênese dos depósitos sulfetados de Rio Claro, RJ.

4.2. Modo de ocorrência do minério

A mineralização em Córrego Paraguay ocorre disseminada ao longo dos quartzitos carbonáticos, constituídos por pirita e menores quantidades de galena e esfalerita. Localmente, foram descritos bolsões de pirita fina conservados numa matriz de argila e limonita, onde foi constatado um teor de 50% de sulfeto de ferro, relacionado possivelmente ao desenvolvimento tardio de veios e filões (RIOFINEX, 1977; CHAVES (1987).

Em Colenga, a mineralização é constituída por pirrotita, esfalerita e pirita, disseminada ao longo dos níveis de quartzito carbonático. Os quartzitos carbonáticos portadores da mineralização apresentam granulação média a grossa, sendo constituídos, fundamentalmente, por calcita, quartzo, diopsídio, e minerais opacos, este último representando os sulfetos finamente disseminados. Subordinadamente, apresentam plagioclásio, ortoclásio, hornblenda, titanita, granada e espinélio verde (RIOFINEX, 1977).

A pirrotita é abundante, entretando, a esfalerita se destaca em alguns níveis, superando em quantidade a ocorrência de pirita. Foram observados veios de quartzo abundantes com galena e pirita. Na área de Rio das Canoas, os minerais de minério compreendem pirita, pirrotita, esfalerita e galena, sendo a ocorrência desses dois últimos pouco significativa. Ao passo que, na área de Passa Dezoito, os sulfetos encontrados são pirrotita, pirita, esfalerita, calcopirita e galena (CHAVES, 1987).

O controle da mineralização é aparentemente litológico, onde a mineralização se encontra restrita a unidade calcária Lídice, encerrada em faixas lenticulares de quartzitos carbonáticos, sempre próximos dos contatos gradacionais com a unidade basal, constituída por granada-biotita gnaisses porfiroblásticos associados a quartzitos, rochas calcissilicáticas e mármores puros, consideradas como lapa da mineralização. Os níveis mineralizados não ultrapassam 3m de espessura, sendo encontrados geralmente entre os biotita gnaisses e camadas de calcissilicática (RIOFINEX, 1977; CHAVES, 1987).

4.3. Aspectos geoquímicos da mineralização

Embora tenha sido alvo de exploração, as ocorrências na área de Rio Claro foram classificadas como não econômicas para Pb-Zn-Ag. Dentre as razões apontadas, constam principalmente os baixos valores desse metais, que apresentam teor médio aproximado de 2% Zn, 0,3% Pb e 50ppm Ag, a pouca espessura e a falta de continuidade das camadas mineralizadas (RIOFINEX, 1977; Chaves, 1987).

Análises obtidas diretamente da zona mineralizada de Colengo (RIOFINEX, 1977) indicaram como elementos maiores Zn (13,0%), Ca (12,4%), Al (1,6%), como elementos menores K (0,92%) e Na (0,56%), Mn (0,43%), Mg (0,23%), P (0,1%), e como elementos traços F, Pb e Ti (valores entre 1520-700 ppm), Cu, Cr, Sr, Ni, V, Co, Ba, Be, Au, Bi e Mo (valores abaixo de 200 ppm).

A partir da revisão dos modelos metalogenéticos MVT, SEDEX e BHT, bem como o estudo das mineralizações sulfetadas da região de Rio Claro, foi possível a elaboração de um

quadro comparativo (Tabela 3), a fim de tornar fácil a compreensão das similaridades e diferenças entre os modelos metalogenéticos supracitados com os depósitos sulfetados de Rio Claro. A correlação se baseia nas principais características dos depósitos, minerais de minério, ganga, associação de rochas, ambiente de sedimentação e assinatura química.

Tabela 3 - quadro comparativo entre os PRINCIPAIS modelos genéticos para Pb-Zn e a mineração sulfetada da região de Rio Claro.

