



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Geociências

LUCAS PRADO BERTINI OLIVEIRA

EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA DO EMBASAMENTO DO ORÓGENO
BRASÍLIA SUL, REGIÃO DE CAMPINAS-SP

TECTONO-METAMORPHIC EVOLUTION OF THE BASEMENT OF THE
SOUTHERN BRASÍLIA OROGEN, REGION OF CAMPINAS-SP

CAMPINAS

2024

LUCAS PRADO BERTINI OLIVEIRA

EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA DO EMBASAMENTO DO ORÓGENO
BRASÍLIA SUL, REGIÃO DE CAMPINAS-SP

TECTONO-METAMORPHIC EVOLUTION OF THE BASEMENT OF THE SOUTHERN
BRASÍLIA OROGEN, REGION OF CAMPINAS-SP

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM GEOCIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA
E RECURSOS NATURAIS.

ORIENTADOR: PROF. DR. WAGNER DA SILVA AMARAL

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO
ALUNO LUCAS PRADO BERTINI OLIVEIRA E
ORIENTADA PELO PROF. DR. WAGNER DA SILVA
AMARAL

CAMPINAS

2024

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Biblioteca do Instituto de Geociências
Marta dos Santos - CRB 8/5892

OL42e Oliveira, Lucas Prado Bertini, 1996-
Evolução tectono-metamórfica do embasamento do Orógeno Brasília Sul, região de Campinas, SP / Lucas Prado Bertini Oliveira. – Campinas, SP : [s.n.], 2024.

Orientador: Wagner da Silva Amaral.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.

1. Geoquímica. 2. Gondwana (Geologia). 3. Orogenia. I. Amaral, Wagner da Silva, 1979-. II. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Instituto de Geociências. III. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Tectono-metamorphic evolution of the basement of the Southern Brasília Orogen, region of Campinas, SP

Palavras-chave em inglês:

Geochemistry

Gondwana (Geology)

Orogeny

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais

Titulação: Mestre em Geociências

Banca examinadora:

Wagner da Silva Amaral

David Jozef Cornelius Debruyne

Brenda Chung da Rocha

Data de defesa: 13-06-2024

Programa de Pós-Graduação: Geociências

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-2486-8555>

- Currículo Lattes do autor: https://www.cnpq.br/cvlattesweb/PKG_MENU.men



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AUTOR: Lucas Prado Bertini Oliveira

**EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA DO EMBASAMENTO DO
ORÓGENO BRASÍLIA SUL, REGIÃO DE CAMPINAS-SP**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral

Aprovado em: 13 / 06 / 2024

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral - Presidente

Prof. Dr. David Jozef Cornelius Debruyne

Profa. Dra. Brenda Chung da Rocha

A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora consta no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 13 de junho de 2024.

SÚMULA CURRICULAR

Lucas Prado Bertini Oliveira possui graduação em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas (2021). Realizou pesquisa de iniciação científica durante a graduação pelo programa PIBIC com vigência 2019/2020 com o título de “Caracterização litoestrutural das rochas metamórficas do embasamento paleoproterozoico na região sul do município de Campinas-SP”. Deu início ao Mestrado em 2022 no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas na área de Geociências, com ênfase em Evolução Crustal e Metalogênese, com bolsa CAPES. Os projetos de pesquisa foram realizados sob a orientação do Prof. Dr. Wagner Amaral.

AGRADECIMENTOS

Sem dúvidas este é um trabalho escrito por muitas mãos. Mãos que me seguraram, que me abraçaram, que me levantaram ao longo desses muitos anos de Unicamp. Mãos que pertencem a pessoas nas quais deixei parte de mim e trouxe comigo parte delas. Mais uma vez este trabalho não é meu, este trabalho é nosso.

Agradeço muito a minha família. Mãe, obrigado por todo o amor, cuidado, carinho e incentivo ao longo de todos esses anos. Você foi (e sempre será) minha maior inspiração e exemplo de ser humano e de força. Pai, obrigado por todo o incentivo, apoio e dedicação, sem você não conseguiria estar aqui. Vitória, minha irmã, você é incrível! Obrigado por todo carinho e torcida ao longo dessa jornada. A minha vó, dona Irene (*In Memoriam*), que cuidou de mim, me viu crescer e é responsável por grande parte do que eu sou. Citando Gadú, “De todo amor que eu tenho, metade foi você quem deu”.

A família que eu conquistei ao longo dos anos todos nessa universidade. Meus queridos e amados 016: Yg, Júlia, Tiago, Leticia, Paulo, Matheus, Maria, Marcos, Kachan, Sten e Carol. Aos que se tornaram parte dessa família IG-Unicamp: Polliana, Nalaura, Victor, Vanessa, Helena, Mavi, Ju, Gaia e Gisele. Aos amigos da pós-graduação, Guto, Léo, Jow, Gabi, Filipe e Lari. Os “paleoamigos” que me aguentaram no LAII, Pábulo, Vinícius, Laura, Cris e não menos importante, ao Bruno que me ensina muito sobre geologia.

Ao professor Dr. Wagner Amaral. Lobo, sou muito grato por toda a ajuda e atenção, todas as conversas e conhecimento compartilhado, todos os campos e por toda a orientação e apoio desde 2019, quando realizei minha primeira iniciação científica.

Aos professores do Instituto de Geociência da Unicamp que contribuíram (aos que contribuíram) no aprendizado e conhecimento ao longo da minha formação.

A Unicamp e ao Instituto de Geociências por todo o suporte ao longo desses tantos anos que passei nesta casa.

Aos laboratórios de Geoquímica e Geologia Isotópica do IG-UNICAMP e toda sua equipe. Eufrásio, Margareth, Maria Aparecida e Érica, sem vocês este trabalho não teria sido realizado.

Aos funcionários do Instituto de Geociências/Unicamp, em especial a Dona Raimunda, Joselita, Rosana, Matheus e Ryan.

A banca avaliadora deste trabalho, Profa. Dra. Brenda Chung e o Prof. Dr. David Debruyne, por suas excelentes contribuições e preciosos comentários feitos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!

“Um círculo não tem início nem fim; mas isso apenas depois de que ele está formado. Para que um círculo seja formado, porém, primeiro não há nada e, então, seja o que for que vá dar forma a ele, corre por um trajeto que só fará sentido quando completar toda a volta e se encontrar com o ponto inicial. É então que se compreende o motivo do trajeto. E tanto o início quando o fim daquela forma não apenas se tornam impossíveis de serem identificados, como também isso deixa de importar.

...

Todo ciclo um dia irá terminar, é verdade. Mas o que sobrar dentro de você, e o que sobrar de você nesse ciclo, jamais irá se perder.

Ou se romper

Ou se apagar.

...

Simplesmente percorra o círculo.”
(Raphael Dracon – Círculos de Chuva)

RESUMO

O Orógeno Brasília Sul representa parte do processo de amalgamação do supercontinente Gondwana, que ocorreu no final do Neoproterozoico, e seu estudo é parte crucial para a compreensão dos eventos geológicos que ocorreram durante a colisão. O embasamento da porção sul do Orógeno é constituído por ortognaisses migmatíticos de idade arqueana e paleoproterozoica, que afloram através de uma janela estrutural estabelecida entre os dois lobos da *Nappe* Socorro-Guaxupé. O município de Campinas, localizado no extremo sul do orógeno, é uma região que apesar de sua grande urbanização, preserva uma interessante diversidade lito-estrutural que compreende rochas sedimentares, vulcânicas, plutônicas e metamórficas de médio e alto grau. No contexto geotectônico regional, afloram rochas da Bacia do Paraná à oeste do município, rochas do embasamento do Orógeno Brasília Sul na porção central e suítes plutônicas correspondentes a *nappe* Socorro na parte mais ocidental de Campinas. O presente trabalho busca compreender a origem e evolução das rochas pertencentes a este embasamento paleoproterozoico que ocorre no município de Campinas. São descritos biotita/hornblenda gnaisses e granulitos máficos e félsicos que apresentam assinatura geoquímica de arcos magmáticos continentais. Idades U-Pb em zircão indicam que a cristalização do protólito ocorreu em 2081 ± 17 Ma ao passo que o metamorfismo nestas rochas é registrado em 610 ± 13 Ma. Os gnaisses, ora com granada, são hospedeiros de corpos lenticulares de clinopiroxênio-granada anfibolitos, que apresentam assinatura de basaltos tipo EMORB e NMORB, onde o metamorfismo de mais alto grau foi datado em 626 ± 3 Ma a 629 ± 3 Ma (U-Pb em rutilo). Estes anfibolitos apresentam texturas de desequilíbrio, como coronas de plagioclásio ao redor de granada e simplectitos de Cpx+Pl+Ilm, sugerindo que possam representar rochas que atingiram condições metamórficas mais severas, como granulitos de alta pressão ou ainda fácies eclogito. A partir da integração dos dados geoquímicos, geocronológicos, petrográficos e isotópicos levantados é possível correlacionar as rochas pertencentes ao embasamento de Campinas com as rochas descritas na literatura como Complexo Pouso Alegre, que é entendido como produto do metamorfismo sobre uma série de arcos acrescidos à margem sul do Cráton São Francisco, durante o Paleoproterozoico. Esses resultados fomentam a ideia de que os corpos máficos hospedados em gnaisses de composição granodiorítica seriam partes de crosta oceânica preservada nas sequências de arcos que colidiram na margem sul do Cráton São Francisco.

Palavras-chave: Gondwana; Orogenia; Retro eclogitos; Metamorfismo

ABSTRACT

The Southern Brasília Orogen represents part of the process of amalgamation of the supercontinent Gondwana, which occurred at the end of the Neoproterozoic, and its study is crucial for understanding the geological events that occurred during the collision. The basement of the southern portion of the Orogen is composed of migmatitic orthogneisses of Archaean and Paleoproterozoic age, which outcrop through a structural window established between the two lobes of the Socorro-Guaxupé Nappe. The city of Campinas, located in the extreme south of the orogen, is a region which, despite its great urbanization, preserves an interesting lithostructural diversity comprising medium and high-grade sedimentary, volcanic, plutonic and metamorphic rocks. In the regional geotectonic context, there are rocks from the Paraná Basin to the west of the city, rocks from the Southern Brasília Orogen in the central part and plutonic suites corresponding to the Socorro nappe in the westernmost part of Campinas. This paper seeks to understand the origin and evolution of the rocks belonging to this Paleoproterozoic basement that occurs in the municipality of Campinas. The rocks described are biotite/hornblende gneisses and mafic and felsic granulites with the geochemical signature of continental magmatic arcs. U-Pb ages in zircon indicate that crystallization of the protolith occurred at 2081 ± 17 Ma, while metamorphism in these rocks is recorded at 610 ± 13 Ma. The gneisses, sometimes with garnet, are host to lenticular bodies of clinopyroxene garnet amphibolites, which show the signature of EMORB to NMORB-type basalts, where the highest-grade metamorphism was dated at 626 ± 3 Ma to 629 ± 3 Ma (U-Pb in rutile). These amphibolites show disequilibrium textures, such as plagioclase rims around garnet and Cpx+Pl+Ilm simplectites, suggesting that they may represent rocks that have reached more severe metamorphic conditions, such as high-pressure granulites or even eclogite facies. Based on the integration of the geochemical, geochronological, petrographic, and isotopic data collected, it is possible to correlate the rocks belonging to the Campinas basement with the rocks described in the literature as the Pouso Alegre Complex, which is understood as the product of metamorphism over a series of arcs accreted to the southern margin of the São Francisco Craton during the Paleoproterozoic. These results support the idea that the mafic bodies hosted in gneisses of granodioritic composition are parts of the oceanic crust preserved in the arc sequences that collided on the southern margin of the São Francisco Craton.

Keywords: Gondwana; Orogen; Retroeclogites; Metamorphism

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	11
1.1 Introdução	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Localização da área e vias de acesso	12
1.4 Objetivos.....	13
1.5 Estrutura do trabalho	13
1.6 Materiais e Métodos	14
1.7 Referências	17
2. CAPÍTULO 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO.....	18
2.1 Orógeno Brasília Sul	18
2.2 Embasamento do Orógeno Brasília Sul.....	20
2.3 Ocorrências de retroeclogitos no Orógeno Brasília Sul	21
2.4 Referências	23
3. CAPÍTULO 3 - PROPOSTA DE ARTIGO	26
4. CAPÍTULO 4 - SÍNTESE DOS RESULTADOS	61
ANEXO I: RESULTADOS ANALÍTICOS DE LITOGEOQUÍMICA	68
ANEXO II: ANÁLISES DE U-PB EM ZIRCÃO OBTIDOS POR LA-SF-ICP-MS.....	70
ANEXO III: ANÁLISES DE U-PB EM RUTILO OBTIDOS POR LA-SF-ICP-MS	72
ANEXO IV: TESTE DE MOBILIDADE GEOQUÍMICA	74

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

1.1 Introdução

A presente dissertação é apresentada como parte dos requisitos solicitados para obtenção do título de Mestre em Geociências vinculado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-UNICAMP), sendo iniciado em março de 2022.

A área de estudo corresponde a faixa central do município de Campinas-SP (Fig. 1.1), onde afloram ortognaisses hospedeiros de lentes de granulitos e anfibolitos que constituem parte do embasamento do Orógeno Brasília Sul. Foram realizados trabalhos de campo na região ao longo do mês de julho de 2022 onde foram coletadas amostras de gnaisses, granulitos e anfibolitos. O documento apresenta os aspectos introdutórios do projeto, os resultados dos estudos petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e isotópicos, bem como as discussões, em formato de artigo e, por fim, as conclusões gerais do trabalho. O desenvolvimento do trabalho foi subsidiado por meio de bolsa de estudos fornecida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

1.2 Justificativa

Durante trabalhos de mapeamento na região central do município de Campinas, em 2021, foram descobertos biotita gnaisses, muitas vezes migmatizados, que hospedam corpos lenticulares de granada anfibolitos e granulitos máficos (Oliveira, 2021). Os granada anfibolitos exibem texturas coroníticas de plagioclásio ao redor da granada e simplectitos de clinopiroxênio, plagioclásio e ilmenita, sugerindo um alto grau metamórfico, como granulitos de alta pressão ou mesmo retroeclogitos. Essas descobertas geológicas oferecem informações sobre a complexa história tectônica e metamórfica da região, e sua relação com o contexto mais amplo do Orógeno Brasília Sul, apresentando importante significado tectônico, sendo associadas a ambientes colisionais e zonas de sutura (Campos Neto e Caby, 1999, Campos Neto 2000, Trouw et al. 2000).

Desta forma, a presente dissertação teve como objetivos o estudo geoquímico, geocronológico e isotópico das rochas metamáficas e metaplutônicas, a fim de caracterizar sua natureza e evolução, fornecendo informações que auxiliem no entendimento da evolução

tectono-metamórfica da região, dentro do contexto da orogenia neoproterozoica responsável pela amalgamação do Supercontinente Gondwana.

1.3 Localização da área e vias de acesso

Os afloramentos visitados se encontram dentro do município de Campinas, em sua maioria dentro do Parque Ecológico Monsenhor José Salim e Instituto Geológico, localizados na porção centro-sul da cidade

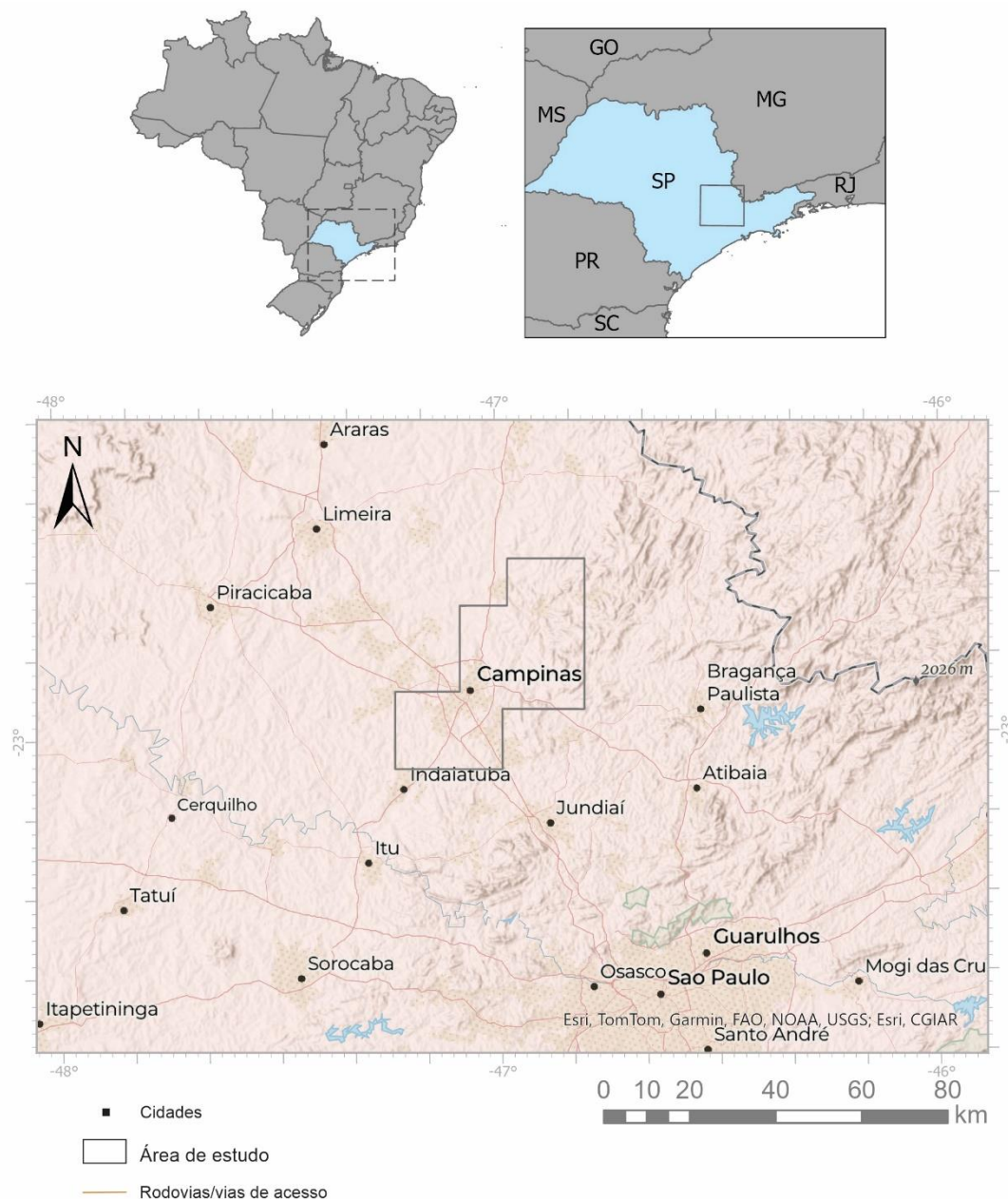


Fig. 1.1: Mapa de localização da área de estudo no contexto do Brasil (a), do estado de São Paulo (b) e das cidades vizinhas de Campinas-SP (c).

1.4 Objetivos

O objetivo central deste trabalho é obter dados de campo e analíticos a fim de caracterizar os litotipos presentes no embasamento paleoproterozoico do município de Campinas, em especial os clinopiroxênio-granada anfibolitos e granulitos que ocorrem como lentes decamétricas hospedadas por hornblenda-biotita gnaisses por vezes migmatíticos. Para tanto foram realizados estudos petrográficos e geocronológicos, bem como geoquímica de rocha total e análise de isótopos de Nd, buscando compreender a evolução tectono-metamórfica das rochas no Orógeno Brasília Sul, em especial a porção contida no município de Campinas.

Os objetivos específicos incluem:

- Reconhecer as rochas de médio-alto grau metamórfico presentes na área de estudo a partir da coleta de dados de campo e descrições de laboratório;
- Definir as assinaturas geoquímicas das rochas metamórficas e inferir sobre seu ambiente geológico de formação;
- Determinar as idades de cristalização ígnea e metamorfismo a partir da datação absoluta de zircão e rutilo;
- Trazer novos elementos geológicos que contribuam para elucidar a evolução tectono-metamórfica do embasamento do Orógeno Brasília Sul na região de Campinas.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho será apresentado em quatro capítulos, ordenados em Introdução, Contexto Geológico, uma proposta de artigo e um capítulo contendo as conclusões gerais do estudo. Os capítulos introdutórios se referem a apresentação do trabalho, suas justificativas e objetivos, localização da área de estudo e materiais e métodos aplicados (Capítulo 1), além do contexto geológico regional (Capítulo 2). O terceiro capítulo apresenta os principais resultados obtidos e suas discussões em formato de artigo. O último capítulo (Capítulo 4) sintetiza as principais conclusões obtidas com o trabalho.

1.6 Materiais e Métodos

1.5.1 Levantamento bibliográfico

Realização de levantamento bibliográfico com consulta de artigos científicos, dissertações, livros e mapas referentes ao contexto geológico na qual está inserida a área de estudo, bem como associados às técnicas empregadas na construção deste trabalho.

1.5.2 Trabalhos de campo

Foram realizadas etapas de campo que se concentraram em meados de 2022 para descrição de afloramentos e coleta de amostras para análises petrográficas, geoquímicas, isotópicas e geocronológicas. Buscou-se reconhecer as relações de campo (mineralogia, texturas e estruturas), em especial àquelas estabelecidas entre os clinopiroxênio-granada anfíbolitos e os biotita gnaisses que atuam como hospedeiras das rochas máficas. As descrições de campo, bem como os resultados obtidos com as análises laboratoriais, foram inseridas em sistema de informações geográficas (SIG) a fim de construir uma base de dados com as informações acerca da área de estudo.

1.5.3 Estudos petrográficos

Em campo foram coletadas amostras orientadas e representativas dos distintos litotipos encontrados, para confecção de 18 seções delgadas, somadas à 7 lâminas já existentes (Amaral et al. 2019), para descrição microscópica, realizada no Laboratório de Microscopia do IG/UNICAMP utilizando microscópio Leica DM 750P com luz transmitida, onde buscou-se reconhecer associações minerais e paragêneses a fim de identificar as condições metamórficas de formação das rochas analisadas. As abreviações minerais empregadas neste trabalho seguem as recomendações de Whitney e Evans (2010).

1.5.4 Litogeoquímica

Foram realizadas análises químicas para determinação de elementos maiores, menores e traço de 16 amostras (13 amostras coletadas em campo + 3 amostras de trabalhos anteriores do professor orientador deste trabalho: Amaral et al. 2019) correspondentes a granada anfíbolitos, granulitos e biotita gnaisses. A preparação das amostras foi realizada junto ao

Laboratório de Geoquímica (LAGEOQ) do Instituto de Geociências da Unicamp (IG-Unicamp). As amostras, coletadas em campo foram inseridas em um britador de mandíbulas até atingirem frações decimétricas, e em seguida foram pulverizadas. O material resultante foi utilizado para confecção de pastilhas vítreas empregadas nas análises de elementos maiores, menores e traço, além de análises isotópicas de Nd de 6 amostras que foram realizadas no CPGeo-USP.

