

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 24/05/2025.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Campus de Rio Claro
Instituto de Geociências e Ciências Exatas



MARLY APARECIDA DA SILVA

**PETROLOGIA E METALOGENIA DA SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO-
CARIPUNAS NA REGIÃO DO DISTRITO MINEIRO SÃO LOURENÇO-MACISA,
RONDÔNIA.**

Rio Claro – SP
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Marly Aparecida da Silva

**PETROLOGIA E METALOGENIA DA SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO-
CARIPUNAS NA REGIÃO DO DISTRITO MINEIRO SÃO LOURENÇO-MACISA,
RONDÔNIA.**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. George Luiz Luvizotto
Coorientador: Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Júnior

Rio Claro – SP
2023

S586p Silva, Marly Aparecida da
Petrologia e metalogenia da Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas na região do distrito mineiro São Lourenço-Macisa, Rondônia. / Marly Aparecida da Silva. -- Rio Claro, 2023
145 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: George Luiz Luvizotto
Coorientador: Washington Barbosa Leite Júnior

1. Granito rapakivi. 2. Magmatismo bimodal. 3. Província Estanífera de Rondônia. 4. Estanho. 5. Cassiterita. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A Província Estanífera de Rondônia (PER) é reconhecida pelo seu potencial produtivo de estanho. Os depósitos primários e secundários apresentam teores significativos de estanho (Sn), o que tem atraído a atenção do setor mineral em nível nacional e internacional. Em São Lourenço (RO), a extração da cassiterita ocorre de forma legalizada por meio da Cooperativa de Garimpeiros de Mutum-Paraná (COOGAMPA). A região do distrito mineiro São Lourenço-Macisa se destaca das demais áreas da PER e atualmente é a maior produtora de estanho no Brasil.

Esta pesquisa tem por objetivo aprofundar o conhecimento sobre a gênese dos depósitos primários de estanho na Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas (SISLC) através de informações petrológicas e geoquímicas detalhadas. Além disso, colabora com a discussão sobre os processos de interação de magmas de diferentes composições, visto que os trabalhos petrográficos revelaram texturas compatíveis com os processos de *magma mixing*, assim como ocorre nos granitos rapakivi do sul da Finlândia.

Como impacto na academia, é esperado que essa pesquisa seja referenciada por acadêmicos interessados na petrologia e metalogenia de granitos rapakivi e biotita granitos com topázio que hospedam mineralizações de estanho, auxiliando no avanço do conhecimento nessas áreas. Os estudos petrogenéticos e isotópicos ampliaram as discussões sobre os processos de geração e evolução dos magmas e certamente contribuirão para o desenvolvimento de modelos teóricos que busquem compreender melhor o contexto evolutivo da borda sudoeste do Cráton Amazônico.

Na indústria mineral, os impactos dessa pesquisa estão relacionados à exploração de recursos minerais, sobretudo dos depósitos primários de estanho. Compreender a geologia desse tipo de depósito é importante na definição de novos prospectos e auxilia na tomada de decisões estratégicas. Além disso, contribui para aumentar a eficiência das operações nas frentes de lavras.

Em relação aos impactos socioeconômicos, esta pesquisa deve contribuir com o desenvolvimento de estratégias na exploração, levando ao crescimento da indústria mineral, criação de empregos e aumento das receitas para as comunidades e governos locais.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The Rondônia Tin Province (PER) is recognized for its tin production potential. The primary and secondary deposits have significant levels of tin (Sn), which has attracted the attention of the mineral sector at national and international level. In São Lourenço (RO), the extraction of cassiterite takes place legally through the Cooperativa de Garimpeiros de Mutum-Paraná (COOGAMPA). The São Lourenço-Macisa mining district region stands out from the other PER areas and is currently the largest tin producer in Brazil.

This research aims to deepen the knowledge about the genesis of the primary tin deposits in the São Lourenço-Caripunas Intrusive Suite (SISLC) through detailed petrological and geochemical information. In addition, it collaborates with the discussion about the interaction processes of magmas of different compositions, since the petrographic works revealed textures compatible with the magma mixing processes, as it occurs in the rapakivi granites of southern Finland.