MODELO	MVT (BRISKEY, 1986; LEACH & SANGSTER, 1993)	SEDEX (GARVEN ET AL., 2001; LARGE ET AL., 2005)	BHT (LARGE ET AL, 2005)	SULFETOS DE RIO CLARO (RIOFINEX, 1977; CHAVES, 1987)
MINERAIS DE MINÉRIO	Galena (Ag) e esfalerita, calcopirita, em menor quantidade	Esfalerita, galena, pirita, (marcassita e pirrotita). Subordinadamente contém calcopirita, arsenopirita e tetrahedrita	Esfalerita e galena (Galena argentífera e Ag)	Esfalerita, galena (pirrotita, pirita, calcopirita) Ag
GANGA DO MINÉRIO	Dolomita, marcassita, pirita, quartzo, calcita e gipsita	Pirita, marcassita e menor quantidade pirrotita, quartzo e barita	Quartzo, espessartita e gahnita. Em menores quantidades, moscovita, biotita e piroxênio de manganês	calcita, quartzo e, em menor quantidade, biotita, diopsídio, apatita e grafita.
CARACTERÍSTICAS DA ZONA MINERALIZADA	Alterações típicas nas rochas carbonáticas, tais como dissolução, recristalização e brechação hidrotermal	Zoneamento lateral definido por Cu-Fe > Pb > Zn	Pirrotita é o sulfeto dominante; grafita; Gossans (rico em MnO e Pb); gahnita (espinélio de Zn)	Pirrotita e pirita são os sulfetos dominantes; grafita; Gossans; Barita.
ROCHA HOSPEDEIRA	Dolomitos, calcários, ou calcários dolomíticos, brechas de falha e recifes permeáveis	Folhelhos carbonosos carbonáticos, cherts, folhelhos dolomíticos ou siltitos e calcários micríticos	Gnaisses quartzo-feldspáticos com granada e anfibólio	Mármore quartzíticos e filões quartzo-feldspáticos
ASSOCIAÇÃO DE ROCHAS	Rochas carbonáticas, arenitos, conglomerados e folhelhos bacinais	Conglomerados, arenitos ou siltitos, e rochas vulcânicas máficas ou félsicas. Turbiditos e brechas de escorregamento e tufos vulcânicos	Granada-biotita gnaisses e Sillimanita granada-biotita gnaisses, anfibolitos, rochas exalativas e um pouco de BIF	(Sill) granada-biotita gnaisses, intercalados com quartzitos, magnetita quartzitos , rochas calcissilicáticas
(PALEO)AMBIENTE DEPOSICIONAL	Epigenético - Plataforma continental estável junto a barreira de recifes ou paleoaltos desenvolvidos no embasamento	Singenético e epigenético – bacias marinhas	Singenético e epigenético - bacias marinhas	Singenético – Sabkha marginal influência de maré.
ASSINATURA QUÍMICA	Mo, Ag, Co, Ni, Cd, Mg, F	As, Sb, Bi, Cd, Hg e Ba, Mn e Fe	Mn, Cu, Au, Bi, Sb, W, Co e As	Mn, Fe, F, Ti, Cr, Cu Sr, V, Co, Ba (ppm em ordem decrescente)

5. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

5.1. Aspectos gerais da área

O conjunto litológico encontrado na área de estudo pode ser caracterizado como uma sequência metassedimentar de alto grau metamórfico denominada como Megassequência Andrelândia, inserido no contexto do Terreno Ocidental no Domínio Juíz de Fora (HEILBRON *et al.*, 2000; HEILBRON, *et al.*, 2004).

Em escala de detalhe, diversos estudos foram executados na região, em decorrência, sobretudo, da diversidade de litotipos e do potencial econômico existente na área, visto a ocorrência de sulfetos. Os mapeamentos na escala 1:50.000 representativos da área foram realizados pela Riofinex (1977), Chaves (1987) e por Dios (1995). Na tabela 4 encontra-se uma correlação entre as nomenclaturas utilizadas por diferentes autores.

No trabalho desenvolvido pela Riofinex (1977), a estratigrafia da área de estudo foi dividida em 10 unidades litoestratigráficas, individualizadas mediante critério composicional dos litotipos. Chaves (1987) realizou seu trabalho com base, inteiramente, nas unidades supracitadas, modificando apenas a nomenclatura utilizada. O trabalho de Dios (1995) abrangeu a individualização de 7 litotipos principais, que por sua vez, foi integrado ao Mapa Geológico da Folha Volta Redonda na escala de 1:100.000 (HEILBRON, *et al.*, 2004).

5.2. Descrição das unidades litológicas na área de estudo

Em função dos trabalhos de mapeamento realizados e das características mineralógicas dos espécimes rochosos a partir de descrições macroscópicas e petrográficas em lâmina delgada, tornou-se possível uma melhor caracterização das unidades e litotipos da área. O Esquema Geológico (**APÊNDICE B**) demonstra a distribuição dos litotipos da área.

As unidades litoestratigráficas encontram-se dispostas segundo a direção NE-SW, em concordância à orientação geral da Faixa Ribeira, cujo o mergulho das camadas ocorrem geralmente para a direção NW e NNW, em ângulos que variam entre o intervalo de 20 a 70°. Dobramentos, de escala métrica, são observados apenas nas rochas da Unidade Lídice, como pode ser observado no Mapa Geológico, próximo ao Lineamento de Rio Claro.

Tabela 4 - Correlação entre as nomenclaturas litoestratigráficas definidas na região de Rio Claro.

Compartimentação tectônica (CPRM)		Unidades descritas por RIOFINEX (1977)	Unidades descritas por Chaves (1987)	Unidades descritas por Dios (1995)	Carta geológica Folha Mangaratiba (CPRM - 1973)
D O M Í N I O J U I Z D E F O R A	MEGASSEQUÊNCIA ANDRELÂNDIA			Unidade metaintrusiva Serra do Piloto	Itaocara
	COMPLEXO JUIZ DE FORA	Unidade Lorena	Unidade 1	Unidade migmatítica Macundú	
		Unidade Valadão	Unidade 2	Unidade granulítica Ponte de Zinco	
	MEGASSEQUÊNCIA ANDRELÂNDIA	Unidade São Roque	Unidade 3	Unid. metassedimentar água fria	
		Unidade Quartzitos carbonáticos Lídice	Unidade Lídice	Unid. metassedimentar Lídice	
		Unidade Gnaiss Passa Dezoito	Unidade 5		
		Unid. quartzitos carbonáticos Passa Dezoito	Unidade 6		
		SUÍTE RIO TURVO	Unid. gnaiss pedra branca	-----	
	MEGASSEQUÊNCIA ANDRELÂNDIA	Unidade Monte Alegre-Limeira	Unidade 7	----	
		Unidade Cálcaria Poço Azul	Unidade 8		
	COMPLEXO QUIRINO	Gnaiss Rio Claro	Unidade 9		

A ampla atividade magmática que ocorreu na região, não só foi responsável pela intrusão dos granitos, bem como, pela presença dos pegmatitos (AC-113/085) ricos em turmalina preta (schorlita). Diques de diabásio também são comuns na área, sendo observados cortando todas as unidades, concordando com a orientação dos lineamentos regionais, particularmente, ao lineamento de Rio Claro, de direção NNE-SSW. Essas rochas marcam uma fase mais recente de atividade tectônica regional.