Foram determinados elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) por meio de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), executado pelo LAGEOQ empregando um equipamento Philips – modelo PW2404, seguindo os procedimentos descritos por Vendemiato e Enzweiler (2001). Foram separadas alíquotas de 1,0g de material a serem acrescidas de 6,0 g de tetraborato e metaborato de lítio (fundente) + 6 gotas de iodeto de lítio (desgrudante) para confecção dos discos de vidro que viriam a ser analisados em etapa seguinte.

Os elementos menores e traço (Ba, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Li, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, Y, Yb, Zn) foram determinados através de espectrometria de massa de setor com plasma indutivamente acoplado (ICP-SFMS) realizado no Laboratório de Geologia Isotópica (LAGIS) do Instituto de Geociências da Unicamp (IG-Unicamp), através de equipamento Thermo – modelo X-Series 2, seguindo os procedimentos descritos por Cotta e Enzweiler (2012) e Magaldi et al (2018). O erro analítico associado às análises de elementos menores e traço é de 5%.

1.5.5 Geocronologia U-Pb

Os estudos geocronológicos empregados neste trabalho buscavam determinar a idade de cristalização dos protólitos (Paleoproterozoico) e do retrabalhamento durante o evento metamórfico Neoproterozoico. Foram datadas duas amostras (LW-05 granulito e LW-45 clinopiroxênio-granada anfibolito) coletadas em trabalhos anteriores no sistema U-Pb em zircão (LW-05) e rutilo (LW-45).

As análises foram obtidas por *Laser Ablation Sector Field Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (LA-SF-ICP-MS), realizado no Laboratório de Geologia Isotópica (LAGIS) do IG-Unicamp. O procedimento analítico segue o que é descrito por Navarro et al.

(2015) e o controle de qualidade das medições é estabelecido através do padrão Peixe (idade U-Pb 571 ± 10 Ma, Navarro et al. 2017). Os resultados das análises isotópicas foram reduzidos por meio do *software* Iolite 2.5, Visual Age em sua versão 2014.10 (Paton et al 2010).

1.5.6 Geoquímica isotópica Sm-Nd

Foram selecionadas seis amostras (LM 02, LM 03B, LM 04C, LM 06, PJ 10 e LM 09) para determinação das razões isotópicas de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ a serem realizadas no Laboratório de Química Isotópica do Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo (CPGeo – LQI – USP). Foram enviadas para análise alíquotas de 8,0 g de material que havia sido previamente pulverizado para as medições de elementos maiores, menores e traço.

A separação dos ETR é realizada utilizando a resina RE-Spec (EiChroM Industries Inc.) onde as amostras permanecem em um tempo médio de 2 horas. Em seguida, é feita a separação do Nd empregando-se a resina Ln-Spec (EiChroM Industries Inc.), onde o Nd é eluído com HCl 0,26M. O tempo médio de extração e recuperação da resina é de cerca de 8 horas. A alíquota de Nd é então depositada em filamento duplo de Re com adição de água MilliQ. As medições são realizadas através de Espectrômetro de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado, multicoletor (MC-ICPMS).

1.7 Referências

- Campos Neto, M.C., Caby, R. 1999. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraints from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research* 97, p.3-26.
- Campos Neto, M.C. 2000. Orogenic System from southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A., (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil, p. 335-365.
- Campos Neto, M.C., Caby, R., 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics* 19, p. 669-687.
- Cotta, A.J.B., Enzweiler, J. 2012. Classical and New Procedures of Whole Rock Dissolution for the Trace Element Determination by ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research*, v. 36, p. 27-50.
- Magaldi, T. T., Navarro, M. S., Enzweiler, J. 2018. Assessment of dissolution of silicate rock reference materials with ammonium bifluoride and nitric acid in a microwave oven. *Geostandards and geoanalytical research*, v. 43, n. 1, p. 189-208.
- Navarro, M.S., Toneto, E.M., Oliveira, E. P. 2015. LA-SF-ICP-MS U-Pb zircon dating at University of Campinas, Brazil. In: *Geoanalysis, Leoben*.
- Navarro, M. S., Toneto, E. M., Oliveira, E. P. 2017. Peixe zircon: new Brazilian reference material for U-Pb geochronology by LA-SF-ICP-MS. *Goldschmidt Abstract*.
- Oliveira, L.P.B. 2021. Mapeamento geológico e caracterização petro-estrutural da porção central do embasamento Pré-Cambriano do município de Campinas-SP. TCC. Universidade Estadual de Campinas, 56p.
- Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A., Maas, R., 2010. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (G3), 11.
- Vendemiatto, M. A., Enzweiler J. 2001. Routine control of accuracy in silicate rock analysis by X-ray fluorescence spectrometry. *Geostandards Newsletter*, v. 25, n.2, pp. 283-291.
- Whitney, D. L., Evans, B. W. 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, volume 95, p.185-187.

2. CAPÍTULO 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Orógeno Brasília Sul

O Orógeno Brasília Sul (ou Orógeno Brasília Meriodional) constitui a porção sul da Província Tocantins (Almeida et al. 1977) e resguarda o produto do evento colisional entre a margem ativa do bloco Paranapanema e a margem passiva do paleocontinente São Francisco, que ocorreu durante o Neoproterozoico, durante a Orogênese Brasileira (Campos Neto et al. 2000, Trouw et al. 2000). A Orogenia Ediacarana é responsável por gerar cavalgamentos de baixo ângulo, com vergência para leste/nordeste ordenados em um empilhamento alóctone que migra diacronicamente em direção ao Cráton e caracteriza os sistemas de *nappes* descritos na região (Campos Neto et al. 2004).

O empilhamento do sistema de *nappes* registra três distintos domínios tectônicos (Fig. 2.1). Um domínio associado ao arco magmático estabelecido na margem ativa da paleoplaca Paranapanema (*Nappe* Socorro-Guaxupé); um domínio associado ao prisma acrescionário e bacias de *back arc* (Sistema de *nappes* Andrelândia); e um terceiro domínio relacionado às bacias de margem passiva do paleocontinente São Francisco (Sistema de *nappes* Carrancas e Lima Duarte) (Campos Neto e Caby 2000, Trouw et al. 2000).

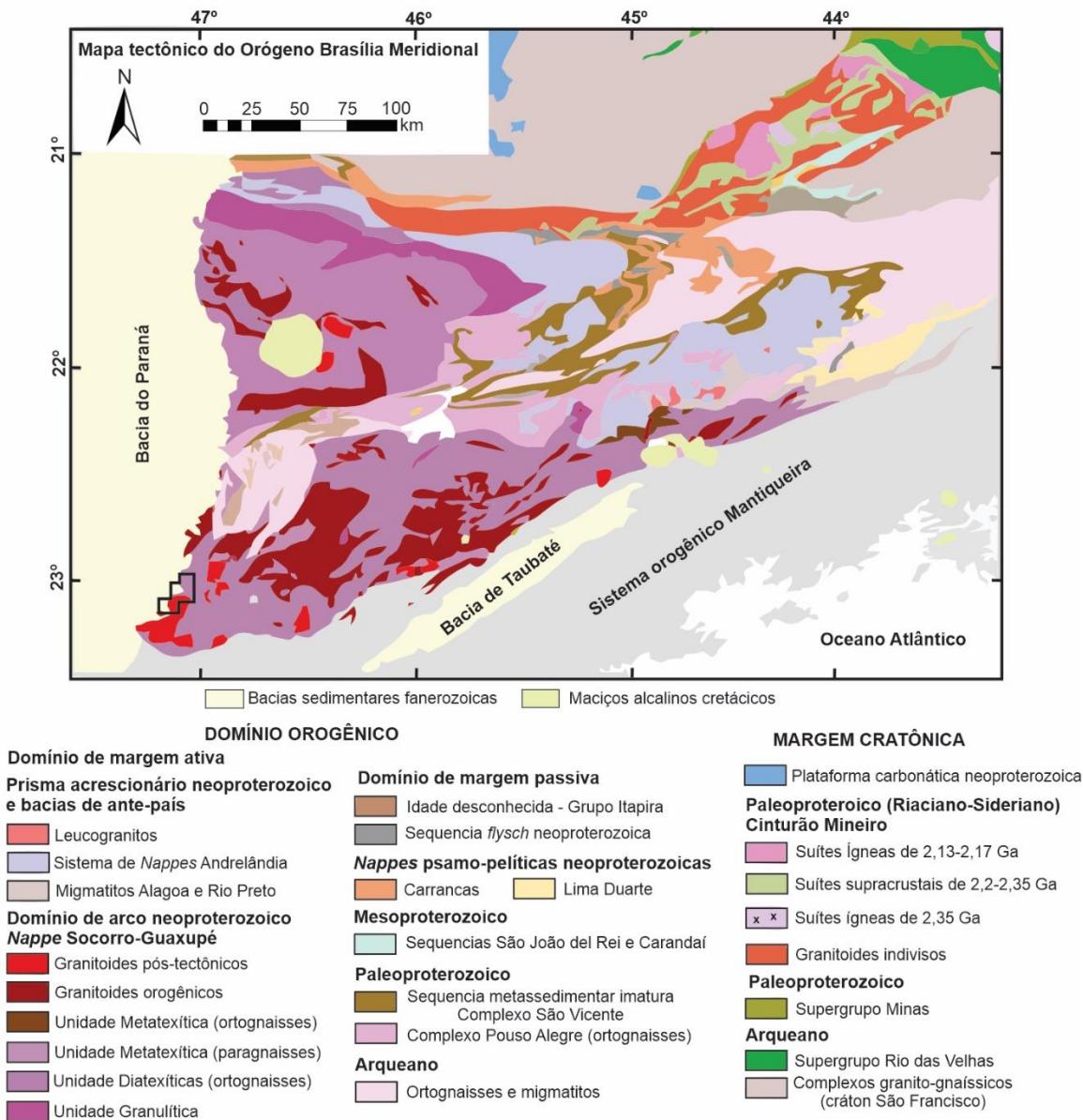


Fig. 2.1: Mapa tectônico do Orógeno Brasília Meridional (Cioffi et al., 2016), com a localização da área de estudo (Fig. 1C)

A *Nappe* Socorro-Guaxupé (NSG) é composta por dois segmentos, a porção norte, conhecida como *Nappe* Guaxupé, e a porção sul, conhecida como *Nappe* Socorro. Os dois lobos são separados por uma janela tectônica de alto ângulo com direção NE-SW e aproximadamente 350km de extensão, na qual afloram ortognaisses migmatíticos arqueanos e paleoproterozoicos, pertencentes ao embasamento do Orógeno Brasília (Cioffi, 2016, Amaral et al, 2019). As rochas pertencentes a NSG são ordenadas em uma pilha alóctone de aproximadamente 15km de espessura, compreendendo três unidades distintas (Campos Neto & Caby, 2000).

A unidade Granulítica basal é representada essencialmente por granulito-gnaisses bandados, intercalados pontualmente com metamáficas intrusivas sin-metamórficas (Campos Neto e Caby, 2000). Estudos petrogenéticos (Rocha et al. 2018) reconheceram condições metamórficas de ultra-alta temperatura (*Ultra-High Temperature* - UHT) para o metamorfismo em fácies granulito responsável por gerar as rochas deste domínio. Rocha et al. (2017) ao realizarem estudos petrocronológicos em cristais de monazita inclusos em granada datam o magmatismo entre 720-640 Ma, durante a fase pré-colisional, ao passo que o metamorfismo UHT registrado teria ocorrido durante a fase sin-colisional, entre 630-625 Ma.

A Unidade Diatexítica intermediária também é interpretada como resultado do metamorfismo sobre rochas formadas durante o magmatismo pré-colisional. É representada por corpos migmatíticos estromáticos, além de granitoides que apresentam textura porfirítica, onde os aspectos petrográficos sugerem uma composição metaluminosa a peraluminosa do protólito (Campos Neto e Caby, 2000).

A Unidade Metatexítica superior é representada por paragnaisses migmatíticos e leucossoma com biotita e granada, que transicionam para mica xistos peraluminosos em direção ao topo estrutural da *nappe*, evidenciando uma redução no grau de anatexia das rochas da unidade (Campos Neto e Caby, 2000). Rocha et al. (2017) estabelecem condições metamórficas de UHT ($1030 \pm 110^\circ\text{C}$ e $11,7 \pm 1,4$ kbar) para os migmatitos descritos nesta unidade. A partir de estudos sobre núcleos de monazita os autores determinam uma idade limite de 631 ± 4 Ma para o início do processo metamórfico que ocorre em fácies granulito.

2.2 Embasamento do Orógeno Brasília Sul

Entre os dois lobos da *Nappe* Socorro-Guaxupé afloram, a partir de uma janela estrutural, ortognaisses migmatíticos de idade arqueana e paleoproterozoica que representam o embasamento da porção sul do Orógeno Brasília. As rochas descritas neste domínio caracterizam a antiga Faixa Alto Rio Grande (Hasui e Oliveira 1984, Campos Neto 1991), que atuam como embasamento para o sistema de *nappes* desenvolvidos durante a Orogênese Ediacarana, podendo ser consideradas parte do paleocontinente São Franciscano retrabalhado durante este evento (Cioffi 2016).

A porção oeste da janela tectônica é composta de migmatitos e ortognaisses de idade arqueana e paleoproterozoica, que caracterizam os complexos Amparo e Serra Negra (Ebert 1968, Basei et al. 1986, Cioffi et al. 2016b, Oliveira et al. 2019). Os migmatitos pertencentes ao Complexo Amparo apresentam idades de ca. 2,8 a 3,0 Ga para a cristalização dos protólitos ígneos (U-Pb - Tassinari e Nutman 2001), além de registros em 2000 e 600 Ma sugerindo a

ocorrência de eventos tectono-termais e consequentes processos de retrabalhamento crustal. Datações U-Pb em zircão determinam idades de ca. 2956 Ma (Oliveira et al. 2019) para os gnaisses pertencentes ao Complexo Serra Negra, que apresentam composição de suítes TTG e são encontrados em associação a rochas de composição máfica e ultramáfica. Ocorrem associados aos migmatitos e ortognaisses do Complexo Serra Negra granitos porfiríticos de idade neoarqueana (Oliveira et al. 2019).

Na parte central e leste da janela estrutural ocorrem ortognaisses migmatíticos de composição tonalítica a granodiorítica e idade paleoproterozoica, intercalados com rochas pertencentes as *nappes* Andrelândia e Carrancas e ao Complexo São Vicente, caracterizados como Complexo Pouso Alegre (Cioffi, 2016, Amaral et al. 2019). Cioffi et al. (2016a) determinam idades U-Pb de 2,15 e 2,08 Ga (LA-ICP-MS) para os protólitos ígneos das rochas deste complexo, que apresentam assinatura isotópica juvenil.

Amaral et al. (2019) realizaram estudos geocronológicos em granulitos máficos e hornblenda-biotita gnaisses descritos na parte sul do município de Campinas determinando idades U-Pb em zircão de 2156 ± 6 Ma para os granulitos e 2134 ± 6 Ma para os gnaisses, entendidas como sendo o tempo de cristalização ígnea dos protólitos. Dadas as similaridades geocronológicas, petrográficas e isotópicas, os autores entendem que estas rochas, anteriormente descritas como Complexo Itapira (e.g. Fernandes et al. 1993), façam parte da mesma porção do embasamento, resultante do retrabalhamento da margem sul da paleoplaca São Franciscana, durante o evento orogênico neoproterozoico registrado no sudeste do Brasil, e descritas como Complexo Pouso Alegre (Cioffi et al. 2016a, 2019). Estudos petrocronológicos em titanita dos ortognaisses do Complexo Pouso Alegre determinam a idade mínima para o retrabalhamento do paleocontinente São Francisco durante o evento ediacarano em ca. 630-620 Ma (Cioffi et al. 2019)

2.3 Ocorrências de retroeclogitos no Orógeno Brasília Sul

O Orógeno Brasília Sul, historicamente, hospeda importantes ocorrências de retroeclogitos, posicionados majoritariamente nas sequências supracrustais dos empilhamentos de *nappes* que ocorrem na região. Os registros são descritos nas seguintes unidades: *Nappe* Liberdade Carvalhos (Campos Neto et al. 2011), *Nappe* Liberdade Cruzilha (Trouw 2008, Reno et al. 2009, Coelho et al. 2017), *Nappe* Carmo da Cachoeira (Garcia & Campos Neto 2003), *Nappe* Varginha Unidade Arantina (Trouw 2008), Complexo Pouso Alegre (Choudhuri et al. 1978, Coelho et al. 2017, Tedeschi et al. 2017), São Sebastião do Paraíso (Hope et al. 1985, Luvizotto 2003) e Grupo Araxá (Leme et al. 2019).

A *Nappe* Liberdade registra a ocorrência de retroeclogitos com onfacita hospedados em biotita gnaisses, muscovita xistos e quartzitos. As rochas foram metamorfizadas em condições de alta pressão (660°C e 17,5 kbar) (Campos Neto & Caby, 1999) e idades de 669 ± 25 Ma (Campos Neto et al, 2011); 678 ± 29 Ma (Reno et al, 2009); 600-630 Ma (Coelho et al, 2017) sobre rochas de crosta oceânica, com assinaturas de N-MORB (Campos Neto et al, 2011).

As rochas descritas como retroeclogitos pertencentes a *Nappe* Varginha se referem a metamáficas com granada e clinopiroxênio, que apresentam texturas coroníticas de plagioclásio ao redor de granada, hospedadas por paragnaisses. As condições de fácies eclogito registradas devem ter sido geradas pelo evento metamórfico que ocorreu entre 650-620 Ma, durante a colisão ediacarana que resultou na formação do Gondwana (Trouw, 2008).

Os registros de retroeclogitos descritos no Complexo Pouso Alegre são referentes a corpos ígneos intrusivos às rochas paleoproterozoicas gnáissicas intermediárias a félsicas que compõem o embasamento, metamorfizados em condições de $720\pm 30^\circ\text{C}$ e 14 ± 2 kbar (Tedeschi et al, 2017); $692\pm 60^\circ\text{C}$ e $12,7\pm 2,7$ kbar (Coelho et al, 2017), onde o evento metamórfico teria ocorrido de modo aproximadamente síncrono ao evento brasileiro entre 600-630 Ma (Tedeschi et al, 2017). Os protólitos dos retroeclogitos são entendidos como corpos máficos intrusivos, que apresentam assinatura de N-MORB a T-MORB com idades de 1520 Ma (Tedeschi et al, 2017).

O Grupo Araxá, pertencente a *Nappe* de Passos, e o município de São Sebastião do Paraíso, sobre rochas da mesma unidade alóctone, registram a presença de retroeclogitos, hospedados por rochas paraderivadas, que possivelmente registram as mais altas condições de pressão da *Nappe* de Passos. As rochas descritas na região de São Sebastião do Paraíso apresentam associação de hornblenda + plagioclásio + quartzo + rutilo/ilmenita, além de granada e clinopiroxênio, sendo interpretadas como retroeclogitos (Luvizotto 2003). As condições termobarométricas do pico metamórfico são calculadas em $711\text{-}799^\circ\text{C}$ e 12,5-13,5 kbar para as rochas descritas na região de São Sebastião do Paraíso (Luvizotto 2003) e $650\text{-}700^\circ\text{C}$ e 12-14 kbar para as rochas do Grupo Araxá (Hoppe et al. 1989).

2.4 Referências

- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. In: SGB Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande. Atas. P. 363-391.
- Amaral, W.S., Santos, F. H., Bravo, J.C.S., Fedel, H.S., Luvizotto, G. L., Godoy, D.F. 2019. U Pb zircon ages and metamorphic conditions of mafic granulites from the basement of the southern Brasília Orogen, Campinas-SP region. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 92, p.184-196.
- Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Bergmann, M. Figueiredo, M.C.H. 1986. Geologia da Folha Amparo (SP), 1:50.000. Relatório Final, Convenio IG-USP/PRÓ-MINÉRIO, v.1, 109p.
- Campos Neto, M.C. 1991. A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande – Ensaio de Evolução Tectônica. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 210p.
- Campos Neto, M.C. 2000. Orogenic System from southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A., (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil, p. 335-365.
- Campos Neto, M.C., Caby, R., 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics* 19, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C. Basei, M.A., Vlach, S.R.F., Caby, R., Szabó, A.J., Vasconcelos, P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Cráton São Francisco, SE-Brasil. *Geologia USP, Série Científica* 4 (1), p. 13-40.
- Campos Neto, M.C., Caby, R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: Petrological and structural constraints. *Tectonics* 14, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Janasi, V.A., Moraes, R. 2011. Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe System: An Ediacaran western Gondwana collage, south São Francisco craton. *Journal of South America Earth Sciences* 32, p. 393-406.
- Cioffi, C.R., 2016. Processos de acreção e retrabalhamento continental no embasamento do Orógeno Brasília meridional. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 198p.
- Cioffi, C.R., Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016a. Paleoproterozoic continental crust generation events at 2.15 and 2.08 Ga in the basement of the southern Brasília Orogen, SE Brazil. *Precambrian Research*. 275, p. 176–196.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016b. Tectonic significance of the meso-to neoarchean complexes in the basement of the southern Brasília orogen. *Precambrian Res.* 287, 91–107.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2019. Titanite petrochronology of the southern Brasília Orogen basement: Effects of retrograde net-transfer reactions on titanite trace elements composition. *Lithos*, 344-345, 393-408.
- Choudhuri, A., Fiori, A.P., Winters, A.A.M., Bettencourt, J.S., Rodrigues, J.E., 1978. A note on small bodies of eclogite as inclusions in high grade gneisses north of Pouso Alegre, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências* 8, p.63–68.

