



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Geologia

Marcelo dos Santos Salomão

**Relações entre os terrenos Embu e Ocidental na porção central da
Faixa Ribeira, no leste do Estado de São Paulo.**

Rio de Janeiro
2015

Marcelo dos Santos Salomão

**Relações entre os terrenos Embu e Ocidental na porção central da Faixa
Ribeira, no leste do Estado de São Paulo.**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Antonio Tupinambá Araujo Souza

Rio de Janeiro

2015

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

- S173 Salomão, Marcelo dos Santos.
Relações entre os terrenos Embu e Ocidental na
porção central da Faixa Ribeira, no leste do Estado de
São Paulo / Marcelo dos Santos Salomão. – 2015.
218 f.: il.
- Orientador: Miguel Antonio Tupinambá Araujo Souza.
Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia.
1. Geologia estrutural – São Paulo (Estado) – Teses.
2. Mapeamento geológico – São Paulo (Estado) – Teses.
3. Geoquímica – São Paulo (Estado) – Teses. 4.
Geofísica – São Paulo (Estado) – Teses. 5. Tempo
geológico – Teses. I. Souza, Miguel Antonio Tupinambá
Araujo. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Faculdade de Geologia. III. Título.
- CDU 551.24:528.067.4(815.6)

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

Assinatura

Data

Marcelo dos Santos Salomão

**Relações entre os terrenos Embu e Ocidental na porção central da Faixa
Ribeira, no leste do Estado de São Paulo.**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 07 de dezembro de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Miguel Antonio Tupinambá Araujo Souza (Orientador)
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof.^a Dra. Monica Heilbron
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Luiz Guilherme Eirado
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Emanuele Francesco La Terra
Observatório Nacional

Prof. Dr. Alexis Rosa Nummer
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Maria Cláudia, por
tudo, ontem, hoje e sempre.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar minha profunda gratidão:

Ao Professor Doutor Miguel Antonio Tupinambá Araujo Souza, por sua orientação, parceria, amizade, generosidade, atenção, e por seu apoio. Tem sido uma honra e um privilégio trabalhar com ele.

À Professora Doutora Monica Heilbron, pelo apoio na realização das análises químicas e pela gentil participação nas Bancas dos Seminários e do Exame de Qualificação.

Ao Professor Doutor Emanuele Francesco La Terra, pelo desenvolvimento e processamento do levantamento geofísico e pela gentil participação nas Bancas dos Seminários e do Exame de Qualificação.

Ao Professor Doutor Alexis Rosa Nummer, pela gentil participação na Banca da defesa desta tese.

Ao Professor Doutor Luiz Guilherme Eirado, pela participação como revisor crítico e integrante da Banca da defesa.

À Professora Doutora Cláudia Sayão Valladares, por ter gentilmente aceitado compor a Banca na qualidade de suplente.

Ao Professor Doutor Julio Cesar Horta de Almeida, pelas valiosas participações nas atividades de campo e nas Bancas dos Seminários e do Exame de Qualificação.

Ao Professor Doutor Mauro Cesar Geraldês, pelo apoio e pela utilização do Laboratório Multiusuário de Meio Ambiente e Materiais (MULTILAB) para

obtenção dos dados geocronológicos, fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Aos técnicos Raimundo e Marco Heleno, pelo apoio técnico na preparação das amostras. À geóloga Bruna Sars, pelo suporte na operação dos equipamentos.

À Professora Doutora Diana Ragatky, pela importante colaboração nas atividades de campo.

Ao geólogo Paulo Roberto Amorim Orcioli, da empresa GM Serviços Técnicos de Geologia e Sondagem, pelo suporte na obtenção dos dados geológicos da área da tese.

À Sociedade Extrativista Dolomia, em especial aos Engenheiros Álvaro Rezende, Fábio Galvão e o técnico Judiney, pela disponibilização dos dados e pelo apoio na realização das atividades.

Ao Observatório Nacional (ON) / Projeto SubSal / Petrobrás pelo apoio às atividades de campo, fundamentais para o embasamento da pesquisa desenvolvida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis (PPGABFM) da FGEL/UERJ, com especial agradecimento aos docentes de cujos Cursos tive a honra de participar e à equipe da Secretaria Juçara Dias e Marianni Picciani.

À Direção da FGEL/UERJ, em especial à Professora Doutora Lélia Maria de Araújo Kalil Thiago, pelo gentil apoio de sempre.

À equipe do Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA), em especial aos técnicos, Luis, Gabriela e Núbia.

Ao técnico Sérgio Silva do Grupo de Pesquisa em Geotectônica (TEKTOS) pelo apoio na impressão dos produtos desta pesquisa.

À minha família, em especial à minha esposa Maria Cláudia, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos desta caminhada.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram com o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Professor Doutor Luiz Henrique Aguiar de Azevedo (*in memoriam*), profissional extremamente ético, competente, humilde e inspirador, a quem tive a honra e o privilégio de poder chamar de amigo. Não tenho palavras para expressar minha profunda admiração e gratidão por sua contribuição, tão efetiva e generosa, para a minha formação acadêmica e intelectual desde minha Graduação.

[Science is] an imaginative adventure of the mind seeking truth in a world of mystery.

Sir Cyril Herman Hinshelwood (1897-1967), Prêmio Nobel de Química (1956)

RESUMO

SALOMÃO, Marcelo dos Santos. *Relações entre os terrenos Embu e Ocidental na porção central da Faixa Ribeira, no leste do Estado de São Paulo*. 2015. 218 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

A caracterização geológica e geofísica de uma importante zona de contato entre dois blocos litosféricos (Embu e Ocidental) apresenta-se como etapa fundamental para o avanço do conhecimento das raízes orogênicas e para a formulação de modelos tectônicos em ambientes de colisão continental. Estas colisões impuseram à Faixa Ribeira um *trend* estrutural e desenvolveram um sistema de zonas de cisalhamento transpressivas dextrais, muitas marcando o limite entre os terrenos tectônicos. Esta tese procurou caracterizar os Terrenos Embu e Ocidental e o contato entre eles na porção leste do Estado de São Paulo, por meio de investigações litogeoquímicas, geocronológicas, em superfície e através de levantamento geofísico em subsuperfície. A Zona de Cisalhamento de Cubatão (ZCC), com espessura aparente entre 500m e 3km na região entre as cidades de Cunha e São Luis do Paraitinga (SP), exhibe milonitos estrutural e mineralogicamente semelhantes a filitos, com contribuição hidrotermal e indicadores cinemáticos dextrais. A ZCC separa as rochas metassedimentares do Terreno Embu (denominadas de Complexo Embu) dos metassedimentos e rochas ortoderivadas do terreno Ocidental (respectivamente, Megassequência Andrelândia e Batólito Natividade da Serra). São observados comportamentos distintos de deformação nos terrenos adjacentes à ZCC. A deformação milonítica estende-se para o gnaiss/xisto do Complexo Embu, porém sem contribuição hidrotermal ao processo deformacional. A Megassequência Andrelândia possui foliação milonítica, porém torna-se difícil perceber a relação com características deformacionais pretéritas. A investigação geofísica permitiu comparar os aspectos geométricos de cada domínio tectônico com base na resistividade (Método Magnetotelúrico). O Complexo Embu exhibe variações de resistividade ao longo de seu domínio, com valores menores quando próximo à ZCC e maiores nas porções mais distais. A Megassequência Andrelândia mostra-se mais condutivo que as rochas paraderivadas do Complexo Embu. A comparação litogeoquímica das rochas do Complexo Embu com as da Megassequência Andrelândia mostra divergência quanto a elementos-traço e similaridade nos elementos terras raras. Na ZCC os valores dos elementos-traço são semelhantes aos observados em ambos os terrenos, podendo indicar que a zona de cisalhamento afetou os dois domínios. A análise das rochas ortoderivadas também expôs comportamentos diferentes. No Terreno Embu, o Batólito Lagoinha possui caráter peraluminoso sódico, sugerindo um protólito metassedimentar (granitóide tipo S). O anfibólito possui caráter básico a intermediário, com ambiência tectônica do tipo cadeia meso-oceânica, de arco de ilha e toleítico de alto alumínio. Estas diferentes ambiências tectônicas

podem representar gerações diferentes de basaltos. No Terreno Ocidental, o Batólito Natividade da Serra exibe um padrão peraluminoso, calci-alcálico a toleítico, enriquecido em potássio. O anfibólito é classificado como basalto subalcalino e ambiência tectônica do tipo intraplaca ou de ilha oceânica. Os padrões dos elementos terras raras e dos elementos-traço exibem uma diferenciação entre os ortognaisses, com valores mais elevados no Batólito Natividade da Serra. As análises geocronológicas do Complexo Embu indicam fontes mais antigas, com idades de até 3891 Ma, e podem representar uma fonte cratônica (Cráton do São Francisco?). As idades mais recentes (817 a 938 Ma) são indicativas de evento metamórfico Brasileiro. Na Megassequência Andrelândia, não são encontradas idades Arqueanas. As mais recentes variam entre 698 e 788 Ma, associadas à perda parcial de Pb devido ao evento metamórfico Brasileiro. Suas fontes de sedimentos possuem idades mais recentes e não encontradas no Complexo Embu, expondo diferenças entre os terrenos e sugerindo que ambos não estavam próximos em toda a evolução Proterozóica.

Palavras-chave: Faixa Ribeira. Zona de Cisalhamento de Cubatão. Geoquímica. Método Magnetotérmico. Geocronologia U-Pb.

ABSTRACT

SALOMÃO, Marcelo dos Santos. *Relations between Embu and Occidental terrains in the central portion of Ribeira Belt, in the east of São Paulo State*. 2015. 218 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

The geological and geophysical characterization of a major contact zone between two lithospheric blocks (Embu and Occidental) is a fundamental step for the advancement of knowledge of orogenic roots and for the formulation of tectonic models in continental collision environments. These collisions have imposed Ribeira Belt a structural trend and have developed a system of dextral transpressive shear zones, many of them marking the borderlines between the tectonic terrains. This dissertation has sought to characterize Embu and Occidental and the contact between them in the eastern region of the state of São Paulo (Brazil) by means of lithogeochemical and geochronological investigations, investigations at surface as well as through subsurface geophysical survey. Cubatão Shear Zone (CSZ), with apparent thickness between 500m and 3km in the region between the cities of Cunha and São Luis do Paraitinga (São Paulo), displays mylonites structurally and mineralogically similar to phyllites, with hydrothermal contribution and dextral kinematic indicators. CSZ separates metasedimentary rocks of Embu terrain (called Embu Complex) of metasediments and ortoderivated rocks of Occidental terrain (respectively, Andrelândia Megasequence and Natividade da Serra Batholith). Different behavior of deformation is observed on regions adjacent to ZCC. The mylonitic deformation extends to gneiss/schist of Embu Complex, but without hydrothermal contribution to the deformation process. Andrelândia Megasequence has mylonitic foliation, but it is difficult to notice the relationship with preterit deformational characteristics. The geophysical research has enabled us to compare the geometric aspects of each tectonic domain based on resistivity (Magnetotelluric Method). Embu Complex displays resistivity variations throughout its domain, with values that are lower when near ZCC and higher in more distal portions. Andrelândia Megasequence is more conductive than paraderivated rocks of Embu Complex. The lithogeochemistry comparison of Embu Complex rocks with the Andrelândia Megasequence shows divergence related to trace-elements and similarity in rare earth elements. In CSZ, values of trace-elements are similar to those observed in both terrains, which may indicate that the shear zone has affected both domains. The analysis of ortoderivated rocks also has demonstrated different behavior. In Embu terrain, Lagoinha Batholith has sodium peraluminous feature, suggesting metasedimentary protolith (type S granitoid). The amphibolite has from basic to intermediate feature, with tectonic ambience of mid-oceanic ridge type, island arc and high aluminum tholeiitic. These different tectonic ambiences may represent different generations of basalts. In Occidental terrain, Natividade da Serra Batholith displays a peraluminous from calc-alkaline to tholeiitic pattern

enriched in potassium. The amphibolite is classified as subalkaline basalt and tectonic ambiente of intraplate type or oceanic island. The patterns of rare earth and of trace-elements display a differentiation among orthogneiss, with higher values in Natividade da Serra Batholith. Geochronological analyses of Embu Complex indicate older sources, dating up to 3891 Ma, and may represent a cratonic source (São Francisco Craton?). The more recent ages (817-938 Ma) indicate Brasiliano metamorphic event. In Andrelândia Megasequence, Archean ages have been found. The more recent ones vary from 639 and 788 Ma, associated with partial loss of PB due to Brasiliano metamorphic event. Their sources of sediment have more recent ages that are present in Embu Complex, exposing differences between the terrains and suggesting that both were not close throughout the Proterozoic evolution.