5.2.1. Aspectos estruturais

A estruturação regional das rochas reflete o padrão NE-SW, característico da Faixa Ribeira, onde a foliação é geralmente marcante nas rochas metapelíticas e insipiente nas rochas metapsamíticas. Em adição, é possível observar, em vários pontos, dobras parasíticas, crenulações em gnaisses migmatíticos (Figura 13a), dobras ptigmáticas, mostrando diferenças de competência em gnaisses calcissilicáticos (Figura 13b), bem como dobras abertas em quartzitos da Unidade Lídice Superior (Figura 13c) e dobras recumbentes em quartzitos e calcissilicáticas da Unidade Passa Dezoito (Figura 13d).

Grandes lineamentos predominantes nas direções NW-SE e NNE-SSW são observados na região, muito dos quais, foram aproveitados para a instalação das drenagens locais. A presença de rochas graníticas, associadas a estes lineamentos, pressupõe que alguns deles correspondam a falhas geológicas (ver Esquema Geológico - **APÊNDICE B**).

Figura 13 – Aspectos estruturais das rochas da Unidade Lídice e Passa Dezoito.



Legenda - Mosaico de fotos mostrando em (a) Crenulação em biotita moscovita xisto da Unidade Lídice MédiaII (AC-32); (b) dobras ptigmáticas no quartzito carbonático da Unidade Lídice Superior (AC-196); (c) dobra fechada em quartzito, localizada na porção leste da Unidade Lídice Superior (AC-241); e em (d) dobra recumbente em quartzitos e calcissilicáticas da Unidade Passa Dezoito (AC-230).

Fonte: A autora, 2013.

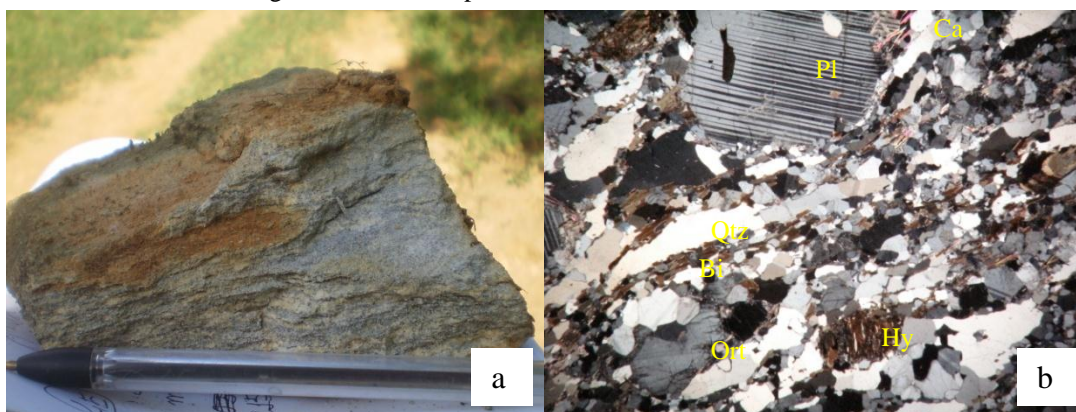
Evidências de zonas de cisalhamento foram também encontradas, a partir da forte deformação observada nas rochas que apresentam feições miloníticas, em escala macroscópica, como granulação muito fina da rocha aliada ao intenso estiramento dos minerais, e microscopicamente, como porfiroclastos de plagioclásio e ortoclásio (Figura 14a/b), quartzo fitado apresentando extinção ondulante, e esteiras de subgrãos (ex. Ponto AC-103, AC-105, AC-108, AC-244), aspectos intrínsecos a deformação intracristalina.

Na porção extrema oeste, da folha Mangaratiba, destaca-se um grande lineamento denominado como Lineamento de Rio Claro. Tal feição corresponde a uma descontinuidade que separa a oeste um conjunto de rochas de características diferentes das encontradas a leste, havendo a possibilidade desta estrutura representar uma zona de falha.

Os trabalhos de campo realizados para a presente dissertação, na região situada entre Lídice e o centro de Rio Claro, abrangeu cerca de 120 km². Após os primeiros trabalhos de campo, onde procurou-se checar as áreas onde ocorrem os diferentes tipos litológicos e os

contatos entre as unidades consideradas pela Riofinex (1977) e Chaves (1987), considerando como mais condizente aos objetivos do presente trabalho, a base cartográfica geológica realizada pela Riofinex (1977). Desta forma, será utilizada nesta dissertação a nomenclatura definida por esta empresa. Entretanto, embora as denominações propostas pela Riofinex tenham sido mantidas, foram realizadas subdivisões nas Unidades Valadão, São Roque e Lídice.

Figura 14 – Granada-biotita gnaiss estirado, apresentando textura milonítica.



