

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS DO VALE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA

VITÓRIO CAPELLARI QUEVEDO

ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS METASSEDIMENTOS DOS COMPLEXOS
SUPRACRUSTAIS DAS REGIÕES DE SÃO GABRIEL, SANTA MARGARIDA DO
SUL E VILA NOVA DO SUL, TERRENO SÃO GABRIEL, CINTURÃO DOM
FELICIANO

Porto Alegre

2023

VITÓRIO CAPELLARI QUEVEDO

TÍTULO: ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS METASSEDIMENTOS DOS COMPLEXOS SUPRACRUSTAIS DAS REGIÕES DE SÃO GABRIEL, SANTA MARGARIDA DO SUL E VILA NOVA DO SUL, TERRENO SÃO GABRIEL, CINTURÃO DOM FELICIANO

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto a disciplina de Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia

Orientador(a): Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Capellari Quevedo, Vitório
Análise Petrográfica dos Metassedimentos dos
Complexos Supracrustais das Regiões de São Gabriel,
Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul, Terreno São
Gabriel, Cinturão Dom Feliciano / Vitório Capellari
Quevedo. -- 2023.
82 f.
Orientador: Ruy Paulo Philipp.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2023.

1. Análise Petrográfica. 2. Petrologia Metamórfica.
3. Estratigrafia. 4. Terreno São Gabriel. 5. Cinturão
Dom Feliciano. I. Philipp, Ruy Paulo, orient. II.
Titulo.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

Ao meu tio Toni e meu primo Guilherme
que aproveitaram essa passagem
terrestre e partiram cedo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Vilaine, que é meu alicerce e minha base, por todo o amor e esforço que tu tiveste sozinha na minha criação, por estar sempre comigo me dando todo apoio durante essa longa jornada que foi a graduação, te amo infinito mãe e esta conquista é pra ti. Ao meu pai Tulio por me incentivar e me mostrar desde pequeno que a cultura é fundamental na sociedade e no desenvolvimento do “ser humano”. A minha ex namorada Vitória, que me ensinou todos os dias o significado das palavras amor e resiliência. Ao meu orientador Ruy, por todos os ensinamentos, incentivos e dedicação que resultaram neste TCC. Aos meus amigos de longa data Figah, Choco, Otávio, Bibó e Miguel. Ao João, Tiago, Patrick e outros colegas e amigos da Geo da UFRGS, por tantos momentos de estudos/festações compartilhados. Aos meus dindos Márcia, Dédé e Ada por me mostrarem o que o estudo proporciona e serem um exemplo pra mim. A minha tia Ina por estar comigo sempre, até nos momentos mais difíceis, fico feliz em saber que eu sou o “sobrinho que tu mais ama”. Aos restantes dos meus familiares e agregados.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser,
mas Graças a Deus,
não sou o que era antes”.
(Marthin Luther King)

RESUMO

Este projeto realizou uma análise petrográfica dos componentes supracrustais dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho nas regiões de São Gabriel, Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul, situadas na porção oeste do Terreno São Gabriel do Cinturão Dom Feliciano. Os complexos Passo do Ivo e Cambaizinho são constituídos por gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arcóseos) com ocorrência subordinada de quartzitos, mármore, rochas cálcio-silicáticas e metapelitos. No Complexo Palma, dominam os quartzitos puros, com lentes restritas de rochas cálcio-silicáticas e mármore. A caracterização dessas unidades envolveu mapeamento geológico, análise modal semi-quantitativa e avaliação de estruturas e texturas para definir a rocha original (protólito), as condições de metamorfismo e os paleo-ambientes. Os gnaisses quartzo-feldspáticos e quartzitos apresentam textura granoblástica poligonal de granulação média e, localmente, textura blastopsamítica. O acamamento composicional, as variações de tamanho de grão e dos teores de quartzo, plagioclásio, biotita e granada são as principais características relíquias que suportam uma origem sedimentar. Mármore e rochas cálcio-silicáticas apresentam acamamento composicional e níveis alternados de calcários calcíticos, dolomíticos e dolomíticos silicosos. Este último apresenta tremolita, diopsídio e olivina como minerais acessórios, indicando cristalização em condições de fácies anfibolito superior a granulito e pressão intermediária, suportada também pela presença de granada do tipo grossularia-andradita, diopsídio e plagioclásio em rochas cálcio-silicáticas. As assembleias minerais encontradas nos metapelitos (estauroлита+granada+biotita) e nos gnaisses qtz-feldspáticos (meta-arcóseos) (plagioclásio cálcico+biotita+granada) sustentam um metamorfismo no limite entre os graus médio e alto. As assembleias metamórficas são estáveis em condições entre 550° e 800°C e pressão litostática intermediária (4-8 kbars), caracterizando o pico do metamorfismo orogênico que ocorreu entre 720-700 Ma devido à colisão entre os Arcos de São Gabriel e Passinho e o Craton do Rio de La Plata. A alta proporção de plagioclásio nos gnaisses quartzo-feldspáticos sugere uma área fonte próxima, enquanto os zircões detríticos indicam rochas fontes com idades entre 900 e 680 Ma. A elevada maturidade composicional e textural dos quartzitos sugere um longo transporte sedimentar, como observado nos complexos supracrustais situados nos limites leste e sul do Terreno São Gabriel, que possuem zircão detrítico entre 3.6 e 1.57 Ga, e que foram interpretados como sendo de margem passiva.

Palavras-Chave: Análise Petrográfica, Petrologia Metamórfica, Estratigrafia, Terreno São Gabriel, Cinturão Dom Feliciano.

ABSTRACT

This project made a petrographic analysis of the supracrustal components of the Palma, Passo do Ivo and Cambaizinho complexes in the regions of the São Gabriel, Santa Margarida do Sul and Vila Nova do Sul, situated in the western portion of the São Gabriel Terrane of the Dom Feliciano Belt. The Passo do Ivo and Cambaizinho complexes are constituted by quartz-feldspathic gneisses (meta-arkoses) with subordinate quartzites, marbles, calc-silicate rocks and metapelites. In the Palma Complex, dominate the pure quartzites, with restricted calc-silicatic rocks and marbles. The characterization of these units involved geological mapping, semi-quantitative modal analysis and evaluation of structures and textures to define the original rock (protolith) and the conditions of metamorphism and paleo-environments. The quartz-feldspathic gneisses and quartzites have a medium-grained polygonal granoblastic texture, and locally, blastopsamitic texture. The compositional bedding and grain-size variations with distinct contents of quartz, plagioclase, biotite and garnet are the main relic features that support a sedimentary origin. Marbles and calc-silicate rocks have compositional bedding and alternate levels of calcitic, dolomitic and siliceous dolomitic limestones. The latter present tremolite, diopside and olivine as accessory minerals, indicating crystallization in conditions of upper amphibolite to granulite facies and intermediate pressure, supported also by the grossular-andradite, diopside and plagioclase of the calc-silicate rocks. Mineral assemblages found in the metapelites (estaurolite+garnet+biotite) and in the qtz-feldspathic gneisses (meta-arkoses) (calcic plagioclase, biotite and garnet) sustain a middle to high grade metamorphism. The metamorphic assemblage is stable under conditions of 550° and 800°C and intermediate lithostatic pressure (4-8 kbars) and mark the peak of the orogenic metamorphism that occurred between 720-700 Ma due to the collision between São Gabriel and Passinho Arcs and the Rio de La Plata Craton. The high proportion of plagioclase in the qtz-feldspathic gneisses suggests a close source area, being derived from the magmatic rocks whose ages are between 900 and 680 Ma. The textural maturity of the quartzites suggests a long sedimentary transport and distant from the source area, as seen in supracrustal complexes situated in the east and south limits of the São Gabriel Terrane, which show detrital zircons ages ranges between 3.6 and 1.57 Ga and interpreted as being passive margin.

Keywords: Petrographic Analysis, Metamorphic Petrology, Stratigraphy, São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização dos complexos metassedimentares estudados no TCC. Fonte: do autor, modificado de Laux et al (2017).	17
Figura 2: Porção sul do continente Gondwana mostrando a localização das principais áreas cratônicas e do CDF (em vermelho). Fonte: retirado de Philipp et al. (2016 ^a).	20
Figura 3: A) Localização do Cinturão Dom Feliciano na América do Sul. Fonte: retirado de Philipp et al. (2021).	22
Figura 4: Mapa geológico do Terreno São Gabriel, mostrando suas principais unidades. Fonte: retirado de Philipp 2023 [n.d].	23
Figura 5: Evolução do TSG em três períodos, com destaque para a Bacia do Cambaizinho. Fonte: retirado de Lena et al. (2014).	25
Figura 6: Diagrama concórdia e histogramas das quatro amostras analisadas. Fonte: retirado de Lena et al. (2014).	26
Figura 7: O ciclo de Wilson, mostrando as sucessivas etapas da orogênese. Fonte: retirado de Kearey (2014).	31
Figura 8: Microscópio <i>Zeiss Imager A2 com câmera Zeiss AxioCam MRc</i> acoplada para posterior manipulação das imagens no <i>software Zen</i> . Fonte: do autor.	38
Figura 9: Feições macroscópicas dos complexos Cambaizinho, Palma e Passo do Ivo.	40
Figura 10: Mapa geológico integrado das unidades situadas a oeste do Terreno São Gabriel. Fonte: do autor.	43
Figura 11: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas dos gnaisses quartzo-feldspáticos do Complexo Cambaizinho.	48
Figura 12: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas dos gnaisses pelíticos e calci-silicáticos do Complexo Cambaizinho.	51
Figura 13: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas das rochas calci-silicáticas do Complexo Passo do Ivo.	54
Figura 14: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas dos Mármorees do Complexo Palma.	59
Figura 15: Grade petrogenética para pelitos. Retirado e modificado de YARDLEY (1989).	64
Figura 16: Grade petrogenética para mármorees. Retirado e modificado de Bucher e Frey (2007).	64
Figura 17: Grade petrogenética para rochas calci-silicáticas.. Retirado e modificado de Hollocher (2014).	65
Figura 18: Diagrama esquemático ilustrando a orogenia afetando as bacias sedimentares de back-arc/fore-arc intra-oceânicas e de margem continental passiva. Fonte: do autor.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Acervo de lâminas descritas no projeto e respectivas referências.	44
Tabela 2: Composição modal das amostras descritas.	45
Tabela 3: Principais feições petrográficas dos metassedimentos do Complexo Cambaizinho.	52
Tabela 4: Principais feições petrográficas dos metassedimentos do Complexo Passo do Ivo.	56
Tabela 5: Principais feições petrográficas dos metassedimentos do Complexo Palma.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**MINERAIS**

Retirado de Ralph Kretz (1983)

Qtz – quartzo

Ph – feldspato

Pl – plagioclásio

Mc – microclínio

Ttn - titanita

Ap - apatita

Op – opaco

Ms – muscovita

Mag – magnetita

Grt – granada

Chl – clorita

Bt – biotita

Tur – tumalina

Hbl – hornblenda

Ep – epidoto

Cb – carbonato

Srp – serpentina

Tlc – talco

Sil – silimanita

Est – estaurolita

Di - diopsídio

OUTROS

TSG – Terreno São Gabriel

CDF – Cinturão Dom Feliciano

CC – Complexo Cambaizinho

CP – Complexo Palma

CPI – Complexo Passo do Ivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	16
2 GEOLOGIA REGIONAL.....	18
2.1 HISTÓRIA DO EMBASAMENTO CRISTALINO NA PORÇÃO CENTRAL DO ...	18
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	18
2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOTECTÔNICO	19
2.2.1 O Cinturão Dom Feliciano	19
2.2.2 O Terreno São Gabriel	20
2.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	24
2.3.1 Complexo Cambaizinho	24
2.3.2 Complexo Passo do Ivo	27
2.3.3 Complexo Palma	28
3 REVISÃO CONCEITUAL	30
3.1 METAMORFISMO REGIONAL	30
3.2 METAMORFISMO PROGRESSIVO E TIPOS DE PROTÓLITOS	32
3.3 ESTRUTURAS E TEXTURAS DIAGNÓSTICAS	33
3.3.1 Estruturas Primárias e Secundárias	33
3.3.2 Texturas Metamórficas e Reliquiárias	34
3.4 GRADES PETROGENÉTICAS	35
4 METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO.....	35
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
4.2 MAPAS GEOLÓGICOS	36
4.3 TRABALHO DE CAMPO.....	36
4.4 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA.....	37
5 RESULTADOS.....	39
5.1 GEOLOGIA DE CAMPO	39
5.2 MAPA GEOLÓGICO	41
5.3 PETROGRAFIA	44
5.3.1 Complexo Cambaizinho	46
5.3.2 Complexo Passo do Ivo	52
5.3.3 Complexo Palma	56
6 DISCUSSÕES.....	62
6.1 CONDIÇÕES DO METAMORFISMO	62
6.2 ORIGEM DOS METASSEDIMENTOS	65
6.3 POSICIONAMENTO ESTRATIGRÁFICO: CERTEZAS E LIMITAÇÕES	66
6.4 PALEOGEOGRAFIA DAS BACIAS	69
7 CONCLUSÕES	73
8 REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

Este projeto realizou a caracterização petrográfica das rochas metassedimentares dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho, aflorantes na região das vilas da Palma e Passo do Ivo, em São Gabriel, e nas regiões de Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul. Estes complexos fazem parte do Terreno São Gabriel (TSG) e estão situados na porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense. Os complexos estudados são constituídos por três grupos distintos de associações metamórficas intercaladas por ação tectônica e que incluem protólitos de rochas metassedimentares, meta-vulcânicas e rochas meta-máfico-ultramáficas. Os metassedimentos compreendem meta-arenitos (gnaisses quartzo-feldspáticos), quartzitos, meta-pelitos, mármore e meta-margas. As rochas meta-vulcânicas são subordinadas e incluem meta-basaltos e rochas meta-piroclásticas de composição ácida a intermediária. As rochas meta-máficas e meta-ultramáficas são constituídas por serpentinitos e xístos magnesianos e são interpretadas como ofiolitos.

A região situada entre as cidades de São Gabriel, Vila Nova do Sul, Caçapava do Sul e Lavras do Sul representou uma área pioneira nos estudos da geologia do Rio Grande do Sul e relevante quanto ao entendimento da estratigrafia do embasamento Pré-Cambriano. Investigações científicas na porção oeste do TSG foram realizadas desde a década de 30, e intensificadas a partir das décadas de 60 e 70 do século XX, pelos trabalhos de Gõni et al (1961), Jost & Villwock (1966) e Jost (1966,1970). A caracterização geológica pormenorizada, as definições da estratigrafia e das principais estruturas regionais, sustentadas por dados de geologia de campo e análises laboratoriais de geoquímica e petrografia, foram elaboradas por diversos autores nas décadas seguintes: Garcia & Hartmann (1981), Naumann & Hartmann (1984), Chemale Jr (1982), Oliveira (1983), Naumann (1985), Remus (1990). Atualmente foram propostas por Saalman et al. (2005, 2010), Laux et al. (2012, 2017) e Philipp et al. (2016, 2018, 2021) divisões estratigráficas para as rochas desta região, não existindo um consenso quanto à origem das rochas metassedimentares dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho.

O objetivo principal deste TCC foi aprimorar o entendimento da associação metassedimentar com relação ao reconhecimento do protólito e do ambiente de formação. Foi discutida a correlação estratigráfica dos corpos metassedimentares

aflorantes nos complexos Palma e Passo do Ivo, constituídos por sedimentos maduros e clasto-químicos, com os metassedimentos imaturos do Complexo Cambaizinho. Também foi avaliado o significado dos mesmos em termos paleogeográficos com base no contexto evolutivo do TSG e do Cinturão Dom Feliciano (CDF).

O Complexo Cambaizinho é a unidade que mais apresenta metassedimentos em termos de área e de volume, sendo constituído por gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arenitos), quartzitos e gnaisses pelíticos, com ocorrência localizada de mármore e xistos e/ou gnaisses cálcio-silicáticos. Os meta-arenitos foram interpretados como sendo parte de uma bacia de *back-arc* ou *fore-arc*, e derivados de rochas juvenis de arcos magmáticos de idade Toniana (Neoproterozóico) resultantes do fechamento do próto-oceano Charrua (Lena et al. 2014). O caráter acrescionário desta orogênese resultou na intercalação tectônica do tipo *mélange* entre fragmentos deformados de complexos ofiolíticos de idades Toniana (Arena et al. 2016, 2017), com lentes de meta-arcóseos, para-anfibolitos bandados, quartzitos e mármore.

Uma das principais hipóteses de trabalho é de que os meta-arcóseos e para-anfibolitos bandados dos complexos Passo do Ivo e Palma representem fragmentos da porção distal da sucessão de sedimentos associados as bacias dos arcos Passinho (900-850 Ma) e São Gabriel (770-720 Ma), enquanto as lentes de quartzitos puros e mármore representem associações relacionadas a bacias de fundo oceânico ou plataformal de margem passiva.

1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo principal do projeto consiste em caracterizar as associações metassedimentares dos complexos Cambaizinho, Palma e Passo do Ivo a partir do reconhecimento de suas unidades em campo e da análise petrográfica de amostras representativas selecionadas.

Os objetivos específicos estão relacionados a evolução tectônica dos metassedimentos. As perguntas feitas para atingi-los foram feitas, em ordem crescente de informação:

- 1) Quais as características composicionais dos metassedimentos?
- 2) Quais os tipos de metamorfismo e as condições metamórficas de P/T, em termos de graus e fácies metamórficas e de tipo de pressão litostática?
- 3) É possível estabelecer zonas metamórficas?
- 4) Qual a atuação da deformação?
- 5) Qual o ambiente tectônico que caracterizou a atuação do metamorfismo orogênico?
- 6) As rochas foram afetadas por mais de um tipo de metamorfismo?
- 7) Foi possível estabelecer a cronologia relativa dos eventos de metamorfismo?

Para a determinação do ambiente paleogeográfico dos protólitos foram feitas as seguintes perguntas, em ordem crescente de informação:

- 1) Quais os tipos de estruturas e texturas metamórficas observados?
- 2) Qual(is) o(s) tipo(s) de metamorfismo atuante?
- 3) Existem estruturas primárias e texturas reliquiares? Quais?
- 4) É possível identificar os protólitos?
- 5) Qual o ambiente de formação dos protólitos?

As respostas das questões centrais do projeto dependeram do alcance destas metas e da formulação de argumentos com base nas evidências obtidas e no suporte bibliográfico. Com os dados resultantes da descrição petrográfica e estrutural foram reunidos os elementos geológicos para analisar o posicionamento estratigráfico e as possibilidades de correlação dos metassedimentos estudados, caracterizando o ambiente paleogeográfico de formação dos protólitos dentro do contexto de evolução tectônico-estratigráfica do TSG e do CDF.

1.2 JUSTIFICATIVA

O TSG, situado no entorno das cidades de São Gabriel, Caçapava do Sul, Lavras do Sul e Vila Nova do Sul se destaca pelos relevantes levantamentos geológicos voltados a sustentação de projetos do setor mineral, visto que esta é a principal região de exploração metalífera no Estado do Rio Grande do Sul. Há registros de atividades minerais na região desde o século XIX, com destaque para a exploração de cobre na Mina do Camaquã, ao sul de Caçapava do Sul, e de diversas minas de ouro na região de Vila Nova do Sul e São Sepé. Atualmente se encontram na área de estudo duas pedreiras ativas de calcáreo calcítico exploradas pelas empresas Votorantim SA e Mineração Mônego.

Vários modelos geológicos e tectônicos, com diferentes terminologias foram propostos para caracterizar as unidades litoestratigráficas do Terreno São Gabriel. Ainda não foram definidos de maneira adequada a origem dos metassedimentos e os ambientes tectônicos de formação das unidades dos complexos Palma e Passo do Ivo, sendo a proposta do projeto uma contribuição nesse aspecto.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo situa-se nas localidades do município de São Gabriel na microrregião de Vila Palma à cerca de 50 quilômetros ao sul, compreendendo os complexos Palma e Passo do Ivo e nas cidades de Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul, compreendendo o Complexo Cambaizinho, ao leste da cidade de São Gabriel e a 350 de distância de Porto Alegre.

O acesso para o mapeamento da região ocorre principalmente pelas rodovias destacadas na Figura 1, compreendendo os três complexos metassedimentares localizados nas folhas cartográficas 1:50.000 de Suspiro (SH-21-Z-B-VI-1), Lagoa da Meia Lua (SH-21-Z-B-VI-2), Rufino Farias (SH-21-Z-B-III-4) e Vila Nova do Sul (SH22-Y-A-I-3).

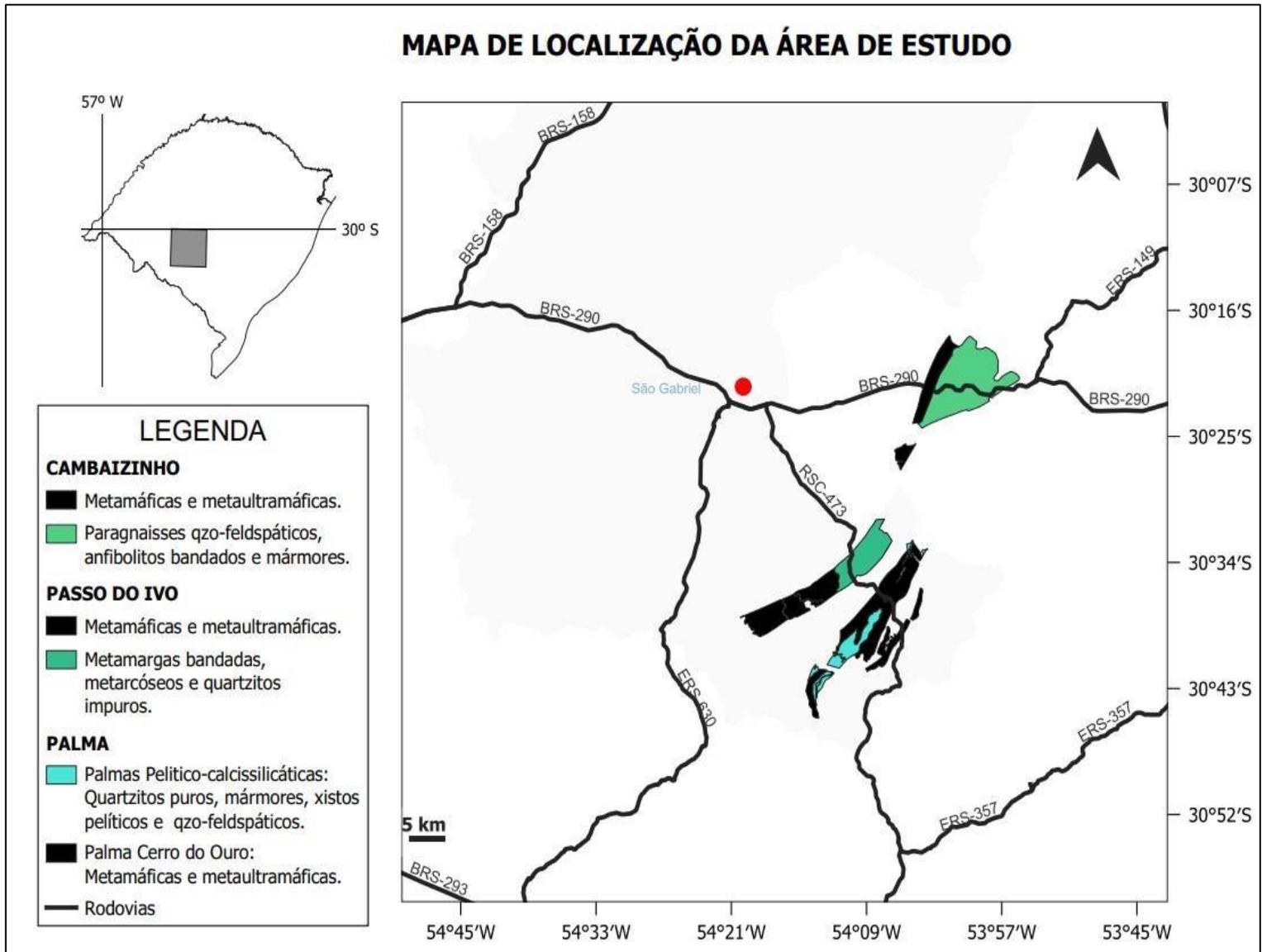


Figura 1: Mapa de localização dos complexos metassedimentares estudados no TCC. O Complexo Cambaizinho na porção norte e os complexos Palma e Passo do Ivo na porção sul. Fonte: do autor, modificado de Laux et al (2017).

2 GEOLOGIA REGIONAL

2.1 HISTÓRIA DO EMBASAMENTO CRISTALINO NA PORÇÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Investigações acerca das rochas do embasamento cristalino do Escudo Sul-rio-grandense começaram no início do século passado (Carvalho, 1932). Foram identificados gnaisses, quartzitos e xistos na região de Santana da Boa Vista ao leste do escudo, mica xistos em áreas mais restritas na parte central, calcários cristalinos em várias regiões como em Encruzilhada e nas redondezas da cidade de Caçapava aonde foi identificado no contato com o Granito Caçapava metamorfismo os transformando em mármore.