Keywords: Ribeira Belt. Cubatão Shear Zone. Litho geochemistry. Magnetotelluric Method. Geochronology U-Pb.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 –	Localização da área da tese (polígono em amarelo) sobre carta-imagem orbital do satélite Landsat5.....	26
Figura 1.2 –	Área da tese (polígono branco) sobre carta-imagem orbital do satélite Aster.....	27
Figura 1.3 –	Neptune Laser Ablation Multicollector ICP Mass Spectrometer, do Laboratório Multiusuário de Meio Ambiente e Materiais (Multilab).....	32
Figura 2.1 –	Mapa tectônico da porção central da Faixa Ribeira, com a localização da área da tese.....	35
Figura 2.2 –	Mapa Geológico com Jazidas e Ocorrências Minerais da porção leste do Estado de São Paulo.....	40
Figura 2.3 –	Unidades que compõem o Terreno Embu e o Complexo Costeiro, na porção leste do Estado de São Paulo.....	42
Figura 2.4 –	Mapa geológico do Estado de São Paulo (porção leste). Integração na escala 1:750.000	44
Figura 2.5 –	Mapa geotectônico do sudeste brasileiro com as principais unidades do setor central do Sistema Orogênico Mantiqueira. O polígono com contorno preto refere-se à localização da Figura 2.6.....	48
Figura 2.6 –	Mapa geológico do sul do Estado do Rio de Janeiro e leste do Estado de São Paulo (Serra da Bocaina e região dos municípios de Bananal e São José do Barreiro.....	49
Figura 2.7 –	Integração dos mapas geológicos da porção leste do Estado de São Paulo e do sul do Estado do Rio de Janeiro.....	51
Figura 2.8 –	Mapa geológico simplificado do sul da Faixa Brasília e da porção central da Faixa Ribeira.....	55
Figura 2.9 –	Interpretação da interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira..	56
Figura 2.10 –	Arcos magmáticos Neoproterozóicos do SE do Brasil.....	58
Figura 2.11 –	Evolução tectônica integrando os arcos magmáticos da porção	

	central da Faixa Ribeira com o sul e o norte da Faixa Araçuaí.....	59
Figura 2.12 –	Sistema Transcorrente Paraíba do Sul sobre carta-imagem do satélite Aster.....	62
Figura 2.13 –	Principais zonas de cisalhamento, falhas transcorrentes e de empurrão na Faixa Ribeira.....	63
Figura 2.14 –	Dobramentos principais na porção centro-sul da Faixa.....	64
Figura 2.15 –	Megafalha de Cubatão (em vermelho).....	65
Figura 2.16 –	Seção geológica transversal à Zona de Cisalhamento de Cubatão (Terreno Embu), na cidade homônima.....	66
Figura 3.1 –	Nível filítico/xistoso do Complexo Embu. Estação de pesquisa MS-47-A.....	71
Figura 3.2 –	Fotomicrografias do filito/xisto do Complexo Embu. Estação de pesquisa MS-47-A.....	72
Figura 3.3 –	Xisto intercalado com gnaiss no Complexo Embu, adjacente a Zona de Cisalhamento de Cubatão. Estação de pesquisa GL-13.....	73
Figura 3.4 –	Amostras do Complexo Embu na pedreira da Sociedade Extrativista Dolomia (Estação de pesquisa 98-1-D).....	74
Figura 3.5 –	Ortognaiss Lagoinha (Estação de pesquisa MS-42).....	76
Figura 3.6 –	Fotomicrografias do Ortognaiss Lagoinha (Estação de pesquisa MS-42).....	77
Figura 3.7 –	Complexo Rio Capivari (Estação de pesquisa MS-25).....	78
Figura 3.8 –	Fotomicrografia do ortognaiss do Complexo Rio Capivari (Estação de pesquisa MS-25).....	79
Figura 3.9 –	Pequenos corpos graníticos intrusivos no Complexo Embu (Estação de pesquisa GL-73).....	80
Figura 3.10 –	Anfibolito no Complexo Embu (Estação de pesquisa 98-1-M).....	81
Figura 3.11 –	Megassequência Andrelândia (Estação de pesquisa GL-06).....	83
Figura 3.12 –	Fotomicrografias do biotita gnaiss da Megassequência Andrelândia (Estação de pesquisa GL-06).....	84
Figura 3.13 –	Batólito Natividade da Serra (Estação de pesquisa MS-49).....	86
Figura 3.14 –	Batólito Natividade da Serra (Estação de pesquisa CN-LG-12)....	87

Figura 3.15 – Filito/xisto da zona de cisalhamento de Cubatão (Estação de pesquisa GL-12).....	89
Figura 3.16 – Filito/xisto da ZCC (Estação de pesquisa GL-12).....	91
Figura 3.17 – Seções estruturais transversais à Zona de Cisalhamento de Cubatão (ZCC).....	92
Figura 3.18 – Indicadores cinemáticos dextrais no filito/xisto da ZCC (Estação de pesquisa GL-12).	93
Figura 3.19 – Gnaisse/xisto do Complexo Embu próximo à ZCC (Estação de pesquisa MS-35).	95
Figura 3.20 – Rochas do Complexo Embu milonítico adjacente à ZCC (Estação de pesquisa MS-07).....	96
Figura 3.21 – Gnaisse milonítico da Megassequência Andrelândia próximo à Zona de Cisalhamento de Cubatão (Estação de pesquisa MS-27)	98
Figura 3.22 – Ortognaisse milonítico Natividade da Serra, próximo a Zona de Cisalhamento de Cubatão (Estação de pesquisa MS-55).....	99
Figura 3.23 – Mapa geológico com as estações e as seções geofísicas magnetotelúricas ao longo da área da tese.....	101
Figura 3.24 – Seções geofísicas magnetotelúricas de inversão 2D.....	102
Figura 3.25 – Seções geofísicas Magnetotelúricas 2D com a identificação de domínios condutivos e resistivos.....	104
Figura 3.26 – Seções geofísicas Magnetotelúricas 2D com a identificação de domínios lito-estruturais.....	105
Figura 3.27 – Identificação das unidades metassedimentares e das ortoderivadas presentes nos terrenos Embu e Ocidental com base nas informações geológicas e geofísicas magnetotelúricas.....	109
Figura 4.1 – Diagrama de elementos-traço normalizados para crosta continental superior das amostras paraderivadas do Complexo Embu.....	113
Figura 4.2 – Diagrama de elementos terras raras em relação ao padrão NASC das amostras paraderivadas do Complexo Embu.....	115
Figura 4.3 – Diagrama de elementos-traço normalizados para crosta conti-	

	nental superior das amostras paraderivadas da Megassequência Andrelândia.....	116
Figura 4.4 –	Diagrama de elementos terras raras em relação ao padrão NASC das amostras paraderivadas da Megassequência Andrelândia.....	117
Figura 4.5 –	Diagrama de elementos-traço normalizados para crosta continental superior das amostras da Zona de Cisalhamento de Cubatão.....	118
Figura 4.6 –	Diagrama de elementos terras raras em relação ao padrão NASC das amostras paraderivadas da Megassequência Andrelândia.....	119
Figura 4.7 –	Comparação dos intervalos da distribuição dos elementos-traço normalizados para crosta continental superior do gnaiss com biotita e/ou granada com gnaiss migmatítico do Complexo Embu.....	120
Figura 4.8 –	Comparação dos intervalos da distribuição dos elementos terras raras em relação ao padrão NASC do gnaiss com biotita e/ou granada com gnaiss migmatítico do Complexo Embu.....	121
Figura 4.9 –	Integração dos intervalos da distribuição dos elementos-traço normalizados para crosta continental superior das rochas do Complexo Embu com as da Megassequência Andrelândia.....	122
Figura 4.10 –	Comparação dos intervalos da distribuição dos elementos terras raras em relação ao padrão NASC das rochas do Complexo Embu com a Megassequência Andrelândia.....	122
Figura 4.11 –	Integração dos intervalos da distribuição dos elementos-traço normalizados para crosta continental superior do Complexo Embu, da Megassequência Andrelândia e da Zona de Cisalhamento de Cubatão.....	123
Figura 4.12 –	Comparação dos intervalos da distribuição dos elementos terras raras em relação ao padrão NASC das rochas do Complexo Embu, da Megassequência Andrelândia e da Zona de Cisalhamento de Cubatão.....	124

Figura 4.13 – Quartzito da Estação de pesquisa GL-65.....	126
Figura 4.14 – Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisados pelo método U-Pb (ICP-MS) para a amostra GL-65.....	127
Figura 4.15 – Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra GL-65 obtido através do método U-Pb (ICP-MS).....	129
Figura 4.16 – Quartzito em contato com gnaiss quartzoso alterado. Estação de pesquisa MS-45.....	130
Figura 4.17 – Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisados pelo método U-PB (ICP-MS) para amostra MS-45.....	131
Figura 4.18 – Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisados pelo método U-PB (ICP-MS) para amostra MS-45.....	135
Figura 4.19 – Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra MS-45 obtido através do método U-Pb (ICP-MS).....	136
Figura 4.20 – Quartzito puro em contato com gnaiss quartzoso alterado. Estação de pesquisa GL-68.....	137
Figura 4.21 – Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisados pelo método U-Pb (ICP-MS) para amostra GL-68.....	138
Figura 4.22 – Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra GL-68 obtido através do método U-Pb (ICP-MS).....	141
Figura 4.23 – Quartzito com óxido de manganês. Estação de pesquisa SJB-04B.....	142
Figura 4.24 – Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisados pelo método U-Pb (ICP-MS) para a amostra SJB-04B.....	143
Figura 4.25 – Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra SJB-04B obtido através do método U-Pb (ICP-MS)...	148
Figura 4.26 – Quartzito (Qzt) intercalado com gnaiss (Gn). Estação de pesquisa GL-06.....	149
Figura 4.27 – Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisados pelo método U-Pb (ICP-MS) para amostra GL-06 (Megassequência Andrelândia)	151
Figura 4.28 – Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra GL-06 (Megassequência Andrelândia) obtido atra-	

	vés do método U-Pb (ICP-MS).....	154
Figura 4.29 –	Quartzito (Qzt) recristalizado intercalado com gnaiss fino (Gn). Estação de pesquisa GL-43.....	155
Figura 4.30 –	Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisa- dos pelo método U-Pb (ICP-MS) para amostra GL-43 (Megas- sequência Andrelândia).....	156
Figura 4.31 –	Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra GL-43 (Megassequência Andrelândia) obtido atra- vés do método U-Pb (ICP-MS)	158
Figura 4.32 –	Nível quartzítico (Qzt) intercalado com gnaiss ultramilonítico (Gn). Estação de pesquisa GL-81.....	159
Figura 4.33 –	Imagem de catodoluminescência dos grãos de zircão analisa- dos pelo método U-Pb (ICP-MS) para amostra GL-81 (Megas- sequência Andrelândia).....	160
Figura 4.34 –	Histograma de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de zircões da amostra GL-81 (Megassequência Andrelândia) obtido atra- vés do método U-Pb (ICP-MS).....	162
Figura 4.35 –	Síntese dos dados geocronológicos obtidos, por amostra em cada Terreno.....	163
Figura 4.36 –	Histogramas de probabilidades de idades $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ dos zir- cões de quatro amostras do Complexo Embu e de três amostras da Megassequência Andrelândia, obtidos através do método U- Pb (ICP-MS-LA).....	166
Figura 5.1 –	Diagramas com análises químicas das amostras ortoderivadas (Batólito Lagoinha) do Terreno Embu.....	169
Figura 5.2 –	Diagramas das amostras ortoderivadas do Batólito Lagoinha (Terreno Embu).....	171
Figura 5.3 –	Diagramas dos anfibolitos do Complexo Embu.....	172
Figura 5.4 –	Diagrama das amostras dos anfibolitos do Terreno Embu.....	173
Figura 5.5 –	Diagramas com análises químicas das amostras ortoderivadas do Batólito Natividade da Serra (Terreno Ocidental).....	175
Figura 5.6 –	Diagramas das amostras ortoderivadas do Batólito Natividade	

	da Serra (Terreno Ocidental).....	176
Figura 5.7 –	Diagramas da amostra de anfibolito no Terreno Ocidental.....	178
Figura 5.8 –	Diagramas integrados das amostras ortoderivadas dos Batólitos Lagoinha (Terreno Embu) e Natividade da Serra (Terreno Ocidental).....	180
Figura 5.9 –	Mapa geológico simplificado com as principais rochas ortoderivadas presentes nos terrenos Embu e Ocidental, e a localização dos dados geocronológicos expeditos.....	184
Figura 6.1 –	Mapa tectônico e seção estrutural simplificada da porção central da Faixa Ribeira, com a localização da área da tese.....	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 –	Unidades litorestratigráficas do Complexo Embu, segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo.....	43
Tabela 2.2 –	Litofácies da Megassequência Andrelândia.....	47
Tabela 2.3 –	Unidades litorestratigráficas do Complexo Costeiro, segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo.....	54
Tabela 3.1 –	Estimativa visual (em porcentagem) dos minerais presentes nas amostras das rochas da Zona de Cisalhamento de Cubatão.....	72
Tabela 3.2 –	Estimativa visual (em porcentagem) dos minerais presentes nas amostras paraderivadas analisadas quimicamente do Complexo Embu, fora da ZCC.....	75
Tabela 3.3 –	Estimativa visual (em porcentagem) dos minerais presentes nas amostras analisadas quimicamente da Megassequência Andrelândia.....	84
Tabela 4.1 –	Amostras paraderivadas analisadas quimicamente.....	111
Tabela 4.2 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra GL-65 do Complexo Embu através do método U-Pb (ICP-MS).....	128
Tabela 4.3 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra MS-45 do Complexo Embu através do método U-Pb (ICP-MS).....	132
Tabela 4.4 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra GL-68 do Complexo Embu através do método U-Pb (ICP-MS).....	139
Tabela 4.5 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra SJB-04B do Complexo Embu através do método U-Pb (ICP-MS).....	144
Tabela 4.6 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra GL-06 da Megassequência Andrelândia através do método U-Pb (ICP-MS).....	152
Tabela 4.7 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra GL-43 da Megassequência Andrelândia através do método U-Pb (ICP-MS).....	157
Tabela 4.8 –	Análises U-Th-Pb dos zircões da amostra GL-81 da	

	Megassequência Andrelândia através do método U-Pb (ICP-MS).....	161
Tabela 5.1 –	Amostras ortoderivadas analisadas quimicamente.....	167
Tabela 5.2 –	Estimativa visual (em porcentagem) dos minerais presentes nas amostras ortoderivadas analisadas quimicamente do Terreno Embu.....	168
Tabela 5.3 –	Estimativa visual (em porcentagem) dos minerais presentes nas amostras ortoderivadas analisadas quimicamente do Terreno Ocidental.....	174
Tabela 5.4 –	Consolidação das idades expeditas para as rochas granitóides dos terrenos Embu e Ocidental e presentes na região leste do Estado de São Paulo.....	185
Tabela 6.1 –	Síntese das diferenças entre os Terrenos Embu e Ocidental.....	191