Legenda – (a) Granada-biotita gnaiss estirado, apresentando textura milonítica (Ponto AC-244). Esta rocha ocorre como uma faixa extensa milonítica, que marca o contato entre as unidades Valadão e São Roque, indicando um possível limite tectônico. Em (b) Fotomicrografia de ortogneiss com magnetita (LAM-105) mostrando fitas de quartzo (Qtz) orientadas com biotita (Bt), porfiroclasto de plagioclásio (Pl) rodeado por grãos cominuídos de quartzo e ortoclásio (Ort), e sombra de pressão preenchida com carbonatos (Ca) secundários (Foto obtida com nicóis cruzados – Objetiva 5X);

Fonte: A autora, 2013.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através dos trabalhos de campo executados na região, que possibilitaram a elaboração do mapa geológico na escala 1:50.000, centrados nas unidades Valadão, São Roque e Lídice, como referido anteriormente. Os mapas de pontos e geológico se encontram disponibilizados, respectivamente, nos **APÊNDICES A e B** deste relatório.

A seguinte subdivisão litoestratigráfica é proposta para a região de estudo, do topo para a base da sequência (Figura 15):

Figura 15 - Unidades litológicas e subunidades propostas na presente dissertação.

<p>Unidade Passa Dezoito</p> <p>Unidade Lídice</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Lídice Superior</i>- Mineralização sulfetada em quartzitos carbonáticos; - <i>Lídice Média II</i> - Quartzito com manganês (Quartzito carbonático) intercalado com quartzitos puros, biotita gnaisses e rochas calcissilicáticas; - <i>Lídice Média I</i> - Gnaisses grafitosos com sillimanita; - <i>Lídice inferior</i> - Intercalação quartzito com pelito; <p>Unidade São Roque</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>São Roque Superior</i> - Biotita gnaisses porfiroblásticos (magnetita); - <i>São Roque Média II</i> - Granada-biotita gnaissse com manganês e grafita/lentes e <i>boudins</i> de anfibolito e rochas calcissilicáticas; - <i>São Roque Média I</i> - Faixa manganêsfera – Espessartita gnaisses, granaditos, níveis de coticule/lentes e <i>boudins</i> de anfibolito e rochas calcissilicáticas; - <i>São Roque Inferior</i> – Biotita gnaisses porfiroblásticos (magnetita)/ Presença de charnockitos do Complexo Juiz de Fora; <p>Unidade Valadão</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Valadão Superior</i> – Pacote pelítico granatífero com intercalações de magnetita quartzitos / Presença de charnockitos do Complexo Juiz de Fora; - <i>Valadão Média</i> – Pacote pelítico com poucas intercalações de quartzito e magnetita quartzitos; - <i>Unidade Valadão Inferior</i> – Pacote quartzítico com intercalação de magnetita quartzitos e poucas faixas pelíticas; <p>Unidade Lorena</p>

Fonte: Apatado e modificado de RIOFINEX, 1977.

5.2.2. Unidade Lorena

A unidade Lorena é caracterizada como representante basal da sequência metassedimentar aqui estudada. Compreende biotita gnaisses de coloração acinzentada, granulação grossa, bandada, composta basicamente por quartzo, feldspatos, anfibólio e biotita, provavelmente, derivado de protólito ígneo. Apresenta, ainda, textura milonítica marcante, deixando em evidência grandes porfiroclastos de feldspato, chegando, em algumas porções da rocha, desenvolver textura facoidal ou “*augen*” (Figura 16). O contato superior, desta unidade, se faz de forma brusca com os pacotes quartzíticos da Unidade Valadão Inferior.

5.2.3. Unidade Valadão

A unidade Valadão ocorre na porção sul da área, sendo encontrada em contato brusco com os gnaisses da Unidade Lorena e também com os gnaisses da unidade São

Roque. A divisão da unidade Valadão teve como base, a ocorrência de delgadas camadas estratiformes de magnetita quartzito em diversos segmentos, sendo caracterizados segundo a sua associação com os litotipos metapelíticos e quartzíticos.

Figura 16 - Biotita gnaiss milonítico da Unidade Lorena (AC-116).



Fonte: A autora, 2013.

Na unidade como um todo, foram observadas as seguintes litologias: Magnetita quartzitos, quartzitos, biotita gnaisses e granada-biotita gnaisses, ocorrendo o contato entre as subunidades de forma gradual. Formam os maiores relevos da área, com traços bem marcados na direção NE-SW, padrão geral da Faixa Ribeira, com encostas íngremes e vales bem encaixados.

5.2.3.1. Valadão Inferior

Unidade caracterizada pela ocorrência de magnetita quartzitos intercalados com grandes pacotes quartzíticos, por vezes, impuros, que subordinadamente, estão associados a biotita gnaisses de granulação fina. São observados localmente aplitos ricos em turmalina, que ocorrem cortando os quartzitos (AC-149). A base desta unidade encontra-se em contato brusco com a Unidade Lorena, enquanto para o topo verifica-se um contato gradacional com a unidade Valadão Média. No total a espessura do pacote é de 600 metros.

Os pacotes quartzíticos apresentam coloração branca, granulação grossa a muito grossa, compreendendo mineralogia simples constituída predominantemente por quartzo recristalizado, e secundariamente moscovita e biotita, dando a rocha uma estrutura laminada (Figura 17a). Apresenta esporadicamente turmalina preta (AC-039 - Figura 17b), e localmente são observados delgados níveis, que não ultrapassam 1,0 metro de espessura, de quartzito rico em grafita e percolado por manganês (AC-094 – Figura 17c).

Figura 17 – Rochas da Unidade Valadão Inferior.