Na porção Oeste do escudo, nas cabeceiras do Rio Vacacaí, as rochas metamórficas em torno das cidades de Lavras do Sul e São Gabriel foram identificadas como uma formação constituída de filitos, quartzitos, mármore e xistos sericitizados denominadas Camadas de Palmas. A formação dos filitos da região de Ibaré constitui o último grupo de formações de rochas cristalinas caracterizadas no escudo, sendo ainda identificadas erupções vulcânicas e rochas sedimentares (Carvalho, 1932).

Na década de 60 do século XX, as pesquisas de campo na borda ocidental do Escudo Sul-rio-grandense identificaram duas grandes unidades litoestratigráficas pertencentes a duas fases orogênicas distintas. De acordo com Gõni et al (1962), prosseguindo o estudo da região na nascente do Rio Vacacaí, definiu-se como Formação Cambaí a associação de migmatitos e granitos redefinida por Jost e Willwock (1966) como Grupo Cambaí, devido à alta complexidade estrutural e litológica apresentada, sendo passível de divisão em formações menores. O grupo Cambaí, segundo Jost e Willwock (1966), é composto pelo Granito Jaguari e por uma sequência ortometamórfica (migmatitos gabroides e monzoníticos) e uma sequência parametamórfica (migmatitos calco-pelíticos e areno-pelíticos), sendo representativos da fase orogênica mais antiga e apresentando metamorfismo de facies xisto verde superior até granulito. O Grupo Porongos definido por Gõni et al. (1962), correspondente a fase orogênica mais nova, composto por litologias de grau baixo, sendo dividido em três formações. A sequência metassedimentar, constituída por sericita-xistos, filitos, mármore, quartzitos e meta-conglomerados foi denominada

Formação Vacacaí. Na parte basal desta unidade foram identificadas sequências interpretadas como meta-vulcânicas, intercaladas com os metassedimentos, e separadas em duas formações distintas, sendo os termos ultrabásicos referentes a Formação Cerro Mantiqueira e os termos básicos, correspondente aos xistos magnesianos da Formação Cerro do Ouro (Göni et al. 1962).

As últimas unidades são agrupadas por Jost e Willwock (1966) devido a novas observações da relação estratigráfica entre as litologias, sendo identificada uma associação de dunitos serpentinizados e piroxenitos de composição ultrabásica na parte basal da sequência seguidos por meta-basaltos e meta-andesitos de composição básica à intermediária no topo, ocorrendo ainda talco-clorita-xistos e clorititos esporádicos. Todos estes termos estão metamorfizados em grau baixo e representam os maciços ofiolíticos da Formação Cerro Mantiqueira (Jost e Willwock 1966; Jost 1970).

2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOTECTÔNICO

2.2.1 O Cinturão Dom Feliciano

O Cinturão Dom Feliciano (CDF) é um importante orógeno Neoproterozóico de direção NE-SW formado pela colagem de domínios oceânicos e fragmentos continentais durante a amalgamação do Gondwana Ocidental (Figura 2). Este orógeno constitui a porção Meridional da Província Mantiqueira (Almeida et al. 1977), e juntamente com os Cinturões Ribeira e Araçuaí, se estende por 1200 km ao longo do sudeste do Brasil e leste do Uruguai, com uma largura média de 150 km (Basei et al. 2000; Silva et al. 2005).

A estruturação da Província Mantiqueira é resultante do processo de colisão oblíqua do tipo Himalaiana entre crátons africanos e sul-americanos durante o Ciclo Brasileiro, sucedida de acomodação orogênica da tensão por meio de zonas de cisalhamento transpressionais que muitas vezes limitam suas unidades (Fernandes et al. 1992; Machado 1997; Fernandes et al. 1995).

As rochas do Cinturão Dom Feliciano estão expostas nos escudos de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Uruguai, sendo constituído pelos terrenos São Gabriel, Tijucas e Punta del Este, e pelos batólitos de Florianópolis, Pelotas e Aiguá (Philipp et al. 2016; Hueck et al. 2018), constituindo um grande complexo intrusivo composto

por suítes graníticas sin- a pós-colisionais (620-550 Ma). Os terrenos São Gabriel, Tijucas e parte do Terreno Punta del Este, e o Batólito Pelotas, representam as rochas do CDF aflorantes no RS (Figura 3). A evolução do cinturão é longa, com cerca de 450 Ma, começando com a abertura do Oceano Charrua entre o Craton Rio de la Plata e a Microplaca Nico Perez, entre 930 e 890 Ma (Philipp et al. 2016a, 2018). O fechamento deste oceano ocasionou a geração de dois arcos magmáticos juvenis entre 890 e 860 Ma (Arco Passinho) e 770 e 720 Ma (Arco de São Gabriel) (Chemale Jr., 2000; Hartmann et al. 2007; Saalman et al. 2010; Philipp et al. 2016a, 2018) foi sucedido pela abertura e fechamento do Oceano Adamastor e colisão entre os Cráton Rio de La Plata/Microplaca Nico Perez e o Cráton do Kalahari (Philipp et al. 2016a, 2018).

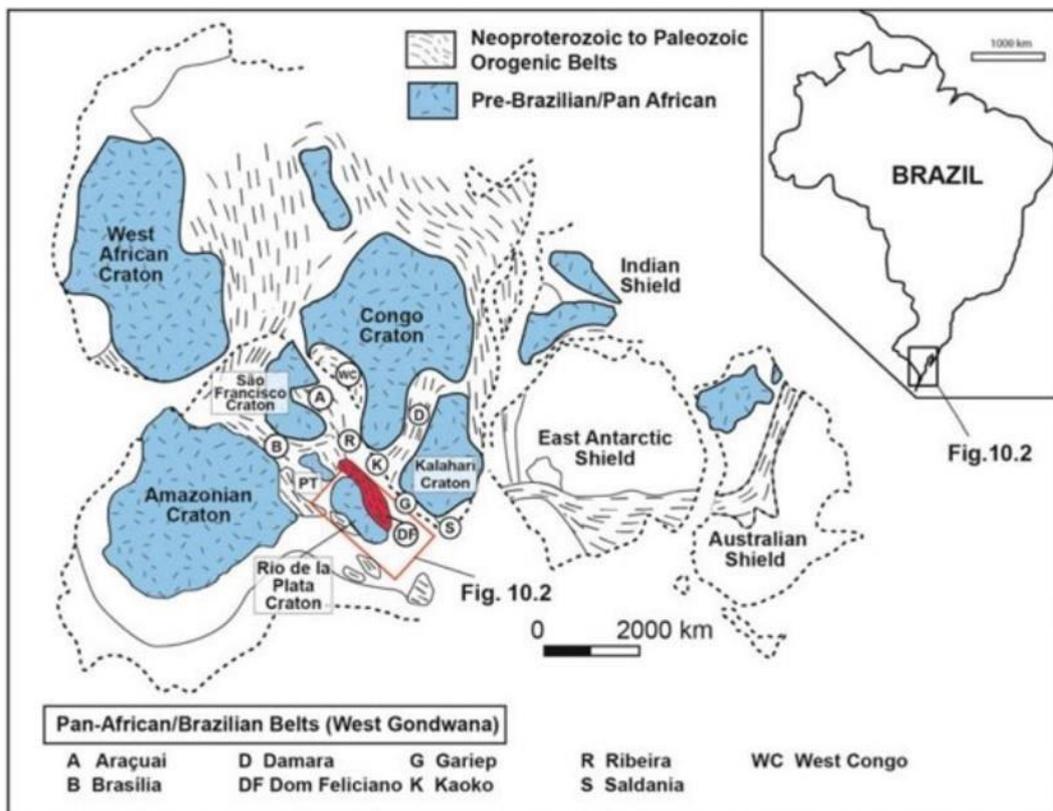


Figura 2: Porção sul do continente Gondwana mostrando a localização das principais áreas cratônicas e do CDF (em vermelho). Fonte: retirado de Philipp et al. (2016^o).

2.2.2 O Terreno São Gabriel

O Terreno São Gabriel é uma unidade geotectônica localizada na parte oeste do Cinturão Dom Feliciano. Está delimitado pela Zona de Cisalhamento Ibaré a SW, que o separa do Terreno Taquarembó, considerado um fragmento do Cráton Rio de

La Plata, unidade de idade Arquena-Paleoproterozóica (Hueck et al. 2018; Philipp et al 2016a, 2018), e a SE, pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul, que o separa do Terreno Tijucas (2.35-0.78 Ga) (Figura 4).

Ao longo das últimas seis décadas foram realizadas diversas pesquisas com ênfase na caracterização petrográfica das unidades litoestratigráficas da região de São Gabriel e Lavras do Sul, e no refinamento da estratigrafia e das relações de contato entre as unidades dentro de um contexto de evolução geotectônica. A partir do final da década de 1990, com a implementação dos dados geoquímicos, foi possível estabelecer novos parâmetros petrológicos para caracterizar as associações petrotectônicas. A partir dos anos 2000, a entrada dos dados geocronológicos e isotópicos, com a determinação das idades de cristalização ígneas e metamórficas, e com a definição das idades de proveniência de zircão detrítico, houve um grande incremento de informações que permitiu a elaboração de modelos geotectônicos para a evolução do TSG.

Destacam-se os trabalhos de Soliani Jr. (1986), Machado et al. (1990), Fernandes et al. (1992), Babinski et al. (1996,1997), Leite et al. (1998), Remus et al. (1999, 2000), Silva et al. (1999, 2000), Saalman et al. (2005, 2006, 2010); Hartmann et al. (2011), Gubert et al. (2016), Vedana et al. (2017) e Philipp et al. (2018, 2021).

Fragoso-Cesar (1991), Fernandes et al. (1995); Chemale Jr. (2000), Hartmann et al. (2007); Saalman et al. (2010) e Philipp et al., (2016), entre outros, interpretaram o TSG como sendo relacionado à evolução do Cinturão Dom Feliciano, com a ocorrência de três grandes eventos orogênicos caracterizados pela formação de arcos magmáticos Neoproterozóicos: (1) Passinho (900-860 Ma), fase inicial de acreção crustal juvenil com magmatismo de arco intra-oceânico representado pelos ortognaisses do Complexo Imbicuí ; (2) São Gabriel (770-720 Ma) magmatismo de arco continental representado pelas rochas meta-vulcanossedimentares do Complexo Bossoroca e pelos ortognaisses do Complexo Cambaí; e (3) Dom Feliciano (650-540 Ma), com ampla fase de anatexia crustal e magmatismo, representado pelos batólitos graníticos e por coberturas vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã.

O TSG (Figura 4) é composto por diversas unidades associadas ao metamorfismo orogênico polifásico, contendo os melhores exemplos de processos acrecionários que iniciaram no Toniano durante a colagem Brasileira na América do Sul (Brito Neves et al. 2014). As associações constituem complexos meta-vulcanosedimentares, complexos meta-plutônicos e associações ofiolíticas expostas

em um conjunto de rampas de cavalgamento de direção NW-SE (Saalman et al. 2005, 2006, 2010; Philipp et al. 2016a, 2018, 2021).

A reunião dos dados de zircão detríticos dos complexos supracrustais do Terreno São Gabriel (Philipp et al. 2021) permitiu reconhecer duas associações distintas de metassedimentos: (i) sucessões sedimentares maduras depositadas em bacias de margem passiva, como os complexos Passo Feio, Arroio Marmeleiro e Coxilha do Batovi, e (ii) sucessões sedimentares imaturas e com forte influência do magmatismo de arco (complexos Bossoroça, Ibaré, Cambaizinho e Pontas do Salso).

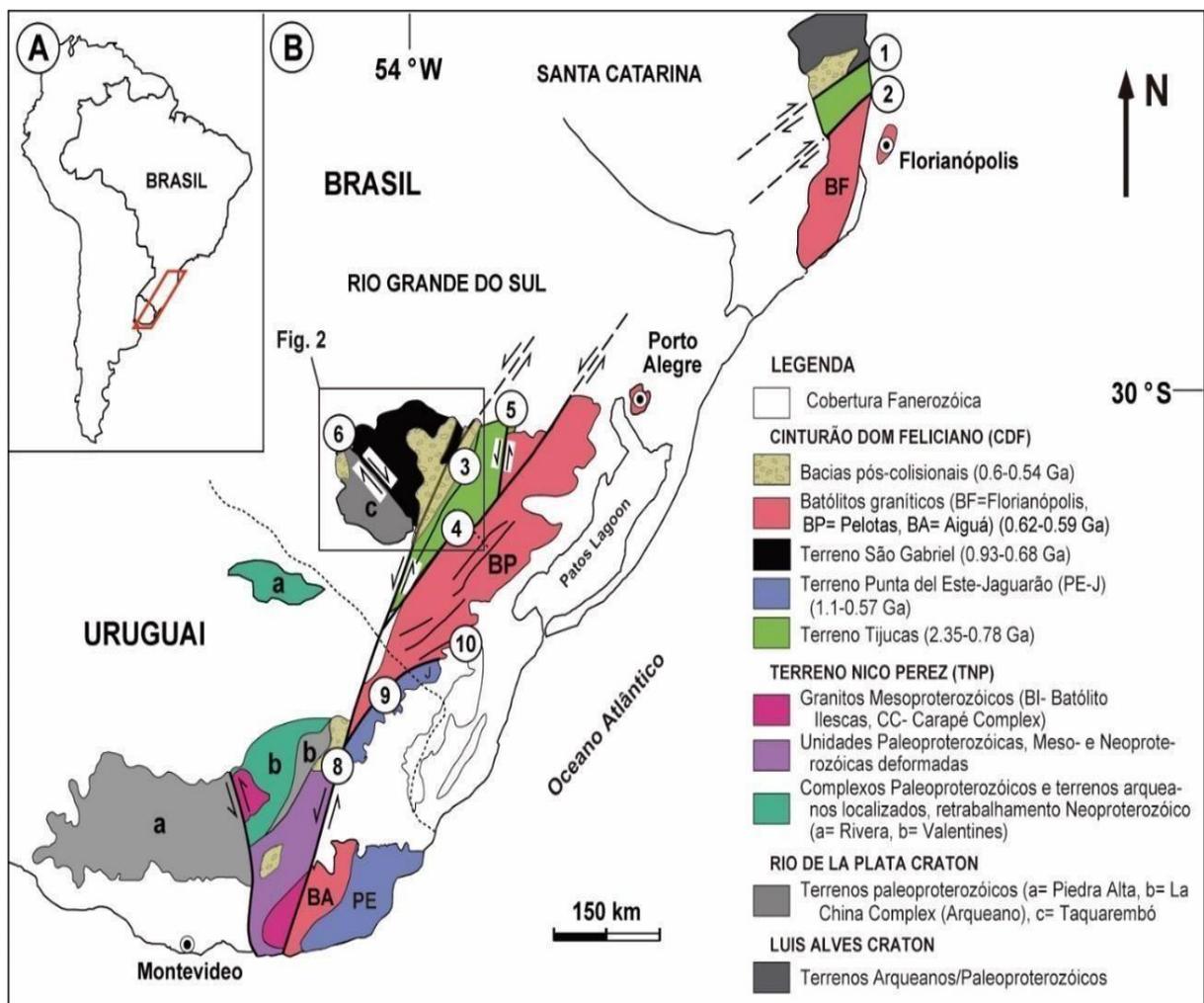


Figura 3: A) Localização do Cinturão Dom Feliciano na América do Sul; B) Mapa geotectônico da porção sul da Província da Mantiqueira, mostrando as unidades do Cinturão Dom Feliciano e do Cráton Rio de La Plata. Zonas de cisalhamento: 1- Itajai-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro e 10- Arroio Grande). Fonte: retirado de Philipp et al. (2021).

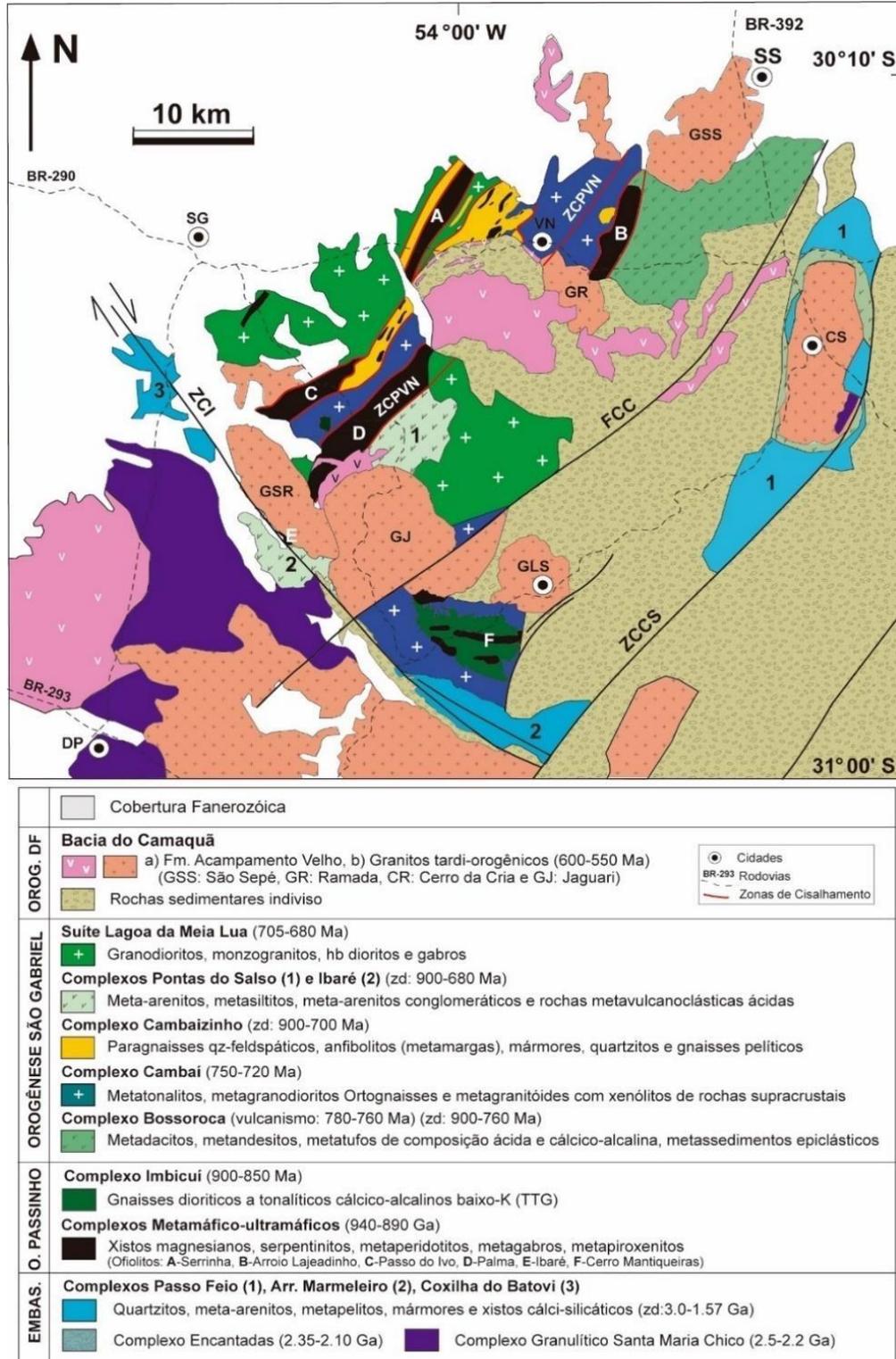


Figura 4: Mapa geológico do Terreno São Gabriel, mostrando suas principais unidades (legenda: EDF - Evento Dom Feliciano (0,65-0,57 Ga), d - intervalo de dados de zircão detrital U-Pb); zonas de cisalhamento: ZCCS - Caçapava do Sul, ZCDC - Dorsal do Canguçu, ZCI Ibaré e ZCPVN - Palma-Vila Nova do Sul; seções geológicas: I - Vila Nova do Sul- Bossoroca, II - Panorama-Cerro do Ouro e III - Coxilha do Batovi-Palma-Pontas do Salso; cidades: B - Bagé, DP - Dom Pedrito, CS - Caçapava do Sul, LS - Lavras. do Sul, VN - Vila Nova do Sul e SG - São Gabriel. Fonte: retirado de Philipp 2023. Não publicado [s.d].

2.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

2.3.1 Complexo Cambaizinho

O Complexo Cambaizinho foi definido por Remus (1990) e inclui as exposições localizadas no entorno da cidade de Santa Margarida do Sul (antiga Vila Rufino Farias) e que ocorrem como uma faixa linear de direção NE-SW, com cerca de 12 km de comprimento e 3,5 km de largura. Sua topografia é marcada por cristas com orientação N20-45°E, que se estendem desde a localidade de Passo do Ivo, situado mais a sul, até a cabeceira do Arroio Cambaizinho. Segundo Remus (1990) o complexo é constituído por sequências metassedimentares e meta-máfico-ultramáficas, representando uma associação supracrustal polideformada metamorfisada em condições de fácies anfibolito inferior a superior. A sequência metassedimentar é constituída predominantemente por gnaisses quartzo-feldspáticos com proporções variadas de granada e biotita, além de xistos, anfibolitos bandados e quartzitos subordinados, derivados de sedimentos areno-pelítico-carbonatados ritmados em ambiente subaquoso. A porção meta-máfico-ultramáfica ocorre na forma de lentes de serpentinitos, xistos magnesianos e anfibolitos intercalados com os metassedimentos. Estas unidades foram englobadas posteriormente na Formação Cerro do Ouro, definida por Saalman et al. (2005). Corpos de monzogranitos e granodioritos de cor rosa e cinza claro (Granito Sanga do Jobim e equivalentes) cortam as rochas da sequência metassedimentar e mostram um posicionamento controlado por zonas de cisalhamento de direção NE-SW. Os autores reconheceram quatro fases de deformação dúctil, sendo que somente os eventos de deformação D₁ e D₂ desenvolveram estruturas penetrativas. A primeira fase está associada ao evento metamórfico M₁ e está caracterizada pelo bandamento gnáissico e/ou xistosidade (S₁). A ocorrência de dobras intrafoliais F₂ com formas isoclinais a apertadas define, a partir da transposição da foliação S₁, uma nova foliação S₂ plano-axial que pode ser interpretada como uma evolução progressiva ou como um metamorfismo (M₂). Ambas as foliações apresentam as mesmas assembleias minerais, que indicam um metamorfismo orogênico de fácies anfibolito médio a granulito e uma condição de pressão intermediária Hartmann et al (2011) descreveram xenólitos de paragneisses no interior dos granitoides do Complexo Cambaí, indicando que os metassedimentos

são anteriores ao magmatismo granítico, que tem idades U-Pb em zircão entre 750 e 720 Ma.

Uma idade Neoproterozóica para a associação metassedimentar do Complexo Cambaizinho é indicada por idades modelo Nd Tdm de 0,6 – 1,3 Ga, e valores positivos de $\epsilon\text{Nd}(t)$ sugerem que os metassedimentos são principalmente derivados de rochas ígneas juvenis dos arcos Passinho e São Gabriel (Saalman et al 2005, 2010) e (Philipp et al 2016a, 2018). Lena et al (2014) apresentou os resultados de idades U-Pb em zircão detríticos (Figura 6) de quatro amostras do Complexo Cambaizinho variando entre 860 e 680 Ma, com pico entre 750 e 700 Ma, sugerindo o paleoambiente dos sedimentos originais como sendo parte de uma bacia de *backarc* ou *fore-arc*.

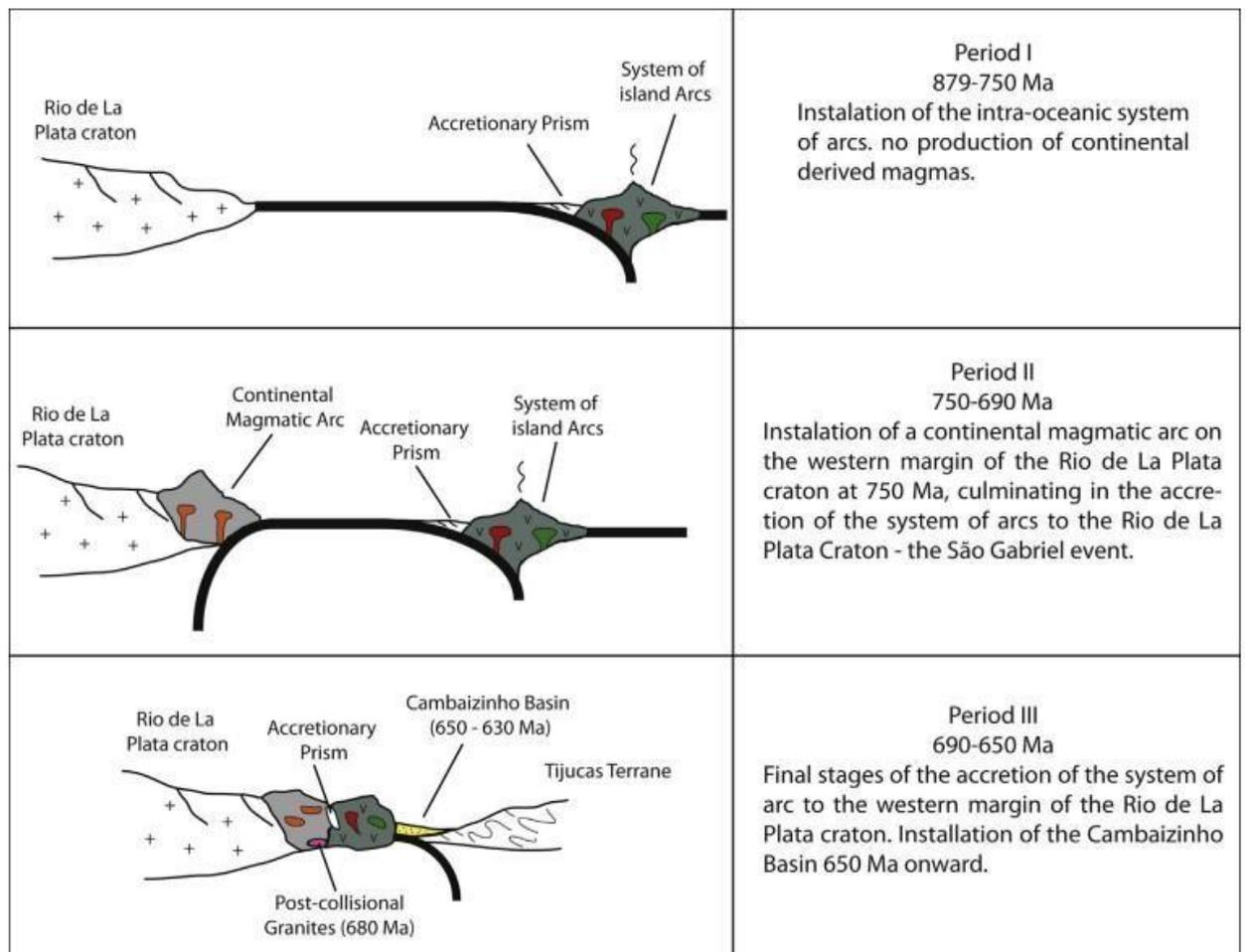


Figura 5: Evolução do TSG em três períodos, com destaque para a Bacia do Cambaizinho.
Fonte: retirado de Lena et al. (2014).