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	23
1	APRESENTAÇÃO	24
1.1	Justificativa da pesquisa	24
1.2	Objetivos	25
1.3	Localização geográfica	26
1.4	Metodologia	27
1.4.1	<u>Levantamento bibliográfico</u>	27
1.4.2	<u>Mapeamento geológico de campo</u>	28
1.4.3	<u>Análise estrutural</u>	29
1.4.4	<u>Petrografia</u>	29
1.4.5	<u>Litogeoquímica</u>	30
1.4.6	<u>Geocronologia</u>	31
1.5	Organização da tese	33
2	CONTEXTO GEOTECTÔNICO	34
2.1	A Faixa Ribeira	34
2.2	Terrenos tectono-estratigráficos da porção central da Faixa Ribeira entre os Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro	38
2.2.1	<u>Terreno Embu</u>	38
2.2.2	<u>Terreno Ocidental</u>	46
2.2.3	<u>Complexo Costeiro</u>	52
2.2.4	<u>Nappe Socorro-Guaxupé</u>	54
2.2.5	<u>Terreno Paraíba do Sul</u>	59
2.3	Aspectos estruturais da Faixa Ribeira	60
2.3.1	<u>Zona de Cisalhamento de Cubatão (ZCC)</u>	64
2.3.2	<u>Conceituação de rochas filoníticas</u>	67
3	LIMITE ENTRE OS TERRENOS EMBU E OCIDENTAL: ASPECTOS LITOLÓGICOS, ESTRUTURAIS E GEOMETRIA	70
3.1	Unidades litológicas do Terreno Embu	70
3.1.1	<u>Complexo Embu</u>	70

3.1.2	<u>Rochas ortoderivadas</u>	75
3.2	Unidades litológicas do Terreno Ocidental	82
3.2.1	<u>Megassequência Andrelândia</u>	82
3.2.2	<u>Batólito Natividade da Serra</u>	85
3.3	A Zona de Cisalhamento de Cubatão (ZCC) entre as cidades de São Luis do Paraitinga e Cunha: aspectos litológicos, estruturais e cinemáticos	87
3.4	Aspectos estruturais nos blocos adjacentes à ZCC	94
3.5	Continuidade da ZCC em profundidade	100
4	ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA NAS SEQUÊNCIAS METASSEDIMENTARES	110
4.1	Geoquímica das rochas ortoderivadas	110
4.1.1	<u>Complexo Embu</u>	112
4.1.2	<u>Megassequência Andrelândia</u>	116
4.1.3	<u>Zona de Cisalhamento de Cubatão</u>	117
4.2	Geocronologia em zircões através do método U-Pb (ICP-MS-LA)	125
4.2.1	<u>Complexo Embu</u>	126
4.2.2	<u>Megassequência Andrelândia</u>	149
5	MAGMATISMO NOS TERRENOS EMBU E OCIDENTAL: GEOQUÍMICA E COMPILAÇÃO GEOCRONOLÓGICA	167
5.1	Geoquímica das rochas ortoderivadas	167
5.1.1	<u>Terreno Embu</u>	168
5.1.2	<u>Terreno Ocidental</u>	174
5.2	Acervo geocronológico	181
	CONCLUSÕES	187
	REFERÊNCIAS	193
	ANEXO A - Mapa de Estações de Pesquisa	207
	ANEXO B - Mapa Geológico	209
	ANEXO C - Mapa Estrutural	211
	ANEXO D - Análises Litogeoquímicas	213

INTRODUÇÃO

Esta tese foi desenvolvida dentro do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na linha de pesquisa Evolução Tectônica de Faixas Móveis. O projeto é o primeiro a ser desenvolvido na linha de pesquisa Geologia e Geofísica da Faixa Ribeira do Grupo de Pesquisa em Geotectônica - TEKTOS, devidamente autenticada no GRPESQ/CNPq.

A tese está inserida no Projeto da PETROBRAS denominado “SubSal”, realizado no período de 2011 a 2013 através de convênio entre o Observatório Nacional e a UERJ, que envolveu investigações geoquímicas, geocronológicas, geofísicas e mapeamento geológico. O levantamento geofísico foi realizado pela Coordenação de Geofísica do Observatório Nacional. Os trabalhos foram realizados na porção leste do Estado de São Paulo, na região das cidades de São Luis do Paraitinga, Lagoinha e Cunha, e objetivaram a caracterização dos terrenos Embu e Ocidental e o contato entre eles, na porção central da Faixa Ribeira. As estações de pesquisa foram produzidas durante a elaboração dos perfis de reconhecimento geológico regional do Projeto SubSal, em visitas à Sociedade Extrativista Dolomia e nas atividades complementares de campo do autor da tese.

1 APRESENTAÇÃO

1.1 Justificativa da pesquisa

A complexidade estrutural e litológica do segmento Central da Faixa Ribeira está relacionada aos processos colisionais que resultaram na formação do Gondwana Ocidental, entre o Neoproterozóico e o Paleozóico Inferior (HEILBRON *et al.* 2000, 2008). A Faixa Ribeira é constituída por terrenos tectônicos amalgamados por estas colisões e estão relacionados aos Paleocontinentes (placas) São Francisco (Terreno Ocidental), Congo (?; Terreno Oriental), Terreno Cabo Frio e à outras microplacas / continentes (Terrenos Paraíba do Sul e Embu). Neste contexto, estudos tornam-se necessários a fim de:

- investigar a natureza (origem) e as relações / limites das rochas que compõem o Terreno Embu e o Terreno Ocidental (Megassequência Andrelândia);
- verificar se estes terrenos correspondem a Placas / Continentes diferentes;
- pesquisar a relação dos Terrenos Embu e Ocidental com outros Terrenos da Faixa Ribeira e da Faixa Brasília Meridional.

A caracterização geológica e geofísica de uma importante zona de contato entre dois blocos litosféricos (Terrenos Embu e Ocidental) apresenta-se como etapa fundamental para o avanço do conhecimento das raízes orogênicas e para a formulação de modelos tectônicos em ambientes de colisão continental. Nestes ambientes geológicos, a diferenciação tectônica de seus terrenos e dos constituintes litológicos também contribuem para o entendimento evolutivo da Faixa Ribeira.

1.2 **Objetivos**

1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar geologicamente os terrenos Embu e Ocidental e o contato entre eles na porção leste do Estado de São Paulo, através das investigações geoquímicas, geocronológicas, análise estrutural, observações em superfície e levantamento geofísico.

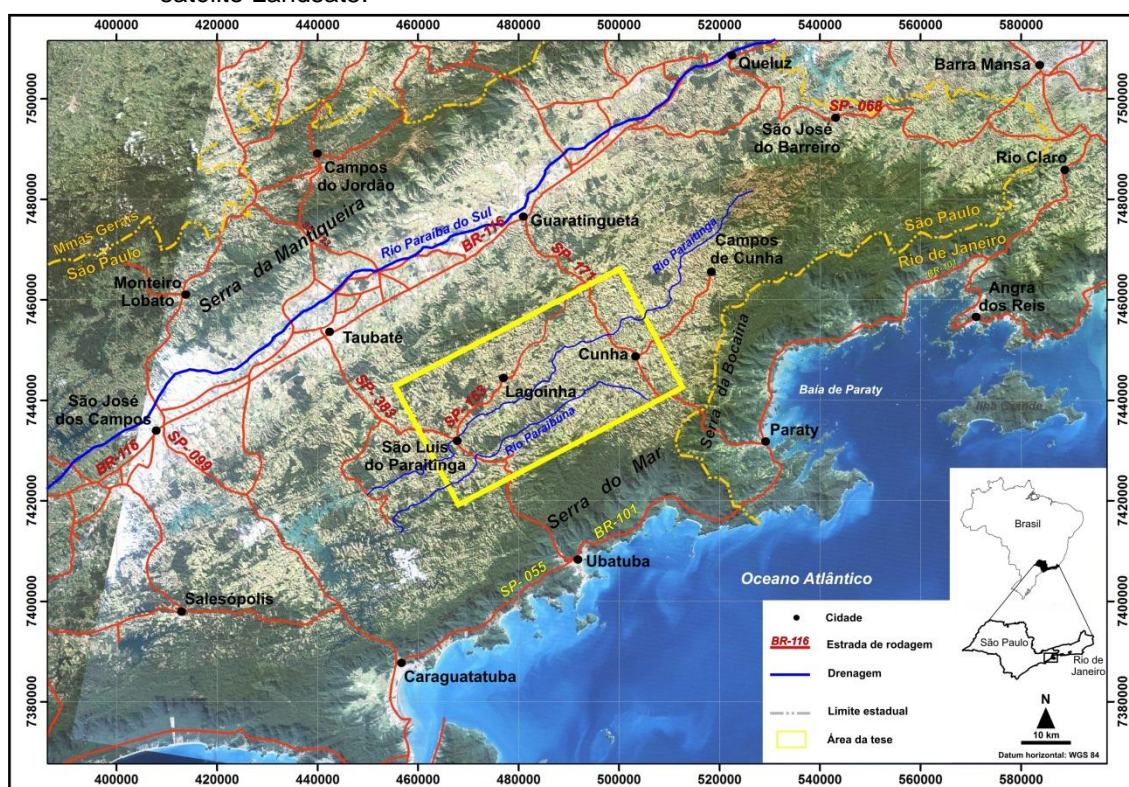
1.2.2 Objetivos específicos

- realizar o mapeamento geológico na escala 1:50.000, na área entre os terrenos Embu e Ocidental, limitado longitudinalmente pelos perfis geofísicos;
- identificar dos domínios litológicos e estruturais;
- identificar e delimitar, em mapa, as estruturas de grande extensão (fraturas, dobras, zonas de cisalhamento dúcteis e rúpteis);
- caracterizar os domínios através das análises petrográficas e litogeoquímicas;
- identificar a geometria do contato entre os terrenos através da interpretação de informações geofísicas expeditas e integração com aspectos geológicos;
- determinar a idade de formação ou retrabalhamento dos blocos crustais através de análises U-Pb em zircões.

1.3 Localização geográfica

A área de estudo está situada na porção leste do Estado de São Paulo, entre as cidades de São Luis do Paraitinga e Cunha (Figura 1.1), na vertente norte da Serra do Mar e alto-médio Vale do Rio Paraíba do Sul.

Figura 1.1 – Localização da área da tese (polígono em amarelo) sobre carta-imagem orbital do satélite Landsat5.

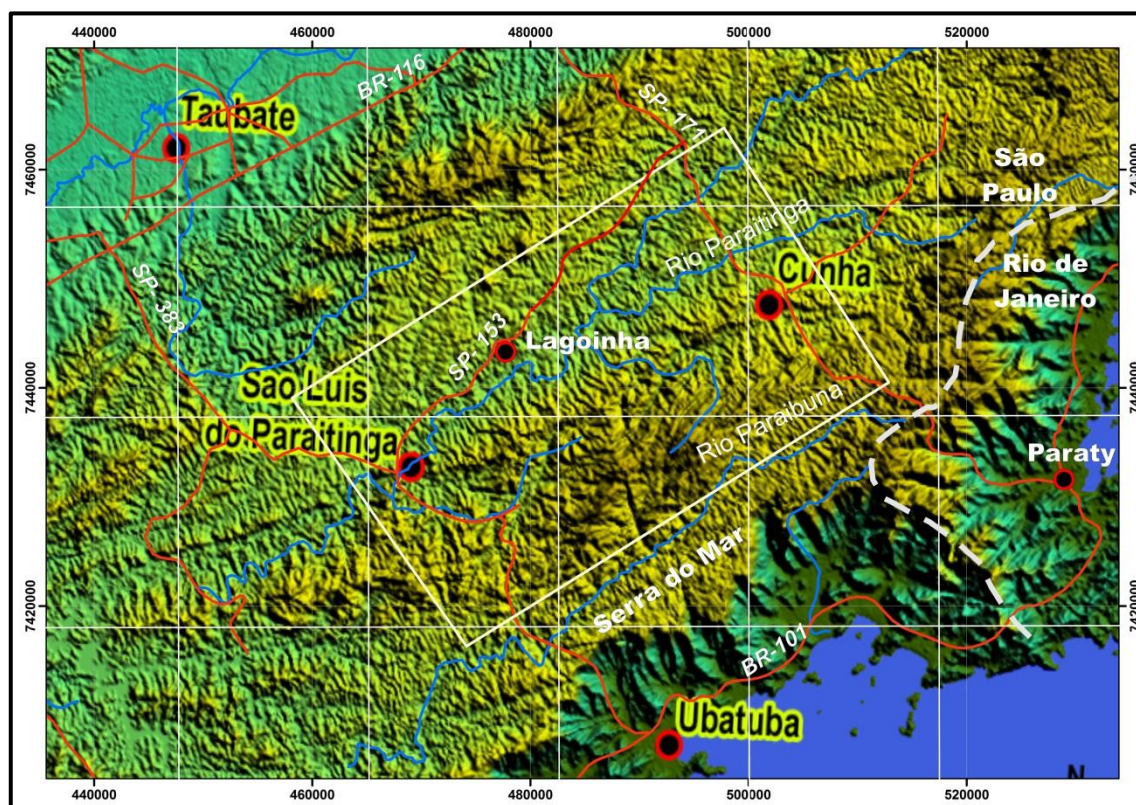


Fonte: O autor, 2015, a partir de cena disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os principais acessos são através da BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), com conexões para as estradas SP-383 (na cidade de Taubaté, em direção do litoral norte de São Paulo) e SP-171, na cidade de Guaratinguetá (São Paulo). A partir do litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, pode-se optar pela BR-101 até a cidade de Ubatuba, em São Paulo. Desta cidade o acesso à área é através da SP-383, passando pela Serra do Mar, ou pela estrada Paraty-Cunha (RJ-165 e SP-171). Dentro da área da tese, a principal estrada

de rodagem é a SP-153, que a atravessa longitudinalmente e conecta as cidades de São Luiz do Paraitinga e Lagoinha à SP-171 (Figura 1.2).

Figura 1.2 - Área da tese (polígono branco) sobre carta-imagem orbital do satélite Aster.