- Coelho, M.B., Trouw, R.A.J., Ganade, C.E., Vinagre, R., Mendes, J.C., Sato, K., 2017. Constraining timing and P-T conditions of continental collision and late overprinting in the southern Brasília Orogen (SE-Brazil): U-Pb zircon ages and geothermobarometry of the Andrelândia Nappe system. *Precambrian Research* 292, p.194–215.
- Ebert, H. 1968. Ocorrências da fácies granulíticas no sul do estado de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 40, p. 215-229.
- Garcia, M.G.M., Campos Neto, M.C., 2003. Contrasting metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related Nappes south of Sao Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 15 (8), p.853–870.
- Hasui, Y., Oliveira, M.A.F. 1984. Provincia Mantiqueira setor central. In: Almeida & Hasui (Coords.) *O Pré Cambriano do Brasil*, Edgar Blucher, p. 308-344.
- Hoppe, A., Choudhuri, A., Klein, H., Schmidt, W., 1989. Precambrian eclogites from Minas Gerais, Brazil. *International Geological Congress*, Washington, p. 68–69.
- Hoppe, A., Klein, H., Choudhuri, A., Schmidt, W., 1985. Eclogitos pré-cambrianos no sudoeste de Minas Gerais. *Simpósio de Geologia de Minas Gerais. SBG/Núcleo Minas Gerais*, Belo Horizonte, p. 180–192.
- Leme, T.G., Navarro, G.R.B., Zanardo, A., Montibeller., 2019. Petrografia, Química Mineral e Geotermobarometria de Retroeclogitos no Grupo Araxá na Região da Zona de Cisalhamento Varginha, Sudoeste de Minas Gerais. *Revista Geociências Unesp*, São Paulo, v.38, n.2, p.297-313.
- Luvizotto, G. L., 2003. Caracterização Metamórfica das rochas do grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais. *Dissertação (Mestrado)*, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 185p.
- Oliveira, M.A.F., Negri, F.A., Zanardo, A., Morales, N. 2019. Archean and paleoproterozoic crust generation events, Amparo complex and Serra Negra orthogneiss in southern Brasília Orogen, SE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 90, p.137–154.
- Reno, B.L., Brown, M., Kobayashi, K., Nakamura, E., Piccoli, P.M., Trouw, R.A.J., 2009. Eclogite-high-pressure granulite metamorphism records early collision in west Gondwana: new data from the southern Brasília Belt, Brazil. *Journal of the Geological Society* 166, p. 1013–1032.
- Rocha, B.C., 2016. Idade, duração e condições P-T do metamorfismo de temperatura ultra-alta, anatexia e cristalização de fundido na nappe Socorro-Guaxupé. *Tese (Doutorado)*. Universidade de São Paulo, 229p.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R., Jercinovic, M.J. 2017. Timing of anatexis and melt crystallization in the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil: insights from trace element composition of zircon, monazite and garnet coupled to U-Pb geochronology. *Lithos* 277, p. 337–355.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R. 2018. Magmatic inheritance vs. UHT metamorphism: Zircon petrochronology of granulites and petrogenesis of charnockitic leucosomes of the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil. *Lithos* 314-315, p. 16–39.
- Santos, C.A., Luvizotto, G.L., Moraes, R., Fumes, R.A., Zack, T. 2021. Metamorphism of retroeclogites from the Passos Nappe, Southern Brasília Orogen. *J. South Am. Earth Sci.* 112.

- Tassinari, C.C.G., Campos Neto, M.C. 1988. Precambrian continental crust evolution of southeastern São Paulo State – Brazil: Based on isotopic evidences. *Geochemica Brasiliensis*. 2 (2), p. 175-183.
- Tassinari, C.C.G., Nutman, A.P. 2001. Archean and Proterozoic multiple tectonothermal events recorded by gneiss in Amparo region, São Paulo state, Brazil. 3rd South American Symposium on Isotope Geology (Extend Abstract, CD-ROM).
- Tedeschi, M., Lanari, P., Rubatto, D., Pedrosa-Soares, A., Hermann, J., Dussin, I., Pinheiro, M.A.P., Bouvier, A.S., Baumgartner, L. 2017. Reconstruction of multiple P-T-t stages from retrogressed mafic rocks: Subduction versus collision in the Southern Brasília orogen (SE Brazil). *Lithos*, 294-295, p. 283–303.
- Trouw, R.A.J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M., Andreis, R.R. 2000. The central segment of Ribeira Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 287-310.
- Trouw, C.C., 2008. Mapeamento da Folha Virgínia–MG, Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircões e interpretação geotectônica. Dissertação (Doutorado). Universidade do Rio de Janeiro, 127p.
- Trouw, R.A.J., Peternel, R., Ribeiro, A., Heilbron, M., Vinagre, R., Duffles, P., Trouw, C.C., Fontainha, M.; Kussama, H.H. 2013. A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *J.South Am. Earth Science*, 48, 43-57.
- Valeriano, C.M., Machado, N., Simonetti, A., Valladares, C.S. Seer, H.J., Simões, L.S.A. 2004. U-Pb geochronology of the Southeast Brasília Belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny, and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research* 130, p. 27-55.

3. CAPÍTULO 3 - PROPOSTA DE ARTIGO

Characterization of High-Grade Metamorphic Rocks in the Southernmost Brasília Orogen: Geochronology, Geochemistry, and Tectonic Implications

The Southern Brasília Orogen represents part of the process of amalgamation of the supercontinent Gondwana, which occurred at the end of the Neoproterozoic, and its study is crucial for understanding the geological events that occurred during the collision. The basement of the southern portion of the Orogen is composed of migmatitic orthogneisses of Archaean and Paleoproterozoic age, which outcrop through a structural window established between the two lobes of the Socorro-Guaxupé Nappe. The city of Campinas, located in the extreme south of the orogen, is a region which, despite its great urbanization, preserves an interesting lithostructural diversity comprising medium and high-grade sedimentary, volcanic, plutonic and metamorphic rocks. In the regional geotectonic context, there are rocks from the Paraná Basin to the west of the city, rocks from the Southern Brasília Orogen in the central part and plutonic suites corresponding to the Socorro nappe in the westernmost part of Campinas. This paper seeks to understand the origin and evolution of the rocks belonging to this Paleoproterozoic basement that occurs in the municipality of Campinas. The rocks described are biotite/hornblende gneisses and mafic and felsic granulites with the geochemical signature of continental magmatic arcs. U-Pb ages in zircon indicate that crystallization of the protolith occurred at 2081 ± 17 Ma, while metamorphism in these rocks is recorded at 610 ± 13 Ma. The gneisses, sometimes with garnet, are host to lenticular bodies of clinopyroxene garnet amphibolites, which show the signature of EMORB to NMORB-type basalts, where the highest-grade metamorphism was dated at 626 ± 3 Ma to 629 ± 3 Ma (U-Pb in rutile). These amphibolites show disequilibrium textures, such as plagioclase rims around garnet and Cpx+Pl+Ilm simplectites, suggesting that they may represent rocks that have reached more severe metamorphic conditions, such as high-pressure granulites or even eclogite facies. Based on the integration of the geochemical, geochronological, petrographic, and isotopic data collected, it is possible to correlate the rocks belonging to the Campinas basement with the rocks described in the literature as the Pouso Alegre Complex, which is understood as the product of metamorphism over a series of arcs accreted to the southern margin of the São Francisco Craton during the Paleoproterozoic. These results support the idea that the mafic bodies hosted in gneisses of granodioritic composition are parts of the oceanic crust preserved in the arc sequences that collided on the southern margin of the São Francisco Craton.

Keywords: Gondwana; Orogen; Retroeclogites; Metamorphism

1. Introduction

The Southern Brasília Orogen is one of the multiple results of the Neoproterozoic collision between the São Francisco and Paranapanema paleoplates, during the Brasiliano collision, which in turn represents the western part of the Gondwana supercontinent (Campos

Neto et al. 2000, Trouw 2000, Valeriano 2004). It is made up of an allochthonous stack of nappes, which represent three distinct tectonic domains. A domain related to the magmatic arc of the active margin of the Paranapanema plate (Socorro-Guaxupé Nappe), a domain represented by accretionary prism material and back arc basins (Andrelândia Nappe System) and a third domain referring to the passive margin basins of the São Francisco plate (Carrancas and Lima Duarte Nappe System) (Campos Neto and Caby 2000, Trouw et al. 2000). The basement of this nappe system corresponds to migmatitic orthogneisses, with Archaean and Paleoproterozoic ages and representing the Amparo, Serra Negra and Pouso Alegre complexes (Cioffi et al 2016a, 2016b, 2019, Amaral et al. 2019, Oliveira et al 2019).

The city of Campinas, despite its intense urbanization, presents a diverse geological setting, including sedimentary rocks belonging to the Paraná Basin, occupying the western part of the city; igneous rocks represented by the Morungaba suite to the east and the Jaguariúna suite at north; and medium to high-grade metamorphic rocks outcropping in the central part of the city (Fig.1C). The metamorphic rocks described in Campinas are part of the basement of the southern portion of the Brasília Orogen, composed of archaean-paleoproterozoic migmatitic orthogneisses (Hasui and Oliveira 1984, Campos Neto 1991, Cioffi et al. 2016, Amaral et al. 2019).

Although several studies on the Southern Brasília Orogen have been carried out (e.g. Campos Neto 2000, Trouw, 2000, Janasi et al. 2003, Campos Neto et al. 2004, 2010, 2011, Cioffi et al. 2016, Rocha et al. 2017, Amaral et al. 2019, Oliveira et al. 2019), the municipality of Campinas, located at the southern end of the Brasília Orogen, still lacks studies on the nature of the rocks that comprise its basement. To this end, fieldwork was carried out in an effort to recognize the lithotypes present, with an emphasis on clinopyroxene-garnet amphibolites and granulites hosted by ortho and para gneisses that comprise the paleoproterozoic basement in this region.

This study presents data on whole-rock geochemistry and trace elements, petrography of thin sections, Nd isotopes and U-Pb geochronology in zircon and rutile, to understand the origin and formation of the metamorphic rocks present in the Precambrian basement of southern Brasília Orogen in the Campinas region and their reworking in the Neoproterozoic. The rocks investigated are clinopyroxene-garnet amphibolites and enderbitic granulites that occur in the form of lenticular bodies of metric to decametric dimensions hosted by (garnet-) hornblende-biotite gneisses and migmatites, which outcrop in the central portion of the municipality in a belt with a NE-SW direction and approximately 5 km wide, limited to the west by the Campinas Shear Zone (CSZ) and to the east by the Valinhos Shear Zone (VSZ).

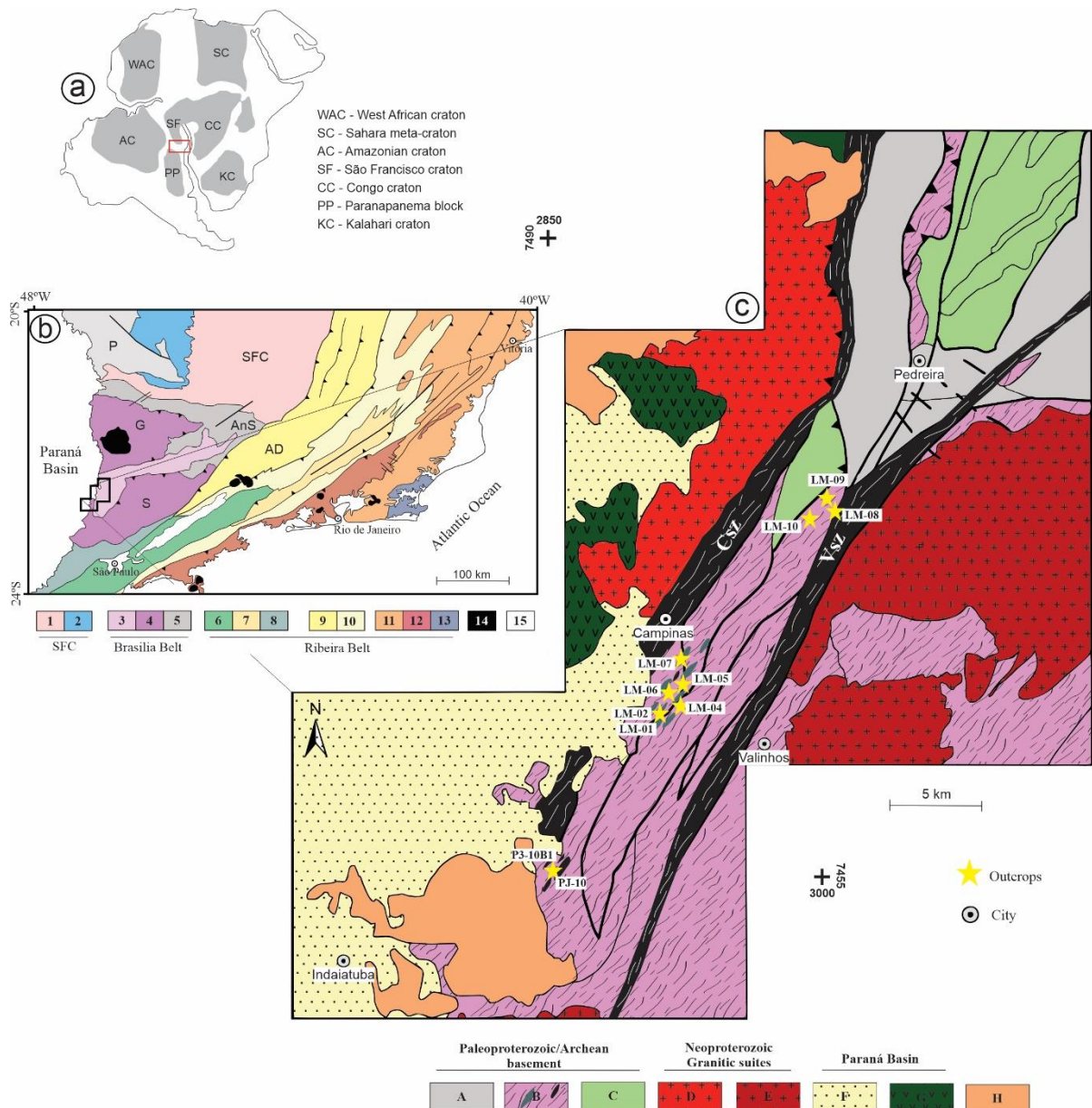


Fig. 1: (A) Location of the study area within the tectonic context of the western Gondwana Supercontinent (Wit et al, 2008). (B) Simplified tectonic map of the region, modified from Trouw et al (2013), with the location of the study area. (1) São Francisco Craton; (2) Metasedimentary cover (Bambuú Group); (3) Basement of the Southern Brasília Orogen (Amparo, Serra Negra, Pouso Alegre and Itapira complexes); (4) Socorro (S)-Guaxupé (G) nappe; (5) Andrelândia (AnS) and Passos (P) nappe systems; (6) Embu terrain; (7) Paraíba do Sul Terrain; (8) Apiaí Terrain; (9) Juiz de Fora Domain; (10) Eastern Terrain, which includes (11) Rio Negro Arc; (12) Cabo Frio Terrain; (13) Apiaí Terrain; (14) Upper Cretaceous and Cenozoic alkaline plutons; (15) Paraná Basin and Cenozoic rift basins. (C) Simplified geological map of the Campinas region. Csz: Campinas Shear Zone; VsZ: Valinhos Shear Zone; (A) Amparo Complex; (B) Paleoproterozoic basement (Pouso Alegre Complex); (C) Itapira Group; (D) Jaguariúna Granitic Suite; (E) Morungaba Granitic Suite; (F) Paraná Basin; (G) Serra Geral Formation; (H) Cenozoic coverings (modified from Moraes 1999).

2. Geological setting

The Southern Brasília Orogen is understood to be the result of the neoproterozoic collision between the passive margin of the São Francisco paleoplate and the active margin of the Paranapanema block, during the Brasiliano Orogeny (Brito Neves et al. 1999, Campos

Neto et al. 2000, Trouw et al. 2000). During this event, nappe systems with an east/northeast vergence were generated, migrating towards the southern edge of the São Francisco Craton (Campos Neto et al. 2000).

The basement of the nappe systems is described through a NE-SW structural window that divides the two lobes of the Socorro-Guaxupé Nappe. In this structural window outcrops orthogneisses and migmatites of archaean and paleoproterozoic age, reworked during the tectonic events that occurred at the end of the neoproterozoic (Ebert 1968, Hasui and Oliveira 1984, Basei et al. 1986, Campos Neto 1991, Cioffi et al. 2016, Amaral et al. 2019, Oliveira et al. 2019).

The western portion of the tectonic window is made up of migmatites and orthogneisses of Archean age and correspond to the Amparo and Serra Negra complexes (Ebert 1968, Basei et al. 1986, Cioffi et al. 2019, Oliveira et al. 2019). The migmatites of the Amparo Complex provide ages of the 2.8 to 3.0 Ga (U-Pb - Tassinari and Nutman 2001), as well as records in 2000 and 600 Ma, suggesting crustal reworking in later tectonic events. U-Pb dates on zircon crystals indicate ages of 2956 Ma (Oliveira et al. 2019) for TTG composition gneisses associated with rocks of mafic and ultramafic composition, described as the Serra Negra Complex. Along the central and eastern part of the structural window, migmatitic orthogneisses of tonalitic to granodioritic composition of paleoproterozoic age are described and characterized as the Pouso Alegre Complex (Cioffi 2016, Cioffi et al. 2016a, 2016b, 2019, Amaral et al. 2019). U-Pb dating reveals igneous crystallization ages of 2.15 - 2.08 Ga (Cioffi et al. 2016) and 2.15 - 2.13 Ga (Amaral et al. 2019).

Above archaean/paleoproterozoic basement contains rocks belonging to the allochthonous stacking of nappe systems, divided into three distinct tectonic domains (Fig. 1B). One domain is associated with the magmatic arc established on the active margin, known as the Socorro-Guaxupé Nappe; the second domain is a result of material from forearc and accretionary prism basins, represented by the Andrelândia Nappe System; and a third domain related to passive margin basins, described as the Carrancas and Lima Duarte Nappe System (Campos Neto and Caby 1999, 2000, Trouw et al. 2000, Reno et al. 2012).

3. Analytical procedures

3.1 Petrographic description

Petrographic description of 18 samples are provided in this study, carried out in the Microscopy Laboratory of IG/UNICAMP using a Leica DM 750P microscope with transmitted light, where we tried to recognize mineral associations and paragenesis in order to identify the metamorphic conditions of formation of the rocks analyzed. The mineral abbreviations used in this work follow the recommendations of Whitney and Evans (2010).

3.2 Whole-rock geochemistry

Geochemical analyses were carried out to determine major, minor and trace elements in 16 samples (13 samples collected in the field + 3 samples from previous work) corresponding to garnet amphibolites, granulites and biotite gneisses. The samples were prepared at the Geochemistry Laboratory (LAGEOQ) of the Institute of Geosciences at Unicamp (IG-Unicamp). The samples, collected in the field with the dimensions needed to be crushed, were inserted into a jaw crusher until they reached decimetric fractions. They were then sent to a planetary and vibratory mill where they were comminuted and turned into powder. The resulting material was used in major, minor and trace element analyses, as well as Nd isotope analyses of 6 samples that were carried out at Geochronology Research Center (CPGeo-USP).

Major elements (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) were determined by X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF), carried out by LAGEOQ using a Philips equipment - model PW2404, following the procedures described by Vendemiato and Enzweiler (2001). Aliquots of 1.0g of material were separated and added to 6.0g of lithium tetraborate and metaborate (flux) + 6 drops of lithium iodide to make the glass discs that would be analyzed in the next step.

The minor and trace elements (Ba, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Li, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, Y, Yb, Zn) were determined using Inductively Coupled Plasma Sector Mass Spectrometry (ICP-SFMS) carried out at the Isotopic Geology Laboratory (LAGIS) of the Unicamp Geosciences Institute (IG-Unicamp), using Thermo equipment - model X-Series 2, following the

procedures described by Cotta and Enzweiler (2012) and Magaldi et al (2018). The analytical error associated with the analysis of minor and trace elements is 5%.

3.3 U-Pb geochronology

The geochronological studies used in this work aimed to determinate the age of crystallization of the protoliths (Paleoproterozoic) and reworking during the Neoproterozoic metamorphic event. Two samples (LW-05 enderbite granulite and LW-45 Cpx-Grt amphibolite) collected in previous work were dated in the U-Pb system in zircon (LW-05) and rutile (LW-45).

The zircon and rutile crystals were separated according to the protocol of the Isotopic Geochemistry Laboratory (LAGIS) of the Geosciences Institute of UNICAMP. The samples collected were first crushed in a jaw crusher and then ground in a tungsten disk mill. The ground material is then separated by density, using a panning to concentrate the denser mineral phases. The resulting concentrate then undergoes magnetic separation using a Frantz magnetic separator and, finally, the zircon and rutile crystals are identified and collected manually using a binocular magnifying glass, mounted in epoxy resin and polished until a flat surface is obtained.

The analyses were carried out using Laser Ablation Sector Field Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-SF-ICP-MS), carried out at LAGIS IG-Unicamp. The analytical procedure follows that described by Navarro et al. (2015) and the quality control of the measurements is established using the Peixe standard (U-Pb age 571 ± 10 Ma, Navarro et al. 2017). The results of the isotopic analyses were reduced using the software Iolite 2.5, Visual Age in its 2014.10 version (Paton et al 2010). The graphs were generated using Isoplot R software (Vermeesch 2018).

3.4 Sm-Nd isotopic geochemistry

Six samples (LM 02, LM 03B, LM 04C, LM 06, PJ 10 and LM 09) were selected for determination of the $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ isotope ratios to be carried out at the Isotopic Chemistry Laboratory of the Geochronology Research Center at the University of São Paulo (CPGeo - LQI - USP). Aliquots of 8.0 g of material that had previously been pulverized for major, minor and trace element measurements were analyzed.

The REE is separated using RE-Spec resin (EiChroM Industries Inc.), where the samples remain for an average of 2 hours. Nd is then separated using Ln-Spec resin (EiChroM Industries Inc.), where the Nd is eluted with 0.26M HCl. The average extraction and recovery time for the resin is around 8 hours. The Nd aliquot is then deposited on a double Re filament with the addition of MilliQ water. Measurements are carried out using a Multi-Collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (MC-ICPMS).

4. Results

4.1 Field relations and petrography

4.1.1 Clinopyroxene garnet amphibolite

The rocks belonging to this group are described as decametric lenticular bodies, concordant with the foliation of the host rock (Fig. 2a-2b). They are characterized by dark to greenish tones, with the presence of garnet crystals mantled by plagioclase. They are massive rocks and have a granoblastic texture, but occasionally they can show incipient foliation, marked by the orientation of hornblende crystals, which are the main mineral phase, defining a nematoblastic texture.

They are medium to coarse-grained and the contact between the grains is essentially straight (Fig. 3c). The garnet crystals are pinkish and have an idioblastic to subidioblastic habit, sometimes stretched and with inclusions. Plagioclase occurs in association with quartz or forms simplectites alongside clinopyroxene. Retrograde textures are observed, such as simplectites of clinopyroxene + plagioclase + ilmenite or even coronitic textures of plagioclase around garnet crystals (Figs. 2d-2e-2f). The paragenetic association is marked by clinopyroxene + garnet + hornblende + plagioclase $\pm$ rutile.