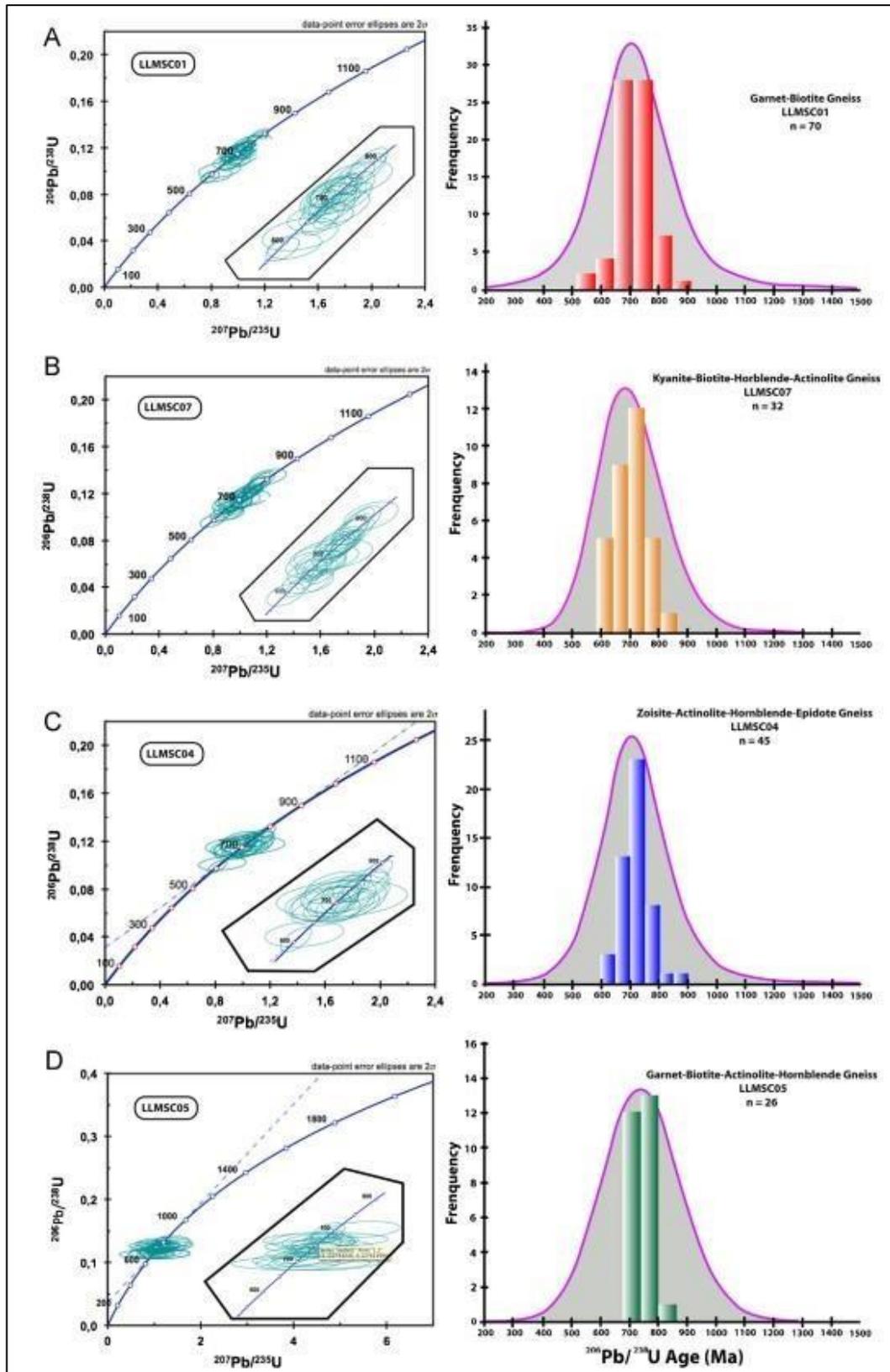


Figura 6: Diagrama concórdia e histogramas das quatro amostras analisadas por Lena et al. (2014).

2.3.2 Complexo Passo do Ivo

O Complexo Passo do Ivo constitui um corpo contínuo de forma alongada de direção NE-SW, que se estende da Vila do Passo do Ivo, na porção NW da região de Palma, e ao sul da cidade de São Gabriel, até o curso baixo do Arroio Cambaizinho situado o NE, na cidade de Santa Margarida do Sul, de forma análoga à disposição geométrica dos Complexos Palma e Cambaizinho (Philipp et al. 2021).

A unidade foi descrita primeiramente por Jost (1966) e nomeada como Maciço Máfico-Ultramáfico Passo do Ivo por Szubert et al. (1977, 1978) e por Oliveira (1981), ao passo que é nomeada mais recentemente como Complexo Ofiolítico Passo do Ivo (Philipp et al. 2016a).

Oliveira (1981) identificou serpentinitos, xistos magnesianos, peridotitos e hornblenda gabros na região da Vila do Passo do Ivo. A autora propõe um caráter estratiforme para o maciço, formando-se a partir de um magma toleítico magnesiano e com um *trend* komatítico, sugerindo um ambiente de formação do tipo *Greenstone belt*. Sander & Laux (2015) identificaram uma assinatura MORB com empobrecimento de terras raras pesadas nos meta-gabros e meta-basaltos, confirmando uma interpretação associada a uma Suíte Ofiolítica. O Maciço está em contato com metamorfitos por meio de falhas de direção NE-SW. A sequência metasedimentar é constituída por actinolita xistos ricos em epidoto e localmente em turmalina preta, xistos quartzo-feldspáticos e quartzitos de cor cinza (Oliveira, 1981). Estas litologias parametamórficas afloram na forma de cristas concordantes formando um relevo suavizado com baixo gradiente topográfico, e foram metamorfisadas em condições de fácies xisto verde a anfíbolito. Estas unidades metassedimentares foram inseridas no Cinturão Metavulcano-sedimentar do Rio Vacacai (Fragoso-Cesar et al. 1980), e são dispostas em forma de lentes intercaladas com a porção meta-máfico-ultramáfica formando uma *mélange* tectônica.

Para Santos et al. (1990) e Remus (1990), as faixas Passo do Ivo e Cambaizinho representavam uma associação vulcano-plutônica com contribuição de sedimentação em meio subaquoso. Esta interpretação foi sustentada por anomalias negativas de Ce nas rochas ultramáficas do Complexo Cambaizinho, evidência de contato com água do mar antes do metamorfismo nos meta-basitos. Outros indícios de ambiente deposicional são a forma ritmada de intercalação dos metassedimentos, com os corpos aflorando em lentes delgadas por alongadas extensões longitudinais.

Os complexos metassedimentares Passo do Ivo e Cambaizinho são individualizados por coberturas Paleozóicas da Bacia do Camaquã e apresentam contato tectônico com o Complexo Cambaí por meio de zonas de cisalhamento transcorrentes dúctil-rúpteis de alto ângulo e com direção NE-SW.

2.3.3 Complexo Palma

Na região da Palma, na porção sudoeste do TSG, entre os municípios de São Gabriel, Lavras do Sul e Vila Nova do Sul, sequências de rochas meta-máfico-ultramáficas foram interpretadas inicialmente como fazendo parte de uma mesma evolução oriundas de vulcanismo pré-orogênico do tipo Alpino (Göni et al. 1961; Jost 1966), caracterizando um complexo ofiolítico.

Posteriormente projetos de exploração de ouro e cobre feitos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em parceria com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), durante os anos de 1977 e 1979, mapearam o Complexo Ofiolítico Palma, unidade disposta ao longo da direção NESW, com 26 km de comprimento e largura variável entre 1 e 7.5 km.

O nome Complexo Palma foi proposto por Garcia & Hartmann (1981) para definir uma intercalação tectônica do tipo *flysch* entre rochas metassedimentares e rochas máfico-ultramáficas orto-derivadas desenvolvidas em terreno de *mélange* tectônica que evoluiu como uma associação do tipo *Greenstone Belt* de idade Arqueana. Os autores compartimentam esta associação em dois litotipos com base em análises mineralógicas e geoquímicas: (i) rochas metassedimentares incluindo quartzitos, meta-pelitos, meta-arcóseos dispostos em pequenas lentes descontínuas intercaladas com rochas ultrabásicas; e (ii) rochas meta-ígneas incluindo meta-andesitos, meta-basaltos, meta-gabros, meta-dacitos e lamprófiros.

Chemale Jr. (1982) caracterizou o Complexo Palma como uma associação de rochas meta-ígneas de composição ácida a ultrabásica, e metassedimentos quartzo-feldspáticos, pelíticos e cálcio-silicáticos interpretados como sendo sedimentos intra-deposicionais da bacia, metamorfizados sob fácies xistos verdes a anfíbolito superior.

O complexo foi dividido em três sequências: (i) Cerro da Cruz A, incluindo meta-ultramafitos intercalados com meta-pelitos, quartzitos, mármore, meta-vulcânicas ácidas e básicas, rochas cálcio-silicáticas e meta-arcóseos pontuais; (ii) Cerro da Cruz B, constituída por meta-basaltos com intercalações subordinadas de

rochas meta-ultramáficas e metassedimentos; (iii) Pontas do Salso, representada por actinolita e/ou hornblenda xistos, intercalados com menor ocorrência de meta-pelitos e meta-arcóseos. Santos et al (1990) individualizou a sequência Pontas do Salso como Formação Pontas do Salso. O Complexo Pontas do Salso (Vedana & Philipp 2016) inclui metassedimentos clásticos e vulcano-clásticos (meta-arenitos conglomeráticos, meta-arenitos finos a grossos e meta-pelitos) distribuídos em ampla área de aproximadamente 100 km² derivados das rochas meta-vulcânicas do Complexo Bossoroca e dos tonalitos, granodioritos e dioritos da Suíte Lagoa da Meia Lua, sugerindo deposição posterior a esta suíte, que apresenta dados U-Pb SHRIMP em zircão entre 680 e 690 Ma (Vedana e Philipp 2016).

Saalmann et al. (2005,2006) propõem uma nova subdivisão para os metassedimentos do Terreno São Gabriel. Os autores descrevem o Complexo Palma como sendo uma sucessão meta-vulcanossedimentar constituída por rochas meta-vulcânicas máficas e ultramáficas intercaladas com metassedimentos do Grupo Palma.

O Grupo Palma pode ser segmentado em unidade inferior e superior. A unidade inferior, estratigraficamente mais antiga, foi subdividida em Formação Cerro do Ouro e Formação Cambaizinho. A Formação Cerro do Ouro é constituída por serpentinitos, xistos magnesianos, anfibolitos e meta-basaltos intercalados com lentes de quartzitos e mármore. A Formação Cambaizinho é constituída por quartzitos, gnaisses qz-feldspáticos, gnaisses calci-silicáticos, gnaisses pelíticos, xistos quartzo-feldspáticos e calci-silicático e mármore.

Os autores observaram duas principais fases regionais de deformação D1 e D2. As foliações e bandamentos S1 se formaram durante a fase D1 sendo posteriormente dobradas em condições de fácies anfibolito durante D2 associadas com cavalgamento para SE. A unidade superior não apresenta deformação e é constituída por meta-vulcânicas e meta-vulcano-clásticas da Fm. Campestre.

Laux et al (2012) interpretou o Complexo Palma como sendo um complexo ofiolítico relacionado com o processo de subducção que ocorreu no Período Criogeniano, sendo dividido em: (i) Formação Cerro do Ouro constituída por serpentinitos, xistos magnesianos, anfibolitos e meta-gabros; (ii) Unidade pelítico calcissilicática composta por mármore, quartzitos, clorita xistos e *BIF's*; (iii) Unidade meta-vulcânica constituída por meta-dacitos e meta-andesitos. A unidade interpretada como meta-vulcânica foi posteriormente, redefinida como basaltos e andesitos

pertencentes a Formação Acampamento Velho, a partir de idades U-Pb em zircão de 572 ± 2 Ma e 563 ± 2 Ma (Vedana et al. 2017b).

Recentemente Philipp et al (2016, 2018, 2021) descreveu o complexo como sendo composto por meta-pelitos, meta-arenitos, mármore e quartzitos puros, estes últimos interpretados como provenientes de metamorfismo orogênico de carapaças silicosas de diatomáceas e/ou radiolárias depositadas em fundo oceânico. Estas unidades foram intercaladas por ação tectônica com rochas meta-ultrabásicas (xistos magnesianos e serpentinitos) descritos como fragmentos de lascas dos complexos ofiolíticos Palma e Passo do Ivo, inseridos na unidade tectônica do Prisma Acrescionário Palma.

3 REVISÃO CONCEITUAL

3.1 METAMORFISMO REGIONAL

O metamorfismo regional, é qualquer metamorfismo que afeta um grande corpo de rocha e, portanto, cobre uma grande extensão lateral (tipicamente com dezenas de quilômetros ou mais) (Winter, 2014). Deste modo, o metamorfismo regional é dividido em três tipos: (i) orogênico, (ii) de fundo oceânico ou (iii) de soterramento.

Dentro da crosta continental o metamorfismo mais comum é aquele desenvolvido nas vastas raízes dos cinturões orogênicos (orógenos), sendo comumente chamado de metamorfismo orogênico (Best, 2003). A orogênese é o resultado de um complexo sistema de processos tectônicos controlados pela interação entre inúmeras placas oceânicas e continentais e pequenos corpos crustais (microplacas) ao longo de milhões de anos, aglutinando massas continentais antigas (crátons) e formando cadeias de montanhas (orógenos) através da abertura e fechamento de bacias oceânicas, sendo uma etapa fundamental dos eventos cíclicos de dinâmica terrestre chamado de Ciclo de Wilson (Figura7).

Ao longo da história evolutiva de um cinturão orogênico as rochas, sendo ígneas ou sedimentares ou até mesmo metamórficas, respondem aos incrementos de temperatura (T), pressão litostática (P) e tempo, com o crescimento de novos minerais metamórficos acompanhados por deformação e produção de uma trama de minerais tectônicos em respostas a tensão (*stress*).

De acordo com a evolução do ambiente tectônico podem ser distinguidos três subtipos de metamorfismo em regiões de convergência de placas:

(a) metamorfismo em zona de subducção ou da série de alta P/T, afetando a crosta oceânica ao longo do plano de subducção e que origina rochas como os xistos azuis e eclogitos;

(b) metamorfismo de arco magmático ou da série de baixa P/T, afetando as rochas vulcânicas ou plutônicas do arco magmático e as sucessões meta-vulcanossedimentares das bacias de *back-arc* e *fore-arc*;

(c) metamorfismo colisional ou da série de média P/T, associado com a colisão de áreas cratônicas ou de sistemas de arcos magmáticos.

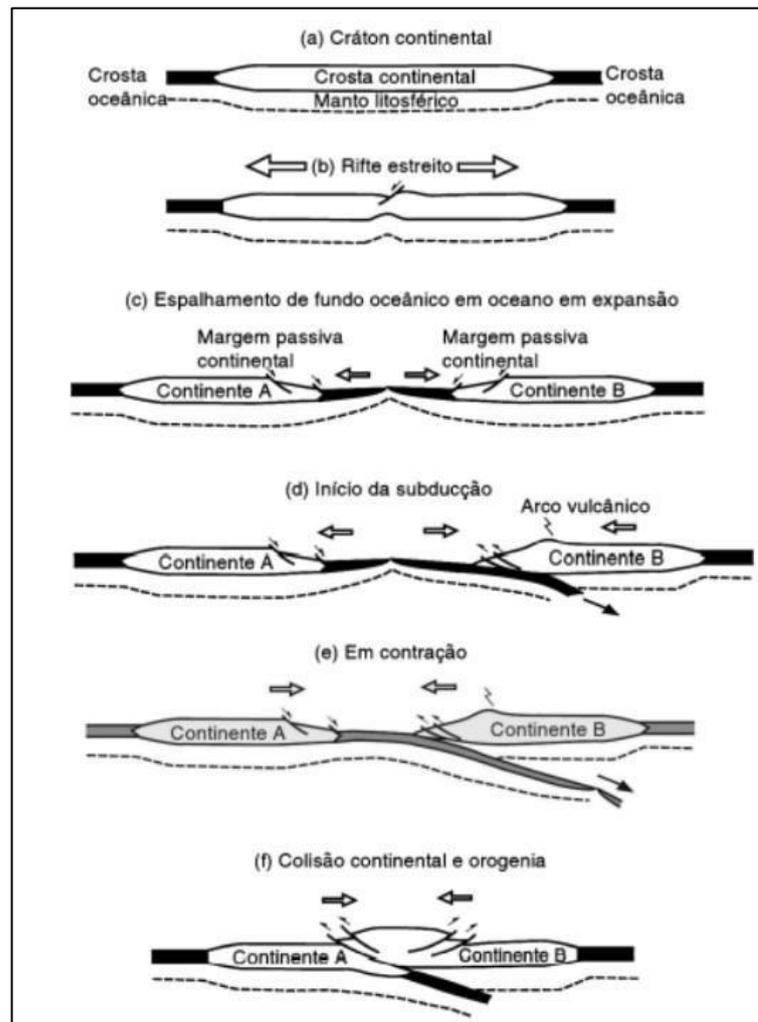


Figura 7: O ciclo de Wilson, mostrando as sucessivas etapas da orogênese. Fonte: retirado de Kearey (2014).

3.2 METAMORFISMO PROGRESSIVO E TIPOS DE PROTÓLITOS

O termo **metamorfismo progressivo** refere-se as mudanças em uma rocha que acompanham o aumento de grau metamórfico (temperatura) ao qual ela é submetida. Desta forma, uma rocha não metamorfisada é afetada através do crescimento de assembleias minerais em estado sólido em resposta ao aumento da pressão e temperatura, de forma a manter o equilíbrio químico dos minerais constituintes em novas condições de P e T.

Quando estudamos rochas metamórficas é importante determinar o grupo composicional (pelitos, básicas, ultrabásicas, calcáreas e quartzo-feldspáticas) e, ocorrendo estruturas e texturas reliquias, inferir as litologias pré-metamórficas (protólitos).

Além do grau metamórfico, a composição química inicial do protólito tem um importante papel na sua descendência metamórfica e sua identificação fornece indícios dos ambientes geológicos em que as rochas se encontravam antes dos eventos que geraram o metamorfismo orogênico (Winter et al. 2014).

Podemos reconhecer sete grupos de protólitos ígneos e sedimentares:

1) Rochas ultramáficas e ultrabásicas: Protólitos Rochas ígneas provindas do manto, englobando rochas vulcânicas como os komatiitos ou rochas plutônicas como dunitos e peridotitos;-

2) Rochas máficas: Protólitos Rochas ígneas provindas do manto, englobando rochas vulcânicas como os basaltos, ou rochas plutônicas como os gabros, dioritos e piroxenitos;

3) Rochas pelíticas: Protólitos Folhelhos e argilitos, representando a deposição de sedimentos clásticos de grão fino (argilas) depositados em plataformas estáveis, em bacias oceânicas e outros ambientes continentais;

4) Rochas calcáreas ou carbonáticas: Protólitos Calcáreos calcíticos e dolomíticos gerados principalmente em ambientes marinhos de margem passiva

5) Rochas cálcio-silicáticas: Protólitos Margas, representando a mistura de sedimentos clásticos de grão fino (argilas) de composição pelítica e de composição carbonática, depositados em ambiente plataformal ou sucessões sedimentares finas oriundas da erosão de rochas vulcânicas de composição básica ou intermediária;

6) Rochas quartzo-feldspáticas: Protólitos Arenitos arcoseanos ou rochas ígneas vulcânicas de composição ácida (riolitos, dacitos) ou granitóides;

7) Rochas muito ricas em quartzo (> 90%): Protólitos sedimentos arenosos ricos em quartzo associados a ambiente marinho (dunas eólicas e areias praias), areias clásticas continentais associadas a barras de areia de sistemas fluviais, e sedimentos bioquímicos de fundo oceânico, como carapaças de diatomáceas e/ou radiolários e mais raramente, de veios de quartzo.

3.3 ESTRUTURAS E TEXTURAS DIAGNÓSTICAS

As estruturas e texturas desempenharam papel diagnóstico para este estudo, sendo essenciais na identificação da atuação do metamorfismo orogênico, bem como na determinação dos protólitos e na correlação de eventos deposicionais pré-metamórficos dos metassedimentos ou de eventos polifásicos de deformação regional.

3.3.1 Estruturas Primárias e Secundárias

As estruturas **primárias (So)** preservadas nos protólitos ígneos e sedimentares incluem:

- (i) **Acamamento Sedimentar:** incluindo estruturas plano-paralela, cruzada, cruzada acanalada, entre outras.
- (ii) **Bandamentos Ígneos:** incluindo bandamento de fluxo em lavas em rochas graníticas, e estruturas de origem piroclástica, como eutaxítica em ignimbritos.
- (iii) **Foliação Magmática:** termo genérico empregado para designar a foliação ígnea marcada pelo alinhamento de forma dos minerais.

As estruturas secundárias ou tectônicas são definidas por elementos tabulares ou lamelares com orientação preferencial, dispostos de forma penetrativa (trama) em uma rocha.

Estruturas planares **secundárias** de origem metamórfica ou deformacional incluem:

- (i) **Clivagem Ardosiana:** deslocamento ou facilidade de deslocar associada a orientação de filossilicatos e/ou anfibólios de grão muito fino;
- (ii) **Xistosidade:** deslocamento ou facilidade de deslocar relacionada a orientação de filossilicatos e/ou anfibólios, em rochas de grãos visíveis a vista desarmada (tamanho de grão > 0.2-0.3 mm);

(iii) **Bandamento:** pode ter várias origens: de injeção magmática, deformacional-mílonítico e de segregação metamórfica, caracterizado pela intercalação entre níveis félsicos de composição quartzo-feldspática e níveis máficos, com agregados orientados de micas, anfibólios e/ou piroxênios).

(iv) **Foliação:** termo geral usado para caracterizar rochas que não se incluem nas opções anteriores, mas que apresentam orientação de algum mineral máfico. Este termo inclui a deformação e o metamorfismo de diversas rochas félsicas, como as rochas graníticas, vulcânicas ácidas e arenitos arcoseanos, que mostram um baixo percentual de minerais máficos (normalmente, < 10%). Deste modo, os minerais máficos estão dispersos entre os félsicos, que são dominantes, e não tem volume para constituir uma banda contínua.

3.3.2 Texturas Metamórficas e Reliquiaries

As **texturas metamórficas** caracterizam os processos metamórficos, sendo caracterizada pela forma, tamanho e distribuição espacial dos minerais, bem como a forma e distribuição dos contatos e orientação ao longo da trama da rocha. Com base na análise das texturas metamórficas é possível avaliar indicar a temperatura, o grau de cristalização, a condição de pressão e o tipo de metamorfismo.

O metamorfismo orogênico é caracterizado por texturas definidas pela orientação dos minerais, como as texturas lepidoblástica e nematoblástica, para agregados orientados de filossilicatos e de minerais prismáticos. Os esforços compressivos atuantes em minerais equidimensionais durante o metamorfismo orogênico refletem em textura granoblástica. Esta última ocorre normalmente em níveis ou corpos monominerálicos como quartzitos, mármore e rochas quartzo-feldspáticas.

As **texturas reliquiaries** remetem a preservação parcial ou total de minerais ígneos ou sedimentares durante o metamorfismo, de forma que é possível identificar sua forma primária, zanação composicional, zonas de crescimento e outras feições originais. Estas texturas são indicadas pelo prefixo blasto- ao qual é acrescentado o nome da textura reliquiar identificada. Entre as principais texturas reliquiaries destacam-se a blastopsamítica, definida pela presença clastos de tamanho areia envoltos por uma matriz metamórfica, ou blastoporfirítica, definida por cristais ígneos reliquiaries

3.4 GRADES PETROGENÉTICAS

Os diagramas que representam as assembleias minerais em equilíbrio são fundamentais para avaliar as condições de Temperatura e de Pressão Litostática atuantes durante os eventos de metamorfismo.