As an impact on academia, it is expected that this research will be referenced by academics interested in the petrology and metallogeny of rapakivi granites and biotite granites bearing topaz that host tin mineralizations, helping to advance knowledge in these areas. The petrogenetic and isotopic studies broadened the discussions on the processes of generation and evolution of magmas and will certainly contribute to the development of theoretical models that seek to better understand the evolutionary context of the southwest edge of the Amazonian Craton.

In the mining industry, the impacts of this research are related to the exploitation of mineral resources, especially primary tin deposits. Understanding the geology of this type of deposit is important in defining new prospects and helps in making strategic decisions. In addition, it contributes to increasing the efficiency of operations on the mining fronts.

Regarding socioeconomic impacts, this research should contribute to the development of exploration strategies, leading to the growth of the mineral industry, job creation and increased income for communities and local governments.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Marly Aparecida da Silva

PETROLOGIA E METALOGENIA DA SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO-
CARIPUNAS NA REGIÃO DO DISTRITO MINEIRO SÃO LOURENÇO-MACISA,
RONDÔNIA.

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas do campus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutora em
Geociências e Meio Ambiente.

Comissão examinadora

Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Junior
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof^a. Dr^a. Adriana Alves
IGc-USP / São Paulo (SP)

Prof. Dr. Antenor Zanardo
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Antônio Misson Godoy
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt
IGc-USP / São Paulo (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 24 de maio de 2023.

AGRADECIMENTOS

A execução desta tese contou com a colaboração de diversas pessoas, a quem devo meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador Professor Dr. Washington Barbosa Leite Júnior por ter me inspirado a realizar este trabalho e pela parceria durante esses quase cinco anos.

Ao Departamento de Geologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP por proporcionar a infraestrutura laboratorial para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processo 140649/2020-4), pela concessão da bolsa de doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Cooperativa de Garimpeiros de Mutum Paraná (COOGAMPA) pelo apoio logístico e por disponibilizar os testemunhos de sondagem. Agradeço também ao Marcos Ferreira de Aguiar e ao Daniel Soares Siqueira pelo apoio logístico prestado na execução dos trabalhos de campo dentro da área do garimpo São Lourenço.

Ao Daniel Francoso de Godoy pelo auxílio dos trabalhos no MEV e Microsonda e ao técnico Nelson Jr. pela confecção das lâminas.

Gostaria de agradecer a todos os colegas da pós-graduação em especial ao Antônio Elton, Bruna Letícia, Silvia Real, Stephanie Schor, Marcela Aragão, Vanderlei Farias, Matheus Ciotto e Carlos Dias Tavares (Zorba) pelo convívio agradável e pelas boas risadas. Em especial, agradeço ao Lucas Inglez pela companhia, amizade, discussões geológicas e políticas durante todo o doutorado, mas ampliadas durante a pandemia de covid-19.

Aos funcionários do IGCE Rosângela Vacello, Lauren Grimaldi e Rodrigo Rabelo pela eficiência e agilidade nos trâmites burocráticos.

Ao Geólogo Bruno Leonelo Payolla pela contribuição nos trabalhos de campo e pela leitura da tese.

Aos Professores Dr. Sebastião Gomes de Carvalho, Dr. Nelson Angeli e Dr. José Eduardo Zaine por terem me ensinado um pouco sobre docência.

À querida Maria Daise Matos, pelo apoio e incentivo incondicional e à família Martins (Egídio, Clênia e Luelmy) pelos agradáveis momentos de descontração.

Agradeço também aos meus pais (João e Maria) e aos meus irmãos (João e Cristina) o apoio e a paciência em cada etapa deste trabalho.

Carinhosamente, sou grata ao Jandir Blasius e ao Rodolfo Busolin por tantos anos de amizade e pela inestimável companhia durante toda a pós-graduação.