Legenda – Unidade Valadão Inferior: (a) afloramento de quartzito de granulação muito grossa, (b) detalhe para turmalina preta no afloramento; (c) amostra de quartzito rico em grafita.

Fonte: A autora, 2013.

Os magnetita quartzitos (AC-095) ocorrem como pacotes delgados que variam entre 1,0 e 1,5m, apresentando valores superiores a 21% de magnetita em sua composição (Tabela 5), e mineralogia composta essencialmente por quartzo e magnetita. São encontrados intercalados com quartzitos mais puros, através de contato gradacional, sendo observados normalmente sustentando pequenas cristas no relevo, em razão de sua grande resistência ao intemperismo, ou como blocos rolados próximo a encosta e a drenagem.

5.2.3.2. Valadão Média

Esta unidade apresenta espessura aproximada de 900m e ocorre em contato gradual com a unidade subjacente, sendo notada nesta um aumento significativo de material de protólito pelítico, representado por biotita-gnaisses e granada-biotita gnaisses com intercalações centimétricas quartzíticas. O magnetita quartzito aflora, principalmente, no topo de colina, e são encontrados como blocos em sua base, conforme disposto na beira da rodovia RJ-149 (Figura 18a – AC-202). Estas rochas apresentam um alto conteúdo em magnetita (29,5% - Figura 18b) exibindo coloração cinza avermelhado, em razão da alteração do óxido de ferro, e aparecem, ocasionalmente, em meio ao pacote metapelítico, com espessuras centimétricas, diferentemente dos pacotes da unidade anterior, em que estes ocorrem, predominantemente, sob a forma de corpos tabulares com dimensões métricas. Em análise petrográfica, exhibe matriz xenoblástica formada, bimineralicamente, por faixas de quartzo e de magnetita (Figura 18c), encontrada sob arranjo alongado na forma de fitas descontínuas (Figura 18d).

5.2.3.3. Valadão Superior

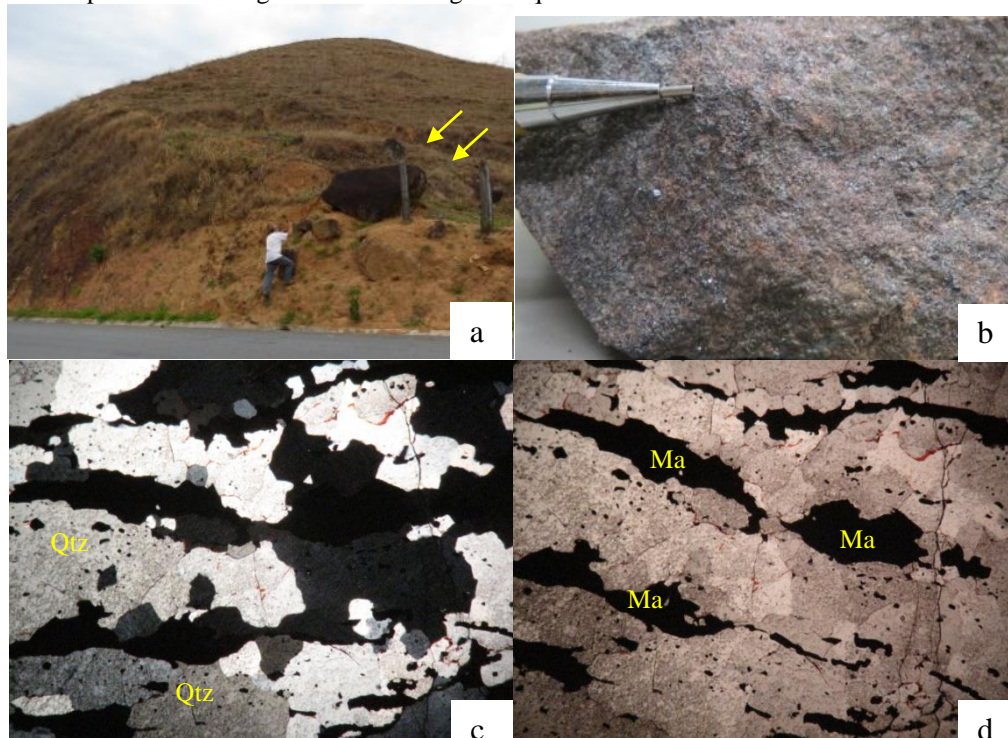
Esta unidade compreende uma faixa de aproximadamente 650m, constituída essencialmente por rochas metapelíticas com intercalações de magnetita quartzitos. Esses protólitos metapelíticos compreendem os litotipos granada-biotita gnaiss e biotita gnaiss, que ocorrem em contato gradual, onde se observa um aumento textural, concomitante ao aparecimento de granada, em direção a unidade São Roque, onde os gnaisses têm, predominantemente, granulação grossa.

O granada-biotita gnaiss é constituído basicamente por quartzo, biotita, moscovita, almandina, localmente, espessartita e magnetita, sendo encontrado geralmente bastante alterado (Figura 19a), deixando em evidência as cristas de quartzitos. A magnetita, nestes gnaisses, ocorre disseminada na rocha, no entanto, se encontra concentrada, particularmente, próximo às porções quartzíticas presentes.