As avaliações das condições metamórficas dos metassedimentos estudados foram definidas com base nas grades petrogenéticas disponíveis nos livros de Yardley (1989), Bucher e Frey (2007) e Hollocher(2014).

4 METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

A abordagem proposta para este projeto de TCC focalizou essencialmente a coleta de dados geológicos e estratigráficos, e de amostras para análise petrográfica de lâminas delgadas, amparada pela compilação de mapas, levantamento geológico e pesquisa bibliográfica. As estratégias de aplicação dos métodos se desenvolveram nas etapas descritas a seguir.

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa etapa consistiu em fazer uma revisão histórica das principais bibliografias sobre a região de estudo englobando artigos científicos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, mapas, relatórios técnicos e trabalhos apresentados em congressos e simpósios. Foram revisados os conceitos básicos da estratigrafia proposta para a região ao longo do tempo, e a reunião de informações geológicas relevantes, como mapeamentos regionais, dados petrográficos, estruturais, geoquímicos e geocronológicos.

A revisão incluiu as interpretações históricas do contexto geotectônico chegando as diversas propostas de evolução do CDF e do TSG, considerando as mudanças de nomenclaturas litoestratigráficas ao longo dos anos. Os capítulos de Introdução e Estado da Arte foram redigidos com o amparo da leitura das bibliografias disponíveis.

4.2 MAPAS GEOLÓGICOS

A cartografia geológica foi uma etapa inicial importante no projeto, que serviu para auxiliar na etapa pré-campo com a seleção das áreas a serem investigadas durante a etapa de campo. Foram avaliadas as imagens de satélite do *Google Earth* para observar as estradas e vias de acesso, e para caracterizar as principais feições estruturais como orientação da foliação metamórfica, zonas de cisalhamento, zonas de falhas e contatos geológicos. Na etapa de campo os mapas auxiliaram no mapeamento das seções geológicas desenvolvidas, principalmente nas relações litoestratigráficas e no zoneamento metamórfico e paleogeográfico das associações estudadas.

O mapa geológico utilizado pelo TCC, foi confeccionado no *software Illustrator*, e representa a integração dos mapas geológicos dos projetos Lagoa da Meia Lua-Rufino Farias (PLR) em escala 1:50.000 (1996), e dos projetos Suspiro-Lagoa (PLS) (2018), Lagoa da Meia Lua (PLM) (2019) e Vila Nova do Sul (PVS) (2022), ambos em escala 1:25.000, produzidos como resultado da disciplina de Mapeamento Geológico do curso de Geologia da UFRGS. Também foram utilizados o Mapa Geológico da Folha Lagoa da Meia Lua em escala 1:100.000 (Laux et al. 2017), o Mapa Geológico do Escudo Sul Rio-Grandense em escala 1:500.000 (Laux et al. 2021), ambos da CPRM. O mapa produzido abrange uma área situada entre os municípios de São Gabriel, Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul onde estão localizadas as rochas dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho. O mapa geológico ainda contém a localização dos pontos com lâminas delgadas obtidas anteriormente pelos projetos de mapeamento e do acervo da disciplina de Petrogênese Metamórfica, do Departamento de Mineralogia e Petrologia (DEMYPE) do Instituto de Geociências (IGEO) da UFRGS.

4.3 TRABALHO DE CAMPO

No trabalho de campo, realizado em duas etapas, foram mapeadas duas seções geológicas de escala regional em áreas chaves pré-selecionadas. Durante os anos de 2022 e 2023 participei do mapeamento geológico da Folha Vila Nova do Sul em escala 1:25.000, no denominado Projeto Vila Nova do Sul (PVS). Ao longo de 20 dias de campo foram mapeadas diversas unidades do TSG incluindo os

metassedimentos do Complexo Cambaizinho. A segunda etapa de campo foi realizada entre os dias 18 e 21 de fevereiro de 2023, na localidade de Vila Palma, situada ao sul do distrito de São Gabriel. Ao todos foram três dias visitando afloramentos chaves para o entendimento da geologia da região que compreende os complexos Palma e Passo do Ivo. A proposta em campo consistiu em identificar relações de contato entre as rochas metassedimentares e os corpos de rochas metamáficas e meta-ultramáficas encaixantes, descrever e discutir sobre a disposição estratigráfica em escala local e regional dos corpos aflorantes e coletar amostras representativas para posterior confecção de lâminas delgadas.

4.4 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

A análise petrográfica foi o principal método utilizado para o desenvolvimento do TCC. Foram observadas em lâmina delgada, as principais estruturas e texturas reliquiares e metamórficas, com identificação da mineralogia e análise modal dos principais constituintes das rochas. Com base nos elementos da análise petrográfica foram determinadas as condições metamórficas (grau e fácies metamórfica), caracterizados os tipos de protólitos metassedimentares e inferidos os paleo-ambientes de geração. O método empregado na análise modal é a contagem de pontos a cada 0,60 mm percorrendo toda a lâmina delgada nos vértices X e Y do sistema cartesiano e estabelecendo o volume modal de acordo com a tabela comparativa de estimativa de porcentagem mineralógica para rochas metamórficas.

Os mapas dos anos de 1996 (Projeto Lagoa da Meia Lua-Rufino Farias), 2018 (Projeto Suspiro-Lagoa da Meia Lua) e do acervo de Petrologia Metamórfica do IGEO, em conjunto com seus respectivos mapas de pontos foram analisados para obter a localização de pontos que continham lâminas delgadas representativas dos gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arcóseos), gnaisses cálcio-silicáticos (anfíbolitos bandados), mármore, quartzitos e meta-pelitos dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho.

Foi catalogado um banco de dados gerais com todas as lâminas e suas respectivas referências, coordenadas e unidades que representam. Os resultados modais foram inseridos em uma planilha, e outra com as principais texturas e estruturas observadas, bem como os minerais índices e as fácies metamórficas. Para ilustrar as principais feições petrográficas (composicionais, reliquiares e

metamórficas) as amostras selecionadas foram imageadas em fotomicrografias utilizando o microscópio *Zeiss Imager A2* (Figura 8) com câmera acoplada. Foram descritas 29 lâminas delgadas durante este TCC.

A análise petrográfica das rochas metamórficas foi feita utilizando o microscópio petrográfico de luz transmitida da marca *Meiji* pertencente ao DEMIPE, seguindo um roteiro de descrição, por meio do qual se pretende responder aos questionamentos expostos no projeto. Sendo estes:

i: Classificação da rocha;

ii: Descrição das estruturas primárias e tectônicas, principais e subordinadas com os minerais que as caracterizam;

iii: Descrição das texturas primárias e tectônicas, principais e subordinadas com os minerais que as caracterizam;

iv: Identificação da assembleia dos minerais metamórficos e determinação de minerais índices;

v: Descrição de elementos de deformação da rocha e dos minerais.



Figura 8: Microscópio *Zeiss Imager A2* com câmera *Zeiss AxioCam MRc* acoplada para posterior manipulação das imagens no *software Zen*. Fonte: do autor.

5 RESULTADOS

5.1 GEOLOGIA DE CAMPO

Na primeira etapa de campo foram mapeadas diversas unidades do TSG, incluindo as rochas meta-máficas e metassedimentares do Complexo Cambaizinho, os ortognaisses do Complexo Cambaí, os granitoides tonalítico-dioríticos da Suíte Lagoa da Meia Lua, as rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho, além de granitoides pós-orogênicos e sedimentos das bacias do Camaquã e do Paraná.

As rochas do Complexo Cambaizinho representam uma sequência supracrustal metassedimentar predominantemente clástica, composta de modo dominante por gnaisses quartzo feldspáticos (90%), com corpos tabulares de gnaisses cálcio-silicáticos (5%) entremeados com mármore (3%), além de lentes de quartzitos e gnaisses pelíticos (2%).

Na segunda etapa de campo foi feita uma seção geológica onde foram observadas as principais unidades metassedimentares subordinadas às rochas ortoderivadas pertencentes aos complexos Palma e Passo do Ivo.

No Complexo Palma os corpos de quartzitos puros constituem 83% dos metassedimentos, as lentes de mármore 15%, e em menor ocorrência, os xistos pelíticos perfazem 2%. No Complexo Passo do Ivo os meta-arcóseos são as principais litologias constituindo 65% da área de exposição, sucedidos de anfíbolitos bandados com 30% e por quartzitos, com 5%. A Figura 9 mostra as principais estruturas observadas nos afloramentos e em amostras macroscópicas.

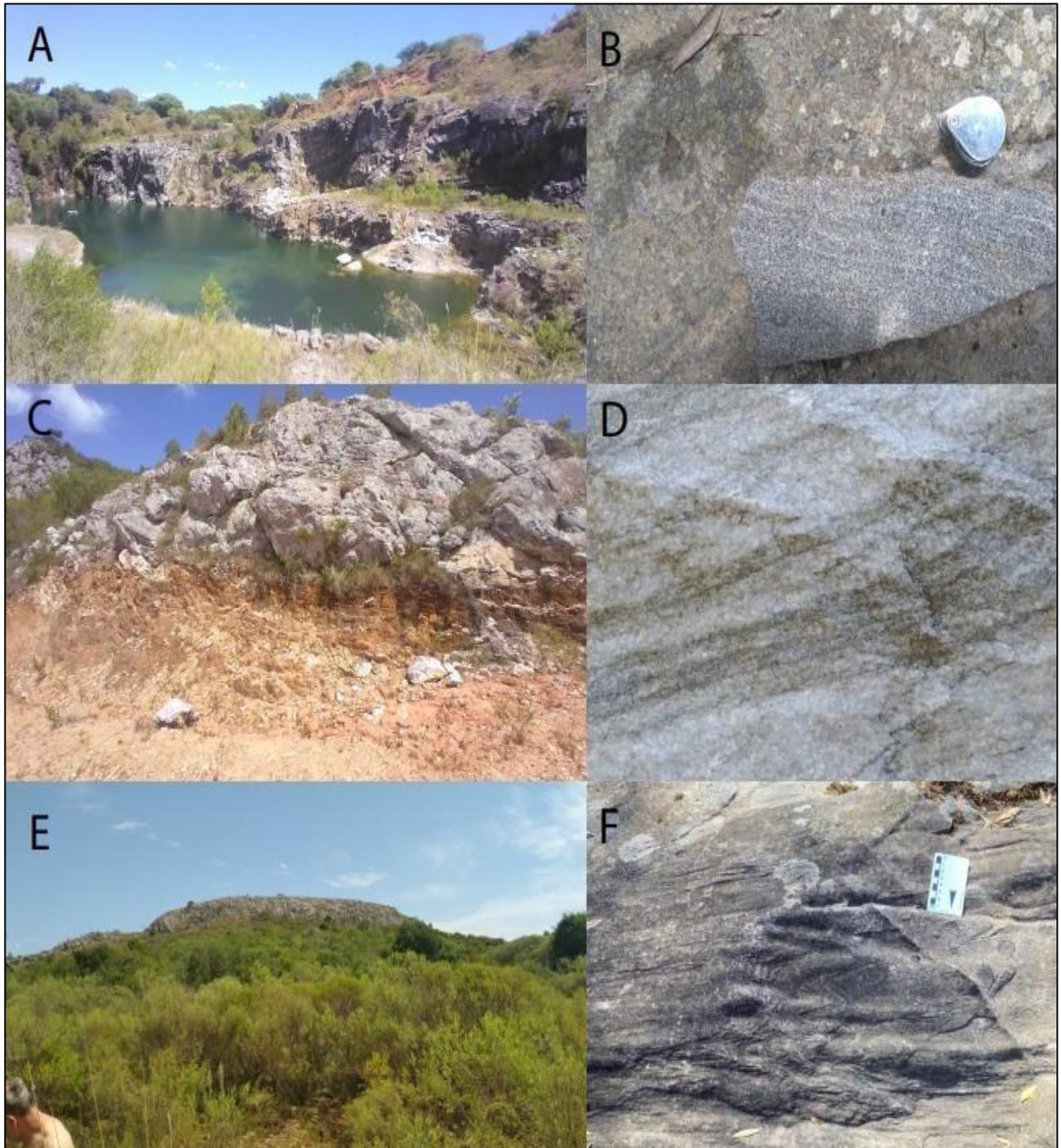


Figura 9: Feições macroscópicas dos metassedimentos dos complexos Cambaizinho, Palma e Passo do Ivo. Legenda: A) Vista geral da mina de mármore da Vila Nova do Sul (CC); B) Amostra macro de gnaiss quartzo-feldspático com bandamento milimétrico bem definido (CPI); C) Afloramento de quartzito com estruturas plano paralelas estratificação cruzada acanalada, em contato tectônico com xisto magnesiano (CP); D) Intercalação entre mármore calcíticos e camadas de mármore dolomítico silicosos com diopsídio e olivina (CP); E) Cristas angulosas de quartzitos (CP); F) Afloramento de gnaiss quartzofeldspático com clivagem de crenulação (CC).

5.2 MAPA GEOLÓGICO

O resultado da cartografia geológica integrada da região do projeto é apresentado no mapa geológico confeccionado no TCC (Figura 10), onde são apresentados os principais dados estratigráficos, estruturais e petrográficos compilados a partir das principais informações selecionadas dos diversos projetos de mapeamento geológico disponíveis. As unidades litodêmicas foram representadas no mapa com subdivisões composicionais, de forma a identificar as subunidades individualizadas dentro dos complexos metamórficos. A dimensão, disposição e orientação dos corpos de metassedimentos, bem como suas atitudes e contato com rochas encaixantes, são ilustrados no mapa e referenciados na coluna estratigráfica. Os pontos de campo obtidos nos projetos PVS e PRL e os pontos de lâminas descritas foram representados no mapa geológico levando em consideração a composição química e estrutura original dos litotipos. A proposta desta abordagem é visualizar a distribuição espacial dos metassedimentos nas paleo-bacias.

Os metassedimentos do Complexo Palma representam uma pequena parcela do complexo e estão representados por corpos alongados de quartzitos puros, e por raras lentes de mármore e de rochas calci-silicáticas (Figura 10). Estas unidades estão intercaladas por ação de uma tectônica de baixo ângulo, com xístos magnesianos e serpentinitos que foram interpretados como fragmentos de ofiolitos.

No mapa geológico da figura 10 podemos observar que os metassedimentos do Complexo Passo do Ivo representam a unidade dominante, sendo constituída por gnaisses quartzo-feldspáticos, associado com corpos concordantes e subordinados representados por lentes de para-anfibolitos com formas alongadas e lentes descontínuas de quartzitos puros e impuros. Os metassedimentos mostram um bandamento fino, irregular e contínuo, e estão intercalados por ação de uma tectônica de baixo ângulo, com xístos magnesianos e serpentinitos.

As unidades metassedimentares mostram em geral um bandamento gnáissico que contém as foliações S_1 e S_2 , com preservação local de dobras F_2 , que mostram formas isoclinais a apertadas e são intrafoliais. Estas estruturas em parte, podem estar paralelas a S_0 , e são afetadas por um terceiro evento de deformação que forma o padrão de dobras regionais. As dobras F_3 tem maior amplitude e mostram formas abertas a apertadas, com eixos sub-horizontais e superfície axial sub-vertical, em

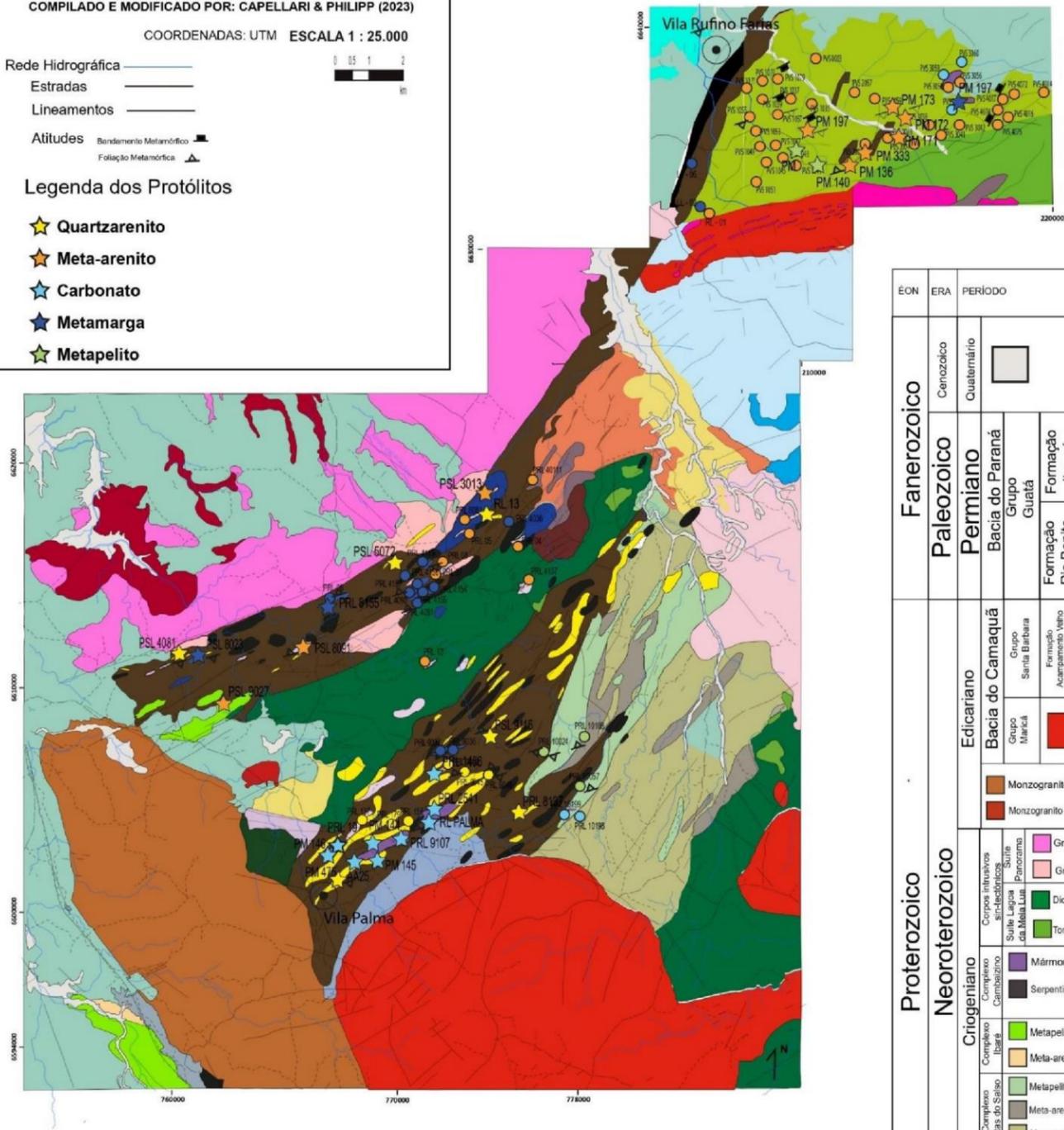
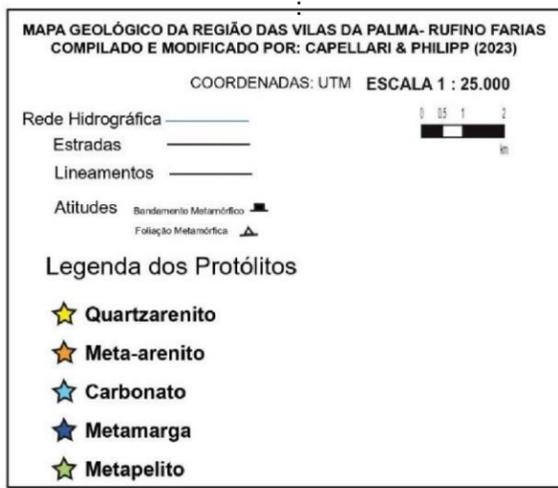
geral marcada por uma clivagem de fratura S₃. Os eixos desta fase mergulham com baixo caimento (<15°) para NE e SW, indicando, juntamente com o anastomosamento da foliação, uma fase tardia de dobramento com formas abertas a suaves e eixos direcionados segundo NW-SE, com clivagem de fratura associada S₄.

Estas informações em parte foram obtidas em campo, entretanto, autores como Jost & Wilwoock (1966), Jost (1966, 1970), Remus (1990), Chemale Jr. (1982), Santos et al. (1990), Saalman et al. (2005, 2006), Hartmann et al. (2011), Laux (2017), Philipp et al. (2018, 2021), apresentam seções geológicas e outros dados estratigráficos de relações de contato entre as unidades.

A partir do reconhecimento da preservação parcial do acamamento composicional, marcado por variações sistemáticas da composição e do tamanho de grão em camadas regulares e contínuas, os gnaisses qtz-feldspáticos foram interpretados como meta-arenitos arcoseanos (Figura 11). Os longos corpos alongados constituídos por xistos e gnaisses ricos em hornblenda, com teores variáveis de biotita, quartzo, plagioclásio, diopsídio e granada grossulária-andradita, foram interpretados como para-anfibolitos (Figuras 12 e 13). Estas rochas provavelmente representam corpos de meta-margas, embora uma origem a partir do metamorfismo de metassedimentos vulcanogênicos não possa ser descartada.

As unidades do Complexo Passo do Ivo constituem um corpo contínuo de direção NE-SW, a porção norte deste corpo foi denominada Complexo Cambaizinho (Remus, 1990). A continuidade em superfície deste corpo é interrompida por uma cobertura de ritmitos e siltitos da Formação Taciba do Grupo Itararé (~320-300 Ma), caracterizando a sucessão basal da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul.

A caracterização petrográfica das unidades metassedimentares do Complexo Cambaizinho indicou a dominância de gnaisses quartzo-feldspáticos ricos em plagioclásio e quartzo, similares aos descritos no Complexo Passo do Ivo. A constância e semelhança das estruturas e das texturas observadas, bem como o grau metamórfico médio a alto, expresso em texturas granoblásticas poligonais bem desenvolvidas, e por assembleias minerais diagnósticas, como Stt + Bt + Grt em gnaisses pelíticos, Gross + Hb + Trem + Carb + Qz, em xistos e gnaisses calcisilicáticos (Figura 12), e Ol + Diop + Carb em mármores dolomíticos silicosos (Figura 14), permite a correlação espacial e de condições metamórficas para ambos os complexos.



ÉON	ERA	PERÍODO	UNIDADES E SUBUNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
Fanerozoico	Paleozoico	Cenozoico	Quaternário
		Permiano	Bacia do Paraná Grupo Guatá Formação Rio Bonito Formação Itararé
Proterozoico	Edicariano	Bacia do Camaquã	Grupo Santa Bárbara Formação Acampamento Velho Riolitos
		Grupo Maricá	Monzogranito Camaquã Pelado Monzogranito Santa Rita Granito São Manoel Granito Jaguari
	Neoproterozoico	Grupos intrusivos sintectônicos	Suíte Panorama Suíte Lagoa da Meia Lua Dioritos Tonálitos
		Complexo Cambazinho	Mármoreos Serpentinitos Xistos magnesianos Paragnaisses
		Complexo Ibaera	Metapelitos Meta-arenitos
		Complexo Pontas do Salso	Metapelitos Meta-arenitos Meta-arenitos vulcanogênicos
		Complexo Passo do Ivo	Gnaisses calciosilicáticos Metapelitos Quartzitos Xistos magnesianos
		Complexo Palma	Serpentinitos Mármoreos Xistos magnesianos
		Complexo Cambaí	Gnaisses dioríticos Gnaisses tonalíticos
		Complexo Passagem	Metapelitos Quartzitos Serpentinitos

Figura 10: Mapa geológico integrado das unidades situadas a oeste do Terreno São Gabriel, os pontos em círculos representam pontos de campo e os em estrela representam pontos de lâminas. Fonte: do autor, modificado dos projetos PRL, PVS, PLM, PSL.

5.3 PETROGRAFIA

A análise petrográfica foi a ferramenta principal deste TCC, utilizada para classificar as rochas, caracterizar as condições metamórficas, os tipos de protólitos e para embasar a evolução tectônica, bem como determinar o ambiente paleogeográfico dos metassedimentos. Foram catalogadas e descritas 29 lâminas que são relacionadas a 34 pontos de amostragem selecionados a partir de afloramentos representativos (Tabela 1). Através deste acervo de informações, amostras e lâminas petrográficas do IG-UFRGS, foram identificadas feições estruturais e texturais, e as assembleias minerais em equilíbrio. A composição modal das unidades descritas dos três complexos metassedimentares pode ser observada na Tabela 2. As principais informações obtidas pela análise petrográfica, como o reconhecimento de estruturas primárias e metamórficas, texturas reliquias e metamórficas, paragêneses e fácies metamórficas estão sintetizados nas Tabelas 3, 4 e 5. As Figuras 11, 12, 13 e 14 mostram as feições mais representativas de cada litologia e estão dispostas junto com as tabelas após o resultado de cada unidade.