RESUMO

A Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas (1,32 – 1,30 Ga) na região do distrito mineiro São Lourenço-Macisa aflora na porção NW da província estanífera de Rondônia e inclui granitos rapakivi e rochas associadas, as quais são reunidas em quatro unidades ígneas mapeadas na escala 1:25.000. A unidade A é composta por viborgitos e piterlitos com hornblenda e biotita, a unidade B por granitos pórfiros com hornblenda e/ou biotita, a unidade C por gabros, microgabros, hornblenda quartzo-monzonitos e granitos pórfiros e a unidade D por biotita granitos seriados e equigranulares e granitos pórfiros II. Os litotipos das unidades A, B e C são interpretados como intrusões precoces, enquanto aqueles da unidade D como intrusões tardias e relacionadas espacialmente com os depósitos primários de estanho e metais associados. As intrusões precoces são predominantemente metaluminosas ($\text{SiO}_2 = 69,33 - 71,80 \%$ e $\text{A/CNK} = 0,90$ e $0,96$), têm assinatura dos granitos ferroanos, são álcali-cálcicos, tipo-A e do subgrupo A_2 . Apresentam enriquecimento dos ETRL sobre os ETRP ($[\text{La/Yb}] = 3,9$ a $8,2$) e anomalia negativa de európio de grau médio ($[\text{Eu/Eu}^*] = 0,55$ a $0,34$). Biotita sienogranitos equigranulares, seriados e porfíricos são as principais fácies intrusivas tardias da Suíte no distrito e afloram nos plutons Pascana, no setor Macisa, e Saubinha, no setor São Lourenço. Apresentam características petrográficas semelhantes aos biotita rapakivi granitos evoluídos do sul da Finlândia e as fácies com topázio na moda indicam uma filiação com os granitos a metais raros. Os depósitos primários de estanho e metais base ocorrem como sistemas de veios e vênulas de greisen e de quartzo subparalelos ou em *stockwork* nos endo e exocontatos desses plutons. Dois tipos petrográficos de greisen e de veios e vênulas de quartzo são reconhecidos no distrito. A cassiterita ocorre principalmente nos greisens e nos veios e vênulas de quartzo com topázio e Li-mica, enquanto os sulfetos (esfalerita, calcopirita, galena, pirita e arsenopirita) nos veios e vênulas de quartzo com carbonato, clorita e fluorita e nas zonas cloritizadas. No geral, uma sequência de processos hidrotermais pós-magmáticos pode ser assim definida para o distrito: greisenização I / silicificação I $\rightarrow$ cloritização / silicificação II $\rightarrow$ greisenização II / silicificação III (?). Geoquimicamente, exibem elevados teores de SiO_2 (77,92 - 75,02%), mostram assinatura dos granitos ferroanos, são álcali-cálcicos a cálcio-alcálicos e variam de metaluminosas a

peraluminosas ($A/CNK = 0,91$ a $1,19$). São classificadas como granitos intraplaca, tipo-A reduzidos e do subgrupo A_2 . De modo geral, mostram enriquecimento relativo dos ETRL sobre os ETRP ($[La/Yb] = 2,45$ a $6,97$), com leve enriquecimento de ETRP sobre os ETRM nos biotita sienogranitos com topázio e anomalia negativa de európio de grau médio a alto ($[Eu/Eu^*] = 0,36$ a $0,06$). As rochas da unidade C têm teores de TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO e K_2O que sinalizam certo alinhamento com os teores de SiO_2 entre os litotipos. Os gabros e microgabros apresentam baixos valores de SiO_2 ($46,35 - 48,92$) e o hornblenda quartzo-monzonito ocupa uma posição intermediária em relação aos teores do mesmo elemento ($SiO_2 = 60,95\%$) e é interpretado juntamente com as feições petrográficas como o produto da interação dos magmas. Os dados geoquímicos mostram também que essas rochas são alcalinas e caracterizadas como basaltos intraplaca. Além disso, apresentam enriquecimento relativo dos ETRL sobre os ETRP nos gabros e microgabros ($[La/Yb] = 7,33$ a $8,29$), granitos pórfiros I ($[La/Yb] = 3,97$ a $8,29$) e no hornblenda quartzo-monzonito ($[La/Yb] = 10,65$) e mostram ainda leve anomalia positiva e negativa de európio nos gabros e microgabros ($[Eu/Eu^*] = 1,10$ a $1,18$) e hornblenda quartzo-monzonito ($[Eu/Eu^*] = 0,83$), respectivamente, e anomalia de grau médio nos granitos pórfiros I ($[Eu/Eu^*] = 0,34$ a $0,44$). Os dados isotópicos de $\epsilon Nd(t)$ ($-2,91 - 2,12$) indicam misturas de componentes de origem mantélica e crustal em proporções variadas na origem dos magmas, com maior participação de materiais crustais na formação dos magmas das fácies graníticas precoces e predominância de materiais mantélicos nas fácies graníticas tardias.