The mineral association comprises hornblende (55-65%), garnet (15-20%), plagioclase (5-10%), ilmenite (5-10%), titanite (1-5%), clinopyroxene (1-7%), quartz (1-5%), zircon (<1%) and rutile (<1%)

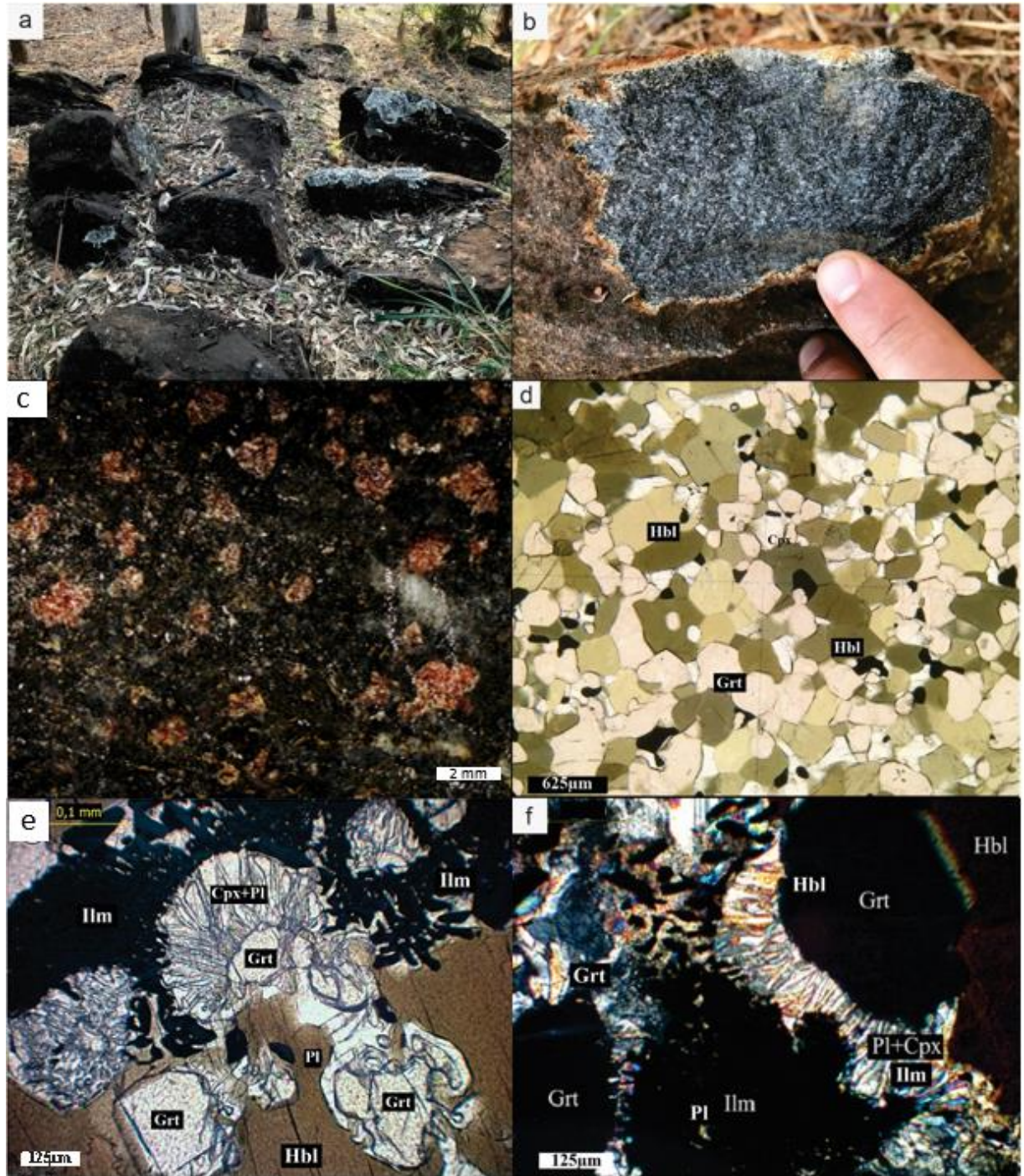


Fig. 2: a) Outcrop of clinopyroxene-garnet amphibolites. In the field, this lithotype is described in blocks or small slabs in situ; b) Detail of the clinopyroxene-garnet amphibolite sample, where you can see its typical granoblastic texture; c) Detail of the clinopyroxene-garnet amphibolite sample described in the central part of the city, where it is possible to see the coronitic texture of plagioclase around the garnet; d) General aspect of the texture of the Cpx-Grt amphibolites, marked by granoblastic texture that make up the rock; e) Mineral association of Cpx + Grt + Hbl $\pm$ Pl, characterizing the upper amphibolite facies; f) Simplectite of clinopyroxene + plagioclase + ilmenite around garnet crystals. Hbl, Hornblende; Grt, Garnet; Cpx, Clinopyroxene; Pl, plagioclase; Ilm, ilmenite; Opx, orthopyroxene. Abbreviations according to Whitney and Evans, 2010.

4.1.2 Granulites

The granulites, which are compositionally enderbitic, occur in the field as metric to decametric lenses (Fig. 3a), oriented in the same NE direction as the clinopyroxene-garnet amphibolites, outcropping as blocks in situ. They are medium-grained, with an essentially granoblastic texture (Fig. 3b-3c), where the crystals are mostly subidioblastic especially clino- and orthopyroxene. There is an incipient foliation marked by intercalation between mafic portions composed of Bt + Grt + Cpx $\pm$ Opx and felsic portions essentially made up of quartz and plagioclase. The clino and orthopyroxene crystals undergo a hydration process during retrograde metamorphism, generating hydrated phases such as biotite and hornblende (Fig. 3d), evidenced by the equilibrium association between Hbl + Bt + Grt + Pl $\pm$ Qz. The paragenesis of Cpx + Opx + Grt + Pl + Qz is observed, where the presence of Cpx + Opx $\pm$ Grt indicates granulite facies metamorphic conditions (Figs. 3e-3f).

The mineral association comprises quartz (20-25%), plagioclase (15-20%), clinopyroxene (10%), garnet (10%), orthopyroxene (5-7%), biotite (5%), hornblende (5%), opaques (1-5%), titanite (<1%) and zircon (<1%).

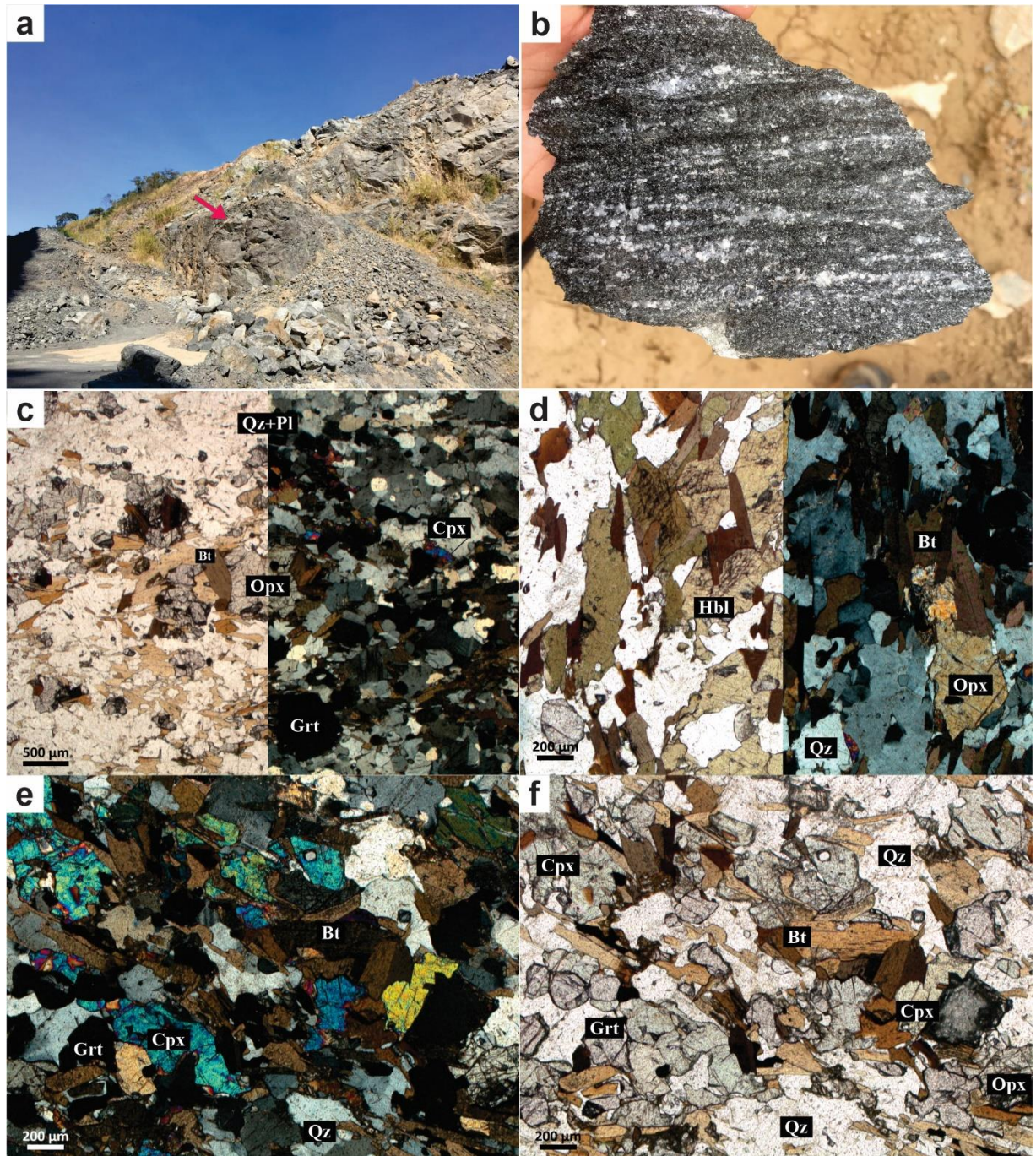


Fig 3: a) Lens of granulite (indicated by red arrow), hosted by gneiss; b) Detail for granulite described in the southern part of the city of Campinas, where its massive structure can be seen; c) Representative overview of the granulite in the central part of the study area, showing the granoblastic texture of the rock. Right side polarized light left side crossed nicols; d) Retrometamorphism reaction marked by the hydration of clino and orthopyroxene, generating new mineral phases (hornblende and biotite). Right side polarized light left side crossed nicols; e) Granulite paragenetic association composed of Cpx + Opx $\pm$ Grt; f) Fig. 4c at crossed nicols. Qtz, quartz; Pl, plagioclase; Bt, biotite; Hbl, hornblende; Grt, garnet; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene. Abbreviations according to Whitney and Evans, 2010.

4.1.3 Hornblende-biotite gneiss

Hornblende-biotite gneisses, which are the host rock for lenticular bodies of amphibolites and granulites, occur in the field in the form of continuous bodies or slabs or even in situ blocks (Fig. 4a-4b) along the entire length of the structural belt in which the rocks belonging to the basement outcrop. They comprise thinner lenses of micaceous and garnet-bearing paragneisses and orthogneisses that show a centimetric folding, with varying shades of gray, medium- to coarse-grained, oriented along a SW-NE foliation and dipping between 30° and 50° to the NW. The stretching lineation is marked by the orientation of the biotite, which is generally oblique in a N-NE direction. In the field, partial melting portions are observed, marked by phlebitic, folded and schlieren textures, as well as garnet-bearing leucosomes of granitic composition, associated with biotite-bearing melanosome.

Petrographic descriptions show fine- to medium-grained rocks, with foliation marked by the intercalation of felsic bands made up essentially of the association of quartz + plagioclase + K-feldspar and mafic bands made up of biotite + hornblende ± garnet (Figs. 4c-4d), mostly characterized by felsic mineral phases, where the mineral arrangement characterizes a granolepidoblastic texture (Figs. 4e-4f).

The mineral association comprises plagioclase (20-35%), quartz (20-25%), biotite (15-20%), K-feldspar (10-15%), hornblende (< 10%), garnet (1-5%), zircon (< 1%), allanite (< 1%) and opaques (< 1%).

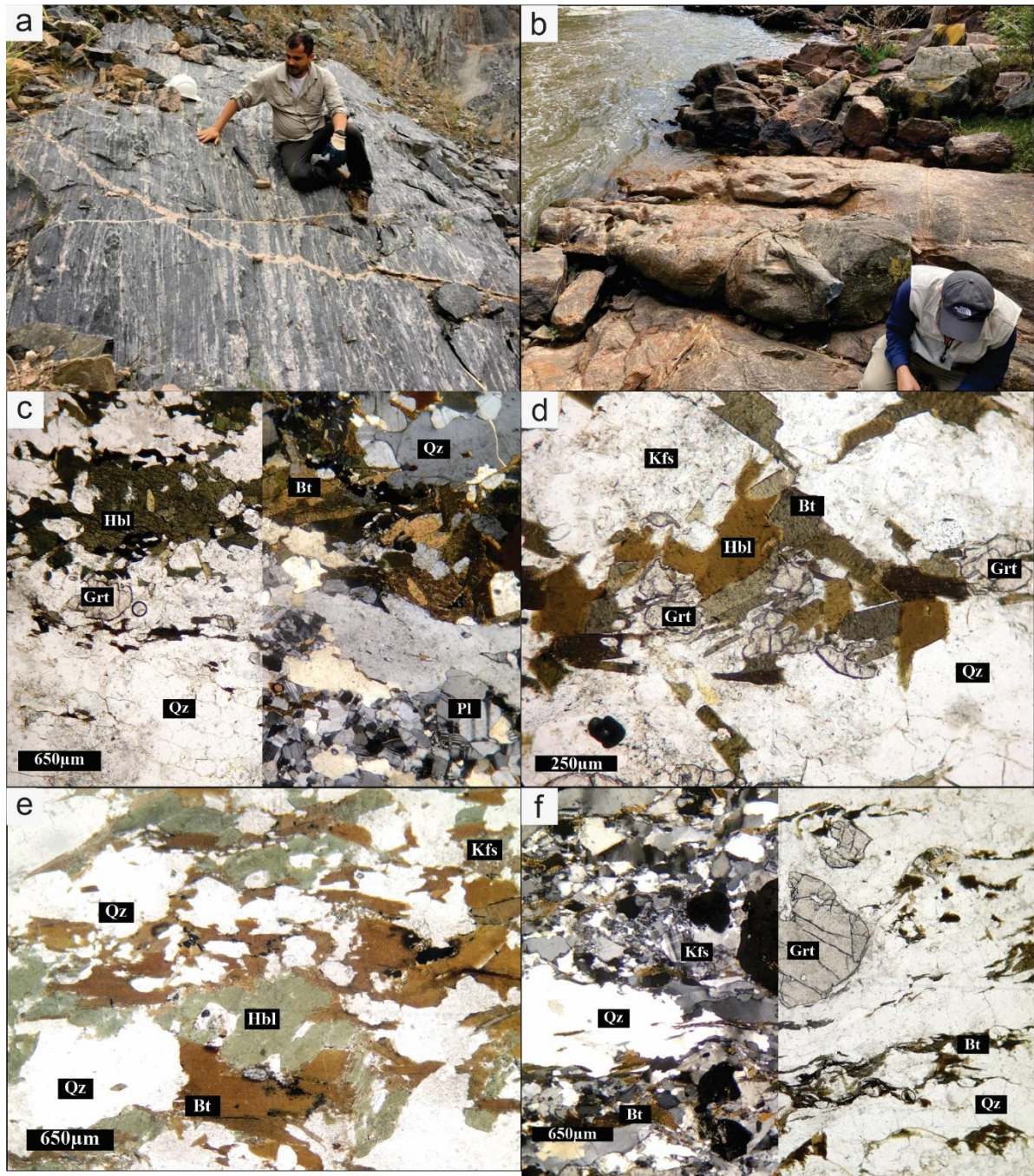


Fig. 4: a) Hornblende-biotite gneiss outcrop in the southern part of the municipality of Campinas displaying compositional banding of these rocks and partial fusion features; b) Gneiss outcrop, located in the northern part of the city c) Detail of the contact between the mafic band, composed of biotite + hornblende + garnet and the felsic band formed by quartz + plagioclase + K-feldspar. Right side-parallel nicols, left side-crossed nicols; d-e) Reequilibration reaction of hornblende and garnet to biotite; f) Idioblastic garnet crystal in equilibrium association with quartz, plagioclase and K-feldspar. Grt, garnet; Pl, plagioclase; Qz, quartz; Hbl, hornblende; Kfs, alkali feldspar, Bt, biotite. Abbreviations according to Whitney and Evans, 2010.

4.2 Whole rock geochemistry

Nine samples of clinopyroxene-garnet amphibolite, four samples of biotite gneiss and three samples of enderbitic granulite were selected for lithogeochemical studies. The analysis of 10 major elements was carried out using XRF at LAGEOQ - Unicamp and 40 minor and trace elements using ICP-SFMS at LAGIS - Unicamp, where the results are shown in Supplementary data. The data was processed using the Geochemical Data Toolkit (GCDKit) 6.1 software (Janoušek et al. 2006) and interpreted using Pearce et al. (1984), Sun and McDonough (1989) and Rollinson (1993).

MacLean and Barret, 1993 define high field strength elements (HFSE), as well as Ti, Al, and rare earth elements as immobile. To this end, these elements must have a high linear correlation coefficient ($R = 0.90 - 0.99$) when plotted on binary versus Zr diagrams. In addition, Pearce (2014) defines elements that show low dispersion and high correlation when also plotted on binary versus Zr diagrams as immobile. Supplementary data 4 shows the linear correlation coefficients for Rb, Ta, Yb, Y, Nb, Th, Sm and La, used in the geochemical classifications in this work, as well as the dispersion patterns of these elements.

4.2.2 Hornblende-biotite gneisses and granulites

Hornblende-biotite gneisses represent the host rocks for the clinopyroxene-garnet amphibolites and enderbitic granulites that occur in the form of lenses along the Campinas basement. According to the classification diagram for plutonic rocks by Cox et al. (1979) (Fig. 5a), the hornblende-biotite gneisses and granulites have SiO_2 contents of between 62.5 - 68.5 %, plotting essentially in the granodiorite field, with some variation towards the diorite and granite fields. According to the modified alkalinity index (MALI) versus SiO_2 (Frost et al. 2001) (Fig. 5b), the biotite gneiss and granulite samples have an affinity with the calcium-alkali series.

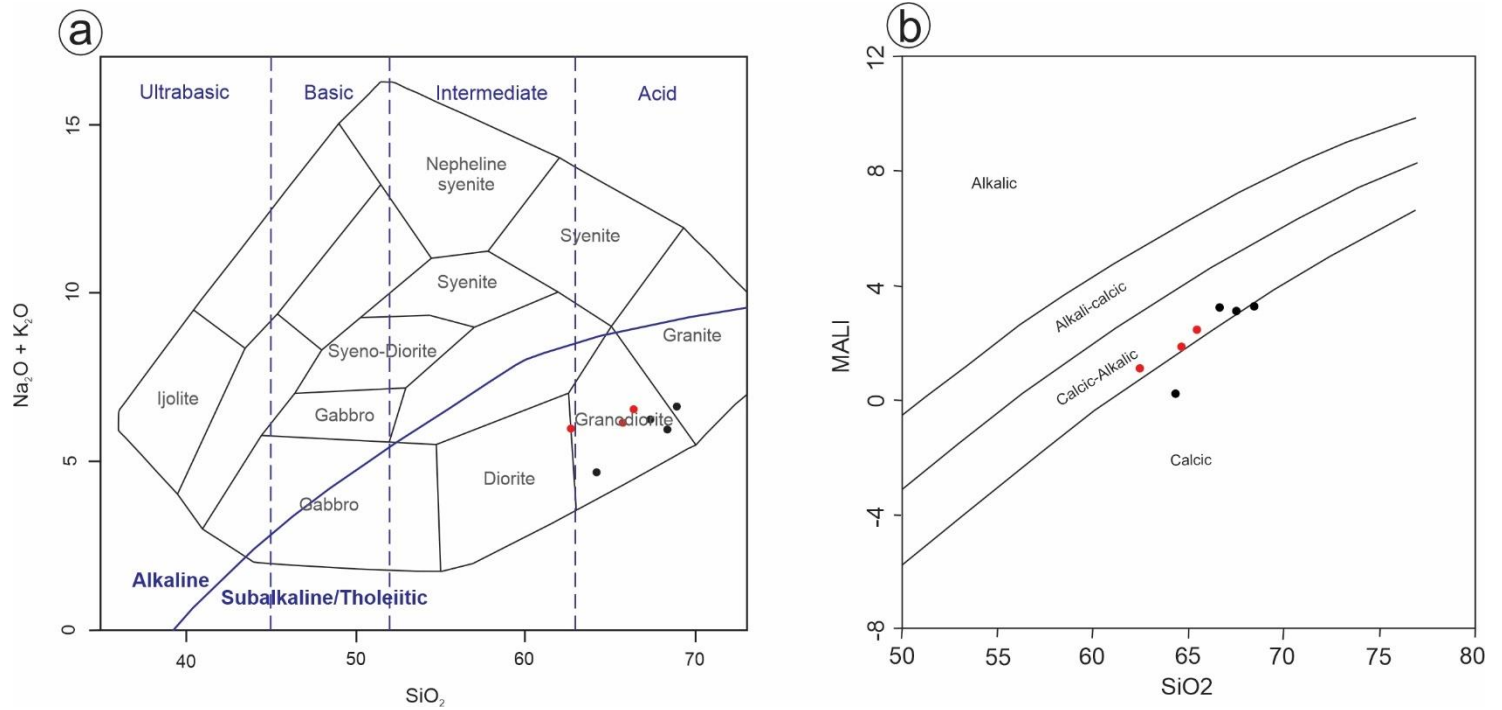


Fig. 5: a) Plutonic rock classification diagram (Cox et al. 1979) for rocks with a felsic composition. The red dots refer to granulite rocks, while the black dots represent hornblende-biotite gneisses; b) Geotectonic discrimination diagram for granitic rocks (Frost et al. 2001). The red dots refer to granulite rocks, while the black dots represent hornblende-biotite gneisses.