Fonte: O autor, 2015, a partir de cena disponibilizada pelo software *Global Mapper*.

1.4 Metodologia

Na área de estudo foram aplicados métodos de investigação geológica de superfície e de geofísica, a seguir relacionados:

1.4.1 Levantamento bibliográfico

A pesquisa iniciou-se com a compilação de dados petrográficos, estruturais, geoquímicos, isotópicos e geocronológicos dos terrenos Embu e

Ocidental. As informações coletadas foram analisadas e organizadas em acervo sistematizado sob a forma de tabelas e de mapas. Os dados georreferenciados foram estruturados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). As informações geofísicas magnetotelúricas em subsuperfície foram obtidas visando à integração com os estudos geológicos.

1.4.2 Mapeamento geológico de campo

A investigação de superfície envolveu mapeamento geológico e estrutural na escala de 1:50.000, tendo como base as cartas topográficas do IBGE: São Luis do Paraitinga (SF-23-Y-D-III-1), Cunha (SF-23-Z-C-I-1), Lagoinha (SF-23-Y-D-III-2), Natividade da Serra (SF-23-Y-D-III-3), Ubatuba (SF-23-Y-D-III-4), Guaratinguetá (SF-23-Y-B-VI-4), São José do Barreiro (SF-23-Z-A-IV-2) e Campos de Cunha (SF-23-Z-A-IV-3). As coordenadas das estações de pesquisa foram obtidas através de GPS, utilizando o Datum horizontal *World Geodetic System* (WGS-84) e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

Foram levantadas medidas estruturais de foliação, foliação milonítica, lineação mineral e estiramento, dobras (eixos, planos axiais), planos de falhas e estrias e conjuntos de fraturas. O mapeamento geológico foi auxiliado pela interpretação de imagens de satélite de média (*Landsat*) e de altas resoluções (*Ikonos II*, *Geoeye-1*) de domínio público. Prioridade foi dada à delimitação de estruturas de grande extensão (fraturas, diques, zonas de cisalhamento dúcteis e rúpteis), seguidas de domínios estruturais com padrões de orientação de foliação e de fraturamento individualizados. Ao longo dos trabalhos de campo, foram coletadas amostras representativas para petrografia, litogeoquímica e geocronologia, em uma sequência de investigação destinada a caracterizar os domínios litológicos. Amostras coletadas para análises U-Pb em zircão foram destinadas a complementarem a determinação da idade de formação ou retrabalhamento dos blocos crustais. As informações geológicas foram

posteriormente integradas aos dados geofísicos magnetotelúricos utilizados nesta tese.

1.4.3 Análise estrutural

A observação das estruturas geológicas regionais assim como em escalas de afloramento e de lâmina, permitiu confirmar ou redefinir domínios estruturais nos terrenos tectônicos, associados ou não aos domínios litológicos determinados. A geometria interna de cada domínio foi definida através da forma, da orientação e da natureza dos contatos litológicos e das estruturas deformacionais. Através de imagens orbitais foram também delineadas estruturas de grande continuidade lateral e vertical, localizadas em meio aos domínios estruturais e/ou litológicos ou que as limitaram estruturalmente. Os dados estruturais coletados foram analisados em estereogramas de Schmidt, gerados através do software *Stereonet* (ALLMENDINGER *et al.*, 2012).

1.4.4 Petrografia

As 93 amostras selecionadas durante as atividades de campo foram preparadas no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) da Faculdade de Geologia da UERJ, para confecção de lâminas delgadas. As análises petrográficas (micro e macroscópica) objetivaram descrever a composição mineralógica (qualitativa e quantitativa), dimensões, relações de contato dos grãos e características texturais dos litotipos de cada terreno e da Zona de Cisalhamento de Cubatão.

1.4.5 Litogeoquímica

As amostras foram fisicamente preparadas no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA), da Faculdade de Geologia da UERJ. Este processo envolveu a britagem e a moagem das rochas, e cada amostra gerou 50g de material pulverizado (rocha total). No total, foram processadas 47 amostras, sendo 24 de rochas paraderivadas e 15 de ortoderivadas. A análise de rocha total visou à caracterização dos domínios litológicos presentes nos terrenos Embu e Ocidental. O material foi enviado para o *Activation Laboratories (Actlabs)*, no Canadá, para análise química através do método ICP (*Inductively Coupled Plasma Techniques*), onde as amostras são misturadas a um fluxo de metaborato de lítio e tetraborato de lítio e posteriormente fundidas em forno de indução a temperaturas de 5700 a 9700°C. A fusão assegura que óxidos, minerais refratários e ETR sejam colocados em solução. A solução é ionizada para ser analisada por indução acoplada em um nebulizador de fluxo de argônio, localizado em uma tocha de plasma.

O método ICP analisa os elementos químicos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, TiO_2 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e perda ao fogo), elementos-traço incompatíveis móveis (Ba, Rb e Sr, Cs), elementos-traço incompatíveis imóveis (Zr, Y, Nb), elementos-traço compatíveis (Ni, Cr, V, Co, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Be, Mo, Ag, In, Sn e Sb), elementos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Sc e Lu) e os elementos U, Th, Hf, Ta e Pb. Em função dos limites de detecção dos elementos químicos, foram utilizadas as técnicas ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*). O método ICP-OES analisou todos os elementos maiores, alguns dos traços (Ba, Sr, Zr, Y, V, Be) e o elemento terra rara Sc. Os demais elementos terras-raras e traços foram analisados por ICP-MS.

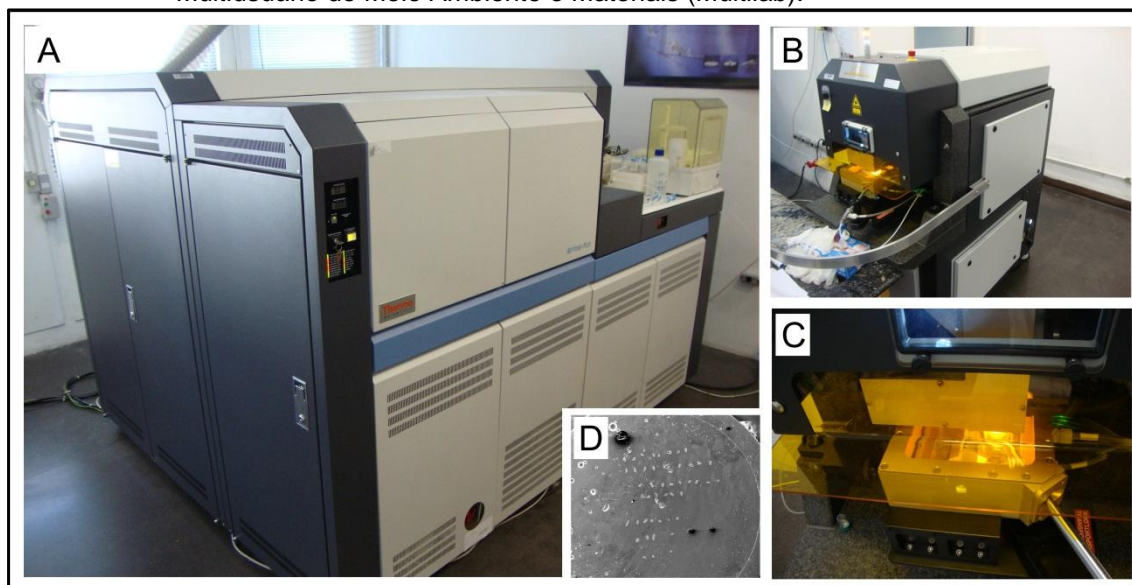
A concentração dos elementos maiores é apresentada na forma de óxidos e em percentagem, com teores superiores a 1%. A concentração dos

elementos-traço e de terras raras é apresentada em ppm. Os resultados das análises químicas estão no Anexo D. Para auxiliar nas interpretações dos dados químicos, foram utilizados os *softwares* *GCDKit (Geochemical Data Toolkit)*, versão 2.2 (JANOUSEK *et al.*, 2006) e *Petrograph* versão 2 (PETRELLI, 2005).

1.4.6 Geocronologia

Análises U-Pb em zircão foram destinadas a complementar a determinação da idade de formação ou retrabalhamento dos blocos crustais, contribuindo para diferenciar os domínios litológicos nos terrenos Embu e Ocidental. A técnica utilizada foi o ICP-MS-MC-LA, através do equipamento *Neptune Laser Ablation Multicollector ICP Mass Spectrometer* (Figura 1.3), do Laboratório Multiusuário de Meio Ambiente e Materiais (Multilab), das Faculdades de Geologia e de Física da UERJ. Este equipamento permite a análise de amostras em baixos teores e análises isotópicas de precisão, contribuindo para os estudos composicionais e texturais de minerais para datações radiométricas. Os grãos minerais selecionados são condicionados em um repositório com resina. Cada aplicação do laser corresponde a 4×10^4 contagens por segundo (CPS), com feixe de dimensão 30 μm . O espectrômetro de massa permitiu a análise U-Pb em zircões detríticos e a obtenção das idades de cristalização e de metamorfismo das amostras dos terrenos Embu e Ocidental.

Figura 1.3 - *Neptune Laser Ablation Multicollector ICP Mass Spectrometer*, do Laboratório Multiusuário de Meio Ambiente e Materiais (Multilab).



Legenda: A – Multi-coletor; B – Sistema de ablação a laser; C – Repositório de amostras; D – Grãos de zircão acondicionados em resina. Fonte: O autor, 2015.

Foram coletadas sete amostras de rochas paraderivadas (quartzitos), sendo quatro pertencentes ao Complexo Embu e três à Megassequência Andrelândia. Cerca de 20 quilos de cada amostra foram recolhidos em campo. O material foi fisicamente preparado no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA), da Faculdade de Geologia da UERJ. Após a britagem e a moagem das rochas, cada amostra foi bateada e separada em líquido denso (Bromofórmio ou Iodeto de Metileno). Em seguida, foi retirado o material magnético atraível ao ímã de mão. A porção não atraível foi então processada no separador eletromagnético *Frantz*, gerando frações em função da corrente de alimentação. As amostras foram processadas em duas etapas. Na primeira, denominada de *Frantz* Inicial, utilizaram-se as combinações de inclinação da calha (15°) e amperagens 0,10A, 0,20A, 0,40A, 0,50A, 0,75A, 1,00A e 1,50A. A porção não atraível do *Frantz* Inicial de cada amostra foi reprocessada nas amperagens -0.5A, 0A, 1A, 3A e 5A (*Frantz* Final), visando à concentração de grãos de zircão em cada valor. Para a obtenção das idades de cristalização e metamorfismo, foram selecionados zircões das frações do *Frantz* Final.

Após a aplicação do laser, os dados obtidos foram analisados e processados através do *software Excell* integrado ao módulo *Isoplot* versão 1.4, sendo os resultados exibidos através do diagrama de densidade de probabilidade e do gráfico de porcentagem de distribuição das idades.

1.5 Organização da tese

A tese foi dividida em seis capítulos e quatro anexos. Seus conteúdos estão discriminados a seguir.

O capítulo 1 inclui a apresentação e a justificativa da tese, além dos objetivos, a localização da área e a metodologia utilizada.

O capítulo 2 apresenta o contexto geológico onde está inserida a área da tese, a descrição dos terrenos que compõem a porção central da Faixa Ribeira e seus aspectos estruturais. Engloba também a caracterização regional da Zona de Cisalhamento de Cubatão e expõe o conceito de rochas filoníticas.

O capítulo 3 aborda os aspectos litológicos (de campo e petrográficos) e estruturais das unidades presentes nos terrenos Embu e Ocidental, além da Zona de Cisalhamento de Cubatão (ZCC). São apresentadas as características estruturais nos terrenos adjacentes à ZCC. São explanados os resultados do levantamento geofísico magnetotelúrico e a sua correlação com os terrenos tectono-estratigráficos.

O capítulo 4 apresenta os resultados geoquímicos e geocronológicos nos dois terrenos e na Zona de Cisalhamento de Cubatão.

O capítulo 5 contém as características geoquímicas das rochas ortoderivadas presentes nos terrenos Embu e Ocidental e as informações geocronológicas disponíveis na literatura científica.

O capítulo 6 apresenta as conclusões da tese.

Os anexos referem-se ao mapa das Estações de Pesquisa, mapas Geológico e Estrutural (escala 1:100.000), além dos resultados das análises litogeoquímicas.