Palavras-chave: Granito rapakivi, Magmatismo bimodal, Estanho e metais base, Província Estanífera de Rondônia

ABSTRACT

The São Lourenço-Caripunas Intrusive Suite (1.32 – 1.30 Ga) at the São Lourenço-Macisa mining district includes rapakivi granites and associated rocks, which are grouped in four igneous units mapped on 1:25.000. The unit A is composed of biotite-hornblende wiborgites and pyterlites and seriate biotite granites, the unit B corresponds to granites porphyries with hornblende and/or biotite, and the unit C is composed of gabbros, microgabbros, hornblende quartz monzonites and granites porphyries. The lithotypes of units A, B, and C are interpreted as early intrusive phase, whereas the unit D as late intrusive phase and spatially related to primary tin and associated metal deposits. The early intrusions are metaluminous ($\text{SiO}_2 = 69.33\text{--}71.80\%$ and $A/\text{CNK} = 0.90$ and 0.96), have signatures of ferroan granites, are alkali-calcic, type-A, and of subgroup A_2 . They show enrichment of LREE over HREE ($[\text{La}/\text{Yb}] = 3.9$ to 8.2) and a medium degree negative europium anomaly ($[\text{Eu}/\text{Eu}^*] = 0.55$ to 0.34). Equigranular, seriate and porphyritic biotite syenogranites are the main late intrusive facies of the Suite in the district and crop out in the Pascana and Saubinha plutons, in the Macisa and São Lourenço sectors, respectively. They present petrographic characteristics similar to the biotite rapakivi evolved granites of southern Finland and the facies with topaz indicate an affiliation with rare-metal granites. The tin and base metals primary deposits occur as subparallel greisen and quartz vein and veinlet system or as stockwork in the endo- and exocontacts of these plutons. Two petrographic types of greisen and quartz vein and veinlet are recognized in the district. Cassiterite occurs mainly in the greisen and quartz vein and veinlet with topaz and Li-mica, while the sulfides (sphalerite, chalcopyrite, galena, pyrite and arsenopyrite) in the quartz vein and veinlet with carbonate, chlorite and fluorite and in the chloritically altered zones. Overall, a sequence of hydrothermal post-magmatic processes of alteration and/or infill can thus be defined for the district: greisenization I / silicification I $\rightarrow$ chloritization / silicification II $\rightarrow$ greisenization II / silicification III (?). Geochemically, they exhibit high SiO_2 contents ($77.92\text{--}75.02\%$), show ferroan granite signatures, are alkali-calcic to calcic-alkaline, and range from metaluminous to peraluminous ($A/\text{CNK} = 0.91$ to 1.19). They are classified as within-plate granites, type-A reduced granites of subgroup A_2 . In general, they show relative enrichment of LREE over HREE ($[\text{La}/\text{Yb}] =$