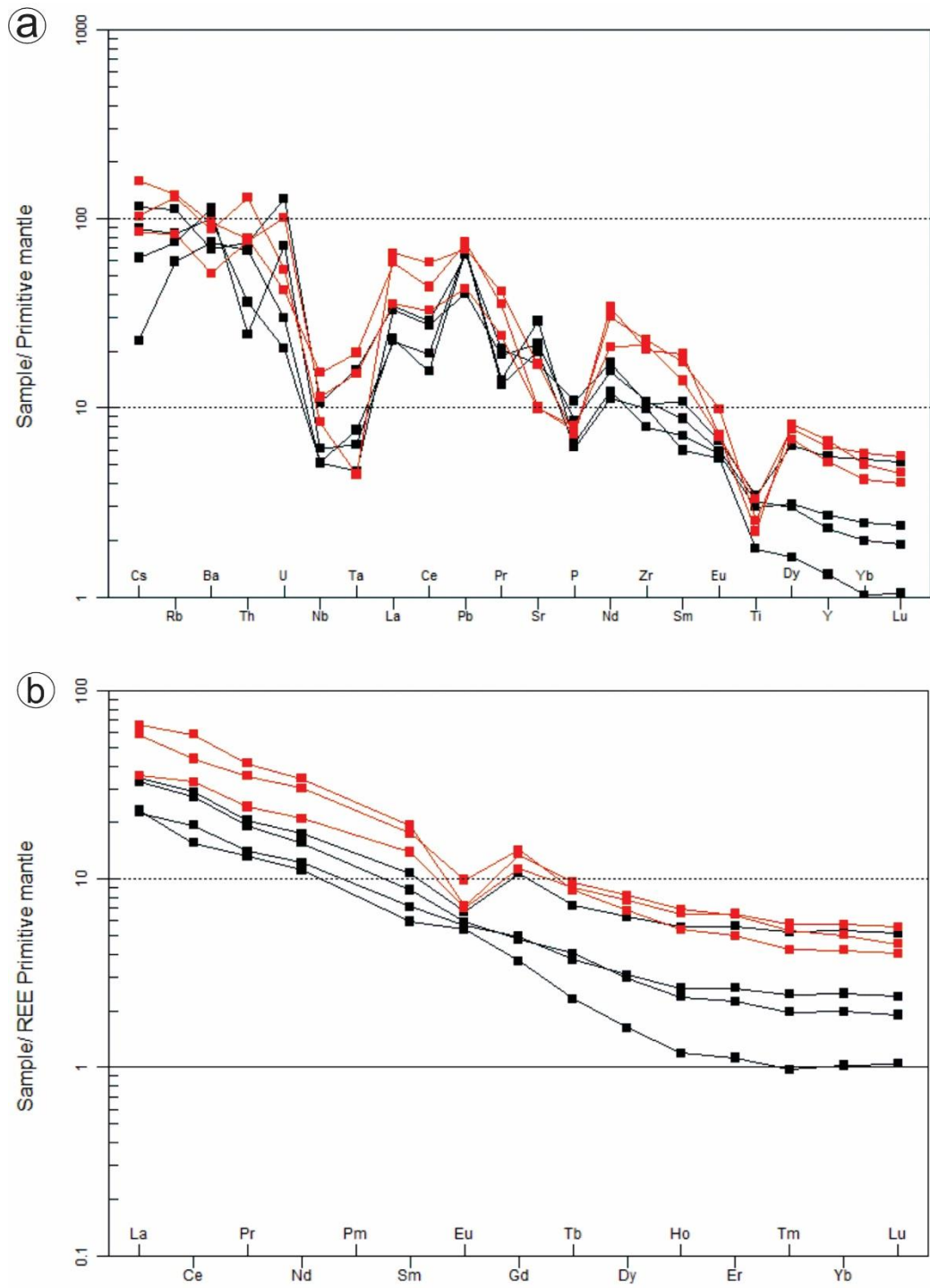


Fig.6: a) Multi-element diagram for hornblende-biotite gneisses (black) and granulites (red), normalized to the primitive mantle from McDonough and Sun (1995); b) Primitive mantle normalized REE diagrams for felsic rocks (McDonough and Sun, 1995). The red dots refer to granulite rocks, while the black dots represent hornblende-biotite gneisses.

From the multi-element diagram of the Hornblende-biotite gneisses, normalized for the primitive mantle by McDonough and Sun (1995) (Fig. 6a), it is possible to identify a depletion in part of the HFSE (Nb and Ta), as well as Eu, while a notable positive Pb anomaly is observed. The normalized rare earth elements diagram for the primitive mantle from McDonough and Sun (1995) (Fig. 6b) reveals a relative LREE enrichment.

Hornblende-biotite gneisses show fractionation patterns expected for granitic rocks, with La/Yb ratios ranging from 9-33, characterizing moderate to slightly high fractionation, which is most evident in sample P3-10B1, which in turn has the highest SiO₂ values (68.52%) of all the analyses carried out. In addition, the negative Eu anomaly is notorious and is associated with the lowest SiO₂ contents. Furthermore, the fractioning between the HREEs can also be highlighted, where the highest Gd/Yb values (4.4) are again related to the highest SiO₂ values (P3-10B1), while the lowest Gd/Yb ratio (2.4) is related to the lowest value within this group of rocks (LM 07 - 64.37% SiO₂).

The granulite rocks maintain part of the distribution observed in the hornblende-biotite gneisses. Selective depletion is again observed in part of the HFSE (Nb and Ta), but this time accompanied by a slight increase in La, Nd, Ce and Zr values and a subtle reduction in Sr values (Fig. 8). The behavior in relation to REE also follows the pattern observed previously, but the values, especially in relation to HREE, are observed more cohesively. The La/Yb values in this case are slightly lower than those observed in the biotite gneisses, ranging from 9.5-24, suggesting moderate fractionation of these rocks. The ratios between HREE (Gd/Yb) do not show significant variations (2.5-2.9), characterizing a flat distribution pattern of these elements (Fig. 6b). This behavior again suggests a milder fractionation for the granulite rocks analyzed when compared to the same process that occurs in the host rocks.

According to the tectonic discrimination diagram of Pearce et al. (1984) (Fig. 7) both biotite gneisses and enderbite granulites are plotted in the Volcanic Arc Granites (VAG) field.

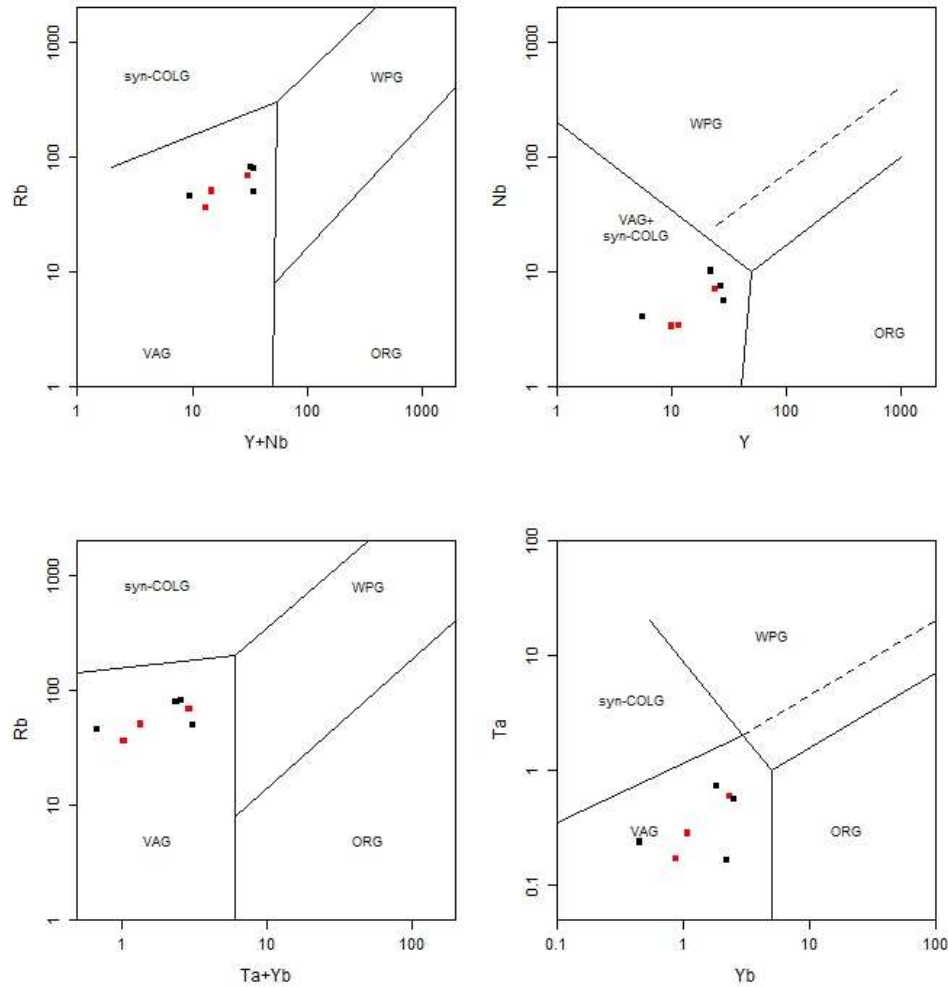


Fig. 7: Tectonic discrimination diagram of granites from Pearce et al. (1984). The red dots refer to granulite rocks, while the black dots represent hornblende-biotite gneisses.

4.2.3 Clinopyroxene garnet amphibolite

Amphibolites are quite common rocks generated during the process of regional metamorphism, under conditions of high pressure and temperature. They are essentially massive to weakly foliated rocks, depending on the orientation of the hornblende crystals, the typical mineral phase in these rocks, characterizing a nematoblastic texture. Their typical mineral association is marked by hornblende + plagioclase + garnet + epidote $\pm$ clinopyroxene $\pm$ rutile, where it is possible to observe an increase in the metamorphic degree from the progressive consumption of epidote and an increase in the anorthite content in the plagioclase (Haldar 2020).

The clinopyroxene-garnet amphibolites described in the study area have SiO_2 contents ranging from 41.22 - 46.41%, plotted in the basalt field according to the TAS diagram by Cox

et al. (1979) (Fig. 8a), but with adjustments, as some of the samples have SiO_2 contents lower than those limiting for this classification. They have a chemical composition with a tholeiitic affinity according to the classification diagram by Ross and Bedard (2008) (Fig. 8b) and show positive anomalies for Pb, Sr, Ti and Eu, as well as a negative anomaly for Nb (Fig. 9a).

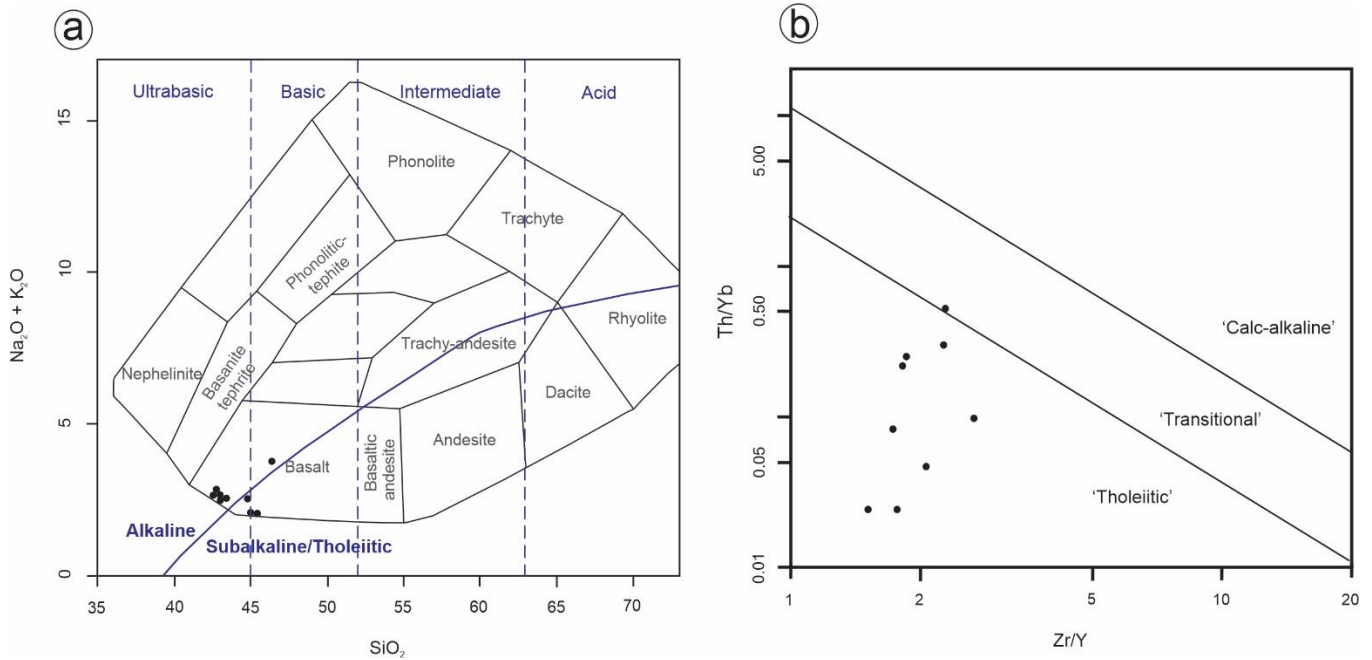


Fig. 8: a) TAS classification diagram by Cox et al. (1979) for volcanic rocks where the clinopyroxene-garnet amphibolite samples are plotted; b) Th/Yb vs. Zr/Y classification diagram from Ross and Bedard (2008) for clinopyroxene-garnet amphibolites.

They show low La/Yb ratios (1.4 - 5.1), indicating low fractionation of the magmas involved in the formation of the protolith of these rocks. There is also little variation in the La/Sm (1.46 - 2.65) and Gd/Yb (1.26 - 2.53) ratios, generating the flat pattern of LREE and HREE dispersion seen in Fig. 10b. On the other hand, a positive Eu anomaly is visible for this group of rocks. The geochemical data obtained for these rocks point to signatures of MORB-type basalts, as seen in the in the La-Sm-Yb-Nb-Th system of Agrawal et al. (2008) (Fig. 10a), in Nb/Yb - Th/Yb diagram (Pearce 2008) (Fig. 11b) and Zr-Nb-Y system (Meschede 1986) (Fig. 10c).

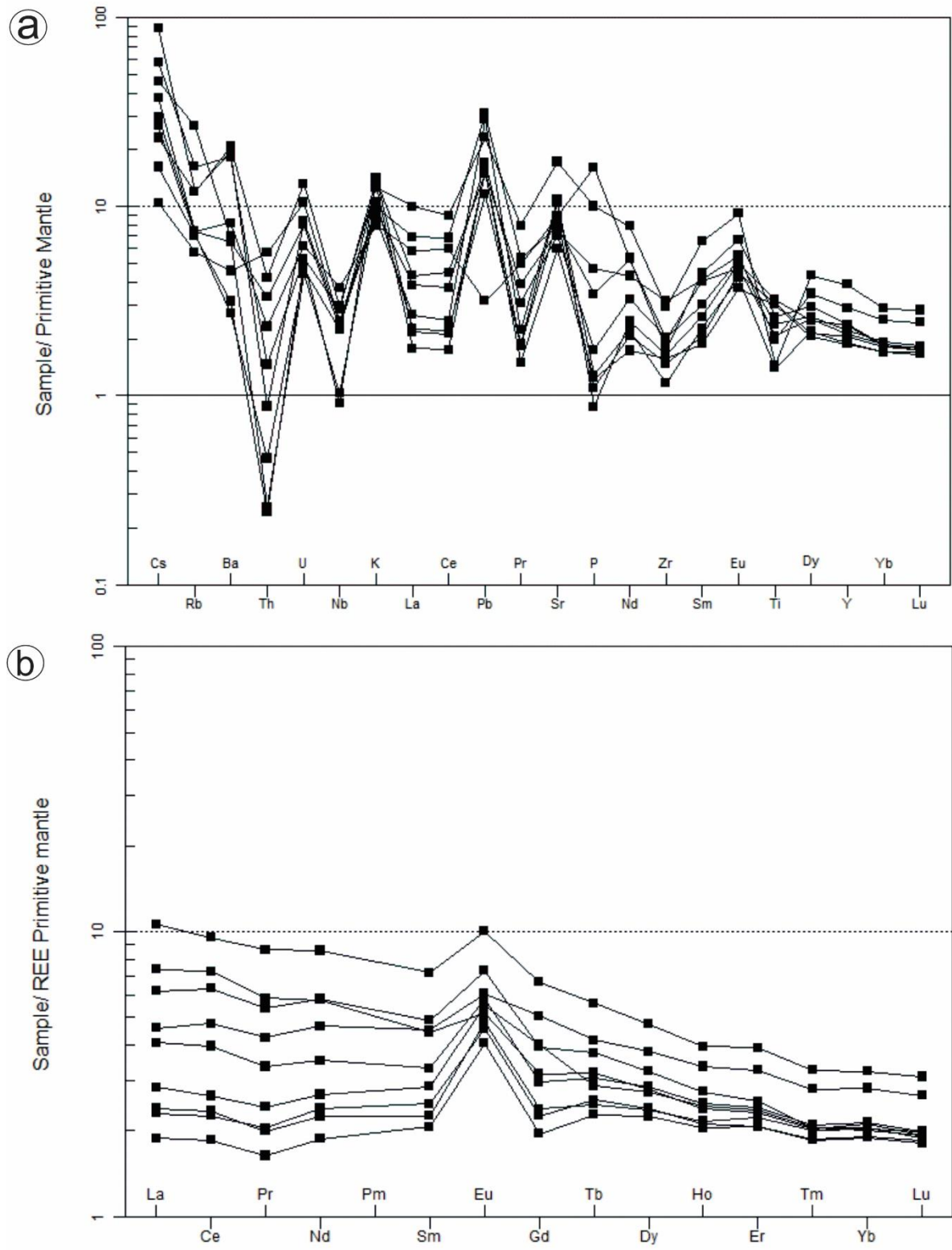


Fig. 9: a) Multi-element diagram for Cpx-Grt amphibolites, normalized to the primitive mantle from Sun and McDonough (1989); b) REE diagram for Cpx-Grt amphibolites, normalized by the primitive mantle of McDonough and Sun (1995).

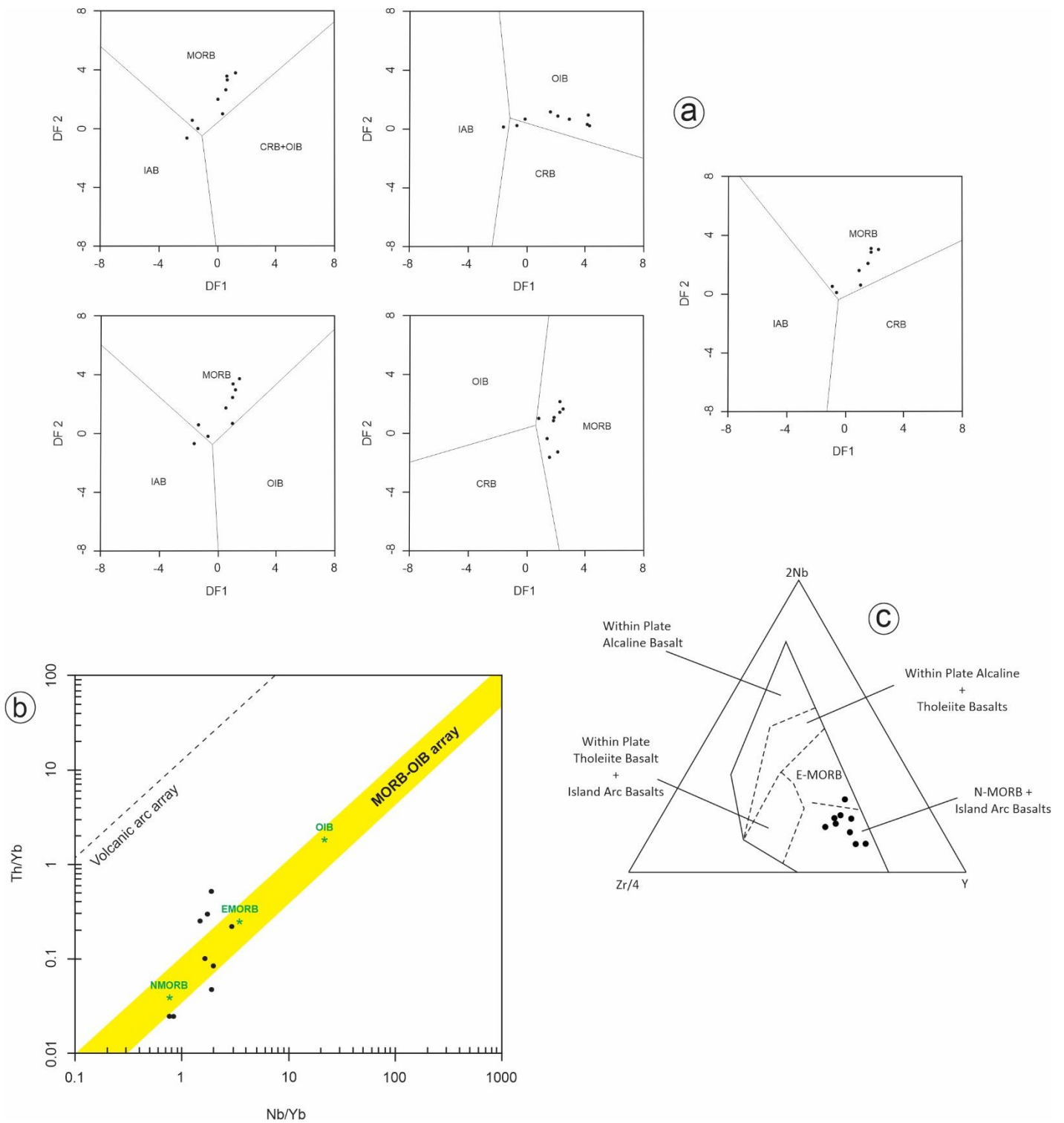


Fig. 10: a) Classification diagram of basaltic rocks according to the La-Sm-Yb-Nb-Th system of Agrawal et al. (2008; b) Classification of basaltic types based on Pearce's (2008) Nb/Yb - Th/Yb systematics; c) Diagram of the classification of mafic rocks by Meschede (1986) showing the position of the Cpx-Grt amphibolite samples.

5 U-Pb geochronology

5.1 Sample LW-05B (Enderbitic granulite)

The dated sample corresponds to a gray granulite with an enderbite composition that has a massive structure and an essentially granoblastic texture. From the sample collected, 13 euhedral to subhedral zircon crystals were analyzed (Fig. 11), which sometimes show oscillatory zoning or recrystallization edges. The analysis showed an upper intercept at 2081 ± 17 Ma and a lower intercept at 610 ± 13 Ma (MWSO = 1.7). The upper intercept is understood to be the time of igneous crystallization of the protoliths, while the lower intercept refers to the age of the last recorded metamorphic event (Fig. 12) (Results shown in Appendix 2).

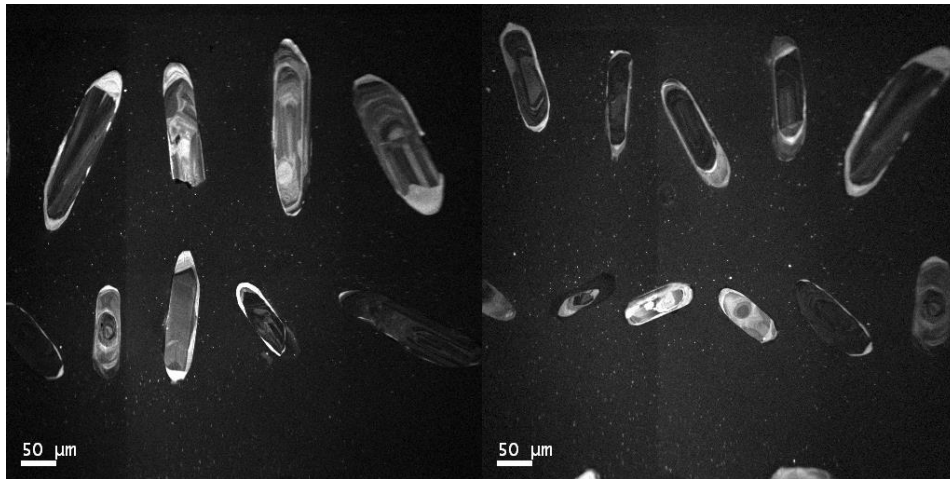


Fig. 11: Cathodoluminescence images of the selected zircon crystals from the enderbite granulite (LW-05B).