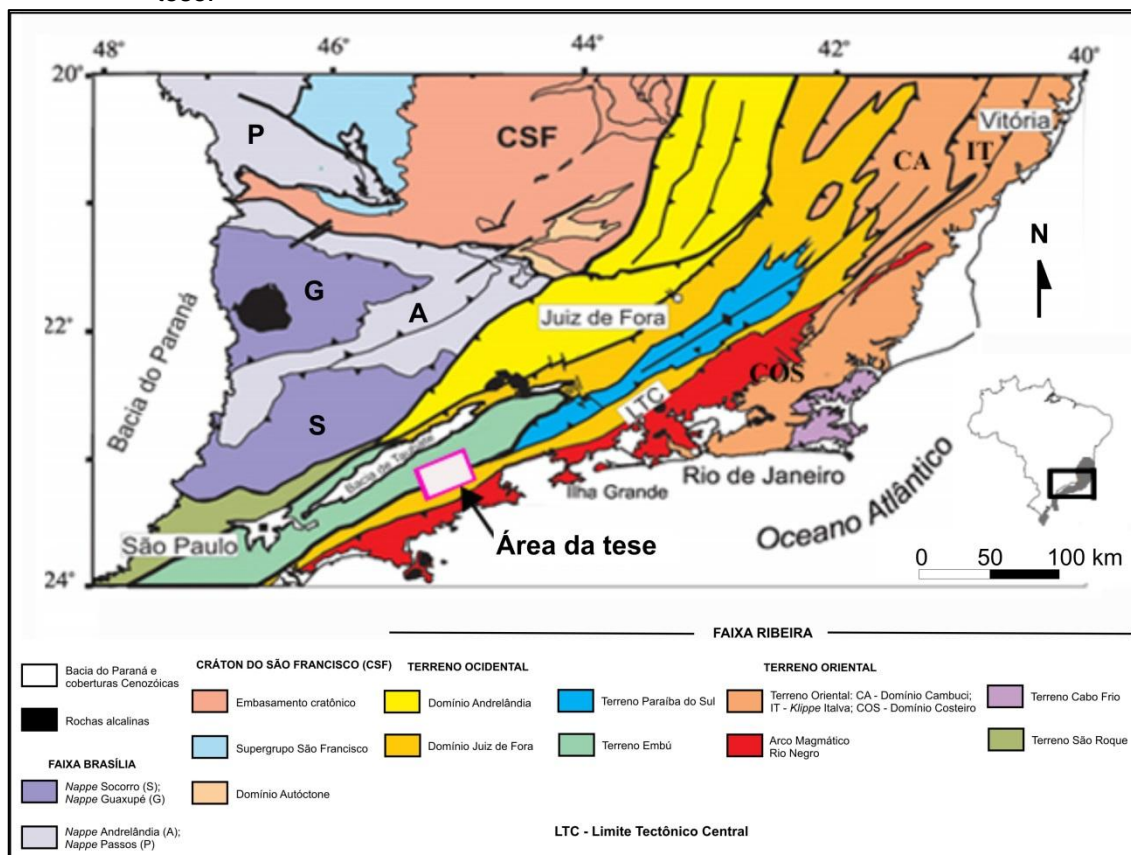
2 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

2.1 A Faixa Ribeira

A Faixa Ribeira foi desenvolvida durante o Ciclo Brasileiro, com ápice em 580 Ma, e resultou da interação do Paleocontinente ou Cráton do São Francisco com outras placas tectônicas, arcos de ilhas e a porção sudoeste do Cráton do Congo. Estendendo-se por aproximadamente 1400 km pela costa do sudeste do Brasil (Figura 2.1), sua complexidade estrutural e litológica está relacionada ao registro termotectônico dos processos colisionais que resultaram na formação do Gondwana Ocidental entre o Neoproterozóico e o Paleozoico Inferior (HEILBRON *et al.*, 2000, 2008).

Na Faixa Ribeira, Heilbron (1993, 1995), Heilbron *et al.* (1998, 2000), Trouw *et al.* (2000), Heilbron e Machado (2003) reconheceram cinco terrenos tectono-estratigráficos: Embu, Ocidental, Paraíba do Sul, Oriental e Cabo Frio (Figura 2.1). A Faixa Ribeira exibe um *trend* estrutural NE-SW, decorrente de uma colisão oblíqua, com encurtamento frontal e zonas de cisalhamento transpressivas dextrais. Os limites entre os terrenos tectônicos são caracterizados por empurrões com mergulhos mais íngremes ($>30^\circ$) e zonas de cisalhamento oblíquas. A amalgamação entre os seus terrenos é caracterizada pelo imbricamento destes com vergência para NW, na direção do Cráton do São Francisco.

Figura 2.1 - Mapa tectônico da porção central da Faixa Ribeira, com a localização da área da tese.



Fonte: HEILBRON *et al.*, 2004. Modificado pelo autor, 2015.

O Terreno Ocidental representa a margem passiva do paleocontinente do São Francisco, retrabalhada na Orogênese Brasileira. Foi dividido em domínios estruturais por Heilbron *et al.* (1995): Domínio Andrelândia, com dobras e falhas de empurrão; e Domínio Juiz de Fora, um sistema de lascas de empurrão com vergência para o Cráton do São Francisco. O Domínio Andrelândia exibe um embasamento constituído por ortognaisses paleoproterozoicos e cobertura metassedimentar neoproterozóica metamorfisada em baixo a médio grau (Megassequência Andrelândia; PACIULLO, 1997). O Domínio Juiz de Fora corresponde a uma intercalação de embasamento ortogranulítico (Complexo Juiz de Fora) com a mesma cobertura metassedimentar do outro domínio, metamorfisada em alto grau (fácies granulito).

O Terreno Oriental é composto pelos domínios tectônicos Cambuci (unidade basal), Italva e Costeiro, além do arco magmático (Complexo Rio Negro; TUPINAMBÁ *et al.*, 1996), resultado de colisão arco-continente, subductando para sudeste. O Domínio Cambuci representa uma sequência vulcano-sedimentar com ortognaisses calci-alcálicos associados. O Domínio Italva é constituído por uma associação metavulcanosedimentar, com anfibolitos e mármore. Este domínio ocorre sob a forma de uma *klippe* sinformal sobre o Domínio Costeiro. O Domínio Costeiro é formado por metassedimentos metamorfisados em fácies granulito a anfibolito alto, e ortognaisses e gabros do Complexo Rio Negro.

Vários autores (TUPINAMBÁ, 1999; HEILBRON *et al.*, 2000; TROUW *et al.*, 2000) advogam que, na porção central da Faixa Ribeira, os terrenos Ocidental e Oriental são separados por uma zona de cisalhamento de baixo mergulho denominada de Limite Tectônico Central, que representa uma zona de sutura entre ambos.

O Terreno Paraíba do Sul corresponde a uma estrutura sinformal (*klippe*) sobre o Terreno Ocidental e sua origem ainda é motivo de discussões. É constituído pelo Complexo Quirino (embasamento), pelo Grupo Paraíba do Sul e por granitos sin-colisionais. O Complexo Quirino é formado por gnaisses migmatíticos graníticos e com idade de 2.18Ga (VALLADARES *et al.*, 1997) e representa o embasamento Paleoproterozóico do Terreno Paraíba do Sul. O Grupo Paraíba do Sul é composto por uma sucessão supracrustal de paragnaisses de composição metapelítica, gnaisses bandados com lentes de rochas calcissilicáticas e mármore (ALMEIDA, 1993).

Hasui *et al.* (1975) e Fernandes *et al.* (1990) caracterizaram o Terreno Embu, respectivamente, em dois conjuntos litológicos: um com uma infraestrutura paleoproterozoica denominada de Complexo Rio Capivari; e outro, correspondente à supraestrutura metassedimentar, o Complexo Embu. O Terreno Embu diferencia-se dos demais pela composição e pela idade de sua infraestrutura, denominada de Complexo Rio Capivari (FERNANDES, 1991). O Complexo Rio Capivari, de idade Proterozóica Inferior/Arqueana, é composto por ortognaisses migmatíticos a mesossomas granito-tonalítico exibindo, em

mapa, uma forma alongada e encaixada em zonas de cisalhamentos. Este terreno será detalhado no capítulo 5.

Eirado *et al.* (2006), comparando os metassedimentos das sucessões supracrustais dos terrenos Paraíba do Sul e Embu (Grupo Paraíba do Sul e Complexo Embu, respectivamente), observaram semelhanças nos seus conteúdos litológicos, como gnaisses e xistos semi-pelíticos a pelíticos, associados à rochas calcissilicáticas. Com relação ao embasamento, os Complexos Quirino e Rio Capivari registram idades semelhantes (pré 1,8Ga). Granitóides sin-colisionais (tipos I e S) ocorrem no Terreno Paraíba do Sul sob a forma de corpos de dimensões variadas, em geral alongados e com enclaves de rochas supracrustais.

O Terreno Cabo Frio foi amalgamado há 520 Ma e corresponde a uma paleoplaca que, diferentemente dos demais terrenos, exhibe um *trend* NW-SE (SCHMITT, 2001).

O limite da Faixa Ribeira com a Faixa Araçuaí é motivo de debates. Em 2000, Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos delimitaram uma transição da Faixa Araçuaí para a Faixa Ribeira através da deflexão estrutural a sul da primeira, de direção NNE para NE, com continuidade estratigráfica entre as duas faixas. Em 2007, Tupinambá *et al.* sugeriram um avanço dos limites da Faixa Ribeira sobre a Faixa Araçuaí, através da continuidade do Domínio Juiz de Fora para a Zona Oriental e da extensão dos Domínios Cambuci e Costeiro para a Zona Ocidental. Em 2010, Hasui expôs que o limite entre estas Faixas seria mais a sul, ou seja, a Faixa Araçuaí se entenderia até a região que engloba o sudeste de Minas Gerais, o sul do Rio de Janeiro e o leste de São Paulo, justificado pela correlação e pelas continuidades das unidades estratigráficas observadas.

2.2 Terrenos tectono-estratigráficos da porção central da Faixa Ribeira entre os Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro

Na região que envolve os limites entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo ocorrem quatro terrenos tectono-estratigráficos inseridos na porção central da Faixa Ribeira: Embu, Paraíba do Sul, Ocidental e Oriental. Estes terrenos foram reconhecidos por Heilbron (1993, 1995), Heilbron *et al.* (1998, 2000), Trouw *et al.* (2000), Heilbron e Machado (2003). Dentro dos limites do Estado de São Paulo, Perrota, Chiodi Filho, Sobreiro Neto, entre outros, aplicam o termo Complexo Costeiro para englobar as mesmas litologias observadas nos Terreno Oriental e parte do Ocidental. A descrição deste Complexo será apresentada neste capítulo.

Destacamos que norteiam as discussões desta tese as terminologias e designações utilizadas por Heilbron (1993, 1995), Heilbron *et al.* (1998, 2000), Trouw *et al.* (2000), Heilbron e Machado (2003), referentes aos terrenos tectono-estratigráficos presentes na área de estudo.

A norte, a Faixa Ribeira está em contato com a porção sul da Faixa Brasília Meridional, representada na região pela *Nappe* Socorro-Guaxupé (Campos Neto e Caby, 1999; 2000). Como o limite entre estas faixas é motivo de discussões, este capítulo descreverá a *Nappe* e suas relações com os terrenos da Faixa Ribeira.

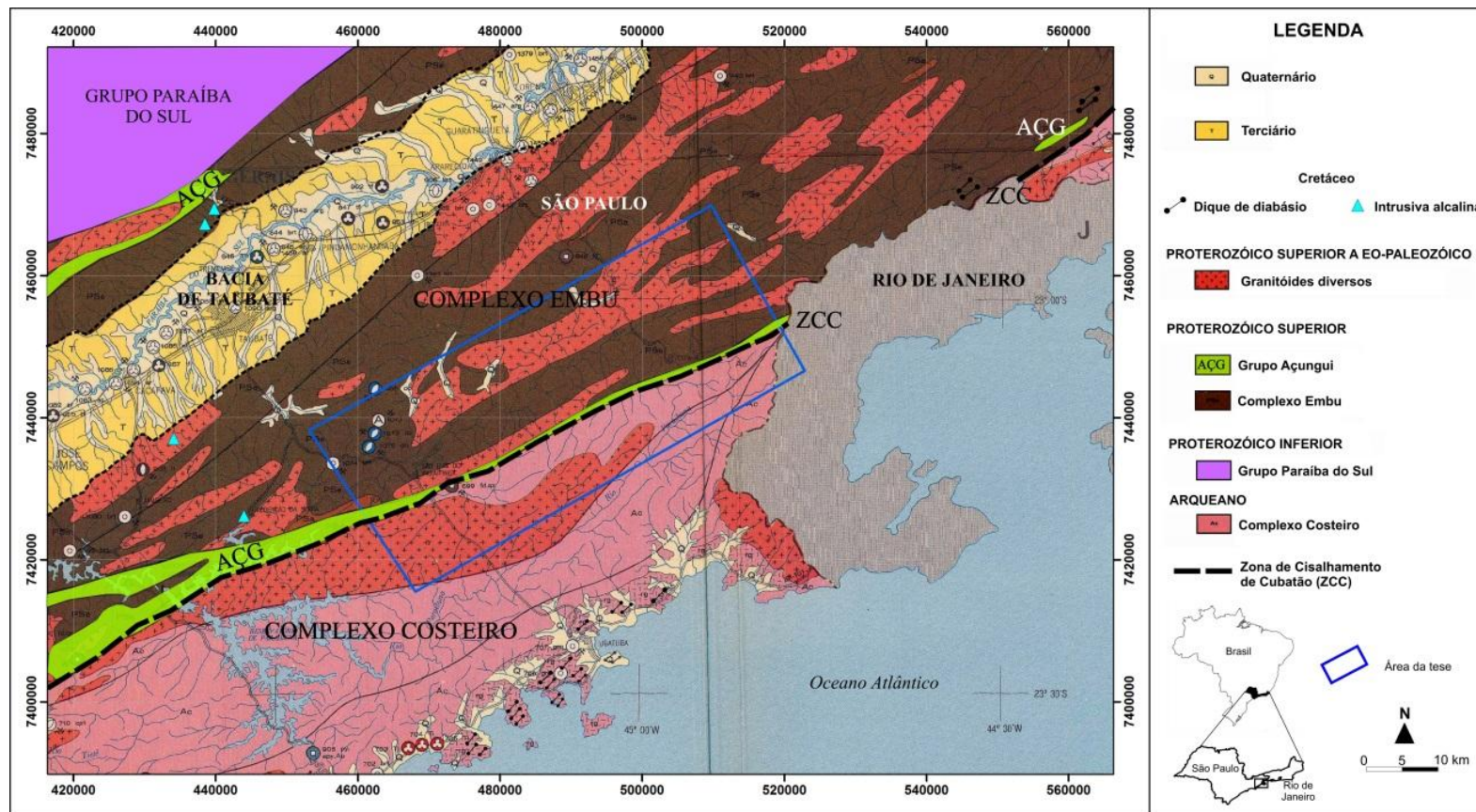
2.2.1 Terreno Embu

Em 1927, E. P. Oliveira, realizando o mapeamento geológico para o Serviço Geológico do Brasil, identificou uma unidade predominantemente gnáissica que se entendia desde o Paraná até o oeste do atual Estado do Rio de Janeiro, delimitada pelas falhas Taxaquara-Jundiuvira (a norte) e Cubatão, a sul. Com aproximadamente 600 km de extensão e larguras variando entre 40 e

100 km, esta unidade foi denominada de Série Açungui. Marini *et al.* (1967) reclassificaram a série como Grupo Açungui, passando a representar um conjunto de xistos e gnaisses migmatíticos, com rochas intrusivas básicas e vulcanismo associado, metamorfismo da fácies xisto verde a anfibolito, com uma transição gradacional entre os litotipos e migmatização variável. Estudos anteriores (MORAES REGO, 1933; ALMEIDA, 1953) já haviam relatado esta gradação. Hasui *et al.* (1980) propôs o termo Complexo Embu para representar estes níveis diferenciados dentro do Grupo Açungui que se estendiam desde o Paraná até o oeste do atual Estado do Rio de Janeiro. Seus limites são as zonas de cisalhamento de Taxaquara-Jundiuvira (a norte) e de Cubatão, a sul. O Complexo Embu é composto por gnaisses e xistos, subordinadamente com quartzitos, anfibolitos, dolomitos, rochas calcissilicáticas e metaconglomerados, com metamorfismo da fácies anfibolito e processos de feldspatização e migmatização de intensidade variáveis.