Os níveis de magnetita quartzitos são encontrados se destacando nos afloramentos, devido à sua resistência mecânica ao intemperismo, ocorrendo geralmente intercalados dentro dos paragnaisses desta unidade. A rocha é composta por quartzo e magnetita, sendo encontrado na forma de camadas delgadas com espessuras variáveis, de ordem

centimétrica (Figura 19b), podendo em alguns pontos, o conteúdo de magnetita, atingir valores de até 7,2% no quartzito (Ponto AC-108).

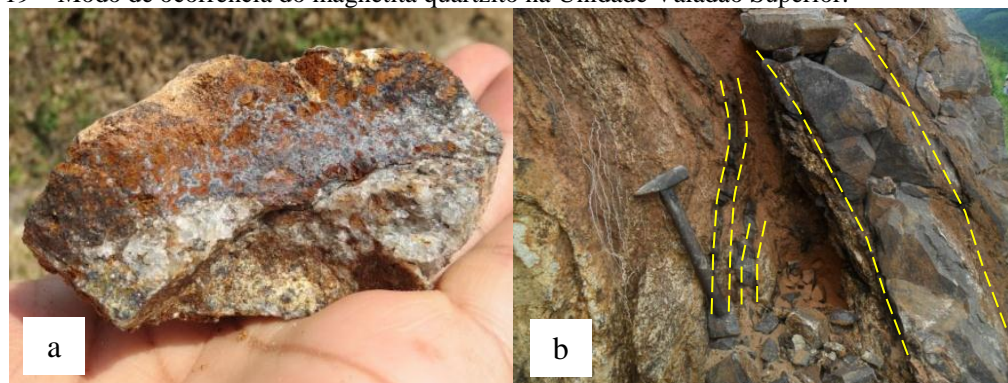
Figura 18 – Aspectos mineralógicos da rocha magnetita quartzito da Unidade Valadão Média.



Legenda - (a) Magnetita quartzito na beira da Rodovia RJ-149 apontadas pelas setas amarelas; (b) amostra de magnetita quartzito com aproximadamente 30% de magnetita em sua composição mineralógica; Fotomicrografia do Magnetita quartzito mostrando (c) matriz xenoblástica recristalizada de quartzo (Qtz); e (d) fitas de magnetita (Ma). (LAM-202/ Objetiva 5X – Respectivamente, (c) luz polarizada e (d) luz natural).

Fonte: A autora, 2013.

Figura 19 – Modo de ocorrência do magnetita quartzito na Unidade Valadão Superior.



Legenda - (a) amostra do gnaíse com magnetita alterado, detalhe para a porção magnética, na cor cinza, em contato com as granadas alteradas, provavelmente almandina (AC-101); e (b) Intercalações de magnetita quartzitos (tracejado em amarelo) no gnaíse granatífero.

Fonte: A autora, 2013.

5.2.4. Unidade São Roque

Na unidade denominada São Roque foram encontrados os seguintes litotipos: biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses, quartzitos, sillimanita-granada-biotita gnaisses, anfibólitos, cotícles. Encontra-se estratigraficamente entre as unidades Valadão e Lídice.

5.2.4.1. São Roque Inferior

Esta unidade foi caracterizada, principalmente, pela presença de biotita gnaisses contendo quantidades variáveis de magnetita. São encontrados também, rochas calcissilicáticas (AC-174) e anfibólitos intercalados a quartzitos, estes últimos, dispostos na forma de lente (AC-175 e AC-217) na base da sequência. Esta unidade apresenta aproximadamente 600m de espessura.

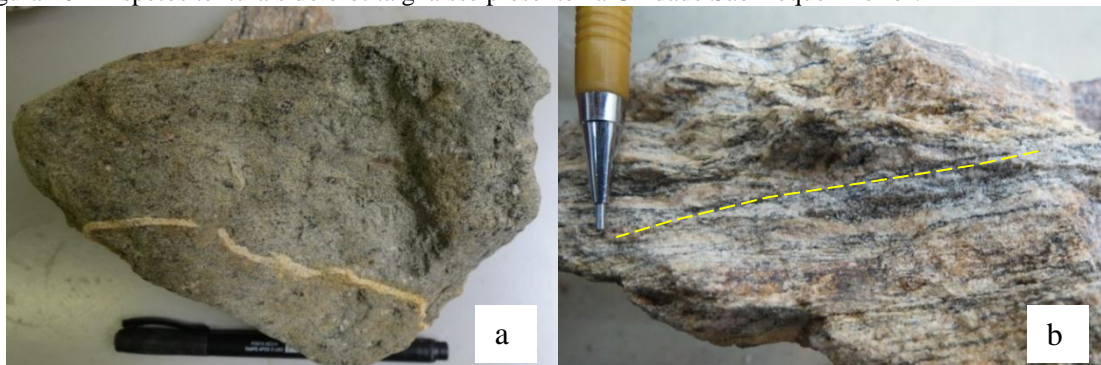
O litotipo biotita gnaiss possui coloração acizentada, granulação fina a grossa, bandamento gnáissico, marcado pela presença de bandas máficas compostas por biotita e anfibólio e bandas quartzo feldspáticas. A textura tende a ser milonítica a ultramilonítica quando próxima ao contato basal com a unidade Valadão, atribuindo a rocha uma granulação muito fina, onde só é possível observar aglomerados de minerais máficos junto com a magnetita (Figura 20a), como foi observado no ponto AC-218. A textura porfiroblástica pode ser observada distante deste limite. Localmente, o gnaiss exibe granadas milimétricas e bastante hidrobiotita, este último produto da alteração da biotita, provavelmente associado a processos intempéricos.