2.45 to 6.97), with slight enrichment of HREE over MREE in topaz-bearing biotite syenogranites and a medium to high degree negative Eu anomaly ($[Eu/Eu^*] = 0.36$ to 0.06). The rocks of unit C presents TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , and K_2O contents that indicate a certain alignment with SiO_2 contents among the lithotypes. The gabbros and microgabbros show low SiO_2 values ($46.35 - 48.92$), and the hornblende quartz monzonite occupies an intermediate position with respect to the same element content ($SiO_2 = 60.95\%$) and is interpreted together with petrographic features as the product of magma mixing. Geochemical data also show that these rocks are alkaline and characterized as within-plate basalts. In addition, they show relative enrichment of LREE over HREE in gabbros and microgabbros ($[La/Yb] = 7.33$ to 8.29), porphyritic granites I ($[La/Yb] = 3.97$ to 8.29), and in the hornblende quartz monzonite ($[La/Yb] = 10.65$). They also exhibit slight positive and negative europium anomalies in gabbros and microgabbros ($[Eu/Eu^*] = 1.10$ to 1.18) and hornblende quartz monzonite ($[Eu/Eu^*] = 0.83$), respectively, and a medium degree of Eu anomaly in porphyritic granites I ($[Eu/Eu^*] = 0.34$ to 0.44). The Nd isotopic compositions [$\epsilon Nd(t)$ (-2.91 to 2.12)] suggest mixing of mantle and crustal components in varying proportions in the origin of magmas, with a greater participation of crustal materials in the formation of early granitic facies and predominance of mantle materials in the late granitic facies.

Keywords: Rapakivi granite, Bimodal magmatism, Tin and base metal, Rondônia tin province.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização e acessos à área de estudo.....	22
Figura 2: Províncias geocronológicas ou geotectônicas do Cráton Amazônico segundo Tassinari e Macambira (1999) (A) e Santos et al. (2008) (B) , respectivamente.....	37
Figura 3: A) Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico de Tassinari e Macambira (1999). B) Mapa geológico e tectônico simplificado da porção norte da borda sudoeste do Cráton Amazônico (extraído de Bettencourt et al., 2010), com os limites da PER e da SISLC e da área de estudo.	39
Figura 4: Mapa geológico simplificado da área de estudo.....	42
Figura 5: A) visão panorâmica de “serra” sustentada pela Formação Mutum-Paraná. B) e C) afloramentos de biotita sienogranito equigranular médio a grosso na estrada para o setor Macisa (Plúton Pascana). D) lajedo no topo da serra do Isaac (Plúton Saubinha) composto por biotita sienogranito seriado com veios de quartzo e greisen. E) foto de detalhe dos veios de quartzo entrelaçados em duas direções (N50W e N70E). F) greisen hospedado nos granitos pórfiros (Igarapé Pascana). G) arenito da Formação Palmeiral em corte de rodovia (BR-364 - trecho Porto Velho – Mutum-Paraná).	44
Figura 6: Diagrama de classificação QAP de Streckeisen (1976) para as rochas de granulação fina a grossa.	45
Figura 7: Diagrama de classificação SiO_2 <i>versus</i> $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (TAS) para as rochas porfiríticas com matriz de granulação muito fina.....	46
Figura 8: Aspectos macroscópicos dos granitos das unidades A e B. A) viborgito com megacristais ovóides e retangulares de feldspato alcalino em matriz equigranular fina a média. B) destaque da textura rapakivi nos viborgitos (Completar tintura). C) piterlito com megacristais arredondados de feldspato alcalino e cristais de plagioclásio com e borda homogênea. D) plagioclásio ocelar no piterlito. E) biotita sienogranito seriado, localmente com cristal de feldspato alcalino manteado por plagioclásio e cristais arredondados de quartzo. F – H) granitos pórfiros de coloração rosa a rosa avermelhado com megacristais arredondados de feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio em matriz afanítica.	48
Figura 9: Aspectos microscópicos dos viborgitos. A) microclínio pertítico matricial com hornblenda inclusa na borda e cristal de biotita subédrico em contato com o feldspato alcalino. B) megacristal de microclínio pertítico manteado por plagioclásio, com borda e infiltrações de intercrescimentos granofíricos. C) cristais de plagioclásio com núcleo alterado para sericita e borda límpida. D) hornblenda subédrica com inclusões de apatita. E) cristal de biotita subédrico com inclusão de titanita e levemente alterado para clorita. F) Imagem de MEV de agregados de hornblenda, biotita e alguns minerais acessórios. Fotomicrografias A, B, C e D com polarizadores cruzados e E com polarizadores paralelos.	50
Figura 10: Aspectos microscópicos dos piterlitos (A, B, C e D) e biotita sienogranitos seriados (E e F). A) microclínio manteado por plagioclásio (textura rapakivi) com pequenos cristais de hornblenda e trilha de quartzo no contato entre o microclínio e a borda envoltória de plagioclásio. B) fenocristal de quartzo arredondado, fraturado e com sinais de corrosão magmática, disperso em matriz hipidiomórfica. C)	