Em 1981, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, através do Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais (PRÓ-MINÉRIO) publicou o Mapa de Jazidas e Ocorrências Minerais do Estado de São Paulo integrando os limites do Grupo Açungui e do Complexo Embu (Figura 2.2). Neste trabalho o Grupo Açungui foi descrito como associação de filitos, xistos, quartzitos, calcários e dolomitos, subordinadamente ocorrendo rochas calcissilicáticas, metaconglomerados, metarcóseos, formações ferríferas, metabasitos, calcioxistos e gnaisses. O metamorfismo é de fácies xisto-verde e, em parte, de fácies anfibolito. Sadowski (1991) observou que filitos ocorrem ao longo da Zona de Cisalhamento de Cubatão.

Figura 2.2 - Mapa Geológico com Jazidas e Ocorrências Minerais da porção leste do Estado de São Paulo.

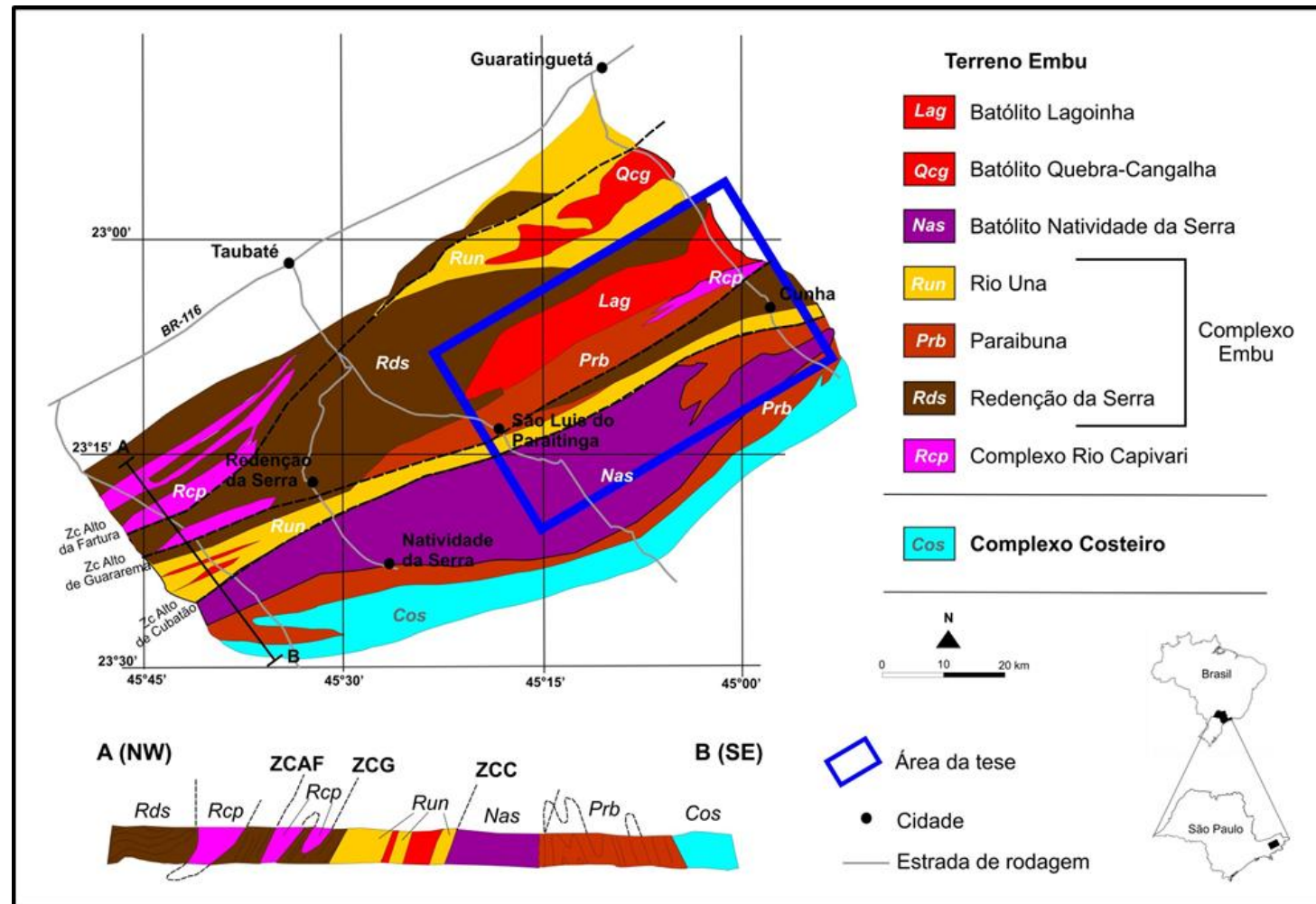


Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT, 1981. Modificado pelo autor, 2015.

Hasui *et al.* (1975) e Fernandes *et al.* (1990) caracterizaram o Terreno Embu em dois conjuntos litológicos: uma infraestrutura paleoproterozoica denominada de Complexo Rio Capivari e uma supraestrutura metassedimentar Neoproterozóica, o Complexo Embu. O Complexo Rio Capivari é composto por ortognaisses migmatíticos de composição granítica a tonalítica, com intercalações e enclaves de anfibolitos e calcissilicáticas.

Fernandes (1991), investigando o Complexo Embu no leste do Estado de São Paulo, o subdividiu em três unidades estratigráficas metassedimentares: Rio Una, Paraibuna e Redenção da Serra (Figura 2.3). A primeira, superior, é formada por micaxistos e quartzitos imaturos; a Unidade Paraibuna também possui quartzitos, porém associados a rochas calcissilicáticas, biotita gnaisses finos e anfibolitos; a Unidade Redenção da Serra exhibe xisto/gnaiss, anfibolitos, gnaisses peraluminosos e mármore. Seus estudos geocronológicos são escassos. Vieira e Tassinari (1988) e Cordani *et al.* (2002) e obtiveram idades ca. 790 Ma para o metamorfismo próximo à cidade de Embu-Guaçu (SP). Cordani identificou granodioritos intrudidos no Embu com 810 Ma na região de São Lourenço da Serra (SP). Segundo Fernandes (1991), os granitóides Quebra-Cangalha, Lagoinha e Natividade da Serra são intrusivos no Complexo Embu, e, a sul, o Terreno Embu está em contato com o Complexo Costeiro.

Figura 2.3: Unidades que compõem o Terreno Embu e o Complexo Costeiro, na porção leste do Estado de São Paulo.



Fonte: FERNANDES, 1991. Adaptado pelo autor, 2015.

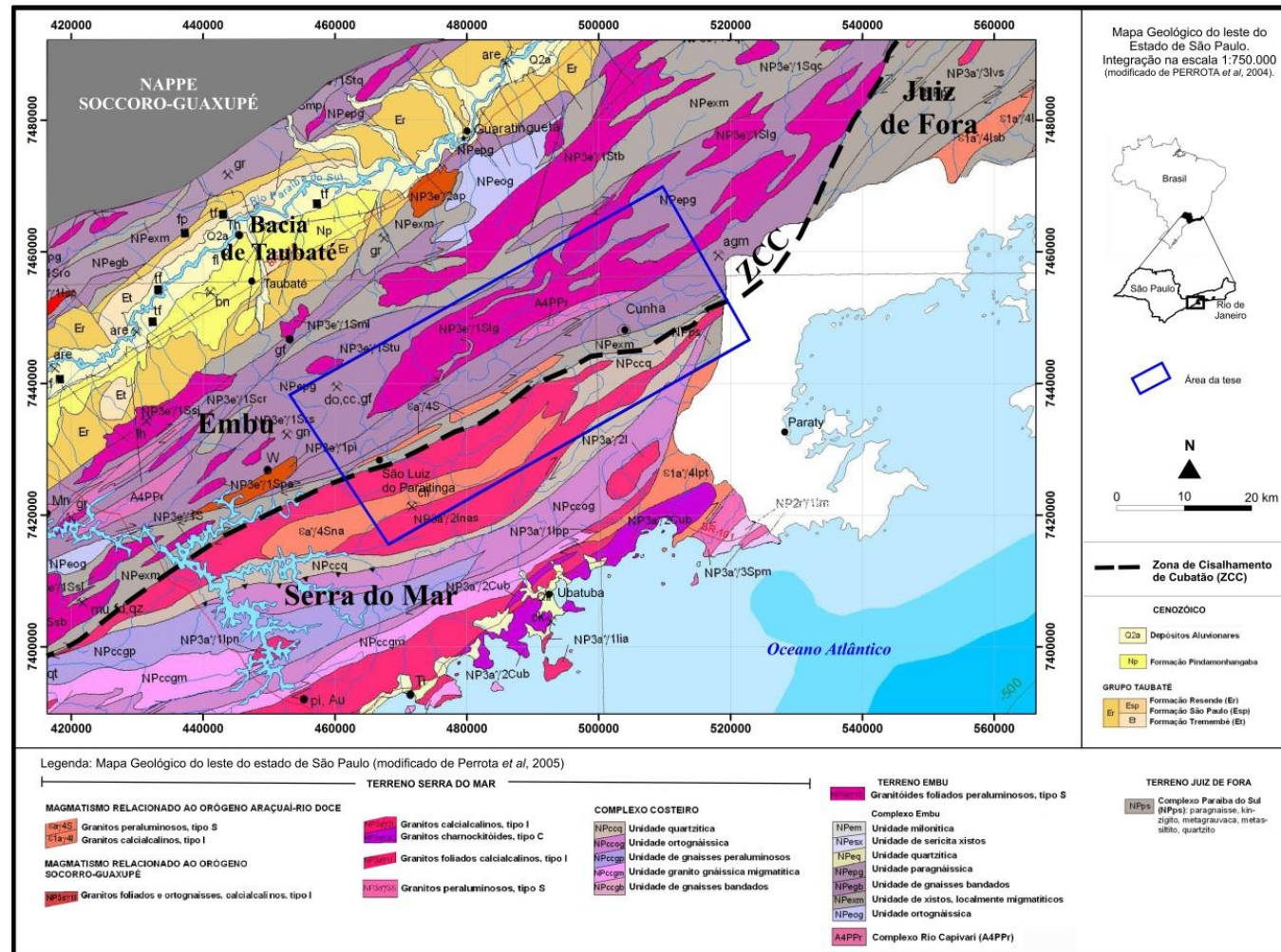
Em 2005, através do Programa Geologia do Brasil (CPRM), foi publicado o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Perrota *et al.*, 2005), resultante da integração das publicações de diversos autores e instituições. Neste, o Complexo Embu foi subdividido em sete unidades (Figura 2.4; Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Unidades litorestratigráficas do Complexo Embu, segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo.

Complexo Embu	
Unidade	Litotipo
i) <i>milonítica</i>	granada-biotita-muscovita xisto milonítico com intercalações de biotita quartzito, biotita xisto, sericita filito e metarcóseo fino.
ii) <i>sericita xisto</i>	sericita filito, metarenito, filito carbonoso, sericita-(quartzo) xisto.
iii) <i>quartzítica</i>	quartzito, quartzo xisto e quartzo filito.
iv) <i>paragnáissica</i>	muscovita-granada-sillimanita-biotita gnaisse migmatítico, biotita gnaisse tonalítico a granodiorítico, xisto gnáissico e biotita gnaisse quartzoso.
v) <i>gnaisses bandados</i>	biotita gnaisse granítico e granodiorítico alternado com biotita gnaisse monzodiorítico, biotita-hornblenda-granada gnaisse, anfibolito e quartzito.
vi) <i>xistos localmente migmatíticos</i>	muscovita-biotita-quartzo xisto com cianita, estaurólita, granada, sillimanita e quartzo xisto com muscovita, biotita, granada e plagioclásio alternados ritmicamente, intercalações de rocha calcissilicática, anfibolito e metaultramáfica.
vii) <i>ortognáissica</i>	biotita gnaisse homogêneo, granodiorítico a tonalítico.

Fonte: PERROTA *et al.*, 2005.

Figura 2.4: Mapa geológico do Estado de São Paulo (porção leste). Integração na escala 1:750.000.



Fonte: PERROTA *et al.*, 2005. Modificado pelo autor, 2015.

Um expressivo magmatismo é registrado neste terreno através dos corpos gnaissificados de grandes dimensões como os ortognaisses Quebra-Cangalha e Lagoinha. O ortogneisse peraluminoso Quebra-Cangalha (JANASI *et al.*, 2003) é formado por muscovita-biotita granito equigranular, por vezes suavemente foliado com mergulho para SW. Com formato alongado SW-NE, ocorre a sul da cidade de Guaratinguetá, na serra que o nomeia.

O Batólito Lagoinha exhibe, em mapa, um formato alongado e de direção SW-NE. Corresponde a um granitóide peraluminoso caracterizado por biotita granito porfirítico a inequigranular, com biotita fina, localizado na região da cidade homônima.