Tabela 1: Acervo de lâminas descritas no projeto e respectivas referências. Legenda: CC-Complexo Cambaizinho; CP – Complexo Palma; CPI – Complexo Passo do Ivo; PLR – Projeto Lagoa da Mea Lua-Rufino Farias; PSI – Projeto; Projeto Suspiro-Lagoa da Meia Lua; PM – Petrografia Metamórfica; RL- Ruy/Léo; AA22 - Amostra 22.

Sigla	Ano	CC	CP	CPI	Total
PLR	1996	1	6	1	8
PM	-	8	4	-	12
PSL	2018	-	1	5	6
RL	-	-	2	-	2
AA22	-	-	1	-	1
Total de lâminas:					29

Tabela 2: Composição modal das amostras descritas. Legenda: CP – Complexo Palma; CPI - Complexo Passo do Ivo; CC - Complexo Cambaizinho; Gn. qz-ph – Gnaiss quartofeldspático; Meta-arc – Meta-arcóseo; Metamar – Metamarga; Gn. calc-sil – Gnaiss cálcio-silicático; tr -traço.

Amostra	Rocha	Unidade	% Min																						
			Qtz	Ph	Pl	Mc	Ttn	Ap	Op	Ms	Mag	Grt	Chl	Bt	Tur	Tr	Hbl	Ep	Cb	Srp	Tlc	Sil	Est	Di	
PSL 5072	Quartzito	CPI	96	Tr	-	-	-	-	1	3	5	tr	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PSL 8091	Meta-arc	CPI	53	-	25	10	-	-	5	-	2	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PSL 3013	Meta-arc	CPI	60	-	19	10	2	-	1	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PSL 8023	Metamar	CPI	25	4	-	-	-	-	tr	-	-	tr	tr	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-
8155	Metamar	CPI	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	-	-	-	-	-	-	-
PSL 9027	Meta-arc	CPI	25	-	50	15	tr	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PSL 9116	Quartzito	CP	92	1	-	-	-	-	3	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 475	Quartzito	CP	98	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RL 13	Quartzito	CP	99	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRL 4081	Quartzito	CP	89	tr	-	-	-	-	1	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRL8137	Quartzito	CP	98	-	-	-	tr	-	2	-	40	-	-	-	-	-	50	10	-	-	-	-	-	-	-
PM 145	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	20	85	-	-	-	-	-	-
PM 145	Mármore	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	50	20	68	-	-	-	-	-	-
PM 144	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	7	15	-	-	-	-	-	-	-
PM 144	Mármore	CP	20	5	-	-	-	-	Tr	-	10	-	-	-	-	-	75	15	-	-	-	-	-	-	-
AA-25	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AA-25	Mármore	CP	24	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	15	65	-	-	-	-	-	-
PRL 9107	Mármore	CP	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	98	-	-	-	-	-	-
PRL 9107	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	Tr	-	5	-	-	-	-	-	95	-	98	-	-	-	-	-	-
RL PALMA	Mármore	CP	2	-	-	-	-	-	5	-	77	-	-	-	-	-	20	-	90	-	-	-	-	-	-
RL PALMA	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	3	-	-	-	-	-	-
PRL 2541	Mármore	CP	2	-	-	-	-	-	Tr	-	-	-	-	-	-	-	2	100	93	-	-	-	-	-	-
PRL 2541	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-
PRL 1456	Mármore	CP	10	3	-	-	-	-	Tr	-	-	-	-	-	-	-	2	-	85	-	-	-	-	-	-
PRL 1456	Metamar	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 146	Mármore	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	40	2	-	-	-	-
PRL 19	Mármore	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	27	3	-	-	-	-
PM 333	Gn. qz-ph	CC	14	-	68	-	tr	-	2	-	4	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 173	Gn. qz-ph	CC	13	-	78	-	-	-	-	-	-	-	7	Tr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 172	Gn. qz-ph	CC	15	-	75	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 171	Gn. qz-ph	CC	15	-	79	-	tr	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 21	Gn. qz-ph	CC	22	-	60	-	-	-	-	-	3	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 136	Gn. qz-ph	CC	31	-	51	-	-	-	-	-	7	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM 197	Gn. calc-sil	CC	22	-	59	-	-	-	4	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
PM 140	Gn. pelítico	CC	20	-	30	-	-	-	13	-	4	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	3

5.3.1 Complexo Cambaizinho

Gnaisses Quartzo-feldspáticos

Os gnaisses quartzo-feldspáticos são a principal unidade do Complexo Cambaizinho, aflorando como lajeados de grandes extensões nos leitos dos arroios Cambaizinho, Cambaí e Laranjeiras e em cortes da BR-290. Os gnaisses têm cor cinza clara e mostram um bandamento irregular e contínuo de espessura milimétrica, composto pela intercalação de níveis félsicos ricos em quartzo e plagioclásio, e níveis máficos subordinados a base de biotita e com pouca granada. Sua mineralogia é marcada por elevados teores de quartzo e plagioclásio, com biotita, granada e muscovita. A alternância composicional se manifesta pela variação de tons de cinza, alternando tons mais claros, ricos em quartzo e plagioclásio, e tons mais escuros, com teores mais elevados de biotita. A variação dos teores de quartzo e plagioclásio, bem como os níveis de biotita representam o acamamento composicional do arenito original.

O bandamento contínuo e irregular, de espessura mm a cm (1-5 mm até 1030 cm), é a principal estrutura metamórfica. Está caracterizado pela alternância de níveis dominantes de composição quartzo-feldspática, e níveis máficos ricos em biotita, com muscovita e pouca granada. Este bandamento representa um acamamento composicional reliquiar e caracterizado por uma estruturação plano-paralela (S_0). A variação composicional está definida principalmente pela variação dos teores de plagioclásio e de quartzo, com níveis mais subordinados ricos em biotita e muscovita, com pouca granada almandina. A alternância de bandas regulares de composição e de granulação distintas, mostram uma gradação regular com variações do tamanho de grão na textura granoblástica poligonal.

A principal textura é granoblástica poligonal a interlobada média a grossa (0.2 a 1.2 mm) constituída por agregados de plagioclásio e quartzo, com cristais intersticiais de biotita e granada. De modo subordinado, a orientação da biotita caracteriza uma textura lepidoblástica média. De modo mais localizado, níveis mais ricos em biotita apresentam porfiroblastos de granada almandina. A composição dos gnaisses é dominada por cristais poligonais de quartzo, com formas idioblásticas compreendendo entre 20% e 65% da rocha associados ao plagioclásio, que em geral varia de 20 a 45 % do volume modal. Clastos de plagioclásio com forma prismática alongada e euédrica, e de quartzo hexagonal, ocorrem principalmente nas porções onde o acamamento original encontra-se preservado.

O plagioclásio é o mineral mais abundante, variando de 30% a 79% exibindo forma poligonal e idioblástica. O quartzo varia de 13% a 31%, e ocorre como cristais poligonais e idioblásticos. As texturas predominantes nos níveis félsicos são a granoblástica interlobada a poligonal, caracterizada pelo arranjo entre o plagioclásio e o quartzo. A textura blastopsamítica, presente em algumas lâminas, é caracterizada por cristais tabulares de plagioclásio detrítico, dispostos na forma de clastos subangulosos a subarredondados envoltos pela matriz granoblástica poligonal.

Os níveis máficos são compostos por agregados de cristais placóides de biotita, variando de 5% a 12%, caracterizando a textura lepidoblástica média a grossa (0,2-1.5 mm). A muscovita ocorre em baixos teores (< 2%) e em somente uma lâmina. A variação composicional é evidenciada também pela ocorrência de porfiroblastos de granada almandina associada a níveis máficos ricos em biotita. Algumas granadas apresentam textura poiquiloblástica, com inclusões de opacos e de biotita. Minerais opacos, titanita e turmalina ocorrem de forma disseminada como minerais acessórios. A turmalina ocorre intercrescida entre os grãos de Pl e Qtz, com forma euédrica, relevo alto e hábito prismático longo e com fraturas perpendiculares ao alongamento. A titanita é geralmente anédrica, com relevo alto e pleocroísmo em tons de marrom associada a bordos de grãos de biotita ou como inclusões.

A textura lepidoblástica e a orientação mineralógica dos cristais marcam a foliação, que é na maioria das vezes paralela ao acamamento sedimentar.

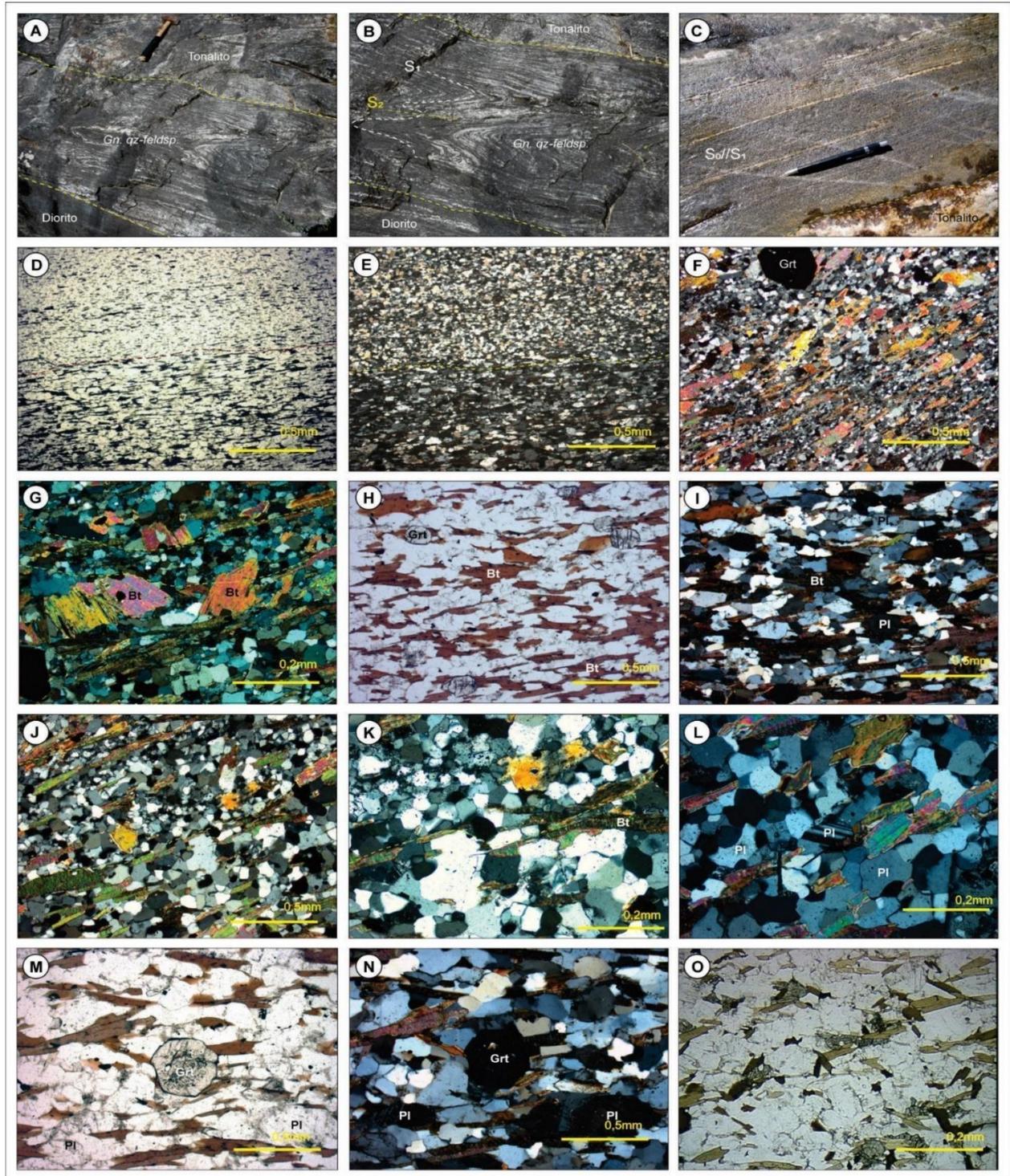


Figura 11: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas dos gnaisses quartzo-feldspáticos do Complexo Cambaizinho. Legenda: A) amostra macro de gnaiss quartzo-feldspático em contato com encaixantes; b) Gnaiss quartzo-feldspático com S_1 de foliação e S_2 de clivagem de plano axial; C) S_0 de acamento sedimentar paralela a S_1 de segregação metamórfica; D) Lamelas de biotita com textura lepidoblástica e cristais de quartzo e feldspato com textura granoblástica poligonal; E) Foto anterior em nicóis cruzados, mostrando a variação do tamanho de grão que marca a S_0 ; F) Porfiroblásto de granada almandina, lamelas de biotita com textura lepidoblástica e matriz quartzo-feldspática com textura poligonal fina; G) Cristais prismáticos de biotita com birrefringência alta; H) Cristais lamelares de biotita com pleocroísmo em tons de marrom forte e granada xenoblástica; I) Matriz quartzo feldspática com textura granoblástica interlobada e poligonal média; J) Porfiroblástos de biotita marcando a foliação; K) biotita e cristais de quartzo com textura granoblástica poligonal; L) Textura blastopsamítica em clásto de plagioclásio euédrico, com peças maclas segundo as leis da albita (oligoclásio); M) Porfiroblásto de granada; N) Textura poiquiloblástica em granada com inclusões; O) biotita, opacos e matriz quartzo feldspática.

Mármore

Os mármore afloram como lentes pontuais e constituem duas pedreiras importantes na região de Vila Nova do Sul. As lentes são pequenas e apresentam forma descontínua com cerca de 200 a 250 m de extensão e espessuras de algumas dezenas de metros intercalados com gnaisses quartzo-feldspáticos.

Os mármore apresentam um acamamento composicional caracterizado pela intercalação de camadas regulares e contínuas de espessuras entre 30 cm e 2-5 metros de mármore dolomítico silicosos e lentes subordinadas de metamargas. Os mármore dolomíticos silicosos apresentam-se um bandamento fino e irregular constituído por níveis máficos ricos em diopsídio e olivina. Os mármore têm cor branca a cinza clara, com um bandas finas (1-2 mm), irregulares e descontínuas de cor preta a cinza escura ricas em olivina e diopsídio. A textura principal é granoblástica poligonal média a grossa (0.5-3 mm). Os níveis calci-silicáticos constituem anfibolitos bandados, interpretados como metamargas aluminosas definidas por níveis finos e contínuos ricos em hornblenda, tremolita e epidoto.

Os mármore dolomítico-silicosos apresentam uma variação composicional de camadas com maior ou menor proporção de quartzo e carbonatos (calcita e dolomita). O quartzo tem granulometria muito fina e é disposto em bandas milimétricas irregulares, perfazendo entre 2-24% do total da camada. A estrutura metamórfica é representada por uma foliação incipiente definida por textura nematoblástica fina a média caracterizada pela orientação da tremolita e hornblenda. Os cristais de olivina encontram-se parcialmente substituídos por serpentina constituindo a textura *mesh.*, e por placas de talco.

A estrutura principal dos mármore é um bandamento composicional (S_0) que está paralelo ou subparalelo a uma foliação S_1 , marcada por níveis ricos em olivina, diopsídio e/ou tremolita nos mármore dolomíticos silicosos, ou aos níveis ricos em tremolita e hornblenda dos gnaisses calci-silicáticos. Observa-se localizadamente, a preservação de dobras intrafoliais do tipo F_2 , com formas isoclinais e apertadas, marcando o desenvolvimento local da foliação S_2 .

Gnaisses Calci-silicáticos

Os gnaisses calci-silicáticos constituem lentes de formas alongadas e afloram na porção oeste do complexo, em continuidade aos corpos que se estendem desde a região do Passo do Ivo. Também ocorrem como corpos tabulares intercalados com as lentes de mármore dolomíticos silicosos nas duas pedreiras situadas em Vila Nova do Sul. Apresentam um bandamento de espessuras milimétricas alternando níveis de cor cinza esverdeado e níveis mais félsicos.

Ao microscópio as bandas milimétricas são compostas por níveis mais ricos em biotita e diopsídio. Os grãos de quartzo e plagioclásio são equigranulares e sub-idioblásticos com textura granoblástica interlobada a poligonal média. A biotita é sub-idioblástica e ocorre como agregados caracterizando uma textura lepidoblástica média a grossa (0,5-1.0 mm), marcando a foliação S_1 . O diopsídio é intersticial e tem forma prismática sub-idioblástica, com pleocroísmo em tons beges a verdes fracos. Os cristais de diopsídio compõem entre 3 e 7% do volume modal e ocorrem predominantemente nos níveis máficos.

Gnaisses Pelíticos

Os gnaisses pelíticos constituem corpos pontuais de pequena espessura, intercalados com os gnaisses quartzo-feldspáticos. Afloram a Norte da BR-290 ao longo do arroio Cambaizinho, sempre muito alterados. Foram descritas duas lâminas desta litologia com o intuito de determinar a condição de metamorfismo imposta nas rochas do CC em sua totalidade.

Ao microscópio, possuem bandas de espessuras mm a cm, com segregação de níveis máficos e félsicos. Os cristais de quartzo e feldspatos são equigranulares e com textura granoblástica poligonal média. Os níveis máficos são ricos em biotita, e ocorrem porfiroblastos de granada e estaurolita sin-cinemáticos a foliação principal. A granada é subidioblástica e incolor com tamanho entre 1 e 3 mm. A estaurolita é idioblástica, com tamanho de 1 a 3 mm e pleocroísmo em tons de amarelo. É menos abundante e possui inclusões de quartzo, biotita, granada e minerais opacos assim como as identificadas na granada.

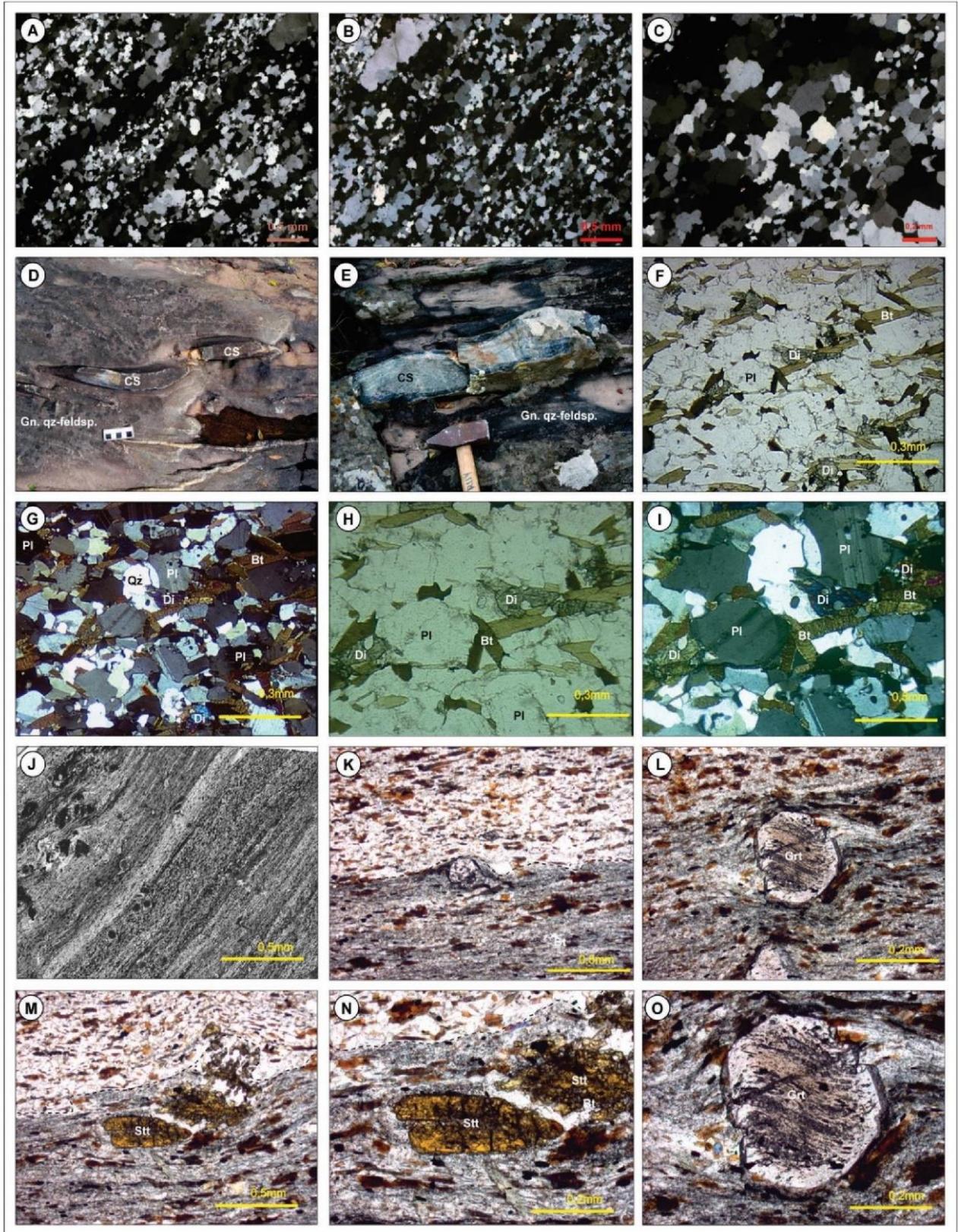


Figura 12: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas dos gnaisses pelíticos e calci-silicáticos do Complexo Cambaizinho. Legenda: A) Quartzito com textura poligonal fina; B) Quartzito com veios de quartzo; C) Detalhe para a variação do tamanho de grão e textura poligonal; D) Gnaiss qtz-feldsp. com lentes de calci-silicático; E) detalhe da foto anterior; F) Lâmina de gnaiss calci-silicático G) Gnaiss calci-silicático com plagioclásio, quartzo, biotita e diopsídio; H) Biotita com textura decussada e diopsídio com clivagem perpendiculares; I) Textura blastopsamítica em clasto de plagioclásio preservado, diopsídio e biotita; J) S0 de variação do tamanho de grão em gnaiss pelítico; K) Porfiroblásto de granada sin-tectônica; L) Detalhe da granada envolta por cristais menores de biotita; M) Porfiroblásto de estaurolita em gnaiss pelítico; N) Prisma euédrico de estaurolita com pleocroísmo em amarelo forte; O) Textura Poiquiloblástica em granada com inclusões da matriz.

Tabela 3: Principais feições petrográficas dos metassedimentos do Complexo Cambaizinho. Legenda: Estrut. Prim – Estrutura característica do prótolito; Estrut. Met – Estrutura característica da rocha metamórfica; Parag – Paragênese metamórfica; Fácies – Fácies do metamorfismo orogênico. Rochas: Gn. pelítico – Gnaiss pelítico; Gn. calc-sil – Gnaiss cálcio-silicático; Gn. qf – Gnaiss quartzo-feldspático. Estruturas: Tg – Variação do tamanho de grão; S₀ (Ac.comp) - Estrutura primária de acamamento composicional; S₁ Band – Bandamento Metamórfico. Texturas: Polig – Granoblástica Poligonal; Lep- Lepidoblástica; Nem – Nematoblástica; Dec- Decussada; Blastop- Blastopsamítica; Granob. Interl – Granoblástica Interlobada; Porfirob – Porfirobástica. Minerais: St – Estaurolita; Sil - Silimanita; Pl- Plagioclásio; Di – Diopsídio; Grt – Granada; Bt – Biotita; Ms- Muscovita; Qtz- Quartzo. Fácies: Anf. Inf – Anfibolito Inferior; Anf Médio – Anfibolito Médio; Anf Sup/Gr - Anfibolito Superior a Granulito.

Amostra	Protólito	Rocha	Estrut. Prim.	Estrut. Met.	Texturas	Parag.	Fácies
PM 333	Arenito	Gn. qf	S ₀ (Ac. comp) ±Grt, ±Bt; △ Tg (Pl)	S ₁ Band. – bt	Granob. Interl (Pl); Lep (bt); Blastop (Pl); Porfirob (Grt)	Grt+bt+pl	Anf. Médio
PM 173	Arenito	Gn. qf	S ₀ (Ac. comp) ±Qz, ±Bt	S ₁ Band. - bt,	Polig (Qtz, pl); Lep (Bt)	Bt-pl+qtz	Anf. Inf
PM 172	Arenito	Gn. qf	S ₀ (Ac. comp) ±Qz, ±Bt	S ₁ Band. – bt	Polig (Qtz, pl); Lep (bt)	Bt+pl+qtz	Anf. Inf
PM 171	Arenito	Gn. qf	S ₀ (Ac. comp) ±Qz, ±Bt △ Tg (Pl)	S ₁ Band. – bt	Granob. Interl (Pl); Lep (bt); Blastop (Pl, qtz).	Bt+pl+qtz	Anf. Inf
PM 21	Arenito	Gn. qf	S ₀ (Ac. comp) ±Grt, ±Bt	S ₁ Band. – bt	Polig (Qtz, pl); Lepid (Bt); Blasto(Pl.); Porfirob (Grt)	Grt+bt+pl	Anf. Médio
PM 136	Arenito	Gn. qf	S ₀ (Ac. comp) ±Grt, ±Bt, △ Tg (Qtz, pl)	S ₁ Band. – bt	Polig (Qtz, pl); Lep (bt); Porfirob (Grt);	Bt+grt+pl	Anf. Médio
PM 197	Marga	Gn. cs	S ₀ (Ac. comp) ±Qtz, ±Bt, ± Di	S ₁ Band. – bt	Polig (Qtz, pl) Lep (Bt); Blastop (Pl, qtz); Dec (Bt)	Bt+di+pl	Anf. Sup/Gr
PM 140	Pelito	Gn. pel	-----	Hornfels	Polig (Qtz, pl); Bow-tie(Sil); Porfirob (Grt, St); Dec (Ms);	St-grt-sil-pl	Anf. Sup/Gr

5.3.2 Complexo Passo do Ivo

Anfibolitos Bandados

Os anfibolitos bandados são xistos cálcio-silicáticos restritos ao domínio noroeste do Complexo Passo do Ivo, ocorrendo na forma de lentes contínuas de direção NE-SW, intercalados com os gnaisses quartzo-feldspáticos, raros quartzitos, xistos magnesianos e serpentinitos. Os principais afloramentos são do tipo lajeados

ao longo das nascentes do Rio Vacacaí e do Arroio Lajeado. Os xístos e gnaisses calci-silicáticos tem cor cinza escura a verde escura, com uma xistosidade S_1 marcada por orientação de agregados de anfibólios de cor verde escura com textura nematoblástica, intercalados com níveis félsicos de espessura milimétrica a base de plagioclásio e quartzo. Opacos e titanita idioblásticos finos ocorrem disseminados associados aos agregados de hornblenda.