A magnetita está presente em quantidade bastante variável no gnaiss, na maioria das vezes, ocorrendo de forma disseminada. Por outro lado, aparenta estar mais concentrada em pontos onde o gnaiss apresenta granulação mais fina e bandamento migmatítico milonítico, chegando a valores de 7,2% de magnetita (AC-108), ocorrendo associada às porções melanocráticas, com proporções maiores de máficos quando em relação ao quartzo e feldspato. Nesses pontos, o óxido se concentra sob a forma de níveis contínuos, mostrando-se orientado segundo bandamento da rocha (Figura 20b).

5.2.4.2. São Roque Média I

Nesta unidade são encontrados gnaisses granatíferos, que tem como diferencial a grande quantidade de espessartita em sua assembleia mineralógica. Apresenta aproximadamente 800 m de espessura.

Figura 20 – Aspectos texturais do biotita gnaisse presente na Unidade São Roque inferior.



Legenda – Unidade São Roque inferior, amostra de biotita gnaisse (a) com magnetita disseminada em meio à textura ultramilonítica. Próximo ao contato com a Unidade Valadão Superior (AC-218); (b) magnetita desenvolvida paralela ao bandamento gnáissico (AC-216).

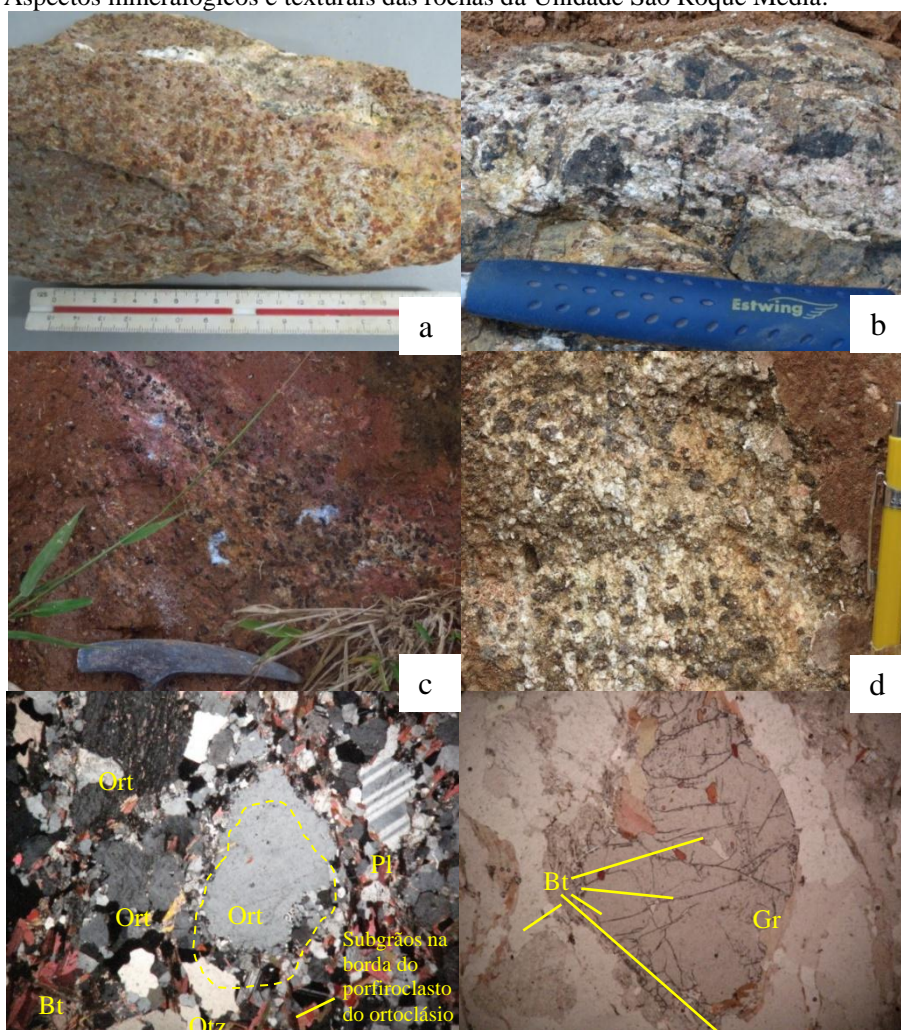
Fonte: A autora, 2013.

O litotipo granada-biotita gnaisse compreende a rocha predominante nesta unidade, sendo encontrada geralmente com bandamento composicional, por vezes, migmatítico, granulação variando de média a grossa, e mineralogia básica constituída de quartzo, feldspato, biotita e granadas. Apesar da almandina constituir o mineral mais comum em paragneisses, nesta unidade a espessartita é encontrada em grande quantidade, ocorrendo em proporções variáveis neste litotipo, podendo, inclusive, chegar a superar a quantidade de almandina na rocha. A coloração dessas granadas varia do vermelho amarronzado a castanho, no entanto, quando encontradas alteradas, a almandina (vermelha) apresenta coloração marrom em razão do ferro contido (Figura 21a), enquanto a espessartita (castanha) altera na coloração preta devido a presença do manganês em sua estrutura, evidência corroborada pelo uso de H_2O_2 nas amostras (Figura 21b).