Sadowski (1974) e Carneiro (1977) descrevem três fases de deformação no Terreno Embu. A primeira foi responsável por gerar uma xistosidade paralela ao acamamento S0. Uma segunda fase deformacional criou dobras recumbentes, fechadas a isoclinais. A terceira fase gerou, localmente, zonas de cisalhamento e clivagem de crenulação e planos axiais subparalelos à segunda fase. Segundo Vieira (1988) a anatexia no Terreno Embu ocorreu em temperaturas entre 605° e 770°C, a 5-6 Kbar, o que gerou níveis de leucogranitos foliados com turmalina e granada.

Fernandes (1991) identificou 5 fases de deformação. As duas primeiras fases estão relacionadas ao metamorfismo principal, com anatexia local. A foliação principal foi gerada na segunda fase, acompanhada de lineação de estiramento mineral de direção NE. Na terceira fase foram gerados expressivos dobramentos apertados e fechados. A quarta fase é marcada por dobras normais. A última fase, tardia, é caracterizada por ser ortogonal ao *trend* regional (NE).

Eirado *et al.* (2006; Figura 2.6) caracterizou o Complexo Embu como associação de rochas metassedimentares constituída por gnaisses, xistos com rochas calcissilicáticas, quartzitos, gonditos e poucos mármores. Estas rochas se assemelham às observadas no Grupo Paraíba do Sul, na região dos municípios de Bananal e de São José do Barreiro e na Serra da Bocaina (Estado de São Paulo).


2.2.2 Terreno Ocidental

Na porção central da Faixa Ribeira, o Terreno Embu está em contato a sul e a nordeste com o Domínio Juiz de Fora, que faz parte do Terreno Ocidental (Figura 2.1; HEILBRON *et al.*, 2004; TROUW *et al.*, 2013; TUPINAMBÁ *et al.*, 2007). Este domínio é composto por um embasamento ortogranulítico paleoproterozoico denominado de Complexo Juiz de Fora (HEILBRON *et al.*, 1998), e por uma sequência metassedimentar de alto grau (Megassequência Andrelândia), de idade Neoproterozóica. Estas unidades ocorrem de forma interdigitada, às vezes com contato milonítico e retrometamorfismo, além de exibirem rochas granitóides de origem brasileira. O metamorfismo é da fácies granulito.

O Complexo Juiz de Fora é composto por litotipos representantes de arcos magmáticos desenvolvidos na borda sudeste do Cráton do São Francisco (HEILBRON *et al.*, 2010) e foi inicialmente subdividido em uma unidade magmática (com ortogranulitos) e outra unidade, metassedimentar, com paraganulitos e kinzigitos. Heilbron (1993, 1995) e Duarte (1998) redefiniram este Complexo, passando a descrevê-lo como ortogranulitos de idade pré-1,7 Ga, em fácies granulito, que correspondem ao embasamento dos paraganulitos da Megassequência Andrelândia.

A Megassequência Andrelândia exhibe gnaisses migmatíticos intercalados por quartzitos e calcissilicáticas, metamorfisado na fácies granulito. Paciullo *et al.* (2003) definiu a Megassequência Andrelândia em seis associações de litofácies, da base para o topo, listadas na Tabela 2.2.

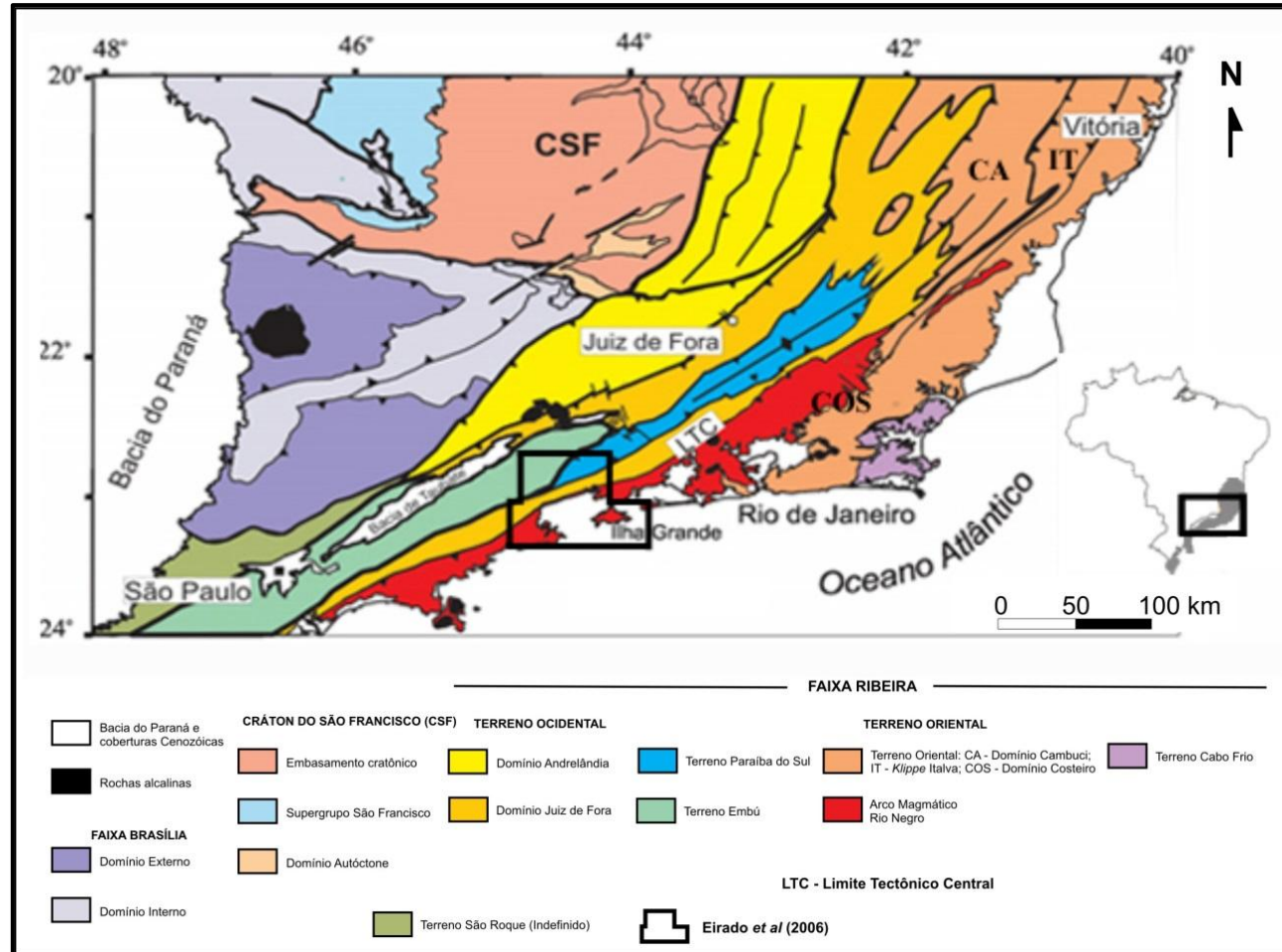
Tabela 2.2: Litofácies da Megassequência Andrelândia.

Megassequência Andrelândia	
Litofácies	Litotipos
i) <i>unidade basal</i>	A1 - biotita gnaisses finos, bandados, com anfibolitos associados.
	A2 - biotita gnasses bandados associados a quartzitos, xistos e anfibolitos
	A3 - quartzitos e xistos
	A4 - filitos e xistos com quartzitos subordinados
	A5 - biotita xistos e gnaisses maciços ou laminados
vi) <i>unidade de topo</i>	A6 - biotita xistos e gnaisses mais grosseiros, interlado com rochas calcissilicáticas, quartzitos, anfibolitos e raros gonditos.

Fonte: PACIULLO *et al.*, 2003.

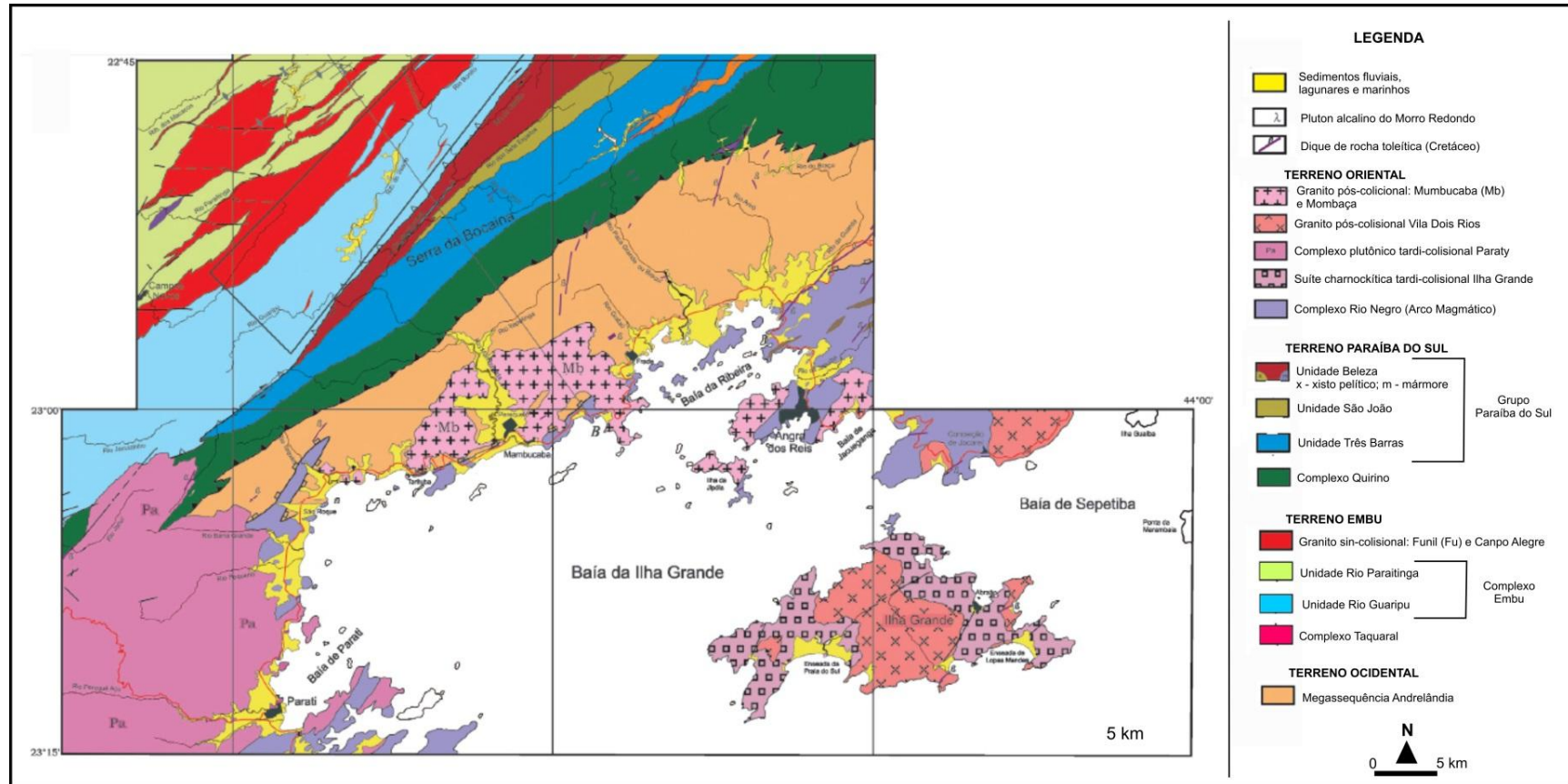
Eirado *et al.* (2006), investigando os terrenos tectono-estratigráficos no sul do Estado do Rio de Janeiro e leste do Estado de São Paulo (municípios de Bananal e São José do Barreiro), identificaram metassedimentos de alto grau metamórfico, migmatíticos, com níveis quartzíticos e lentes de rocha calcissilicática, correspondentes à Megassequência Andrelândia, do Domínio Juiz de Fora (Figuras 2.5 e 2.6).

Figura 2.5: Mapa geotectônico do sudeste brasileiro com as principais unidades do setor central do Sistema Orogênico Mantiqueira. O polígono com contorno preto refere-se à localização da Figura 2.6.



Fonte: HEILBRON *et al.*, 2004. Modificado pelo autor, 2015.

Figura 2.6: Mapa geológico do sul do Estado do Rio de Janeiro e leste do Estado de São Paulo (Serra da Bocaina e região dos municípios de Bananal e São José do Barreiro).



Fonte: EIRADO *et al.*, 2006. Adaptado pelo autor, 2015.