O acamamento primário (S_0) é identificado pela variação composicional de bandas ricas em hornblenda, plagioclásio, quartzo e epidoto. As camadas são contínuas e irregulares, variando de espessura milimétrica a centimétrica. Este acamamento S_0 é em parte concordante com a xistosidade S_1 .

A composição mineral é composta por hornblenda, com teores variáveis de biotita, plagioclásio, quartzo e epidoto. A hornblenda é o mineral característico desta rocha, com conteúdo modal variando entre 40% e 64%. Os cristais têm forma prismática alongada e sub-idioblástica, com tamanhos entre 0,5 e 2,5 mm, e pleocroísmo em tons de verde claro a médio, além de extinção oblíqua de médio ângulo e birrefringência elevada. O quartzo tem forma poligonal idioblástica e constituem uma textura granoblástica poligonal fina a média (< 0.1 a 0.5 mm). O epidoto ocorre como grãos equidimensionais intersticiais e sub-idioblásticos. Os cristais de epidoto também ocorrem em agregados policristalinos com birrefringência alta em cores anômalas.

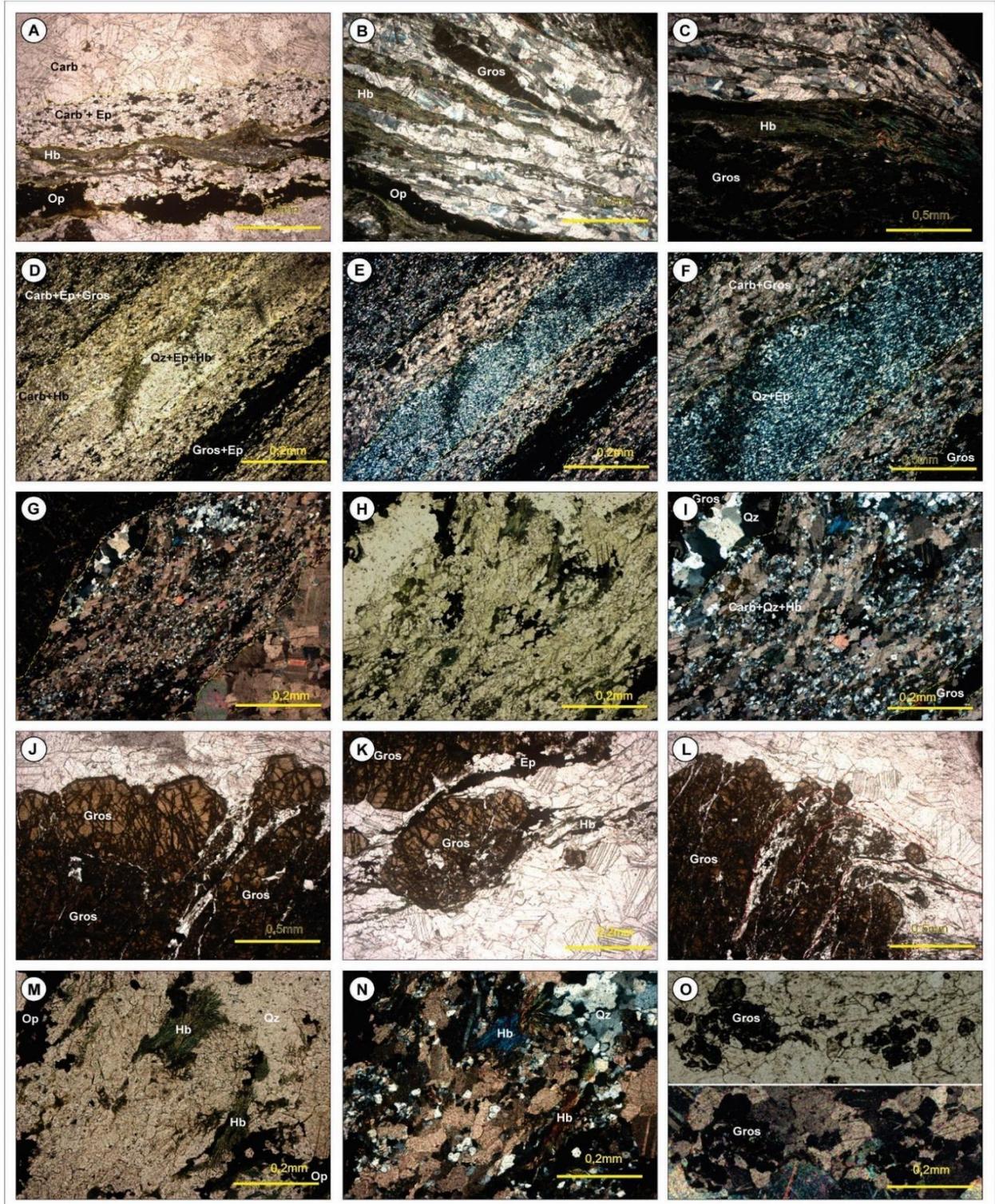


Figura 13: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas das rochas calci-silicáticas do Complexo Passo do Ivo. Legenda: A) Intercalação entre mármore calcítico puro e camadas de meta-margas (ND); B) Camadas de meta-margas com níveis ricos em granada e em anfibólio (NC); C) Variação da composição em camada de meta-marga; D) Acamamento composicional entre níveis de meta-marga e de mármore dolomítico silicoso, com níveis ricos em qz (ND); E) Detalhe dos grãos de quartzo e feldspato e dos cristais de epidoto (NC); F) Detalhe da variação composicional; G) Camada de hornblenda com quartzo e feldspato de tamanho areia (NC); H) Detalhe do pleocroísmo da hornblenda (ND); I) Variação composicional do tamanho de grão entre as camadas; J) Porfiroblasto de granada grossulária fraturado (ND); K) Granada com textura poiquiloblástica com inclusões de epidoto e hornblenda; L) Detalhe da xistosidade interna e granada sintectônica; M) Porfiroblastos de hornblenda dispostos em matriz carbonática (ND); N) Detalhe de cristais tabulares de hornblenda com textura nematoblástica e de quartzo com textura granoblástica; O) Trilha de granada em camada de mármore dolomítico silicoso.

Gnaisses quartzo-feldspáticos (Meta-arcóseos)

Os gnaisses quartzo-feldspáticos compreendem meta-arcóseos de estrutura bandada e cor cinza, adquirindo tons de laranja quando alterado. Constituem cristas suavizadas e coxilhas alongadas de direção NE-SW, aflorando como lajeados em arroios e em cortes de estradas alterados. A principal estrutura metamórfica é um bandamento contínuo e irregular, de espessura mm a cm (1-5 mm até 10-30 cm), marcado pela alternância de níveis dominantes de composição quartzo-feldspática, e níveis máficos ricos em biotita, e com muscovita e pouca granada. Este bandamento representa o acamamento composicional original e caracteriza a estruturação plano-paralela (S_0), definido pela alternância de bandas regulares de composição e de granulação distintas, mostrando uma gradação regular com variações do tamanho de grão na textura granoblástica poligonal. A variação composicional está definida principalmente pela variação dos teores de quartzo e de plagioclásio, com níveis mais subordinados com teores mais elevados de biotita, muscovita e granada almandina.

A principal textura é granoblástica poligonal a interlobada média a grossa (0.2 a 1.2 mm) constituída por agregados de quartzo e plagioclásio. De modo subordinado, a orientação de agregados de biotita caracteriza a textura lepidoblástica média. De modo mais localizado, níveis mais ricos em biotita apresentam porfiroblastos de granada almandina.

A composição dos gnaisses é dominada por cristais poligonais de quartzo, com formas idioblásticas compreendendo entre 25% e 60% da rocha associados ao plagioclásio, biotita e granada. Raros clastos euédricos de quartzo hexagonal, com baixo arredondamento e alta esfericidade ocorrem principalmente nas porções onde o acamamento original encontra-se preservado.

O plagioclásio é um constituinte importante, ocorrendo com forma poligonal e idioblástica, constituindo entre 20 e 50 % do volume modal. Encontram-se frequentemente alterados para sericita e em menor quantidade para clorita. Cristais reliquiares com forma prismática, zonados e sub-angulosos a sub-arredondados caracterizam a textura é blastopsamítica. O microclínio é raro, ocorrendo com cristais poligonais. Porfiroblastos muito fraturados de granada com forma dodecaédrica e idioblástica mostram tamanhos entre 0.5 e 1.5 mm e chegam a 3% do volume modal. Representam porções isoladas da variação do acamamento composicional, indicando uma fração de matriz mais pelítica.

Tabela 4: Principais feições petrográficas dos metassedimentos do Complexo Passo do Ivo. Legenda: Estrut. Prim – Estrutura característica do prótolo; Estrut. Met – Estrutura característica da rocha metamórfica; Parag – Paragênese metamórfica; Fácies – Fácies do metamorfismo orogênico. Rochas: Qzt. Arenito – Quartzito Arenito; Aren. Arc – Arenito Arcoseano; Metarc – Metarcóseo; Anfíbol - Anfíbolito. Estruturas: Tg – Variação do tamanho de grão; S₀ (Ac.comp) - Estrutura primária de acampamento composicional; Fol. Incip - Foliação metamórfica incipiente; S₁ – Foliação metamórfica bem desenvolvida. Texturas: Poiq – Poiquiloclástica; Polig – Granoblástica Poligonal; Lep- Lepidoblástica; Nem – Nematoblástica; Dec- Decussada; Blastop- Blastopsamítica; Granob. Interl – Granoblástica Interlobada; Granb. Suttur – Granoblástica Sutturada; Porfirob – Porfiroblástica. Minerais: Hbl - Hornblenda; Ep – Epidoto; Chl – Clorita; Grt – Granada; Bt – Biotita; Ms- Muscovita. Fácies: Anf Inf – Anfíbolito Inferior; Anf Médio – Anfíbolito Médio.

Amostra	Protólito	Rocha	Estrut. Prim.	Est Met.	Texturas	Parag.	Fácies
PSL 3013	Aren. Arc	Metarc.	△ Tg (Qtz,)	Fol.Incip (Bt)	Blastop (Pl.); Lep (Bt); Granob.Interl (Qtz) Porfiro (Gtr)	Grt+bt+pl	Anf. Médio
PSL 8023	Marga	Anfíbol.	S ₀ (Ac.comp) ±Hbl, ±Ep	S ₁ - Hbl	Nem (Hbl); Polig (Qtz); Dec (Hbl)	Ep+hbl	Anf Medio
PSL 8091	Aren. Arc	Metarc.	-----	Fol.Incip (Bt,ms)	Blastop (Pl.); Lep (Bt,ms); Porfirob (Gtr)	Chl+bt+grt	Anf. Médio
PSL 9027	Aren. Arc	Metarc.	S ₀ (Ac.comp) ±Qzt, ±Bt.	S ₁ - (Bt)	Lep (Bt); Granb.Interl (Qtz,pl); Poiq (Bt,pl)	Bt+qtz+pl	Anf Inf
PSL 5072	Qzt. Arenito	Quartzito	△ Tg (Qtz)	Maçico	Gran. Interl; Gran Suttur.	Qtz	Anf Inf
PLR 8155	Marga	Anfíbol.	S ₀ (Ac.comp) ±Hbl, ±Ep	S ₁ - Hbl	Nem (Hbl)	Hbl+ep	Anf Médio

5.3.3 Complexo Palma

Rochas Carbonáticas e Calci-silicáticas

Os mármore afloram como lentes pontuais na unidade. São restritos a área da Mina da Palma e apresentam forma contínua com cerca de 2 a 2.5 km de extensão e dimensões de algumas dezenas de metros. As encaixantes são serpentinitos, xistos magnesianos e quartzitos. Estas unidades são cortadas por corpos tabulares de lamprófiros e por derrames de basaltos a andesito-basálticos relacionados a Formação Acampamento Velho da Bacia do Camaquã (Vedana et al. 2017).

Os mármore apresentam um acampamento composicional caracterizado pela intercalação de camadas regulares e contínuas de espessuras entre 30 cm e 20-50 metros, que intercalam mármore calcíticos, mármore dolomíticos, com mármore

dolomítico silicosos e lentes subordinadas de meta-margas. Os mármore calcíticos e dolomíticos em geral são maciços, mostram cor branca, cinza e azul clara. A textura principal granoblástica poligonal média a grossa (0.5 a 3 mm). Camadas de mármore dolomítico silicosos apresentam-se em intercalação centimétrica a métrica com camadas de mármore mais puros e anfibolitos bandados. Estes mármore são diopsídio-olivina mármore e tremolita-diopsídio mármore de cor branca a cinza esverdeada, com bandas finas (1-2 mm), irregulares e descontínuas de cor preta a cinza escura ricas em olivina e diopsídio. A textura principal é granoblástica poligonal média a grossa (0.5-3 mm). Os níveis calci-silicáticos constituem anfibolitos bandados, interpretados como metamargas aluminosas definidas por níveis finos e contínuos ricos em hornblenda e tremolita, em epidoto e em granada grossulária-andradita.

Os mármore *puros* são compostos por calcita idioblástica, com relevo moderado a alto, birrefringência elevada e clivagem romboédrica característica, além de maclas em abundância. A textura principal é a granoblástica poligonal. Os grãos são equigranulares, variando de médio a grosso (0,5-5mm), caracterizando o acamamento (S_0) plano-paralelo.

Os mármore dolomítico-silicosos tem como estrutura principal a variação composicional de camadas com maior ou menor proporção de quartzo e carbonatos (calcita e dolomita). O quartzo tem granulometria muito fina e é disposto em bandas milimétricas irregulares, perfazendo entre 2-24% do total da camada. A estrutura metamórfica é representada por uma foliação incipiente definida por textura nematoblástica fina a média caracterizada pela orientação da tremolita. Em algumas lâminas a textura granoblástica poligonal contrasta com um estiramento dos carbonatos formando uma estrutura orientada e com feições de estiramento mineral, que permeia cristais maiores de carbonatos e tremolita. Associada a esta camada encontram-se *shear bands* milimétricas, onde além do estiramento ocorre a moagem de mais de 90% dos grãos do mármore original, indicando uma faixa de mármore ultramilonítico. Opacos de forma idioblástica e granulometria fina são presentes em quantidade traço nas lâminas. Em duas lâminas as estruturas primárias e metamórficas dos mármore foram obliteradas devido ao processo de retrometamorfismo associado ao metamorfismo termal do Granito Jaguari que afetou os cristais de olivina e diopsídio. Os cristais de olivina encontram-se parcialmente substituídos por serpentina de hábito asbestiforme constituindo a textura *mesh*, e por placas de talco.

As meta-margas aluminosas podem ser classificadas como anfibolitos bandados, sendo constituídos por uma variada-proporção de silicatos de Ca e Mg,

como tremolita, hornblenda, epidoto, titanita, apatita e granada do tipo grossulária-andradita. Estas rochas têm estrutura bandada ou foliada, com níveis ricos em tremolita e hornblenda com textura nematoblástica média, intercalados com níveis ricos em epidoto e/ou grossulária, com textura granoblástica poligonal média a grossa (1-30 mm). O epidoto ocorre como agregados de cristais equidimensionais, constituindo uma textura granoblástica poligonal. Apresentam relevo elevado e birrefringência alta com cores intensa e anômalas. A granada grossulária tem cor verde escura a marrom, e constitui porfiroblastos sin-tectônicos com relação a foliação S_1 e/ou S_2 .

A estrutura principal dos mármore é um bandamento composicional (S_0) que está paralelo ou subparalelo a uma foliação S_1 , marcada por níveis ricos em olivina, diopsídio e/ou tremolita nos mármore dolomíticos silicosos, ou aos níveis ricos em tremolita e hornblenda dos gnaisses calci-silicáticos. Observa-se localizadamente, a preservação de dobras intrafoliais do tipo F_2 , com formas isoclinais e apertadas, marcando o desenvolvimento local da foliação S_2 .

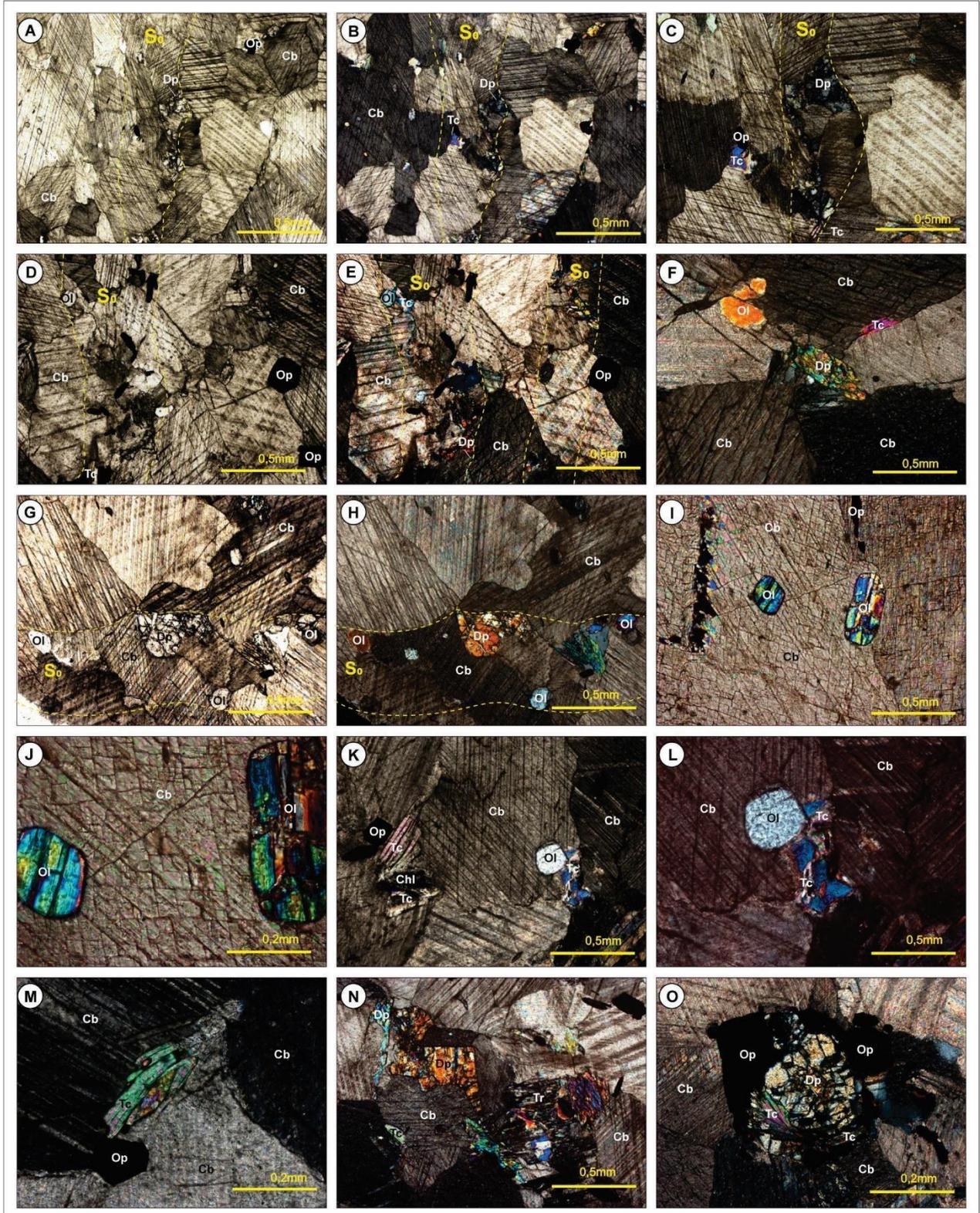


Figura 14: Feições microscópicas: Mineralogia, texturas e estruturas dos Mármoreos do Complexo Palma. Legenda: A) Variação da composição entre mármoreos calcíticos e dolomítico silicosos. B) Camada de talco e diopsídio. C) Acamamento composicional com níveis com talco e diopsídio. D) Carbonatos com textura granoblástica poligonal grossa. E) Acamamento composicional com níveis de olivina. F) Detalhe dos cristais de olivina e talco. G) Bandas regulares com predominância de olivina, H) Níveis ricos em olivina, I) Cristais idioblásticos de olivina, J) Detalhe da olivina, K) Cristais de olivina com retro metamorfismo para talco e clorita Mg, L) Detalhe de cristal de olivina com talco retro-metamórfico, M) Detalhe do talco, N) Cristal de diopsídio com retro-metamorfismo para tremolita, O) Cristal prismático de diopsídio com retro-metamorfismo para talco e opaco.

Quartzitos

Os quartzitos afloram como cristas alongadas de orientação NE-SW e mergulho para NW. Esses corpos tabulares se destacam no relevo da região, ocorrendo intercalados tectonicamente com xístos magnesianos e serpentinitos. As maiores cristas estão situadas ao redor da Vila da Palma e na região do Cerro do Ouro (Figura 10). Mostram espessuras variáveis entre alguns metros a dezenas de metros, com comprimento de centenas de metros. Em geral são corpos maciços, coesão elevada e constituídos a base de quartzo (> 90%). A principal textura é granoblástica poligonal fina a média (0,05-0,5 mm). Os quartzitos apresentam elevado grau de pureza sendo compostos predominantemente por quartzo variando de 89% a 99%. Quando mais impuros, apresentam uma foliação incipiente marcada pela orientação da muscovita e da biotita. Os grãos de quartzo são idióblásticos e com forma poligonal. Algumas amostras apresentam grãos de quartzo estirados e representam zonas de alta deformação superpostas pelo metamorfismo cataclástico.

Em termos estruturais, foram observadas camadas regulares de espessuras milimétricas com variação sistemática do tamanho dos grãos, caracterizando o acamamento sedimentar (S_0) por uma estrutura plano-paralela. No geral os quartzitos puros apresentam aspecto maciço, entretanto, foram descritas em duas lâminas texturas lepidoblásticas de muscovita e biotita, marcando uma foliação incipiente. Outros minerais identificados nas amostras foram os opacos, feldspatos e magnetita.

Tabela 5: Principais feições petrográficas dos metassedimentos do Complexo Palma. Legenda: Estrut. Prim: Estrutura do prótolito; Estrut. Met: Estrutura da rocha metamórfica; Parag: Paragênese; Fácies: Fácies metamórfico. Rochas: Qtz-Arenito: Quartzo Arenito; Metamar: Metamarga. Estruturas: Tg: Variação do tamanho de grão; S₀ (Ac.comp): Estrutura primária de acamamento composicional; Fol. Incip: Foliação metamórfica incipiente; Estir Min: Estiramento mineral; S₁: Foliação metamórfica. Texturas: Mesh: Textura de rede em serpentina, Nem: Nematoblástica; Poiquil: Poiquiloblástica; Blastomilo: Blastomilonítica; Ultramilo: Ultramilonítica; Porfirob: Porfiroblástica. Minerais: Srp: Serpentina; Di: Diopsídio; Ol: Olivina; Cb: Carbonatos; Hb: Hornblenda; Tr: Tremolita; Ep: Epidoto; Grt: Granada; Qz: Quartzo; Bt: Biotita. Fácies: Anf Sup/Gr – Anfíbolito Superior a Granulito; Anf Inf - Anfíbolito Inferior; Anf Med – Anfíbolito Médio.