Localmente, o granada-biotita gnaisse de granulação fina pode ser observado gradando para um litotipo de granulação grossa, onde são encontradas granadas com dimensões centimétricas. Neste caso, a rocha mostra feições migmatíticas claras, sendo chamada, informalmente no campo, como “*chuva de granada*” (Figura 21c/d). Microscopicamente apresenta matriz recristalizada de textura granolepidoblástica

composta por quartzo (26%), porfiroblastos de ortoclásio (15%) e plagioclásio (20%), geralmente sericitizados, além de biotita (15%), granada (12%) e sillimanita (3%). Quartzo, ortoclásio, plagioclásio exibem cristais hipidiomórficos a xenomórficos e extinção ondulante (Figura 21e). A biotita aparece em forma de ripas orientadas, ocorrendo também, nas bordas dos cristais anedrais de granada ou na forma de inclusões na mesma (Figura 21f). Ainda estão presentes, calcita, sericita e moscovita fibrorradiada, que constituem minerais formados a partir da alteração dos feldspatos.

Figura 21 – Aspectos mineralógicos e texturais das rochas da Unidade São Roque Média.



Legenda - (a) amostra de granada-biotita gnaiss e exibindo granada almandina alterada de coloração avermelhada; (b) Coloração pre e iunda da alteração da espessartita no f ignaiss e; Afloramento de (Sill) granada-bio... gnaiss e: (c) concentração de espessartita na rocha (AC-115); (d) mostrando feição migmatítica clássica, chamada de “chuva de granada”, também concentrada com espessartita (AC-245). Fotomicroscopia do (sill)-granada gnaiss e mostrando em: (e) matriz recristalizada de textura granolepidoblástica, mostrando plagioclásio (Pl), ortoclásio (Ort), quartzo (Qtz) e biotita (Bt) – objetiva 2,5X –; (f) ocorrência de biotita (Bt) na forma de inclusões e nas bordas do cristal de granada (Gr) – objetiva 5X – (LAM-056).

Fonte: A autora, 2013.

Rochas calcissilicáticas, anfibolitos e quartzitos ocorrem por toda unidade, variando geralmente quanto à forma, podendo se apresentar como lentes e *boudins*, no caso de anfibolitos e rochas calcissilicáticas, e na forma de faixas contínuas métricas, em quartzitos, e como níveis centímetros, no caso de coticules.

As rochas calcissilicáticas exibem coloração levemente esverdeada, granulação fina, sendo constituídas de quartzo, plagioclásio, granada, diopsídio, anfibólio e pequena quantidade de carbonatos e sulfetos disseminados. Já os anfibolitos são compostos principalmente por plagioclásio e anfibólio, sendo encontrados geralmente bastante alterados intercalados aos paragnaises (Figura 22a), na forma de lentes e/ou *boudins*, e sempre com indícios de percolação por manganês (Figura 22b).

Os quartzitos são encontrados ressaltados em meio aos gnaisses desta unidade, em razão da sua competência (Figura 22c). Exibem normalmente coloração esbranquiçada quando puros, sendo composto predominantemente por quartzo e subordinadamente moscovita. Entretanto, quando impuros apresentam além de quartzo, biotita e feldspato, expondo coloração laranja ou avermelhada, devido à alteração da mica. Apresentam-se levemente laminados na forma de corpos tabulares de escala variável, chegando a apresentar pacotes espessos de até 20m (AC-126).

5.2.4.3. São Roque Média II

Unidade paragnáissica com espessura aproximada de 550 m, constituída por granada-biotita gnaisses com intercalações de anfibolito, rochas calcissilicáticas, além de maior ocorrência de níveis manganíferos associados à coticules, normalmente, como delgados níveis contínuos dentro do metapelito (Figura 23a), compondo neste seguimento a característica essencial da unidade. Ocorre em contato gradual com a unidade São Roque Média I, contato brusco com a unidade São Roque Superior, e apresenta espessura média de 400m. Diferencia-se da unidade anterior em razão da maior quantidade de anfibolitos e manganês, na forma de percolações.

O litotipo granada-biotita gnaisse, apesar da grande heterogeneidade ao longo da unidade, é encontrado na coloração cinza, granulação média grossa, bandamento gnáissico (Figura 23b) a migmatítico, onde o leucossoma é quartzo-feldspático e o melanossoma composto por biotita e granada. Em sua porção basal, as granadas ocorrem milimétricas, distribuídas escassamente (AC-206/063), ou até mesmo ausentes, verificando-se nesses

locais a presença de sulfetos. Conforme se aproxima do contato superior da unidade, a rocha ainda apresenta feições migmatíticas, no entanto, numa granulação bem mais grossa, sendo encontrados porfiroblastos de granada centimétricos (AC-043) numa matriz leucossomática, onde, localmente, pode-se observar espessartita (AC-209).

Figura 22 – Modo de ocorrência das rochas da Unidade São Roque Média I.



Legenda - (a) Intercalações de anfibolito (Anf) em afloramento metapelítico (Ponto AC-109); (b) Lente de anfibolito intemperizado com manganês associado. (c) Pacote quartzítico (Qtz) intercalado com gnaisses intemperizados (Gn), destaque para *boundin* quartzo-feldspático ao centro, produto leucossomático da segregação migmatítica do granada-biotita gnaisse.

Fonte: A autora, 2013.

Figura 23 – Rochas da Unidade São Roque Média II.



Legenda - Amostra de (a) coticle; (b) granada-biotita gnaisse com bandamento gnáissico pouco marcado.

Fonte: A autora, 2013.