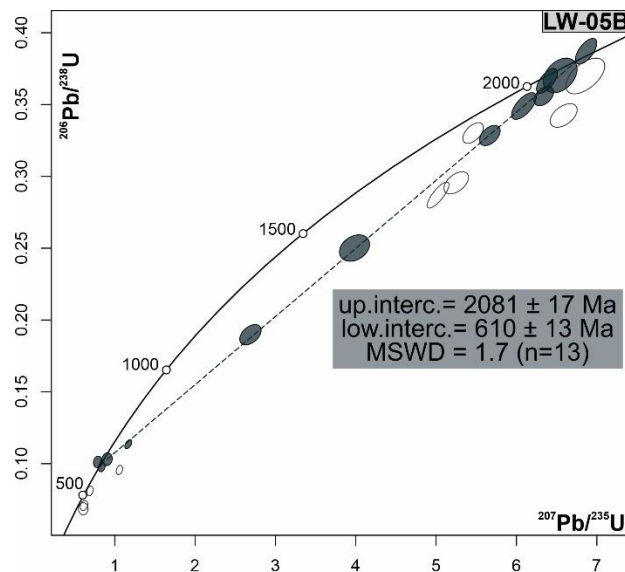


Fig. 12: Concordia diagram obtained from the Iolite software v4 (Paton et al. 2010) for sample LW-05B (felsic granulite with enderbite composition)

5.2 Sample LW-45 (Clinopyroxene-garnet amphibolite)

The rocks used in the analysis were collected from blocks in situ. They are amphibolites with an essentially massive, coarse-grained structure and an essentially granoblastic texture, with the occasional presence of plagioclase rims on garnet.

Two samples were collected for dating, from which rutile crystals were separated, found essentially in association with ilmenite or as inclusions in garnet crystals. The metamorphic age was determined from the analysis of 18 rutile crystals (Fig. 13), 3 of which were excluded due to their discordant values. The results showed ages from 626 ± 3 Ma (MWSD= 3) to 629 ± 6 Ma (MWSD= 2) (Fig. 14) for the metamorphic event. The complete data are shown in Appendix 3.



Fig. 13: Rutile crystals used in the dating of clinopyroxene garnet amphibolites (sample LW-45) with an indication of the spots analyzed. Of all the crystals, 18 were selected for age calculations.

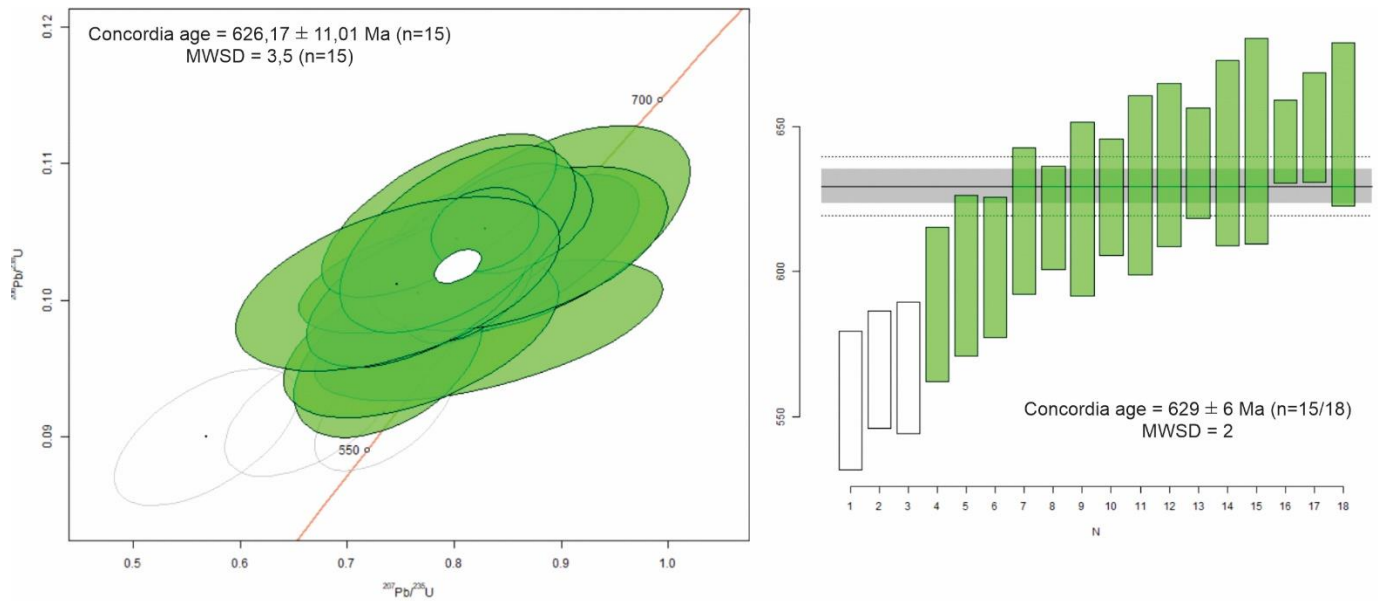


Fig. 14: Concordia diagram obtained for sample LW45 (clinopyroxene-garnet amphibolite) from rutile crystals.

6. Sm-Nd isotopic geochemistry

Nd isotope analyses were carried out on 6 samples, 4 of which were clinopyroxene-garnet amphibolites (LM-02, LM-03B, LM04C and LM-06), one hornblende-biotite gneiss (LM-09) and one granulite (PJ-10). The results obtained are shown in Table 2, which shows high $^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$ ratios for both the clinopyroxene-garnet amphibolite protolith rocks and the host gneisses. Part of the data shows superchondritic Sm/Nd ratios (sample LM-03B) or Sm/Nd ratios slightly below chondritic values (LM-06), suggesting a disturbance in Sm-Nd values.

Based on the Sm-Nd isotopic data, an errorchron of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ was established (Fig. 15), in an attempt to restrict the crystallization age of the protoliths of the metamafic rocks, obtaining an isochrone age of 1962 ± 109 Ma (MWSD=10).

Table 2: Results obtained from Sm/Nd isotope analysis.

Sample	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	error	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\text{sigma}$	T_{DM} (Ga)	$\text{eNd}_{2150\text{Ma}}$	$\text{eNd}_{650\text{Ma}}$	$\text{eNd}(0)$
LM-02 Gr-Anf	2.91	10.71	0.164302	0.001643	0.512269	0.000007	2.402	1.75	-4.52	-7.2
LM-03B Gr-Anf	1.02	2.99	0.206286	0.002063	0.512095	0.000013	-	-13.32	-11.42	-10.6
LM-04C Gr-Anf	1.98	7.23	0.165602	0.001656	0.512204	0.000008	2.695	0.12	-5.9	-8.5
LM-06 Gr-Anf	1.83	5.82	0.190138	0.001901	0.512443	0.000007	4.556	-2	-3.26	-3.8
LM-09 Gnaiss	7.83	42.6	0.111146	0.001111	0.511593	0.000006	2.157	3.26	-13.3	-20.4
PJ-10 Gnaiss	3.56	19.4	0.110966	0.00111	0.511511	0.000006	2.278	1.7	-14.89	-22

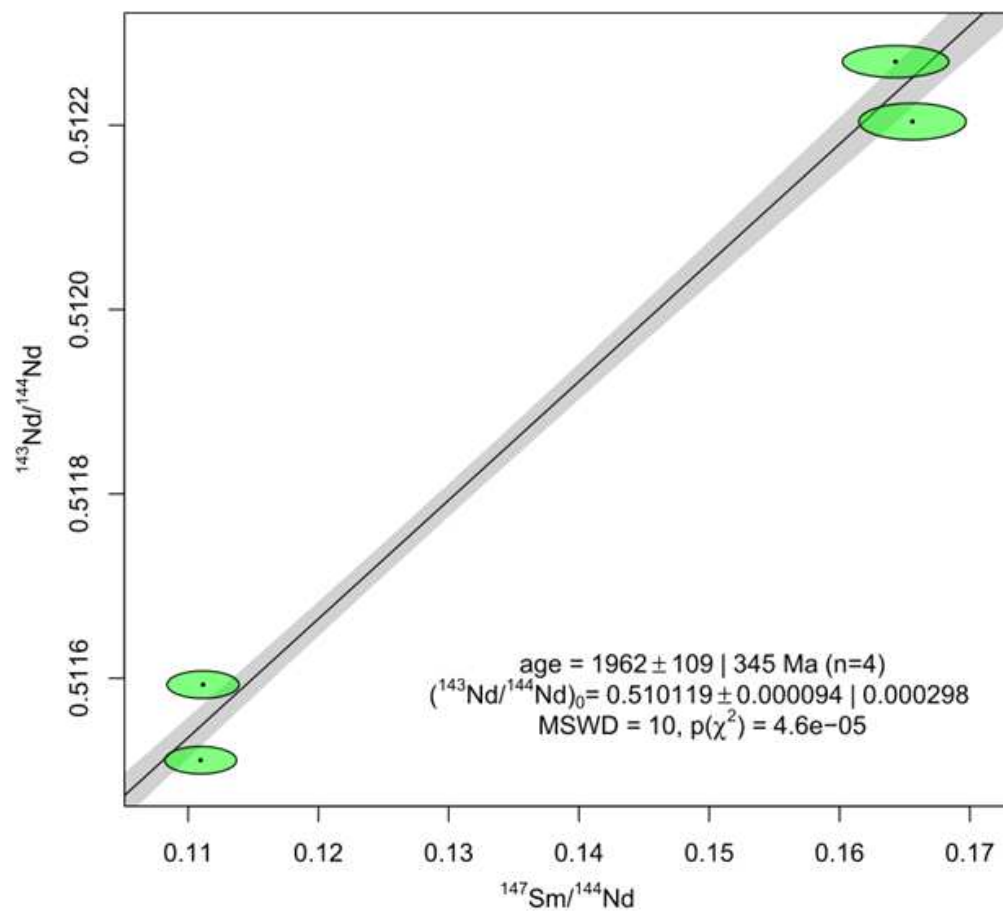


Fig. 15: Sm-Nd errorchron age obtained from geochemical data of metamafic rocks.

7. Discussion

7.1 Gneisses and granulites

The Southern Brasília Orogen comprises a series of Ediacaran-Cambrian rocks formed during the amalgamation of the Gondwana supercontinent. The neoproterozoic rocks are stacked on top of archaic and paleoproterozoic migmatitic orthogneisses, which represent the basement of this nappe system (Campos Neto et al. 2004, 2010, Cioffi et al. 2016). Part of this basement outcrops along a NE belt in the city of Campinas, that constitutes the study area of the present work.

The orthogneisses that act as host rock for the metamorphic and granulite lenses show the geochemical signature of granites generated in volcanic arcs (Fig.10), suggesting that these protoliths are associated with an accretionary environment or even a collisional environment. The gneisses show Sr and Eu anomalies, which are most likely related to fractional crystallization of plagioclase crystals. During arc magmatism, the crystallization of plagioclase precedes garnet and amphibole, due to the low concentration of water in the magma in the upper mantle (Müntener et al. 2001, Elburg 2010).

In the model of Cioffi et al. (2016a) understand that, during the Paleoproterozoic (2.35 to 2.08 Ga), continental crust would have been generated on the southern margin of the craton, from the accretion of continental or oceanic arcs to this edge. Part of the basement of the Southern Brasília Orogen, described as the Pouso Alegre Complex (Cioffi et al. 2016, Amaral et al. 2019), is interpreted as the result of the reworking of the southern edge of the São Francisco Craton during the neoproterozoic orogenic event.

The enderbite granulite dated in this work has a U-Pb zircon age of 2081 ± 17 Ma, which is compatible with previous geochronological studies (e.g. Cioffi et al. 2016, Amaral et al. 2019) for rocks belonging to the same segment of the Southern Brasília Orogen basement and described as the Pouso Alegre Complex. In addition, the similarities between the petrographic aspects and the juvenile isotopic signature recognized in these rocks with the records present in previous works suggest that the rocks described in this work are part of the same complex.

The lower intercept observed at 610 ± 13 Ma possibly records one of the numerous zircon and monazite crystallization events, dated between ca. 625-608 Ma (Rocha et al. 2016), which followed the partial melting and metamorphism event under ultra-high temperature (UHT) conditions recorded in the Socorro-Guaxupé Nappe and documented by these authors.

7.2 Evolution of metamorphic rocks

The clinopyroxene-garnet amphibolites have a geochemical signature that suggests that they are essentially N-MORB basalts with some variation towards E-MORB according to the basalt classification diagrams in the La-Sm-Yb-Nb-Th model by Agrawal et al. (2008) (Fig. 10a), the Nb/Yb - Th/Yb system by Pearce (2008) (Fig. 10b) and the Zr-Nb-Y system by Meschede (1986) (Fig. 10c). In addition, the ThN - NbN system (Saccani 2015) (Fig. 16) points to a variation in the samples from the MORB field towards an active continental margin environment. The samples show a positive Eu and Sr anomaly, indicating possible interaction with more evolved crustal material.

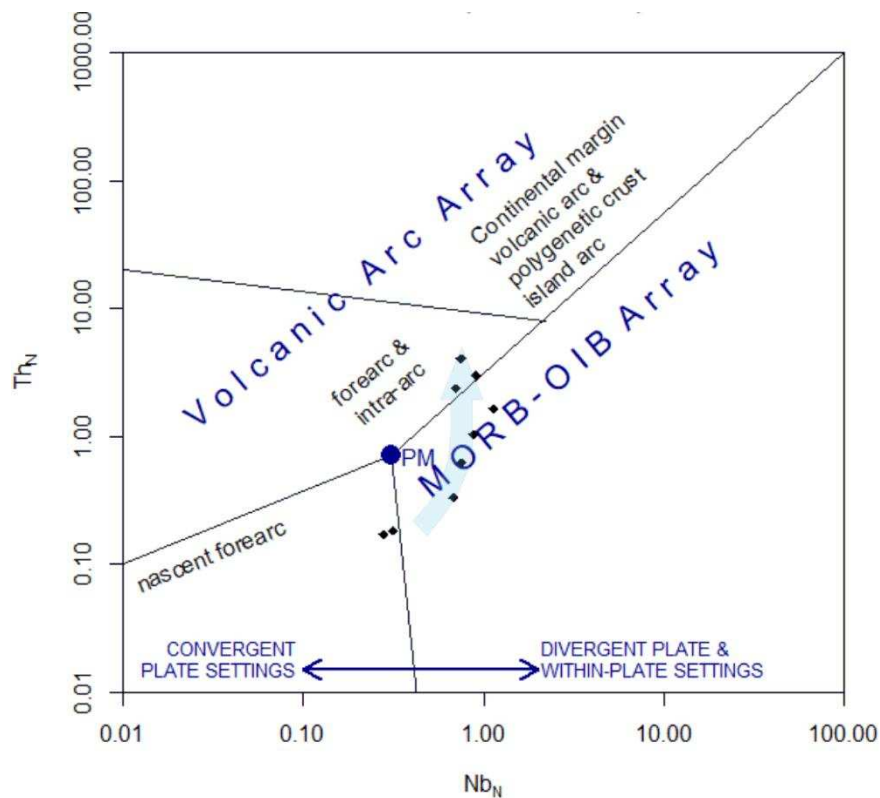


Fig. 16: Tectonic interpretation for different basaltic types, based on the ThN-NbN system of Saccani (2015).

Along the supracrustal sequences of the allochthonous stacks, several occurrences of retrograde eclogites are recorded, dated with ages synchronous to the Brazilian orogenic event (e.g. Luvizotto 2003, Trouw 2008, Reno et al. 2009, Campos Neto et al. 2011, Coelho et al. 2017, Tedeshi et al 2017). However, no occurrences of retrograde eclogites associated with the basal portion of the orogen have been recorded.

The metamorphic rocks show a paragenetic association of Hbl+Pl+Grt+Cpx $\pm$ Rt, indicating metamorphic conditions of the upper amphibolite facies, where the presence of rutile indicates that the rock has reached higher pressure conditions. Decompression textures such as Anf-plagioclase rims around garnet and Cpx+Pl+Ilm symplectites (Fig. 2e,2f) suggest that these rocks could be understood as retrograde eclogites or even high-pressure granulites formed during the orogenic process.

The age obtained for the metamorphism of the Cpx-Grt amphibolite of 626 ± 11 to 629 ± 3 Ma agrees with the ages established for high-grade metamorphism recorded along the supracrustal sequences of the southern portion of the Brasília Orogen (e.g. Coelho et al. 2017, Rocha et al. 2017, 2018, Tedeschi et al. 2017). The isochronal ages calculated from the Sm/Nd ratios allow us to constrain the age of igneous crystallization of the protoliths of the metamafic rocks described in this work. The age of 1962 ± 109 Ma suggests the generation of the basaltic bodies at a time approximately synchronous with the time of igneous crystallization of the rocks that act as hosts for the mafic lenses, strengthening the hypothesis that the clinopyroxene-garnet amphibolites derived from rocks generated in the Paleoproterozoic, during the collage of magmatic arcs on the southern edge of the São Francisco paleocontinent.

7.3 Constraints on the tectonic evolution

The rocks belonging to the basement of the city of Campinas were presented in geological mapping works as being Neoproterozoic, generated during the Brasiliano Orogeny (Morais 1999). However, recent isotopic studies (Amaral et al 2019) showed ages of 2134 ± 6 and 2156 ± 6 Ma (LA-ICP-MS, U-Pb) for hornblende-biotite gneisses and granulites, respectively, (hosted as lenses by the gneisses) located in the southern part of the city, on the belt where the Precambrian rocks outcrop, raising new questions about the origin of the crystalline rocks described in the central belt of the city.

Based on the petrographic, lithogeochemical, geochronological and isotopic data collected in this study, it is suggested that part of the basement of the city of Campinas is part of the Pouso Alegre Complex, defined by Cioffi et al 2016. The igneous crystallization ages of 2081 ± 17 Ma for the granulites and 2134 ± 6 Ma (Amaral et al. 2019) for the host orthogneisses, as well as the petrographic aspects, the juvenile isotopic character, and the

granitic geochemical signature of volcanic arcs, associated with an accretionary or even collisional environment, support this interpretation.

The volcanic arc sequences would have been accreted to the present-day southern edge of the São Francisco paleocontinent during the Paleoproterozoic (ca. 2.2 - 2.08 Ga). Fragments of oceanic lithosphere are preserved between the arc sequences, which show isotopic ages of ca. 2.1Ga (Fig. 17a, 17b). The Brasiliano Orogeny, which occurred in the Neoproterozoic, is responsible for the closure of the Adamastor/Farusian Ocean (Fig. 17c), and the collision between the São Francisco paleocontinent and the Paranapanema paleoplate. During the collisional phase (ca. 630 - 600 Ma), high-grade metamorphic conditions are generated, recorded through granulites, migmatites and retroeclogites described along the Brasília Sul Orogen (Rocha et al. 2017, 2018, Tedeschi et al, 2017), in addition to the reworking of the present-day southern edge of the São Francisco Craton (Cioffi et al. 2016a, 2016b. 2019).

Our data suggest that during the neoproterozoic collisional stage, with the reworking of the southern edge of the São Francisco Craton, the mafic fragments preserved between the volcanic arc sequences would have reached high-pressure metamorphic conditions, resulting in the high-pressure granulites or retrograde eclogites described in this work, where metamorphism dated at 629 ± 3 Ma is recorded (Fig. 17d).

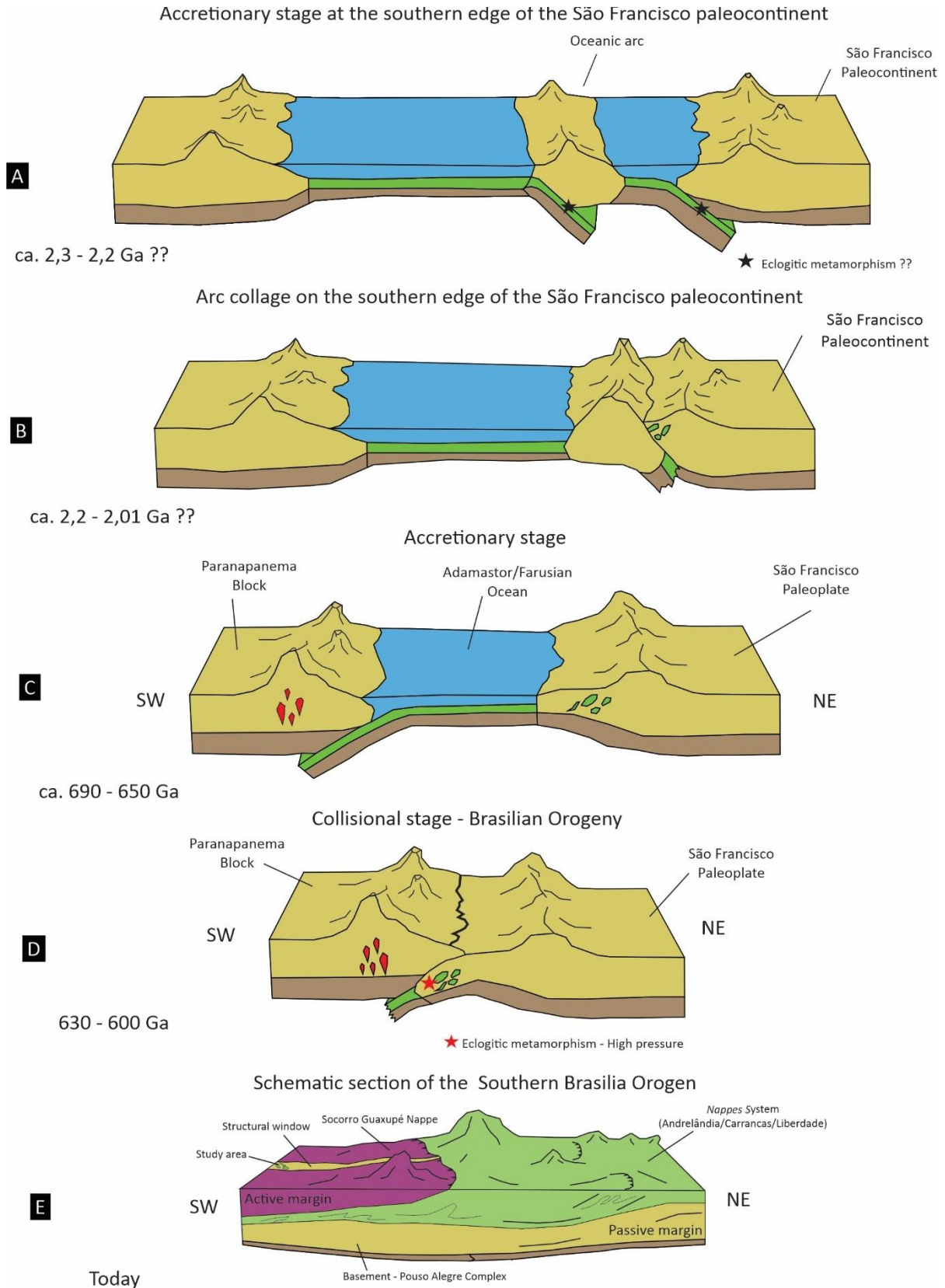


Fig.17: Tectonic evolution model for the rocks described in this paper. A) Accretionary stage on the southern edge of the São Francisco paleocontinent, during the Paleoproterozoic; B) Accretion of magmatic arcs on the southern margin of the São Francisco, with the preservation of mafic fragments between the arc sequences; C) Accretionary stage of the Brasiliano/Pan-African Orogeny, which occurred in the Neoproterozoic; D) Collisional stage of the orogeny, where high-pressure metamorphism would have occurred; E) Schematic section of the southern portion of the Brasília Orogen at present.