Amostra	Protólito	Rocha	Estrut. Prim.	Est. Met.	Texturas	Parag.	Fácies
PSL 9116	Qz aren	Quartzito	-----	Maciço	Polig (qzo)	Bt+qzt	Anf Inf
RL 13	Qz aren	Quartzito	△ Tg (Qzt)	Maciço	Polig (qzo)	Qtz	Anf. Inf
PRL 4081	Qz aren	Quartzito	△ Tg (Qzt)	Fol. Incip (Bt); Estir.Min. (Qzt)	Blastomilon. (Qtz); Polig (Qtz)	Bt+ qzt	Anf. Inf
PRL 8137	Qz aren	Quartzito	-----	Maciço; Estir. Min (Qzt)	Blastomilon (Qtz); Polig (Qtz)	Qtz	Anf. Inf
PM 475	Qz aren	Quartzito	-----	Maciço	Poligonal (Qzt)	Qtz	Anf. Inf
PM 145	Calcáreo	Mármore	△ Tg (Cb)	Foli. Incip (Tr) Estir. Min (Cb)	Poligonal (Cb); Nem(Tr); Ultramilo (Cb)	Tr+cb	Anf. Inf
PM 145	Marga	Metamar	S ₀ (Ac.comp) ±Hb, Ep, ±Grt	S ₁ – Hbl	Nem (hb); Poiquil (Grt);	Ep+grt+hbl	Anf. Médio
PM 144	Calcáreo	Mármore	S ₀ (Ac.comp) ±Qzt, ±Cb	Fol.Incip (Tr) Estir. Min	Poligonal (Cb+Qzt); Blastomilo(Cb)	Tr+cb	Anf. Inf
PM 144	Marga	Metamar	S ₀ (Ac.comp) ±Hbl, ±Ep, ±Grt	S ₁ – Hbl	Nem (Hbl+ep)	Ep+grt+hbl	Anf Médio
AA25	Calcáreo	Mármore	S ₀ (Ac.comp) ±Qzt, ±Cb	Fol.Incip (Tr)	Poligonal (Cb); Nem (Tr)	Tr+cb	Anf. Inf
AA25	Marga	Metamar	S ₀ (Ac.comp) ±Hbl, ±Ep ±Grt	S ₁ – Hbl	Nem (hb+ep); Poiquil (Grt)	Grt+ep+hbl	Anf Médio
PLR 9107	Calcáreo	Mármore	-----	Maciço	Poligonal (Cb) Nem(Tr)	Tr+cb	Anf. Inf
PLR 9107	Marga	Metamar	S ₀ (Ac.comp) ±Hbl, ±Grt	S ₁ – Hbl	Nem (Hbl); Porfirob (Grt)	Grt+hbl	nf Médio
RL PALMA	Calcáreo	Mármore	-----	Maciço	Poligonal (Cb) Nem (Tr)	Tr+cb	Anf. Inf
RL PALMA	Marga	Metamar	S ₀ (Ac.comp) ±Hbl, ±Grt	S ₁ – Hbl	Poiquil (Grt); Nem (Hbl)	Hbl+grt	Anf Médio

Amostra	Protólito	Rocha	Estrut. Prim.	Est. Met.	Texturas	Parag.	Fácies
PRL 2541	Calcáreo	Mármore	ΔTg (Cb)	Fol.Incip (Tr)	Poligonal(Cb); Nem (Tr)	Tr+cb	Anf. Inf
PRL 2541	Marga	Metamar	-----	-----	-----	Ep	Anf Médio
PRL 1456	Calcáreo	Mármore	S ₀ (Ac.comp) $\pm Qzt, \pm Cb$	Maciço	Poligonal (Cb); Nem (Tr)	Tr+cb	Anf. Inf
PRL 1456	Marga	Metamar	-----	S ₁ – Hbl	Nem (Hbl)	Hbl	Anf Médio
PM 146	Calcáreo	Marmore	-----	Maciço	Poligonal (Cb); Mesh (Srp)	Di+ol+cb	Anf Sup/Gr
PLR 19	Calcáreo	Mármore	-----	Maciço	Poligonal (Cb); Mesh (Srp)	Di+ol+cb	Anf Sup/Gr

6 DISCUSSÕES

6.1 CONDIÇÕES DO METAMORFISMO

A evolução das condições metamórficas (P-T) e a cronologia relativa dos eventos de metamorfismo e deformação, com seus estágios sucessivos são preservados nas rochas através das assembleias minerais e de fases de dobramento regionais. Comumente uma rocha registra mais de um evento metamórfico, podendo ser reconhecível as feições anteriores caso o equilíbrio mineral não tenha sido alcançado em sua totalidade, ou se as dobras intrafoliais forem preservadas. A identificação e interpretação correta das feições que caracterizam cada evento é fundamental quando se trata do estudo evolutivo de rochas metamórficas.

Neste trabalho o foco está no reconhecimento das transformações relacionadas ao metamorfismo regional orogênico. A superposição mais jovem por eventos de metamorfismo cataclástico e do metamorfismo termal não serão abordadas, embora as microestruturas e texturas que caracterizam estes processos tenham sido observadas nas em lâminas delgadas analisadas.

Os complexos estudados exibem características similares no tocante aos padrões de metamorfismo e deformação orogênicos. As foliações S₁ e S₂, que caracterizam o bandamento principal mostram orientação dominante para a direção NE-SW, com uma lineação mineral de baixo *rake* associada (obliqua e transcorrente). Os padrões de mergulho dos bandamentos na maioria dos afloramentos mapeados segue um trend NW-SE, perpendicular as direções das camadas. De maneira geral, os litotipos estudados apresentam uma fase de deformação (D₁) associada a uma fase

de metamorfismo (M_1). O bandamento S_1 foi afetado por dobras isoclinais e apertadas intrafoliais, indicando a transposição local da foliação e formação de uma foliação S_2 . O zoneamento mineral não é bem distribuído no mapa, de forma que não foi possível estabelecer isógradas para a delimitação de zonas metamórficas. As unidades sofrem um metamorfismo orogênico restrito a parte superior do grau médio e ao grau alto, em condições de fácies anfíbolito inferior a superior e granulito, sob condições de pressão litostática média.

O Complexo Palma registrou um metamorfismo orogênico (M_1) do tipo colisional e de pressão média, resultando em foliação S_1 nos mármore e nas metamargas por uma textura granoblástica poligonal média a grossa bem desenvolvida. As assembleias minerais cristalizadas durante o metamorfismo orogênico estáveis em condições de fácies anfíbolito inferior a anfíbolito superior/granulito identificadas nos mármore dolomíticos silicosos pelas associações tremolita+carbonato, tremolita+diopsídio+carbonato e diopsídio+olivina+carbonato, e em gnaisses calci-silicáticos pela associação granada+hornblenda (Figuras 15 e 16).

No Complexo Passo do Ivo os eventos deformacionais do metamorfismo orogênico (M_1) marcam uma xistosidade (S_1) nos anfíbolitos, além de um bandamento incipiente nos gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arcóseos). O grau médio a alto, e as condições mínimas de fácies anfíbolito inferior a médio são indicadas pelas assembleias plagioclásio cálcico + quartzo + biotita, plagioclásio cálcico + quartzo + biotita + granada para os gnaisses quartzo-feldspáticos.

Os paragneisses do Complexo Cambaizinho apresentam de modo dominante a assembleia plagioclásio cálcico + quartzo + granada + biotita. A granada marca uma condição de média P/T do metamorfismo (M_1). A biotita e o plagioclásio cálcico marcam uma condição mínima de fácies anfíbolito inferior. A presença de estauroлита + granada + biotita nos gnaisses pelíticos e de diopsídio + plagioclásio cálcico + biotita + quartzo nos gnaisses calci-silicáticos definem o metamorfismo orogênico progressivo atingindo fácies anfíbolito superior a granulito.

As Figuras 15, 16 e 17 expressam as condições de P/T para as paragêneses observadas nas classes pelítica, carbonática e calci-silicática em forma de grades petrogenéticas.

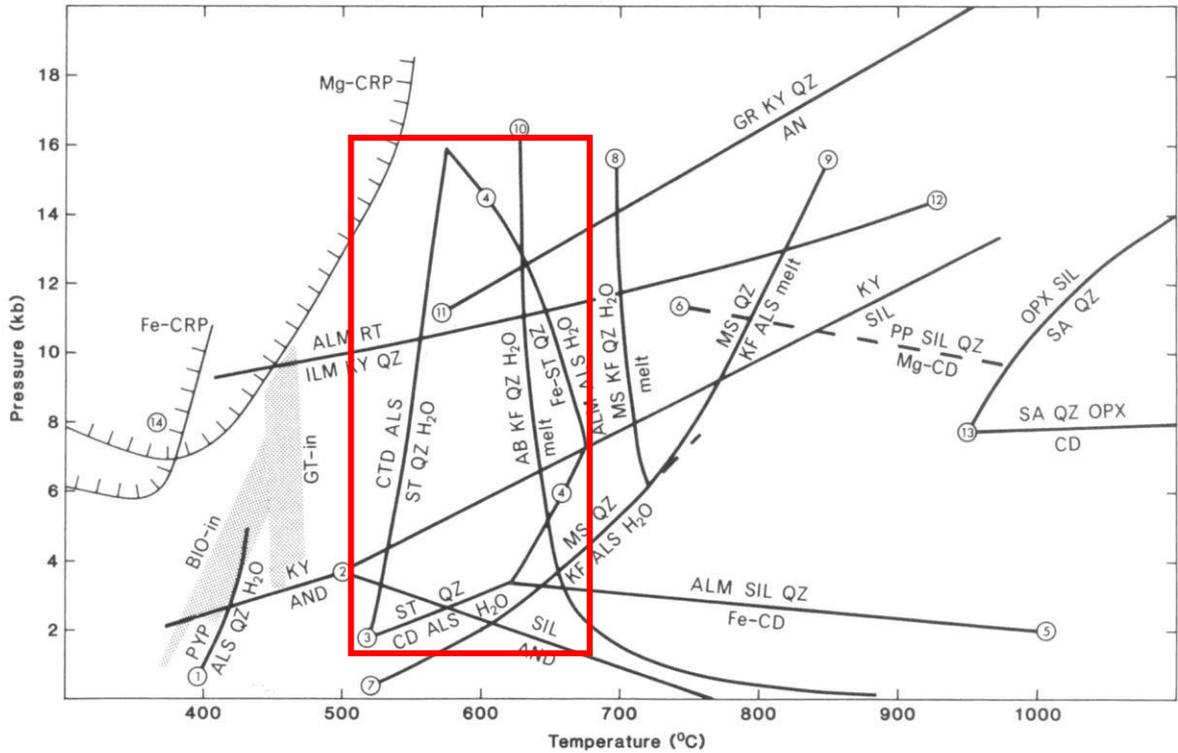


Figura 15: Grade petrogenética para pelitos. No campo destacado em vermelho a condição metamórfica da estauroлита de 500°-700° C e pressões 2-16 Kbares. Retirado e modificado de Yardley (1989).

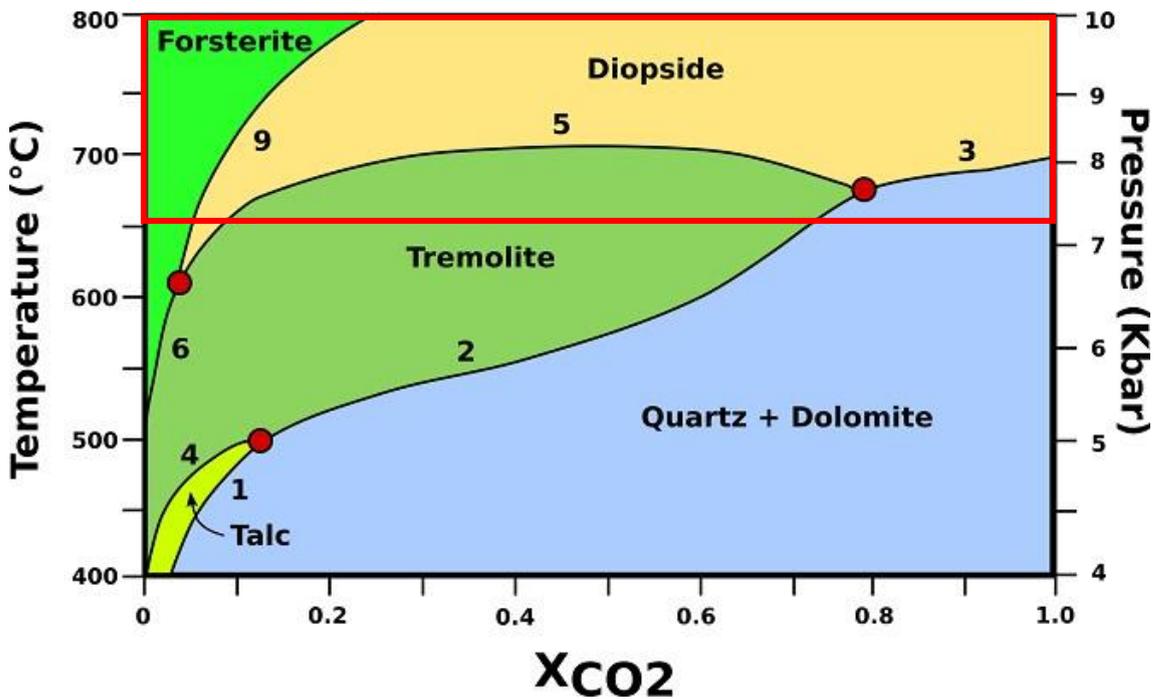


Figura16:Grade petrogenética para mármore. No campo destacado em vermelho a paragenese (diopsidio+olivina) é estável entre 700°-800°C e 7-10 Kbares de pressão. Retirado e modificado de Butcher e Frey (2007).

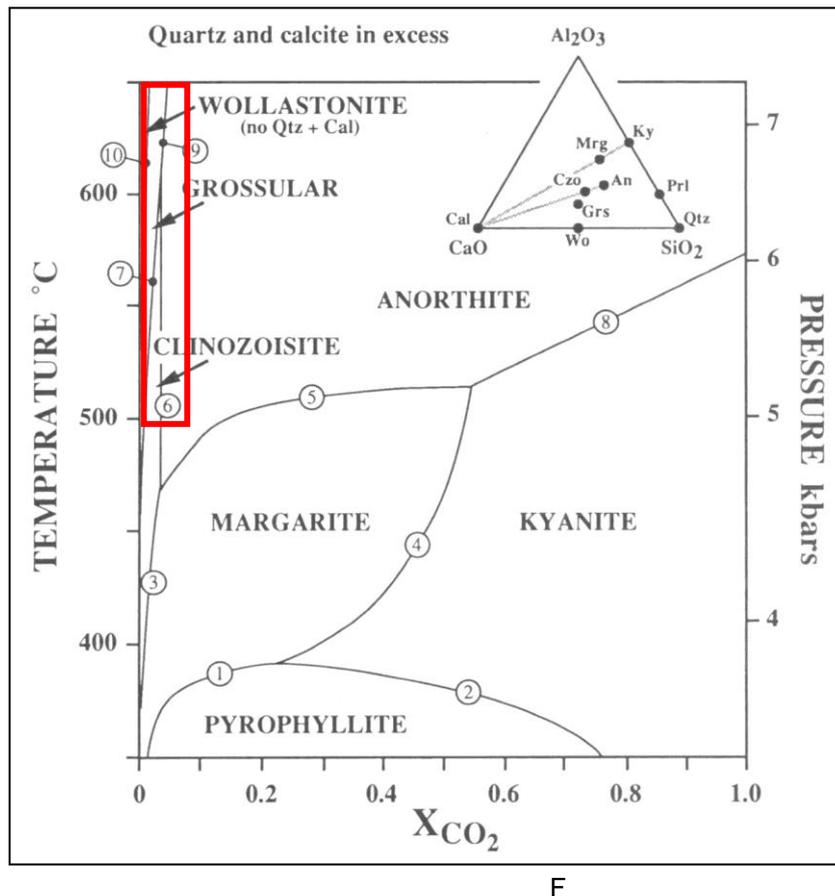


Figura 17: Grade petrogenética para rochas calci-silicáticas. No campo destacado em vermelho a granada grossulária é estável entre 500° e 700° de temperatura e entre 5 a 8 Kbares de pressão. Retirado e modificado de Hollocher (2014).

6.2 ORIGEM DOS METASSEDIMENTOS

A premissa inicial do projeto de que as litologias metamórficas das classes quarto-feldspática e cálcio-silicática fossem de origem para-metamórfica foi verificada através da análise petrográfica. O presente trabalho conclui por uma origem sedimentar, entretanto salienta a importância de estudos mais aprofundados, principalmente com critérios geoquímicos. A definição dos protólitos está relacionada ao reconhecimento de estruturas e texturas reliquiárias.

As rochas metassedimentares analisadas por este TCC pertencem aos complexos Cambaizinho, Palma e Passo do Ivo e incluíram gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arenitos), quartzitos puros e impuros, mármore calcítico, dolomítico e dolomítico silicosos, e xistos e gnaisses calci-silicáticos (incluindo anfíbolitos bandados). Os processos sedimentares indicam uma sedimentação predominantemente clástica, entretanto, os mármore sugerem uma deposição

associada a precipitação química, provavelmente relacionada a biorganismos (estromatólitos), podendo ainda ter uma contribuição clástica.

As rochas metassedimentares são heterogêneas, mas apresentam uma nítida e bem marcada variação composicional, sugerindo uma mudança da fonte fornecedora do material, podendo ser gerada por diferentes processos de sedimentação dentro da bacia ou sob influência do intemperismo durante o transporte do sedimento.

Destacaram-se o acamamento sedimentar e as estruturas plano-paralelas, com variações composicionais e mineralógicas em camadas e laminações contínuas e regulares. Também foram observadas estruturas cruzadas, cruzada acanalada e tangencial de baixo ângulo em afloramentos de quartzitos da região de Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul. O elevado teor modal e a variação dos teores das concentrações de plagioclásio e quartzo nos gnaisses quartzo-feldspáticos é outro indicativo de protólitos sedimentares, com a variação da proporção de quartzo e plagioclásio em relação a concentração de biotita e granada sugerindo protólitos caracterizados pela intercalação de camadas de arenitos e camadas mais argilosas de composição pelítica. A variação da granulometria perceptível nos gnaisses e nos mármore, caracteriza também a S_0 sugerindo uma variação da energia deposicional do material.

Em termos microscópicos, além da variação composicional, foram observados nos gnaisses quartzo-feldspáticos e em quartzitos, variações de tamanho de grão em camadas e laminações contínuas, ocorrência de clastos de plagioclásio e quartzo de tamanho areia não metamorfizados ou parcialmente, envoltos por uma matriz metamórfica com textura granoblástica poligonal em quartzo e plagioclásio, e textura lepidoblástica com orientação de agregados de muscovita e biotita.

Os mármore e as rochas calci-silicáticas ocorrem intercalados e apresentaram acamamento composicional com variação de composição em camadas de espessuras cm a métricas, com intercalações de níveis arenosos ricos em quartzo, e níveis pelíticos aluminosos, caracterizados pelo crescimento de bandas contínuas a base de epidoto (pistacita e clinozoizita), e acompanhados por níveis ricos em granada grossulária-andradita, e em hornblenda e tremolita.

6.3 POSICIONAMENTO ESTRATIGRÁFICO: CERTEZAS E LIMITAÇÕES

Este projeto realizou a caracterização petrográfica das rochas metassedimentares dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho,

aflorantes na região das vilas da Palma e Passo do Ivo, em São Gabriel, e nas regiões de Santa Margarida do Sul e Vila Nova do Sul. Estes complexos fazem parte do Terreno São Gabriel (TSG) e estão situados na porção oeste do Escudo Sul-riograndense (Chemale Jr., 2000; Hartmann et al. 2007; Saalman et al. 2010; Philipp et al. 2016, 2018). Estes complexos são constituídos por associações muito similares, sendo reconhecidos três grupos distintos de associações metamórficas intercaladas por ação tectônica, incluindo rochas metassedimentares, meta-vulcânicas e rochas meta-máfico-ultramáficas. Os metassedimentos compreendem meta-arenitos (gnaisses quartzo-feldspáticos), quartzitos, meta-pelitos, mármore e meta-margas. As rochas meta-vulcânicas são subordinadas e incluem meta-basaltos e rochas meta-piroclásticas de composição ácida a intermediária. As rochas meta-máficas e meta-ultramáficas são constituídas por serpentinitos e xistos magnesianos, estas são interpretadas como ofiolitos e foram denominados de ofiolitos Palma, Passo do Ivo e Serrinha (Cambaizinho) (Philipp et al. 2016, 2018; Arena et al. 2016, 2017).

A região situada entre as cidades de São Gabriel, Vila Nova do Sul, Caçapava do Sul e Lavras do Sul foi uma área pioneira na definição da estratigrafia do embasamento Pré-Cambriano do Rio Grande do Sul. Os trabalhos de Gõni et al. (1961), Jost & Willwock (1966) e Jost (1966,1970) fizeram a caracterização geológica e definiram a estratigrafia e as principais estruturas regionais, sustentadas por dados de geologia de campo e petrografia.

De acordo com Gõni et al. (1962), a Formação Cambaí incluía migmatitos e granitos, e foi redefinida por Jost e Willwock (1966) como Grupo Cambai, devido à alta complexidade estrutural e litológica apresentada. O grupo Cambaí, segundo Jost e Willwock (1966), é composto pelo Granito Jaguari e por uma sequência ortometamórfica (migmatitos gabroides e monzoníticos) e uma sequência para-metamórfica (migmatitos calco-pelíticos e areno-pelíticos), sendo representativos da fase orogênica mais antiga e apresentando graus metamórficos de xisto verde superior até granulito. O Grupo Porongos corresponderia a fase orogênica mais nova, com litologias apresentando baixo grau metamórfico, sendo dividido em três formações. A sequência metassedimentar constituída por sericita-xistos, filitos, mármore, quartzitos e meta-conglomerados foi denominada Formação Vacacaí. Na parte basal desta unidade foram identificadas sequências interpretadas como meta-vulcânicas, intercaladas com os metassedimentos, e separadas em duas Formações distintas, sendo os termos ultrabásicos referentes a Formação Cerro Mantiqueira e os termos básicos, correspondente aos xistos magnesianos da Formação Cerro do Ouro (Gõni et al. 1962).

Posteriormente, com a introdução de dados geoquímicos, estas formações foram subdivididas em complexos metamórficos que receberam as denominações Palma (Garcia & Hartmann, 1981; Chemale Jr. 1982), Passo do Ivo (Oliveira, 1983), Ibaré (Naumann, 1985), Bossoroca (Koppe, 1985), Cambaizinho (Remus, 1990), entre outros. Atualmente foram propostas por Saalman et al. (2005, 2010), Laux et al. (2012, 2017) e Philipp et al. (2016, 2018, 2021) divisões estratigráficas para as rochas desta região, não existindo um consenso quanto à origem das rochas metassedimentares dos complexos Palma, Passo do Ivo e Cambaizinho.

O objetivo principal deste TCC foi aprimorar o entendimento da associação metassedimentar com relação ao reconhecimento dos protólitos e dos ambientes de formação. Todos os complexos estudados apresentam as mesmas associações de rochas, contendo metassedimentos maduros e clasto-químicos, como os quartzitos e os mármore, e metassedimentos imaturos e ricos em plagioclásio, como os gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arcóseos) do Complexo Cambaizinho.

As associações de rochas do Complexo Passo do Ivo se estendem desde a vila homônima como uma faixa de direção NE-SW, e após cruzar o arroio Cambaizinho, recebeu a denominação de Complexo Cambaizinho (Remus, 1990). Como esta faixa é contínua, e com o suporte dos dados petrográficos avaliados, entendemos que pertencem a uma mesma unidade. Devido a ampla ocorrência de metassedimentos nas áreas próximas a Vila Nova do Sul e Santa Margarida do Sul, adotamos o nome de Complexo Cambaizinho para toda esta associação. Entendimento semelhante foi apresentado no mapa geológico do Projeto Lagoa da Meia Lua-Rufino Farias (UFRGS, 1996). As rochas do Complexo Palma também são similares as dos complexos Passo do Ivo e Cambaizinho, ocorrendo entretanto, uma maior exposição de quartzitos.

O Complexo Cambaizinho é a unidade que mais apresenta metassedimentos em termos de área e de volume, sendo constituído por gnaisses quartzo-feldspáticos (meta-arenitos), quartzitos e gnaisses pelíticos, com ocorrência localizada de mármore e xistos e/ou gnaisses cálcio-silicáticos. Os meta-arenitos foram interpretados como sendo parte de uma bacia de *back-arc* ou *fore-arc*, e derivados de rochas juvenis de arcos magmáticos de idade Toniana (Neoproterozóico) resultantes do fechamento do denominado Oceano Charrua (Lena et al. 2014; Philipp et al. 2016). O caráter acrescionário desta orogênese resultou na intercalação tectônica do tipo mélange entre fragmentos deformados de complexos ofiolíticos de idades Toniana (Arena et al. 2016, 2017), com lentes de meta-arcóseos, para-anfibolitos bandados, quartzitos, meta-pelitos e mármore.

Uma das principais hipóteses de trabalho é de que os meta-arcóseos e para-anfibolitos bandados representem fragmentos da porção distal da sucessão de sedimentos associados as bacias dos arcos Passinho (900-850 Ma) e São Gabriel (770-720 Ma), enquanto as lentes de quartzitos puros e mármore representem associações relacionadas a bacias de fundo oceânico ou plataformal de margem passiva.

6.4 PALEOGEOGRAFIA DAS BACIAS

A determinação da paleogeografia foi um dos objetivos do trabalho. Os dados da bibliografia, a descrição de afloramentos e a análise petrográfica forneceram dados estruturais e texturais sobre os protólitos metassedimentares e permitiram, junto com os dados da cartografia geológica, a avaliação de possíveis tipos de bacias sedimentares. Apesar de o enfoque principal ser a caracterização dos metassedimentos, a definição das bacias deve contemplar e estar relacionada de alguma forma com os corpos encaixantes.

No TSG ocorrem diversos complexos meta-vulcanossedimentares constituídos por sequências metassedimentares e meta-máfica-ultramáficas intercaladas e com uma complexa estratigrafia resultante do padrão polifásico da deformação, dificultando a individualização de subunidades, a correlação estratigráfica e a determinação dos ambientes geológicos. Para estas regiões diversos autores propuseram ambientes geológicos de formação dos protólitos com base, na maioria das vezes, na associação orto-derivada.