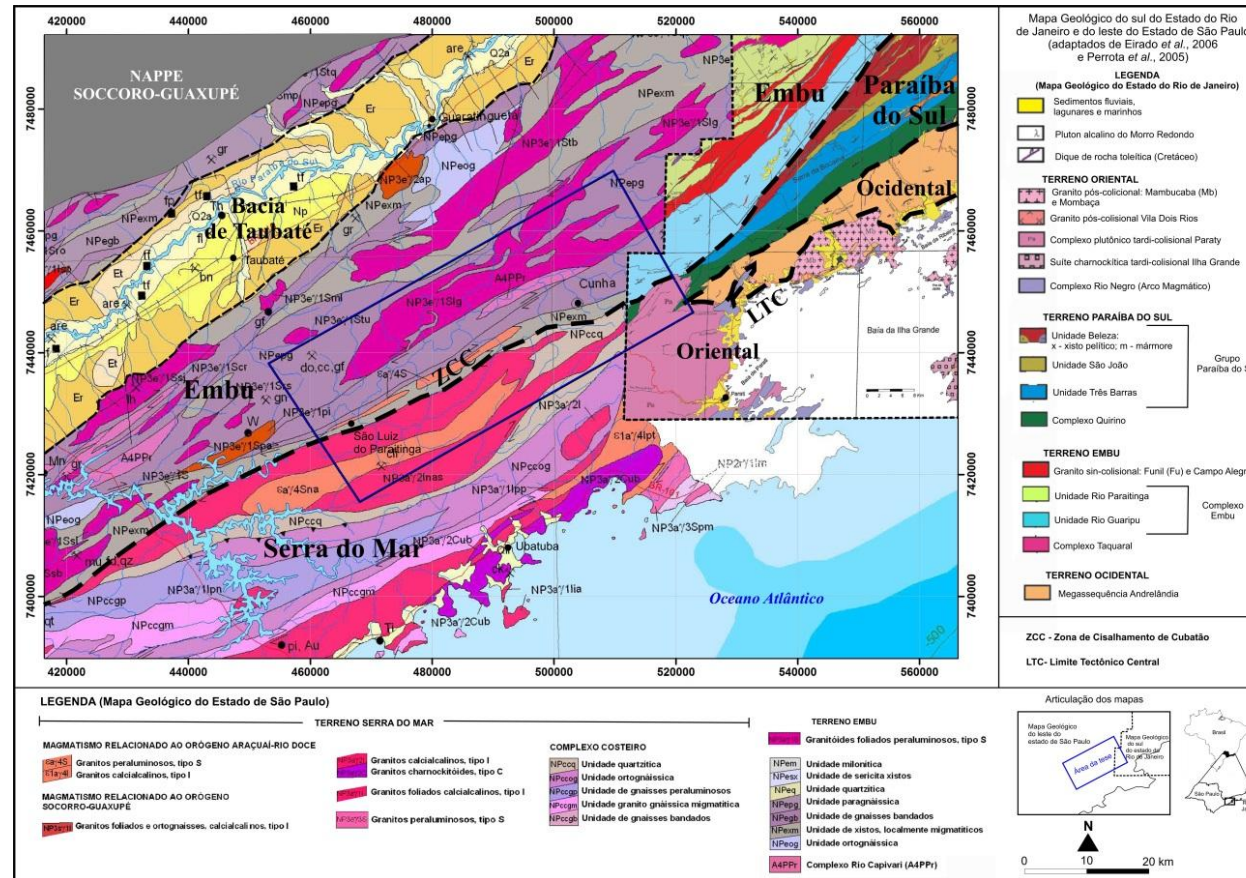
O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), através do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos (PRONAGEO) e em parceria com a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), realizou o mapeamento das Folhas (1:100.000) Santa Rita do Jacutinga, Barra do Piraí, Volta Redonda e Angra dos Reis. Nestas áreas foram identificados dois litotipos daqueles definidos por Paciullo *et al.* (2003) para a Megassequência Andrelândia: a unidade basal, formada por biotita gnaisses bandados com intercalação de quartzitos; granada gnaiss, anfibolitos; e a unidade A2, constituída por granada-biotita gnaisses, xistos intercalados com gonditos, rochas calcissilicáticas, anfibolitos, biotita gnaiss e quartzitos.

Na unidade basal observou-se um bandamento composicional com espessuras centimétricas e métricas, com contatos gradacionais entre as bandas. Com frequência ocorrem texturas migmatíticas (origem anatética), com intercalações de quartzitos puros, filitos/xistos e rochas calcissilicáticas. O granada gnaiss, muito micáceo (biotita), possui ainda sillimanita e turmalina, sendo cortado por aplitos graníticos. Os quartzitos, puros, ferruginosos e feldspáticos, exibem espessuras de poucos centímetros a alguns metros e, em geral, estão nas cristas das serras da região. Alguns quartzitos possuem mica branca, sillimanita e turmalina, e intercalam com rochas calcissilicáticas e gonditos.

A segunda unidade mapeada foi descrita como granada-biotita gnaiss bandado, com sillimanita e muscovita. Bandas mais ricas em quartzo passam a formar quartzitos com mica ou feldspato. Porfiroblastos de cianita indicam os níveis pelíticos. Turmalina ocorre como acessório frequente. Os anfibolitos ocorrem sob a forma de lentes, exibindo granulometria fina a média e são observados em todos os níveis da sequência metassedimentar.

A integração das informações contidas no mapa geológico do Estado de São Paulo (PERROTA *et al.*, 2005) com aquelas produzidas por Eirado *et al.* (2006) exhibe uma concordância do limite sul do terreno Embu (Figura 2.7).

Figura 2.7: Integração dos mapas geológicos da porção leste do Estado de São Paulo e do sul do Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: PERROTA *et al.*, 2005. Modificado pelo autor, 2015. EIRADO *et al.*, 2006. Adaptado pelo autor, 2015.

Segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo, o Terreno Embu está em contato com o Complexo Costeiro (Terreno Serra do Mar). A continuidade deste terreno para o Estado do Rio de Janeiro corresponde aos terrenos Paraíba do Sul, Ocidental e Oriental, incluindo o Arco Magmático Rio Negro.

Os dois mapas exibem semelhanças entre os litotipos presentes. A unidade quartzítica (NPccq) do Complexo Costeiro equivale à Megassequência Andrelândia (Terreno Ocidental), ambos exibindo granada-sillimanita-biotita gnaiss, rochas calcissilicáticas e quartzitos e paragneisses miloníticos. A unidade de xistos localmente migmatíticos (NPexm; PERROTA *et al.*, 2005) corresponde à Unidade Rio Guaripu (EIRADO *et al.*, 2006). Estas duas unidades são descritas como a base do Terreno Embu. Em mapa o Terreno Paraíba do Sul acunha entre os terrenos Embu e Ocidental, a cerca de 20 km a norte da cidade de Paraty. O embasamento do Terreno Paraíba do Sul (Complexo Quirino) estende-se até as proximidades da Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo. Nesta tese será utilizada a divisão da Faixa Ribeira em cinco terrenos tectono-estratigráficos (Embu, Ocidental, Paraíba do Sul, Oriental e Cabo Frio) definidos por Heilbron (1993, 1995), Heilbron *et al.* (1998, 2000), Trouw *et al.* (2000), Heilbron e Machado (2003).

2.2.3 Complexo Costeiro

O Complexo Costeiro foi inicialmente definido por Fuck *et al.* em 1967 como uma extensa região entre os vales dos Rios Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro, e Itajaí, em Santa Catarina. A norte, no Estado de São Paulo, é delimitado pela Falha de Cubatão e, dentre suas unidades stratigráficas constituintes, destacam-se o Complexo Cristalino (nos Estados de São Paulo e do Paraná), a Sequência Búzios e parte do Complexo Litoral Fluminense (Rio de Janeiro). Fuck *et al.* (1967) identificaram o Complexo Costeiro de idade Arqueana, formado por gnaisses, xistos, quartzitos e rochas

calcissilicáticas subordinadas, metabasitos e granulitos, com metamorfismo de fácies anfibolito a granulito, além de processos de feldspatização e migmatização variáveis quanto à intensidade.

No mapa de Jazidas e Ocorrências Mineraias do Estado de São Paulo (IPT, 1981; Figura 2.2), o Complexo Costeiro, à época definido como idade Arqueana, é constituído por diversos gnaisses, com xistos, quartzitos, calcissilicáticas, metabásicas e rochas granulíticas subordinadas. O metamorfismo varia de fácies anfibolito a granulito, com migmatização de magnitude variável.

Chiodi Filho *et al.* (1983) e Sobreiro Neto *et al.* (1983) identificaram o Complexo Costeiro como de idade Neoproterozóica, composto por três conjuntos litológicos: i) gnaiss-migmatíticos, representados por ortognaisses e migmatitos diversos; ii) paraderivados, com pacotes siltosos a argilosos, submetidos a um processo de quartzo-feldspatização (anatexia), além de núcleos anfibolíticos concordantes com a foliação; e iii) granulíticos, tardi a pós-tectônicos, que reúnem predominantemente rochas charnockíticas e estão geneticamente associados aos corpos granitóides intrusivos no Complexo. No Estado de São Paulo, o Complexo Costeiro registra diversos eventos de deformação, em geral com foliação paralela à linha de costa. A foliação gnáissica e a xistosidade são bem marcantes. Zonas de cisalhamento com orientação NE-SW atravessam todo o Complexo, impondo um padrão anastomosado em toda a região.

Em 2005, Perrota *et al.* publicaram o Mapa Geológico do Estado de São Paulo através do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), onde o Complexo Costeiro faz parte do Terreno da Serra do Mar e é subdividido em seis unidades estratigráficas (Figura 2.4 e Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Unidades litorestratigráficas do Complexo Costeiro, segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo.

Complexo Costeiro	
Unidade estratigráfica	Litotipo
i) <i>quartzítica</i>	quartzitos bandados, rochas calcissilicáticas, granada-sillimanita-biotita-quartzo xisto/gnaissse, biotita gnaissse tonalito granodiorítico.
ii) <i>ortognáissica</i>	ortognaissse migmatítico cálcio-alcálico, (hornblenda)-biotita granitóide gnáissico porfiróide e <i>augen</i> gnaissse.
iii) <i>gnaisses peraluminosos</i>	gnaisses kinzigíticos com núcleos como restitos de biotita, rocha calcissilicática e anfibólito.
iv) <i>granito gnáissico migmatítico</i>	hornblenda-biotita gnaissse granitóide porfiróide e <i>augen</i> gnaissse
v) <i>gnaisses bandados</i>	gnaissse migmatítico de composição monzogranítica, com bandas quartzo feldspáticas e máficas.
vi) <i>corpos graníticos</i>	peraluminosos, calci-alcálicos e charnockíticos.

Fonte: PERROTA *et al.*, 2005.

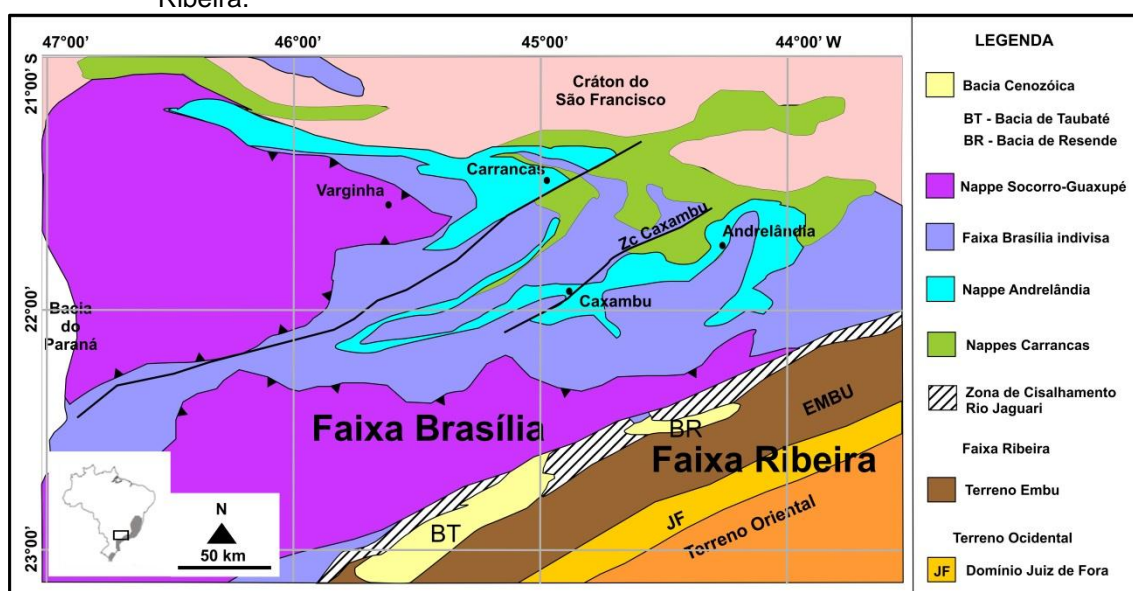
2.2.4 Nappe Socorro-Guaxupé

Localizada na porção sul da Faixa Brasília, corresponde a uma lasca alóctone, Neoproterozoica, com cerca de 15 km de espessura e estruturada em três unidades de crosta continental: i) Unidade Granulítica Basal; ii) Unidade Diatexítica Intermediária e iii) Unidade Migmatítica Superior (CAMPOS NETO e CABY, 2000). É formada por dois lobos (Socorro, a sul e Guaxupé, a norte), separados por rampas de alto ângulo, com transporte do topo para E-NE e metamorfismo de alta temperatura.

Segundo Campos Neto e Caby (1999, 2000), a Nappe Socorro-Guaxupé corresponde à raiz de um arco magmático e está sobreposta a Megassequência metassedimentar Andrelândia, da porção sul da Faixa Brasília. A Nappe Socorro é constituída por diversos granitóides, por ortognaisses com intercalações máficas e paragnaisses, e embasamento ortognáissico paleoproterozoico (TROUW, 2008).

Para Campos Neto e Caby (2000), Campos Neto *et al.* (2004, 2007, 2011) e Valeriano *et al.* (2004, 2008), o sul da Faixa Brasília registra o resultado da colisão do bloco Paranapanema com a margem passiva leste do Cráton do São Francisco, e está separado do Terreno Embu (Faixa Ribeira) pela Zona de Cisalhamento Milonítica Rio Jaguari (Figura 2.8). Nesta porção sul da Faixa Brasília, encontra-se a Megassequência Andrelândia, composta por um Sistema de Nappes e um Domínio homônimos, estes separados pela Zona de Cisalhamento de Caxambu (PACIULLO *et al.*, 2000).

Figura 2.8: Mapa geológico simplificado do sul da Faixa Brasília e da porção central da Faixa Ribeira.



Fonte: TROUW *et al.*, 2013, de acordo com CAMPOS NETO, 2000; CAMPOS NETO *et al.*, 2004, 2007 e 2011. Modificado pelo autor, 2015.

Outros autores, como Paciullo *et al.* (2003), Peternel *et al.* (2005), Zuquim *et al.* (2011), Trouw *et al.* (2000, 2013), descreveram a existência de uma zona de interferência resultante da colisão e/ou superposição entre as Faixas Ribeira e Brasília. Trouw *et al.* (2013) definiram esta zona com base em indicativos tectônicos e metamórficos (Figura 2.9).