Conclusions

The interpretations of the geochemical, geochronological, and petrographic data of the enderbitic granulite, clinopyroxene-garnet amphibolites and host gneiss provide information about the tectonic evolution of the southern portion of the Brasília Orogen.

- The orthogneisses and granulites of enderbitic composition described in the central belt of the city of Campinas show the geochemical signature of volcanic arc granites (VAG);

- The enderbitic granulite provided a U-Pb zircon age of 2081 ± 17 Ma, which is understood to be the time of igneous crystallization of the protolith. The orthogneisses and granulites described in the central belt of the city of Campinas show petrographic, geochemical, geochronological and isotopic similarities with the rocks known as the Pouso Alegre Complex, thus suggesting that part of the city's basement is part of the same complex;

- Based on the Sm-Nd isotopic data, an isochron of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ was established in an attempt to restrict the crystallization ages of the protoliths of the metamafic rocks, obtaining age of 1962 ± 109 Ma ($n = 4$, MWSD = 10);

- The geochemistry of the metamafic rocks, which shows MORB-type signatures, suggests that the protoliths of these rocks were generated on the ocean floor and volcanic arcs;

- The metamorphic lenses hosted by the gneisses show disequilibrium textures, such as Anf-plagioclase rims around garnet and symplectites of plagioclase and clinopyroxene, suggesting that they are retroeclogites or even high-pressure granulites. This is the first time that rocks of this nature have been described in the basement of the Southern Brasília Orogen;

- The clinopyroxene-garnet amphibolites show U-Pb ages in rutile of 626 ± 11 to 629 ± 3 Ma for the high-grade metamorphism recorded in these rocks. The event is synchronous with other occurrences of high-grade rocks recorded in the Southern Brasília Orogen (Coelho et al. 2017, Rocha et al. 2017, 2018, Tedeschi et al. 2017).

Studies to characterize and quantify the metamorphism are being carried out in order to better understand the pressure and temperature conditions acting during the tectonic processes in this region.

Acknowledgements

This work was made possible thanks to a scholarship provided by CAPES to LPBO. The authors would also like to thank the staff of the Isotopic Geology Laboratory and the Geochemistry Laboratory, both at UNICAMP, and the Isotopic Chemistry Laboratory of the Geochronology Research Center at USP.

References

- Agrawal S, Guevara M, Verma S (2008) Tectonic discrimination of basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements. *Int Geol Review* 50: 1057-1079.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. In: SGB Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande. Atas. P. 363-391.
- Amaral, W.S., Santos, F. H., Bravo, J.C.S., Fedel, H.S., Luvizotto, G. L., Godoy, D.F. 2019. U Pb zircon ages and metamorphic conditions of mafic granulites from the basement of the southern Brasília Orogen, Campinas-SP region. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 92, p.184-196.
- Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Bergmann, M. Figueiredo, M.C.H. 1986. Geologia da Folha Amparo (SP), 1:50.000. Relatório Final, Convenio IG-USP/PRÓ-MINÉRIO, v.1, 109p.
- Brito Neves, B.B., Campos Neto, M.C., Fuck, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage. *Episodes* 22, p. 155-166.
- Campos Neto, M.C. 1991. A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande – Ensaio de Evolução Tectônica. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 210p.
- Campos Neto, M.C. 2000. Orogenic System from southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A., (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil, p. 335-365.
- Campos Neto, M.C., Caby, R., 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics* 19, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C. Basei, M.A., Vlach, S.R.F., Caby, R., Szabó, A.J., Vasconcelos, P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Cráton São Francisco, SE-Brasil. *Geologia USP, Série Científica* 4 (1), p. 13-40.

- Campos Neto, M.C., Caby, R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: Petrological and structural constraints. *Tectonics* 14, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Janasi, V.A., Moraes, R. 2011. Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe System: An Ediacaran western Gondwana collage, south São Francisco craton. *Journal of South America Earth Sciences* 32, p. 393-406.
- Cioffi, C.R., 2016. Processos de acreção e retrabalhamento continental no embasamento do Orógeno Brasília meridional. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 198p.
- Cioffi, C.R., Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016a. Paleoproterozoic continental crust generation events at 2.15 and 2.08 Ga in the basement of the southern Brasília Orogen, SE Brazil. *Precambrian Research*. 275, p. 176–196.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016b. Tectonic significance of the meso-to neoproterozoic complexes in the basement of the southern Brasília orogen. *Precambrian Res.* 287, 91–107.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2019. Titanite petrochronology of the southern Brasília Orogen basement: Effects of retrograde net-transfer reactions on titanite trace elements composition. *Lithos*, 344-345, 393-408.
- Choudhuri, A., Fiori, A.P., Winters, A.A.M., Bettencourt, J.S., Rodrigues, J.E., 1978. A note on small bodies of eclogite as inclusions in high grade gneisses north of Pouso Alegre, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências* 8, p.63–68.
- Coelho, M.B., Trouw, R.A.J., Ganade, C.E., Vinagre, R., Mendes, J.C., Sato, K., 2017. Constraining timing and P-T conditions of continental collision and late overprinting in the southern Brasília Orogen (SE-Brazil): U-Pb zircon ages and geothermobarometry of the Andrelândia Nappe system. *Precambrian Research* 292, p.194–215.
- Cotta, A.J.B., Enzweiler, J. 2012. Classical and New Procedures of Whole Rock Dissolution for the Trace Element Determination by ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research*, v. 36, p. 27-50.
- Cox, K. G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J. 1979, *The interpretation of igneous rocks*. London, Allen & Unwin, 450p.
- Ebert, H. 1968. Ocorrências da fácies granulíticas no sul do estado de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 40, p. 215-229.
- Garcia, M.G.M., Campos Neto, M.C., 2003. Contrasting metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related Nappes south of Sao Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 15 (8), p.853–870.
- Haldar, S.K. 2020. Metamorphic rocks. In: Haldar, S.K. *Introduction to Mineralogy and Petrology*. [s.l.] Elsevier, pp. 269-289.

- Hasui, Y., Oliveira, M.A.F. 1984. Provincia Mantiqueira setor central. In: Almeida & Hasui (Coords.) O Pré Cambriano do Brasil, Edgar Blucher, p. 308-344.
- Janoušek, V., Farrow, C. M. & Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47(6):1255-1259
- Luvizotto, G. L., 2003. Caracterização Metamórfica das rochas do grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 185p.
- Magaldi, T. T., Navarro, M. S., Enzweiler, J. 2018. Assessment of dissolution of silicate rock reference materials with ammonium bifluoride and nitric acid in a microwave oven. *Geostandards and geoanalytical research*, v. 43, n. 1, p. 189-208.
- MacLean, W. H., Barrett, T. J. 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of geochemical exploration*, 48(2), 109-133.
- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem Geol* 56: 207-218
- Morais, S.M. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Integração Geológica da Folha Campinas. 1:250.000 SF-23-Y-A. Estados de São Paulo e Minas Gerais. São Paulo – CPRM, 26p.
- Müntener, O., Kelemen, P.B., Grove, T.L. 2001. The role of H₂O during crystallization of primitive arc magmas under uppermost mantle conditions and genesis of igneous pyroxenites: an experimental study. *Contrib Mineral Petrol* 141, p. 643–658.
- Navarro, M.S., ToNeto, E.M., Oliveira, E. P. 2015. LA-SF-ICP-MS U-Pb zircon dating at University of Campinas, Brazil. In: *Geoanalysis*, Leoben.
- Navarro, M. S., ToNeto, E. M., Oliveira, E. P. 2017. Peixe zircon: new Brazilian reference material for U-Pb geochronology by LA-SF-ICP-MS. *Goldschmidt Abstract*.
- Oliveira, M.A.F., Negri, F.A., Zanardo, A., Morales, N. 2019. Archean and paleoproterozoic crust generation events, Amparo complex and Serra Negra orthogneiss in southern Brasília Orogen, SE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 90, p.137–154.
- Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A., Maas, R., 2010. Improved laser ablation U–Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (G3), 11.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., & Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal Of Petrology*, 25(4), 956–983.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100, 14–48.
- Pearce J.A. 2014. Immobile Elements Fingerprinting of Ophiolites. *Elements*, 10(2), 101-108.

- Reno, B.L., Brown, M., Kobayashi, K., Nakamura, E., Piccoli, P.M., Trouw, R.A.J., 2009. Eclogite-high-pressure granulite metamorphism records early collision in west Gondwana: new data from the southern Brasília Belt, Brazil. *Journal of the Geological Society* 166, p. 1013–1032.
- Reno, B.L., Piccoli, P.M., Brown, M., Trouw, R.A.J. 2012. In situ monazite (U-Th)-Pb ages from the Southern Brasília Belt, Brazil: constraints on the high-temperature retrograde evolution of the HP granulites. *Journal of Metamorphic Geology* 30, p. 81–112.
- Rocha, B.C., 2016. Idade, duração e condições P-T do metamorfismo de temperatura ultra-alta, anatexia e cristalização de fundido na nappe Socorro-Guaxupé. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 229p.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R., Jercinovic, M.J. 2016. Timing of anatexis and melt crystallization in the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil: insights from trace element composition of zircon, monazite and garnet coupled to U-Pb geochronology. *Lithos* 277, p. 337–355.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R. 2018. Magmatic inheritance vs. UHT metamorphism: Zircon petrochronology of granulites and petrogenesis of charnockitic leucosomes of the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil. *Lithos* 314–315, p. 16–39.
- Rollinson, H.R. 1993. *Using Geochemical data*. Essex, England: Longman Scientific & Technical, New York: John Wiley & Sons, Inc., 352p.
- Ross P.S, Bédard L.P. 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Can J Earth Sci* 46: 823–839
- Saccani, E., 2015. A new method of discriminating different types of post-Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th-Nb and Ce-Dy-Yb systematics. *Geosci. Front.* 6 (4), 481–501.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ, London, pp. 313–345.
- Tassinari, C.C.G., Campos Neto, M.C. 1988. Precambrian continental crust evolution of southeastern São Paulo State – Brazil: Based on isotopic evidences. *Geochemica Brasiliensis*. 2 (2), p. 175–183.
- Tassinari, C.C.G., Nutman, A.P. 2001. Archean and Proterozoic multiple tectonothermal events recorded by gneiss in Amparo region, São Paulo state, Brazil. 3rd South American Symposium on Isotope Geology (Extend Abstract, CD-ROM).
- Tedeschi, M., Lanari, P., Rubatto, D., Pedrosa-Soares, A., Hermann, J., Dussin, I., Pinheiro, M.A.P., Bouvier, A.S., Baumgartner, L. 2017. Reconstruction of multiple P-T-t stages from retrogressed mafic rocks: Subduction versus collision in the Southern Brasília orogen (SE Brazil). *Lithos*, 294–295, p. 283–303.

- Trouw, R.A.J, Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M., Andreis, R.R. 2000. The central segment of Ribeira Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 287-310.
- Trouw, C.C., 2008. Mapeamento da Folha Virgínia–MG, Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircões e interpretação geotectônica. Dissertação (Doutorado). Universidade do Rio de Janeiro, 127p.
- Trouw, R.A.J, Peternel, R., Ribeiro, A., Heilbron, M., Vinagre, R., Duffles, P., Trouw, C.C., Fontainha, M.; Kussama, H.H. 2013. A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *J.South Am. Earth Science*, 48, 43-57.
- Valeriano, C.M., Machado, N., Simonetti, A., Valladares, C.S. Seer, H.J., Simões, L.S.A. 2004. U-Pb geochronology of the Southeast Brasília Belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny, and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research* 130, p. 27-55.
- Vendemiatto, M. A., Enzweiler J. 2001. Routine control of accuracy in silicate rock analysis by X-ray fluorescence spectrometry. *Geostandards Newsletter*, v. 25, n.2, pp. 283-291.
- Whitney, D. L., Evans, B. W. 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, volume 95, p.185-187.

4. CAPÍTULO 4 - SÍNTESE DOS RESULTADOS

O Orógeno Brasília Sul apresenta registros da colisão neoproterozoica entre os paleocontinentes São Francisco e Paranapanema, na qual são gerados cavalgamentos sobre um embasamento de idade arqueana e paleoproterozoica. Parte do embasamento aflora através de uma janela estrutural com direção NE posicionada entre os lobos da *Nappe* Socorro-Guaxupé, sobre a qual está posicionada a cidade de Campinas.

O presente trabalho buscou investigar parte das rochas pertencentes ao embasamento Pré-Cambriano encontradas dentro do município, buscando levantar informações acerca da evolução tectono-metamórfica da porção sul do Orógeno Brasília. Dados geoquímicos, geocronológicos, petrográficos e isotópicos foram obtidos para três distintos litotipos: granulito enderbítico, clinopiroxênio-granada anfíbolitos e um gnaiss de composição granodiorítica, que hospeda os dois primeiros litotipos.

Os ortognaisses e granulitos descritos na faixa central do município de Campinas apresentam similaridades petrográficas, geoquímicas, geocronológicas e isotópicas com as rochas entendidas como Complexo Pouso Alegre, definido por Cioffi et al. (2016a, 2016b, 2019), sugerindo-se assim que parte do embasamento da cidade seja parte do mesmo complexo. Estas rochas remontam a formação do Cráton São Francisco, durante o Paleoproterozoico, onde uma série de arcos magmáticos foram acrescidos a margem sul do paleocontinente.

As lentes metamáficas hospedadas pelos gnaisses apresentam texturas de desequilíbrio, como coronas de plagioclásio ao redor de granada e simplectitos de plagioclásio e clinopiroxênio, sugerindo se tratar de retroeclogitos ou ainda granulitos de alta pressão, pela primeira vez descritos dentro do embasamento, que teriam passado por evento metamórfico em 629 ± 3 Ma, idade síncrona a outras ocorrências de rochas de alto grau registradas no Orógeno Brasília Sul (Coelho et al. 2017, Rocha et al. 2017, 2018, Tedeschi et al. 2017).

Referências

- Cioffi, C.R., Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016a. Paleoproterozoic continental crust generation events at 2.15 and 2.08 Ga in the basement of the southern Brasília Orogen, SE Brazil. *Precambrian Research*. 275, p. 176–196.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016b. Tectonic significance of the meso-to neoproterozoic complexes in the basement of the southern Brasília orogen. *Precambrian Res.* 287, 91–107.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2019. Titanite petrochronology of the southern Brasília Orogen basement: Effects of retrograde net-transfer reactions on titanite trace elements composition. *Lithos*, 344-345, 393-408.
- Coelho, M.B., Trouw, R.A.J., Ganade, C.E., Vinagre, R., Mendes, J.C., Sato, K., 2017. Constraining timing and P-T conditions of continental collision and late overprinting in the southern Brasília Orogen (SE-Brazil): U-Pb zircon ages and geothermobarometry of the Andrelândia Nappe system. *Precambrian Research* 292, p.194–215.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R., Jercinovic, M.J. 2017. Timing of anatexis and melt crystallization in the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil: insights from trace element composition of zircon, monazite and garnet coupled to U-Pb geochronology. *Lithos* 277, p. 337–355.
- Tedeschi, M., Lanari, P., Rubatto, D., Pedrosa-Soares, A., Hermann, J., Dussin, I., Pinheiro, M.A.P., Bouvier, A.S., Baumgartner, L. 2017. Reconstruction of multiple P-T-t stages from retrogressed mafic rocks: Subduction versus collision in the Southern Brasília orogen (SE Brazil). *Lithos*, 294-295, p. 283–303.

Referências

- Agrawal S, Guevara M, Verma S (2008) Tectonic discrimination of basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements. *Int Geol Review* 50: 1057-1079.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. In: SGB Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande. Atas. P. 363-391.
- Amaral, W.S., Santos, F. H., Bravo, J.C.S., Fedel, H.S., Luvizotto, G. L., Godoy, D.F. 2019. U Pb zircon ages and metamorphic conditions of mafic granulites from the basement of the southern Brasília Orogen, Campinas-SP region. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 92, p.184-196.
- Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Bergmann, M. Figueiredo, M.C.H. 1986. Geologia da Folha Amparo (SP), 1:50.000. Relatório Final, Convenio IG-USP/PRÓ-MINÉRIO, v.1, 109p.
- Brito Neves, B.B., Campos Neto, M.C., Fuck, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage. *Episodes* 22, p. 155-166.
- Campos Neto, M.C. 1991. A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande – Ensaio de Evolução Tectônica. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 210p.
- Campos Neto, M.C. 2000. Orogenic System from southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A., (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil, p. 335-365.
- Campos Neto, M.C., Caby, R., 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics* 19, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C. Basei, M.A., Vlach, S.R.F., Caby, R., Szabó, A.J., Vasconcelos, P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Cráton São Francisco, SE-Brasil. *Geologia USP, Série Científica* 4 (1), p. 13-40.
- Campos Neto, M.C., Caby, R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: Petrological and structural constraints. *Tectonics* 14, p. 669-687.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Janasi, V.A., Moraes, R. 2011. Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe System: An Ediacaran western Gondwana collage, south São Francisco craton. *Journal of South America Earth Sciences* 32, p. 393-406.
- Cioffi, C.R., 2016. Processos de acreção e retrabalhamento continental no embasamento do Orógeno Brasília meridional. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 198p.

- Cioffi, C.R., Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016a. Paleoproterozoic continental crust generation events at 2.15 and 2.08 Ga in the basement of the southern Brasília Orogen, SE Brazil. *Precambrian Research*. 275, p. 176–196.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2016b. Tectonic significance of the meso-to neoarchean complexes in the basement of the southern Brasília orogen. *Precambrian Res.* 287, 91–107.
- Cioffi, C.R. Campos Neto, M.C., Möller, A., Rocha, B.C. 2019. Titanite petrochronology of the southern Brasília Orogen basement: Effects of retrograde net-transfer reactions on titanite trace elements composition. *Lithos*, 344-345, 393-408.
- Choudhuri, A., Fiori, A.P., Winters, A.A.M., Bettencourt, J.S., Rodrigues, J.E., 1978. A note on small bodies of eclogite as inclusions in high grade gneisses north of Pouso Alegre, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociencias* 8, p.63–68.
- Coelho, M.B., Trouw, R.A.J., Ganade, C.E., Vinagre, R., Mendes, J.C., Sato, K., 2017. Constraining timing and P-T conditions of continental collision and late overprinting in the southern Brasília Orogen (SE-Brazil): U-Pb zircon ages and geothermobarometry of the Andrelândia Nappe system. *Precambrian Research* 292, p.194–215.
- Cotta, A.J.B., Enzweiler, J. 2012. Classical and New Procedures of Whole Rock Dissolution for the Trace Element Determination by ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research*, v. 36, p. 27-50.
- Cox, K. G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J. 1979, *The interpretation of igneous rocks*. London, Allen & Unwin, 450p.
- Ebert, H. 1968. Ocorrências da fácies granulíticas no sul do estado de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 40, p. 215-229.
- Garcia, M.G.M., Campos Neto, M.C., 2003. Contrasting metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related Nappes south of Sao Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 15 (8), p.853–870.
- Haldar, S.K. 2020. Metamorphic rocks. In: Haldar, S.K. *Introduction to Mineralogy and Petrology*. [s.l.] Elsevier, pp. 269-289.
- Hasui, Y., Oliveira, M.A.F. 1984. Provincia Mantiqueira setor central. In: Almeida & Hasui (Coords.) *O Pré Cambriano do Brasil*, Edgar Blucher, p. 308-344.
- Hoppe, A., Choudhuri, A., Klein, H., Schmidt, W., 1989. Precambrian eclogites from Minas Gerais, Brazil. *International Geological Congress, Washington*, p. 68–69.
- Hoppe, A., Klein, H., Choudhuri, A., Schmidt, W., 1985. Eclogitos pré-cambrianos no sudoeste de Minas Gerais. *Simpósio de Geologia de Minas Gerais. SBG/Núcleo Minas Gerais*, Belo Horizonte, p. 180–192.

- Janoušek, V., Farrow, C. M. & Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47(6):1255-1259.
- Leme, T.G., Navarro, G.R.B., Zanardo, A., Montibeller., 2019. Petrografia, Química Mineral e Geotermobarometria de Retroeclogitos no Grupo Araxá na Região da Zona de Cisalhamento Varginha, Sudoeste de Minas Gerais. *Revista Geociências Unesp, São Paulo*, v.38, n.2, p.297-313.
- Luvizotto, G. L., 2003. Caracterização Metamórfica das rochas do grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 185p.
- Magaldi, T. T., Navarro, M. S., Enzweiler, J. 2018. Assessment of dissolution of silicate rock reference materials with ammonium bifluoride and nitric acid in a microwave oven. *Geostandards and geoanalytical research*, v. 43, n. 1, p. 189-208.
- MacLean, W. H., Barrett, T. J. 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of geochemical exploration*, 48(2), 109-133.
- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem Geol* 56: 207-218
- Morais, S.M. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Integração Geológica da Folha Campinas. 1:250.000 SF-23-Y-A. Estados de São Paulo e Minas Gerais. São Paulo – CPRM, 26p.
- Müntener, O., Kelemen, P.B., Grove, T.L. 2001. The role of H₂O during crystallization of primitive arc magmas under uppermost mantle conditions and genesis of igneous pyroxenites: an experimental study. *Contrib Mineral Petrol* 141, p. 643–658.
- Navarro, M.S., ToNeto, E.M., Oliveira, E. P. 2015. LA-SF-ICP-MS U-Pb zircon dating at University of Campinas, Brazil. In: *Geoanalysis*, Leoben.
- Navarro, M. S., ToNeto, E. M., Oliveira, E. P. 2017. Peixe zircon: new Brazilian reference material for U-Pb geochronology by LA-SF-ICP-MS. *Goldschmidt Abstract*.
- Oliveira, M.A.F., Negri, F.A., Zanardo, A., Morales, N. 2019. Archean and paleoproterozoic crust generation events, Amparo complex and Serra Negra orthogneiss in southern Brasília Orogen, SE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 90, p.137–154.
- Oliveira, L.P.B. 2021. Mapeamento geológico e caracterização petro-estrutural da porção central do embasamento Pré-Cambriano do município de Campinas-SP. TCC. Universidade Estadual de Campinas, 56p
- Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A., Maas, R., 2010. Improved laser ablation U–Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (G3), 11.

- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., & Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal Of Petrology*, 25(4), 956–983.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100, 14–48.
- Pearce J.A. 2014. Immobile Elements Fingerprinting of Ophiolites. *Elements*, 10(2), 101-108.
- Reno, B.L., Brown, M., Kobayashi, K., Nakamura, E., Piccoli, P.M., Trouw, R.A.J., 2009. Eclogite-high-pressure granulite metamorphism records early collision in west Gondwana: new data from the southern Brasília Belt, Brazil. *Journal of the Geological Society* 166, p. 1013–1032.
- Reno, B.L., Piccoli, P.M., Brown, M., Trouw, R.A.J. 2012. In situ monazite (U-Th)-Pb ages from the Southern Brasília Belt, Brazil: constraints on the high-temperature retrograde evolution of the HP granulites. *Journal of Metamorphic Geology* 30, p. 81-112.
- Rocha, B.C., 2016. Idade, duração e condições P-T do metamorfismo de temperatura ultra-alta, anatexia e cristalização de fundido na nappe Socorro-Guaxupé. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 229p.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R., Jercinovic, M.J. 2016. Timing of anatexis and melt crystallization in the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil: insights from trace element composition of zircon, monazite and garnet coupled to U-Pb geochronology. *Lithos* 277, p. 337–355.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R., Jercinovic, M.J. 2017. Timing of anatexis and melt crystallization in the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil: insights from trace element composition of zircon, monazite and garnet coupled to U-Pb geochronology. *Lithos* 277, p. 337–355.
- Rocha, B.C., Moraes, R., Möller, A., Cioffi, C.R. 2018. Magmatic inheritance vs. UHT metamorphism: Zircon petrochronology of granulites and petrogenesis of charnockitic leucosomes of the Socorro-Guaxupé nappe, SE Brazil. *Lithos* 314-315, p. 16–39.
- Rollinson, H.R. 1993. Using Geochemical data. Essex, England: Longman Scientific & Technical, New York: John Willey & Sons, Inc., 352p.
- Ross P.S, Bédard L.P. 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Can J Earth Sci* 46: 823-839
- Saccani, E., 2015. A new method of discriminating different types of post-Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th-Nb and Ce-Dy-Yb systematics. *Geosci. Front.* 6 (4), 481–501.
- Santos, C.A., Luvizotto, G.L., Moraes, R., Fumes, R.A., Zack, T. 2021. Metamorphism of retroeclogites from the Passos Nappe, Southern Brasília Orogen. *J. South Am. Earth Sci.* 112.

- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ, London, pp. 313–345.
- Tassinari, C.C.G., Campos Neto, M.C. 1988. Precambrian continental crust evolution of southeastern São Paulo State – Brazil: Based on isotopic evidences. *Geochemica Brasiliensis*. 2 (2), p. 175-183.
- Tassinari, C.C.G., Nutman, A.P. 2001. Archean and Proterozoic multiple tectonothermal events recorded by gneiss in Amparo region, São Paulo state, Brazil. 3rd South American Symposium on Isotope Geology (Extend Abstract, CD-ROM).
- Tedeschi, M., Lanari, P., Rubatto, D., Pedrosa-Soares, A., Hermann, J., Dussin, I., Pinheiro, M.A.P., Bouvier, A.S., Baumgartner, L. 2017. Reconstruction of multiple P-T-t stages from retrogressed mafic rocks: Subduction versus collision in the Southern Brasília orogen (SE Brazil). *Lithos*, 294-295, p. 283–303.
- Trouw, R.A.J, Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M., Andreis, R.R. 2000. The central segment of Ribeira Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 287-310.
- Trouw, C.C., 2008. Mapeamento da Folha Virgínia–MG, Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircões e interpretação geotectônica. Dissertação (Doutorado). Universidade do Rio de Janeiro, 127p.
- Trouw, R.A.J, Peternel, R., Ribeiro, A., Heilbron, M., Vinagre, R., Duffles, P., Trouw, C.C., Fontainha, M.; Kussama, H.H. 2013. A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *J.South Am. Earth Science*, 48, 43-57.
- Valeriano, C.M., Machado, N., Simonetti, A., Valladares, C.S. Seer, H.J., Simões, L.S.A. 2004. U-Pb geochronology of the Southeast Brasília Belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny, and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research* 130, p. 27-55.
- Vendemiato, M. A., Enzweiler J. 2001. Routine control of accuracy in silicate rock analysis by X-ray fluorescence spectrometry. *Geostandards Newsletter*, v. 25, n.2, pp. 283-291.
- Whitney, D. L., Evans, B. W. 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, volume 95, p.185-187.

ANEXO I: RESULTADOS ANALÍTICOS DE LITOGEOQUÍMICA

Amostra	LM 01A	LM 01B	LM 02	LM 03A	LM 03B	LM 04A	LM 04B	LM 04C	LM 06	LM 05	PJ 10	PJ 16	LM 07	LM 08	LM 09	P3- 10B1
	Clinopiroxênio-granada anfibolito									Granulito			Biotita gnaiss			
%																
SiO2	42.27	43.44	46.41	45.52	45.00	41.83	41.22	42.66	44.82	62.55	64.74	65.54	64.37	66.65	67.58	68.52
TiO2	4.185	3.963	1.892	3.936	1.815	2.687	3.092	3.402	2.585	0.662	0.511	0.446	0.689	0.643	0.599	0.361
Al2O3	15.42	15.23	18.13	15.47	17.19	16.39	16.87	17.33	15.97	15.5	16.14	16.36	14.57	15.33	15.28	15.9
FeOt	17.77	17.95	14.64	16.22	14.82	17.96	18.7	17.86	17.57	6.12	4.51	3.92	6.87	5.83	5.01	2.93
MnO	0.22	0.20	0.14	0.19	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	1.22	0.07	0.07	0.11	0.07	0.06	0.04
MgO	6.15	6.14	5.10	6.21	7.23	7.09	6.29	5.53	5.72	2.93	2.21	1.96	2.79	1.11	1.33	1.39
CaO	11.37	10.40	9.47	10.73	11.49	11.28	11.52	10.54	10.26	5.06	4.48	4.22	4.67	3.16	3.04	3.48
Na2O	1.91	2.18	3.33	1.09	1.40	1.74	1.66	2.04	2.04	4.10	4.67	4.78	3.06	4.14	4.46	4.48
K2O	0.26	0.32	0.38	0.39	0.43	0.30	0.29	0.24	0.42	2.04	1.62	1.89	1.81	2.23	1.65	2.28
P2O5	0.02	0.02	0.22	0.03	0.03	0.08	0.04	0.35	0.10	0.17	0.16	0.15	0.22	0.18	0.14	0.13
Total	99,575	99,843	99,712	99,786	99,555	99,527	99,862	100,122	99,665	100,352	99,111	99,336	99,159	99,343	99,149	99,511
LOI	0.21	-0.03	0.09	0.04	0.23	0.00	-0.07	-0.31	0.13	0.56	0.71	0.47	0.64	0.46	0.66	0.28
ppm																
Ba	136	48.6	146	19.1	22.1	32.0	45.3	57.3	127	457	498	668	339	634	580	750
Be	0.28	0.35	0.51	0.61	0.68	0.30	0.24	0.31	0.36	1.26	0.99	1.00	1.02	2.39	1.08	1.43
Cd	0.08	0.07	0.05	0.07	0.04	0.09	0.08	0.03	0.07	0.08	0.03	0.08	0.06	0.09	0.07	0.08
Ce	4.44	3.93	15.9	3.10	3.77	12.1	6.63	10.6	7.96	48.6	46.0	32.4	54.9	73.1	98.6	26.1
Co	89.4	79.3	59.0	65.3	57.8	72.7	65.7	62.0	60.9	14.8	10.2	9.56	14.0	7.87	8.79	6.15
Cr	25.9	49.6	60.3	43.3	246	45.5	17.1	12.2	15.3	46.3	28.5	23.7	65.6	32.1	41.1	27.7
Cs	0.70	0.36	0.18	0.21	0.13	0.08	0.24	0.30	0.46	2.44	0.48	1.87	1.79	3.34	2.17	1.31
Cu	151	105	67.3	385	37.7	105	121	65.8	125	27.4	6.8	20.7	23.7	9.2	15.3	18.6
Dy	1.84	1.59	3.18	1.51	1.61	1.87	1.92	2.18	2.55	4.26	2.02	2.09	5.18	4.59	5.52	1.09
Er	1.03	0.97	1.71	0.90	0.90	1.01	1.05	1.11	1.43	2.47	0.98	1.16	2.86	2.18	2.82	0.49
Eu	0.85	0.74	1.54	0.62	0.70	0.80	0.89	1.12	0.93	1.03	0.91	0.88	1.09	1.52	1.10	0.83
Ga	17.1	15.6	19.5	14.9	18.6	14.8	15.0	15.6	15.1	16.5	14.4	14.8	14.2	19.6	18.0	17.2
Gd	2.18	1.29	3.61	1.06	1.23	1.72	1.61	2.14	2.74	5.85	2.60	2.70	6.14	7.76	7.39	2.00
Hf	0.47	0.50	0.89	0.62	0.49	0.68	0.71	0.59	0.98	3.11	2.83	2.11	5.90	6.52	5.86	2.80
Ho	0.36	0.32	0.59	0.30	0.32	0.36	0.37	0.41	0.50	0.83	0.35	0.39	0.98	0.81	1.03	0.18
La	1.84	1.55	6.87	1.22	1.49	4.76	2.63	4.00	2.97	22.30	21.3	14.6	23.0	38.1	42.8	15.1
Li	11.0	10.6	15.3	12.8	13.8	21.2	8.31	10.2	20.1	21.7	10.9	31.0	23.5	30.9	38.6	17.5
Lu	0.13	0.13	0.21	0.13	0.12	0.13	0.14	0.13	0.18	0.35	0.13	0.16	0.38	0.27	0.31	0.07
Mo	0.91	0.55	0.59	0.57	0.32	0.62	0.50	0.55	0.58	1.92	0.77	0.52	1.25	0.79	1.49	0.44
Nb	1.76	0.73	2.12	1.59	0.65	1.75	1.63	2.65	2.04	7.02	3.35	3.39	7.50	10.1	5.53	4.01
Nd	3.34	2.80	10.71	2.34	2.99	7.17	4.39	7.23	5.82	21.8	19.4	15.3	26.2	37.9	42.6	13.9
Ni	30.2	38.8	35.3	63.5	60.2	47.7	23.3	30.7	36.1	22.9	14.7	16.7	32.3	9.37	59.8	14.7
Pb	2.05	0.83	1.65	1.10	1.08	2.22	1.21	0.23	1.06	9.67	6.07	10.4	6.41	11.3	10.4	10.2
Pr	0.62	0.51	2.19	0.41	0.52	1.48	0.85	1.37	1.08	5.20	4.85	3.58	6.15	8.98	10.5	3.37
Rb	7.65	17.0	7.62	4.53	4.47	3.65	4.69	4.68	10.3	67.5	35.6	50.2	50.0	80.7	78.2	45.2
Sb	0.08	0.05	0.04	0.04	0.01	0.05	0.06	0.06	0.05	0.02	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
Sc	51.8	43.6	22.6	39.4	30.5	27.1	31.4	20.7	29.4	10.6	6.73	5.01	12.5	10.2	8.46	3.49
Sm	1.16	0.92	2.91	0.84	1.01	1.80	1.34	1.98	1.83	4.37	3.56	2.89	5.65	7.08	7.83	2.42
Sn	0.20	0.23	0.32	0.33	0.23	0.27	0.23	0.13	0.21	1.25	0.70	1.17	0.90	0.55	0.25	1.08
Sr	230	178	364	126	222	165	149	188	155	336	436	572	196	201	339	393
Ta	0.10	0.01	0.14	0.11	0.08	0.14	0.14	0.21	0.15	0.59	0.17	0.28	0.56	0.72	0.16	0.24
Tb	0.28	0.24	0.55	0.23	0.25	0.32	0.30	0.37	0.41	0.72	0.40	0.37	0.90	0.87	0.95	0.23
Th	0.07	0.02	0.36	0.04	0.02	0.48	0.28	0.20	0.12	5.99	5.47	2.90	6.10	6.29	10.3	1.97
Tm	0.14	0.14	0.22	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.19	0.35	0.13	0.17	0.39	0.29	0.36	0.07
U	0.18	0.09	0.28	0.10	0.11	0.22	0.17	0.13	0.11	2.57	0.60	0.41	2.04	0.84	1.08	1.44
V	205	230	166	343	281	408	369	152	371	71.2	43.2	34.3	73.9	30.5	32.1	25.6
Y	10.8	9.32	17.7	8.56	8.58	9.66	10.0	10.8	13.3	23.8	9.89	11.6	27.0	22.1	28.9	5.65
Yb	0.89	0.89	1.43	0.84	0.84	0.93	0.94	0.90	1.24	2.34	0.87	1.09	2.53	1.84	2.22	0.45
Zn	75.9	73.4	72.0	77.2	75.3	70.3	69.9	58.7	70.7	60.5	38.8	50.0	45.0	74.3	65.7	56.2
Zr	18.6	16.5	32.8	17.7	13.0	22.1	22.7	19.7	35.5	111	114	82.9	227	240	213	104
Na2O/K2O	7.3	6.8	8.8	2.8	3.3	5.8	5.7	8.5	4.9	2.0	2.9	2.5	1.7	1.9	2.7	2.0
Na2O+K2O	2.2	2.5	3.7	1.5	1.8	2.0	2.0	2.3	2.5	6.1	6.3	6.7	4.9	6.4	6.1	6.8
La/Yb	2.07	1.74	4.82	1.45	1.78	5.13	2.79	4.44	2.39	9.52	24.46	13.43	9.10	20.70	19.27	33.52
La/Sm	1.58	1.70	2.36	1.46	1.48	2.65	1.96	2.02	1.63	5.11	6.00	5.05	4.08	5.38	5.47	6.24
Gd/Yb	2.46	1.45	2.53	1.26	1.47	1.85	1.71	2.37	2.21	2.50	2.98	2.48	2.43	4.21	3.33	4.44

ANEXO II: ANÁLISES DE U-PB EM ZIRCÃO OBTIDOS POR LA-SF-ICP-MS

Em azul, spots que foram utilizados no cálculo da idade discórdia

Spot	f^{206} (%)								$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$								Idades (Ma) ¹						% conc ²
		U		Th		Pb		Th/U															
		($\mu\text{g.g}^{-1}$)	2se	($\mu\text{g.g}^{-1}$)	2se	($\mu\text{g.g}^{-1}$)	2se	calculada			2s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2s	
LW-05B																							
LW-05B1	0,02	640,5	35,5	452,8	22,1	499,4	27,5	0,71	106223	0,1268	0,0019	6,866	0,107	0,3871	0,0072	0,63	2053	27	2109	34	2094	14	103
LW-05B2	0,33	128,8	6,6	5,7	0,5	1,1	0,3	0,04	5696	0,0567	0,0032	0,786	0,041	0,1013	0,0032	0,15	479	125	622	19	589	23	106
LW-05B3	0,14	80,8	3,4	8,6	0,5	8,4	0,8	0,11	13832	0,1245	0,0033	6,856	0,195	0,3699	0,0100	0,56	2021	47	2029	47	2093	25	100
LW-05B5	0,95	66,8	6,5	3,8	0,4	1,0	0,3	0,06	1978	0,0489	0,0360	0,608	0,048	0,0686	0,0034	0,00	142	1728	428	21	482	30	89
LW-05B6	0,45	95,4	2,0	3,5	0,3	0,3	0,1	0,04	4145	0,0601	0,0026	0,837	0,034	0,0976	0,0026	0,26	606	94	600	15	617	19	97
LW-05B7	0,16	70,5	5,7	27,5	1,4	29,5	1,8	0,39	11340	0,1265	0,0037	6,544	0,169	0,3703	0,0097	0,36	2049	52	2031	46	2052	23	99
LW-05B8	0,52	93,2	7,1	15,5	0,7	0,7	0,2	0,17	3608	0,0623	0,0034	0,692	0,031	0,0810	0,0027	0,25	683	117	502	16	534	19	94
LW-05B10	0,17	265,5	10,9	8,0	0,4	9,7	1,1	0,03	10946	0,0778	0,0025	1,058	0,032	0,0956	0,0026	0,30	1141	64	589	15	733	16	80
LW-05B11	0,02	763,4	43,1	258,7	14,1	161,7	14,4	0,34	90033	0,1216	0,0019	5,024	0,109	0,2870	0,0073	0,80	1979	28	1627	37	1823	19	82
LW-05B12	0,16	258,6	9,2	46,0	1,9	15,3	1,1	0,18	11506	0,0723	0,0020	1,169	0,035	0,1136	0,0025	0,50	993	56	694	14	786	16	88
LW-05B13	0,06	225,6	10,2	148,6	9,9	120,2	8,3	0,66	29644	0,1245	0,0020	6,339	0,099	0,3559	0,0054	0,43	2021	29	1963	26	2024	14	97
LW-05B15	0,08	191,8	5,1	131,3	3,4	91,4	3,5	0,68	23395	0,1229	0,0024	5,669	0,103	0,3285	0,0057	0,46	1998	35	1831	28	1927	16	92
LW-05B17	0,03	435,7	23,4	84,2	5,2	76,7	5,6	0,19	58488	0,1232	0,0022	6,092	0,123	0,3490	0,0075	0,66	2002	32	1930	36	1989	18	96
LW-05B18	0,02	2559,8	83,0	26,1	1,3	6,8	0,7	0,01	100626	0,0584	0,0008	0,829	0,015	0,1003	0,0020	0,71	544	30	616	12	613	8	101
LW-05B21	0,05	294,5	13,0	183,2	7,9	169,8	8,0	0,62	35289	0,1191	0,0021	5,460	0,103	0,3302	0,0058	0,53	1942	32	1839	28	1894	16	95
LW-05B22	0,45	128,0	12,4	18,7	1,8	4,3	0,6	0,15	4177	0,0840	0,0100	0,617	0,038	0,0709	0,0028	0,26	1292	232	442	17	488	24	90
LW-05B23	0,58	84,1	2,0	4,7	0,4	1,3	0,3	0,06	3200	0,0673	0,0045	0,905	0,051	0,1031	0,0036	0,08	846	139	633	21	654	27	97
LW-05B27	0,51	40,9	1,4	18,0	0,6	15,5	1,0	0,44	3654	0,1176	0,0047	3,984	0,151	0,2501	0,0074	0,29	1919	72	1439	38	1631	31	75
LW-05B28	0,31	89,6	2,8	35,2	0,9	25,6	1,6	0,39	5954	0,1049	0,0041	2,689	0,107	0,1898	0,0057	0,44	1712	72	1120	31	1325	30	85
LW-05B26	0,02	580,4	23,9	68,1	6,0	69,4	7,9	0,12	77366	0,1235	0,0018	6,379	0,104	0,3665	0,0069	0,65	2007	27	2013	33	2029	15	100
LW-05B31	0,10	183,8	10,1	78,2	4,6	63,8	4,0	0,43	18750	0,1214	0,0027	5,250	0,123	0,2955	0,0062	0,49	1976	40	1669	31	1861	20	84
LW-05B37	0,09	165,5	6,7	73,7	3,2	63,1	3,5	0,45	19888	0,1285	0,0027	6,587	0,135	0,3424	0,0066	0,48	2077	37	1898	32	2058	18	91

ANEXO III: ANÁLISES DE U-PB EM RUTILO OBTIDOS POR LA-SF-ICP-MS

													Idades (Ma)1						%	
Spot	f206 (%)	U (mg.g-1)	2se	Pb (mg.g-1)	2se	206Pb/204Pb	207Pb/206Pb	2s	207Pb/235U	2s	206Pb/238U	2s	Rho	207Pb/206Pb	2s	206Pb/238U	2s	207Pb/235U	2s	conc2
LW45																				
Spot 58	43,67	6,1	0,1	0,2	0,0	43	0,0594	0,0048	0,734	0,053	0,0918	0,0035	0,56	581	88	566	10	559	16	101
Spot 59	60,92	5,0	0,2	1,2	0,1	31	0,0637	0,0134	0,832	0,133	0,0978	0,0042	0,58	731	223	602	12	615	37	98
Spot 61	28,71	7,4	0,1	0,1	0,0	65	0,0573	0,0034	0,780	0,041	0,1039	0,0033	0,56	502	65	637	10	585	12	109
Spot 62	1,83	2,2	0,0	0,3	0,0	1020	0,0647	0,0184	0,831	0,116	0,1026	0,0054	0,69	764	300	630	16	614	32	103
Spot 63	1,96	2,0	0,1	0,3	0,1	952	0,0634	0,0141	0,880	0,115	0,1052	0,0062	0,56	721	236	645	18	641	31	101
Spot 64	75,69	3,1	0,1	0,1	0,0	25	0,0621	0,0076	0,666	0,066	0,0919	0,0039	0,56	677	131	567	12	518	20	109
Spot 65	1,56	3,0	0,1	0,1	0,0	1200	0,0512	0,0071	0,568	0,070	0,0900	0,0041	0,59	249	160	556	12	457	23	122
Spot 68	1,62	2,7	0,1	0,1	0,0	1155	0,0629	0,0078	0,738	0,072	0,0956	0,0046	0,45	704	132	589	14	561	21	105
Spot 69	1,78	2,3	0,0	0,3	0,0	1049	0,0716	0,0158	0,769	0,105	0,0973	0,0048	0,54	974	225	599	14	579	30	103
Spot 70	41,80	6,0	0,1	1,8	0,2	45	0,0573	0,0078	0,776	0,099	0,1019	0,0035	0,57	502	150	626	10	583	28	107
Spot 72	0,82	5,1	0,1	0,1	0,0	2278	0,0600	0,0041	0,813	0,049	0,1007	0,0031	0,51	603	74	619	9	604	14	102
Spot 74	1,33	3,0	0,1	0,5	0,1	1410	0,0645	0,0102	0,860	0,114	0,1038	0,0049	0,50	757	167	637	14	630	31	101
Spot 76	0,90	4,6	0,1	0,6	0,1	2067	0,0574	0,0076	0,766	0,085	0,1005	0,0044	0,56	506	146	617	13	577	24	107
Spot 82	0,81	4,8	0,1	0,5	0,1	2308	0,0630	0,0069	0,856	0,060	0,1060	0,0033	0,34	707	116	649	10	628	16	103
Spot 84	1,34	2,9	0,1	0,3	0,0	1395	0,0591	0,0084	0,786	0,090	0,1062	0,0049	0,67	570	155	651	14	589	26	111
Spot 88	1,60	2,6	0,1	0,1	0,0	1166	0,0577	0,0080	0,803	0,090	0,1045	0,0056	0,56	517	152	641	16	599	25	107
Spot 90	0,39	10,3	0,1	1,1	0,2	4852	0,0568	0,0030	0,829	0,041	0,1052	0,0025	0,20	483	58	645	7	613	11	105
Spot 93	1,35	3,0	0,1	0,8	0,1	1386	0,0624	0,0127	0,747	0,124	0,1012	0,0052	0,51	687	217	621	15	566	36	110

ANEXO IV: TESTE DE MOBILIDADE GEOQUIMICA
(Rb, Ta, Yb, Nb, Th, Sm e La versus Zr)