Na região de Vila Palma, as pesquisas mais relevantes na individualização dos complexos Palma e Passo do Ivo foram feitas por Garcia e Hartmann (1981), Chemale Jr. (1982) e Oliveira (1983), que interpretaram a associação meta-máfica-ultramáfica como sendo complexos estratiformes. *Trends* komatíticos foram obtidos com os dados geoquímicos dos metaultramafitos admitindo um modelo evolutivo de terreno do tipo *Greenstone belt*.

A partir do final da década de 80 do século XX, até os dias atuais, o modelo geotectônico para estas associações remete as pesquisas iniciais no escudo, onde as unidades básicas foram definidas como resultantes de vulcanismo do tipo Alpino (Jost, 1966) e interpretadas como fragmentos de bacias de fundo oceânico, caracterizando sequências ofílicas completas e parciais (Jost & Willwoock; 1966; Issler et al 1972; Szubert et al 1977). Os trabalhos mais recentes como os de Leite et. al (1998), Remus

et. al (1999) e Chemale Jr. (2000) atribuíram uma assinatura toleítica para os termos ultramáficos.

A intercalação destes fragmentos de fundo oceânico com complexos metassedimentares supracrustais é indicativo de um terreno do tipo *mélange*, anteriormente denominado de Prisma Acrescionário da Palma (Chemale Jr. 2000). Este ambiente orogênico é representado por camadas de sedimentos de margem continental (Complexo Palma) ou ensiálicas (Complexos Cambaizinho e Passo do Ivo) ativas, localizados na porção superior da placa oceânica, que são intercalados tectonicamente com fragmentos da crosta oceânica (ofiolito) e acrescionados à placa com crosta continental durante o processo de subducção.

A análise petrográfica associada a distribuição dos metassedimentos em mapa e da etapa de campo, permitiu a interpretação a determinação paleogeográfica destas unidades. Como resultado final do TCC, a proposta dos paleo-ambientes e dos eventos de evolução tectônica apresentada na figura 18 é passível de discussão. Vale ressaltar que para determinar com maior precisão os ambientes de formação e de evolução tectônica do conjunto de protólitos identificados necessita-se o suporte de outras ferramentas como dados geoquímicos, isotópicos e geocronológicos.

Os sedimentos dos complexos Cambaizinho e Passo do Ivo apresentam muitas semelhanças, sendo por vezes considerados como uma única unidade (Santos et al 1990; Salmann et. al 2005; Salmann et. al 2010, Laux et. al 2017). Tais semelhanças são categorizadas, sendo estas:

- 1) Ambos são metamorfizados sob condições de pressão litostática média e grau médio a alto, em condições de fácies anfíbolito inferior e granulito;
- 2) Possuem disposição geométrica linear de direção NE-SW sendo individualizados por coberturas sedimentares Paleozóicas e Eopaleozóicas;
- 3) Apresentam os mesmos litotipos com estruturas, texturas e composição mineralógica entre os metassedimentos arenosos, pelíticos e carbonáticos;
- 4) Apresentam termos texturais imaturos, típicos de bacias sedimentares próximas a área fonte.

A textura blastopsamítica, com clastos de plagioclásio euédrico e quartzo hexagonal nos gnaisses quartzo-feldspáticos, indica áreas fontes próximas ao arco magmático, podendo ser uma bacia de *fore-arc* ou *back-arc*. A imaturidade textural, com predominância de plagioclásio indica magmas ricos em Ca e sugere fontes mantélicas, com pouca influência de crosta continental. Todos estes indícios levam a crer que estes metassedimentos estão relacionados a erosão dos arcos magmáticos

Passinho e São Gabriel, com idade máxima de deposição datada em 680 Ma (Lena et al. 2014; Philipp et al. 2021).

O Complexo Palma não apresenta estudos sistemáticos sobre a origem dos metassedimentos, carecendo de dados bibliográficos comparativos. Duas hipóteses para os paleo-ambientes foram formuladas, com base na premissa inicial de maturidade dos sedimentos. Laux et. al (2017) no mapeamento da Folha Lagoa da Meia Lua em escala 1:100.000, discorre sucintamente sobre uma provável origem bioquímica para os corpos de quartzitos ou meta-cherts. Philipp et al. (2016, 2018, 2021) sugerem que parte dos quartzitos poderiam ser derivados de metamorfismo de carapaças de diatomáceas ou radiolários de bacias de fundo oceânico, devido ao alto grau de pureza.

Este trabalho admite uma origem clástica em um ambiente plataformal de margem continental passiva com base em alguns indícios:

- 1) Os corpos de quartzitos e mármores não apresentam volume expressivo para representarem bacias de fundo oceânico com precipitação bioquímica;
- 2) Organismos de carapaças silicosas, como diatomáceas, radiolários e sílicoflagelados tem suas principais ocorrências restritas ao Cambriano;
- 3) Não foi visto durante a seção mapeada a presença de formações ferríferas, tanto nos afloramentos de quartzitos quanto nos mármores da Mina da Palma;
- 4) As únicas evidências de que não representam um ambiente de sedimentação predominantemente clástico são a ausência de biotita e turmalina nas meta-margas.

Os quartzitos tem alta maturidade textural, apresentam estruturas plano-paralelas e estratificação cruzada acanalada, sendo produto do metamorfismo de areias ricas em quartzo. Os mármores, dentro do contexto evolutivo proposto, seriam provenientes de sedimentos bioquímicos de plataforma continental ou talude, como estromatólitos intercalados com camadas pelágicas (meta-margas). Feições como acamamento gradacional e intercalações de níveis arenosos e pelíticos com os carbonatos são indícios de depósitos turbidíticos, característicos de bacias sedimentares de margem continental ativa. O caráter textural maduro destes sedimentos se assemelha com outras unidades da borda do TSG. O Complexo Passo Feio, datado por Lopes et al. (2015), e os complexos Arroio Marmeleiro e Coxilha do Batovi, datados por (Philipp et al 2021) apresentam idades U-Pb em zircão detrítico entre 3.6 e 1,0 Ga, com idade máxima de deposição entre 1.58 e 1.0 Ga, sendo

interpretados como bacias de margem passiva resultantes da erosão do Cráton Rio de La Plata.

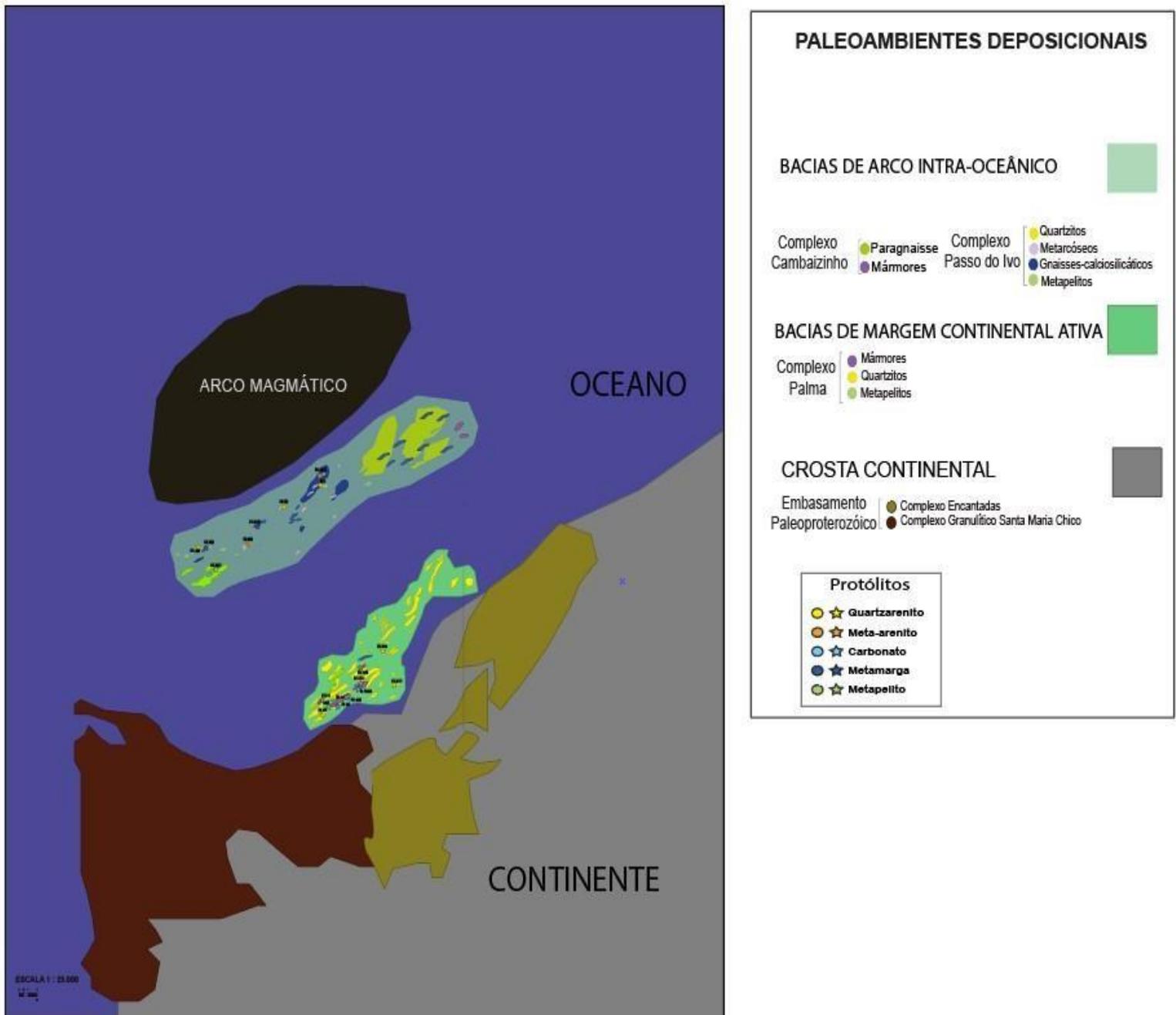


Figura 18: Diagrama esquemático ilustrando a orogenia afetando as bacias sedimentares de back-arc/fore-arc intra-oceânicas e de margem continental passiva. O arco magmático migrando em direção ao paleo-continente (Cráton Rio de La Plata), representado pelos complexos Encantadas e Santa Maria Chico. Fonte: do autor.

7 CONCLUSÕES

- Os metassedimentos dos complexos Passo do Ivo, Palma e Cambaizinho apresentam grande similaridade composicional, sendo constituídos por um conjunto dominante de gnaisses quartzo-feldspáticos, com ocorrência subordinada de quartzitos, mármore calcíticos, dolomíticos e dolomíticos silicosos, anfibólio xistos e gnaisses calci-silicáticos com grossulária-andradita, hornblenda e epidoto, e raras lentes de gnaisses metapelíticos com biotita, granada e estaurolita;
- As unidades dos complexos foram afetadas por um evento de metamorfismo regional orogênico polifásico e caracterizado pelo desenvolvimento de duas foliações metamórficas principais geradas sob condições metamórficas de grau médio a alto, entre as fácies anfibolito inferior a granulito, e sob condições de pressão intermediária;
- Todas as unidades apresentam foliações concordantes e orientadas segundo a direção NE-SW, acompanhadas por uma lineação mineral e/ou de estiramento com disposição de baixa obliquidade em relação a direção da foliação principal;
- As estruturas primárias como acamamento composicional, variações de tamanho de grão e de proporção entre os minerais, principalmente, os altos teores de plagioclásio e quartzo, com relação aos variados teores de biotita e granada, suportam uma origem sedimentar para os gnaisses quartzo-feldspáticos;
- A composição rica em plagioclásio, os clastos de plagioclásio prismático e de quartzo hexagonal das texturas blastopsamíticas, sugerem que estas rochas derivaram de rochas clásticas ricas em quartzo;
- As formas sub-arredondadas e a preservação do plagioclásio, e a seleção moderada indicam uma certa imaturidade textural que pode refletir um transporte curto e rápido até o sitio de deposição; características que permitem interpretar estes meta-arenitos como grauvacas associadas a bacias de arco magmático de limites convergentes;

- As principais zonas que marcam o metamorfismo progressivo nos mármore dolomíticos silicosos são as zonas da tremolita, do diopsídio e do diopsídio+olivina; em parte acompanhadas pelas zonas do epidoto-zoizitahornblenda e grossulária-andradita em rochas calci-silicáticas, e pelas zonas da granada e da estauroлита nos termos pelíticos;
- A estruturação geral do Terreno São Gabriel, com corpos alongados segundo a direção NE-SW e com vergência para Leste, sugerem que o principal evento de metamorfismo colisional que afetou as rochas da região está associado com o cavalgamento das unidades do TSG sobre as unidades Paleoproterozóicas e Arqueanas dos terrenos Taquarembó e Nico Perez, situados a Sul e Sudeste, e que representam o Cráton Rio de La Plata;
- Este evento ocorreu sob condições de fácies anfibolito inferior a granulito, indicando temperaturas em torno de 550 a 800° e pressão intermediária (4-8 Kbares), com pico de idades entre 710-700 Ma.

8 REFERÊNCIAS

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., & Fuck R. A., 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, Atas. Pernambuco, SBG-Núcleo Nordeste, 1, 363-392.

Arena, K.R., Hartmann, L.A., Lana, C., 2016. Evolution of Neoproterozoic ophiolites from the southern Brasiliano Orogen revealed by zircon U–Pb–Hf isotopes and geochemistry. *Precambrian Research*, 285, 299–314.

Arena, K.R., Hartmann, L.A., Lana, C., 2017. Tonian emplacement of ophiolites in the southern Brasiliano Orogen delimited by U-Pb-Hf isotopes of zircon from metasomatites. *Gondwana Research*, 49, 296–332.

Babinski, M., Chemale Jr., F., Hartmann, L.A., Van Schmus, W.R., Silva, L.C., 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil: *Geology*, 24(5), 439-442.

Basei, M.A.S., Siga Jr., O., Masquelin, H., Harara, O.M., Reis Neto, J.M., Preciozzi, F., 2000. The Dom Feliciano Belt of Brazil and Uruguay and its Foreland Domain the Rio de la Plata Craton: framework, tectonic Evolution and correlation with similar provinces of Southwesterns Africa. *Tectonic Evolution of South America*, IGC 31, Rio de Janeiro, 311-334.

Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., Pimentel, M.M., 2014. The Brasiliano collage in South America: a review. *Braz. J. Genet.* 44 (3), 493-518.

Butcher K. & Rodney Grapes. (8th Edition.) 2007. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 318p.

BWD Yardley 1989. *Uma Introdução à Petrologia Metamórfica*. Pag 433-434.

Carvalho, P. F. (1932). Reconhecimento geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil, Rio de Janeiro, Boletim 66.

Chemale Jr, F., 1982. Geologia da Região de Palma, São Gabriel, Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Chemale Jr, F., 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.) Geologia do Rio Grande do Sul. Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, p. 13-52.

Fragoso-Cesar, A.R.S., 1980. O Cráton do Rio de la Plata e o Cinturão Dom Feliciano no escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú: Anais, p. 2879-2882.

Fragoso Cesar, A.R.S., 1991. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. USP, São Paulo, 367p.

Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C., 1992. Deformation patters in the Southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. Journal of South American Earth Sciences, 5, 77-96.

Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Kramer, G., Tommasi, A., Porcher, C.C., Ramgrab, G.E., Camozzato, E., 1995a. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I – uma contribuição a partir do registro geológico. Revista Brasileira Geociências 25, 351-374

Garcia, M.A.M., Hartmann, L.A., 1981. Petrologia do *Complexo Palma*- RS. Acta Geológica Leopoldensia, 5(9): 51-119
Goñi J.C., Goso, H., Issler, R.S., 1962. Estratigrafia e Geologia Econômica do Pré- Cambriano e Eo-Paleozóico Uruguaio-Sul-Riograndense. Esc. Geol. UFRGS, 3, 1-105.

Gubert, M., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., 2016. Geochronology of the Bossoroca Complex, São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil: tectonic implications for a Neoproterozoic São Gabriel Arc. Journal of South American Earth Science, 70, 1-17.

Hartmann, L.A., Leite, J.A.D., Silva, L.C., Remus, M.V.D., McNaughton, N.J., Grove, D.I., Fletcher, I.R., Santos, J.O.S. & Vasconcellos, M.A.Z. 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences*, 47: 829-844.

Hartmann, L.A., Philipp, R.P., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J., 2011. Time frame of 753-680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, Southern Brazil. *Gondwana Research*, 19, 84- 99.

Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., Philipp, R.P., 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Ianuzzi, E.R., Frantz, J.C. (Eds.), 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições. Comunicação e Identidade, Porto Alegre, 396p.

Hueck, M., Oyhantçabal, P., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., Siegesmund, S., 2018. The Dom Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay. *Geology of the SW Gondwana*. In: Siegesmund, S., Oyhantçabal, P., Basei, M.A.S. and Oriolo, S. (Eds.), *Regional Geology Review*, Springer, 267-303.

ISSLER, R.S. et alli. 1972. Mapa Geológico do Grau de São Gabriel, RS. Brasil. Porto Alegre. Instituto de Geociências. Mapa 2.

John D. Winter, *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Pearson New International Edition. Second Edition 2014; pag 474-478.

Jost, H; Willwock, J.A. Contribuição à Estratigrafia do Pré-Cambriano do Rio Grande do Sul. *Escola de Geologia. NOTAS E ESTUDOS*. vol. 1. DO 1. pp. 13-26. junho-66.

Jost, H., 1970. Esboço geológico da Folha "Cabeceiras do Rio Vacacaí", São Gabriel, Rio Grande do Sul. *Notas Estudos Escola Geologia, UFRGS.Boletim nº16*; 147 p.

Jost, H., 1966. Complexos básico-ultrabásicos do alto Rio Vacacaí, São Gabriel, Rio Grande do Sul. *Notas Estudos Escola Geologia, UFRGS*, 1(2), 51-61.

Kurt Hollocher. A Pictorial Guide to Metamorphic Rocks in the Field book. Edition 1st Edition.pag 224.

Laux, J.H., 2017. Geologia e recursos minerais da Folha Lagoa da Meia Lua – SH.21-Z-B-VI, Escala 1:100.000, estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Laux, J.H., 2021. Levantamento Geológicos e de Potencial Mineral de Novas Fronteiras. ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE. Escala 1:500.000, estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LAUX, J. H.; BONGIOLO, E. M.; IGLESIAS, C. M da F.; KLEIN., C. Mapa Geológico da Folha Lagoa da Meia Lua, SH.21-Z-B-IV, Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:100.000. Porto Alegre: CPRM, 2012. (Programa Geologia do Brasil).

Lena, L.O.F., Pimentel, M., Philipp, R.P., Armstrong, R., Sato, K., 2014. The evolution of the Neoproterozoic São Gabriel Juvenile terrane, southern Brazil based on high spatial resolution U- Pb ages and 18O data from detritals zircon. Precambrian Research, 247, 126-138.

Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., McNaughton, N.J., Chemale Jr., F., 1998. SHRIMP U- Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. International Geology Review, 40, 688-705.

Lopes, C.G., Pimentel, M.M., Philipp, R.P., Gruber, L., Armstrong, R., Junges, S.L., 2015. Provenance of the Passo Feio complex, Dom Feliciano belt: implications for the age os supracrustal rocks of the Sao Gabriel arc, Southern Brazil. S. Am. Earth Sci 58, 9-17.

Machado,N., Koppe, J.C., Hartmann, L.A., (1990). A Late Proterozoic U-Pb age for the Bossoroca Belt, Rio Grande do Sul. Brazil. J. South Am. Eartch Sci, (2-3), 87-90.

Myron G. Best.2003. Igneous and Metamorphic Petrology. Second Edition. Brigham Young University. Pag 228.

Neumann, M.P. O complexo vulcano-sedimentar-ultramáfico e granitoides da região de Ibaré, RS. 1985. 162f. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Oliveira, M,T,G, 1981. Petrologia do Maciço Máfico-Ultramáfico Passo do Ivo. Dissertação de mestrado. Porto Alegre. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ralph Kretz. Symbols of rock-forming minerals. American Mineralogist, Volume 68, pages 277-279, 1983.

Remus, M.V.D, 1990. Geologia e geoquímica do Complexo Cambaizinho, São Gabriel – RS. Dissertação de mestrado. Porto Alegre. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Remus, M.V.D., Hartmann, L.A, Formoso, M.L.L., (1993). Os padrões de Elementos Terras Raras (ETR) e afinidade geoquímica komatítica dos xistos magnesianos e rochas associadas do Complexo Cambaizinho, São Gabriel-RS. Rev. Brasil de Geociências 23 (4), 370-387.

Remus, M.V.D., McNaughton, N.J., Hartmann, L.A., Koppe, J.C., Fletcher, I.R., Groves, D.I. & Pinto, V.M. 1999. Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca volcanic arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources. Journal of South American Earth Sciences, 12: 349-366.

Philip Kearey, Keith A. Klepeis, Frederick J. Vine. Tectônica Global - 3ª Edição - 2014 -, pag 156.

Philipp, R.P., Pimentel, M.M., Chemale Jr., F. 2016a. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. Brazilian Journal of Geology. 46(1), 83-104.

Philipp, R.P., Pimentel, M.M., Basei, M.A.S., 2018. Tectonic Evolution of São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt: the closure of Charrua ocean. In: Siegesmund, S.P., Oyhantcabal., Basei, M.A.S (Eds.), *Geology of SW Gondwana, Regional Geology Review*, Springer, Cham, 243-265.

Philipp, R.P., Pimentel, M.M., Basei, M.A.S., Salvi, M., De Lena, L.O.F., Vedana, L.A., Gubert, M.L., Lopes, C.G., Laux, J.H., Camozzato, E., 2021. U–Pb detrital zircon dating applied to metavolcano-sedimentary complexes of the São Gabriel Terrane: New constraints on the evolution of the Dom Feliciano Belt.

Philipp, R.P., Hartmann, L.A., Lusa, M., Basei, M.A.S., Santos, J.O.S., 2014. Oldest age of magmatism in the Passinho Arc in the southwestern portion of Gondwana, Rio Grande do sul, Brazil. In: *9 South*

Ruy Paulo Philipp, Miguel Angelo Stipp Basei. *O Magmatismo Toniano do Terreno São Gabriel e a evolução do Cinturão Dom Feliciano*. Instituto de Geociências, UFRGS, Instituto de Geociências, UNB, Instituto de Geociências, USP.

RIBEIRO, M. & FANTINEL, L.M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Iheringia*, Porto Alegre, 5:19-54.

Salmann, K., Hartmann, L. A., Remus, M.V.D., Koester, E., & Conceição, R. V. (2005). Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton. *Precambrian Research*, 136(2), 159-175, 2005a.

Saalmann, K., Remus, M.V.D., Hartmann, L.A., 2006a. Tectonic evolution of the Neoproterozoic juvenile São Gabriel Block, southern Brazil – constraints on Brasiliano orogenic evolution of the Rio de la Plata cratonic margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 21, 204-227.

Saalmann, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D., Läufer, A., 2011. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 355-378.

Sander,A.; Laux.,J. 2015. PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA PRELIMINAR DO COMPLEXO OFIOLÍTICO PASSO DO IVO, RS Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre (SUREG-PA).

Santos, E.L., Azevedo, G.C., Maciel, L.A., Mosmann, R. & Remus, M.V.D. 1990. Mapeamento geológico de sequências metavulcano-sedimentares do oeste do Escudo Sul-Riograndense, RS, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Anais... Natal. SGB, .6,p.2976-2990.

Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A. & Fletcher, I.R. 2005. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zirconbased U-Pb geochronologic subdivision of the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, 136: 203-240.

SOLIANI JUNIOR, E. 1986. Os dados Geocronológicos do Escudo Sul-Riograndense e suas Implicações de Ordem Geotectônica. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 425 p. Tese de Doutorado.

UFRGS.1996. Mapeamento Geológico 1:50.000 Projeto Lagoa da Meia Lua - Rufino Farias - Vila Nova: Geologia da Faixa X. Porto Alegre, 178p. Monografia de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UFRGS. 2018. Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Suspiro-Lagoa da Meia Lua. Relatório do Projeto, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 261 p.

UFRGS., 2019. Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Lagoa da Meia Lua. Relatório do Projeto, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 228 p.

UFRGS., 2023. Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Vila Nova do Sul. Relatório do Projeto, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Vedana, L.A., Philipp, R.P. 2016. Análise petrográfica e proveniência dos metassedimentos do Complexo Pontas do Salso, Terreno São Gabriel, Cinturão Dom Feliciano, RS programa Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pesquisas em Geociências, 43 (3): 229-248.

Vedana, L.A., Philipp, R.P. & Sommer, C.A. 2017. Post-collisional basalts of the Acampamento Velho Formation, Camaquã Basin, São Gabriel Terrane, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 47(3): 467-489.

ZUBERT, E.C.; KIRCHNER, C.A.; GRAZIA, C.A.; ANDRIOTTI, J.L.S.; SHINTATAKU, I. 1977. Projeto Cobre nos Corpos Básicos-Ultrabásicos e Efusivas do Rio Grande do Sul: relatório final da 2 fase. Porto Alegre DNPM/CPRM. 2 volume.