cristal anédrico de hornblenda com inclusões de zircão. **D)** hornblenda (à esquerda) com inclusões de zircão e cristal de biotita anédrica (à direita). **E)** textura hipidiomórfica seriada com microclínio pertítico, plagioclásio com inclusão de allanita, quartzo globular e irregular intersticial e biotita anédrica. **F)** plagioclásio parcialmente sericitizado e com sinais de corrosão magmática no núcleo. Fotomicrografias B, C, D, E e F com polarizadores cruzados e A com polarizadores paralelos.53

Figura 11: Aspectos petrográficos microscópicos dos granitos pórfiros. **A)** cristais agregados de microclínio em matriz panxenomórfica. **B)** cristal de quartzo com sinais de reabsorção no núcleo (setas brancas) e na borda e megacristal de plagioclásio parcialmente alterado para epídoto. **C)** megacristal de plagioclásio com borda de microclínio (textura antirrapakivi). **D)** megacristal de plagioclásio zonado, com núcleo saussuritizado e borda límpida. **E)** hornblenda bastante alterada para clorita, com inclusões de magnetita, apatita, zircão, fluorita e quartzo. **F)** detalhe dos mineiras inclusos na hornblenda (magnetita com lamelas de ulvoespinélio + apatita + zircão + fluorita + quartzo; imagem de MEV). Fotomicrografias A, B e D com polarizadores cruzados e C e E polarizadores paralelos.....56

Figura 12: Aspectos macroscópicos dos gabros, microgabros e hornblenda quartzo-monzonitos. **A)** gabro de coloração cinza, textura fina a média. **B)** microgabro com pequeno enclave microgranular (EMM) mais escuro. **C)** quartzo-monzonito de coloração cinza rosada com textura porfírica.58

Figura 13: Aspectos microscópicos dos gabros, microgabros e hornblenda quartzo-monzonitos **A)** textura intergranular no microgabro. **B)** textura intergranular e ofítica no gabro. **C)** microgabro, com destaque para a apatita acicular. **D)** megacristal de microclínio em matriz hipidiomórfica equigranular fina a média, com destaque para a apatita acicular. **E)** megacristal de plagioclásio com borda de microclínio (textura antirrapakivi). **F)** cristais matriciais de plagioclásio com borda límpida de microclínio (textura antirrapakivi) e intercrescimento granofírico na matriz. Fotomicrografias A, B, D, E e F com polarizadores cruzados e C com polarizadores paralelos.60

Figura 14: Aspectos macroscópicos dos biotita granitos equigranulares, seriados e porfíricos. **A)** biotita sienogranito equigranular de coloração rosada alaranjado. **B)** biotita sienogranito equigranular fino. **C)** biotita sienogranito seriado de coloração rosa. **D)** biotita álcali-feldspato granito seriado. **E)** biotita sienogranito porfírico médio a grosso. **F)** biotita sienogranito porfírico com fenocristais de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo em matriz equigranular fina. **G)** granito miarolítico de cor rosa com cavidades miarolíticas preenchidas por quartzo, biotita e fluorita e bordas de microclínio e albita. As linhas tracejadas destacam as porções mais ricas em quartzo e biotita. **H)** biotita sienogranito porfírico equigranular de matriz fina (rocha de dique). Fotos A e E do plúton Pascana e B, C, D, F, G e H do plúton Saubinha.63

Figura 15: Aspectos microscópicos dos biotita sienogranitos equigranulares (A – D) do plúton Pascana e seriados (E – F) do plúton Saubinha. **A)** microclínio pertítico com *swapped rim* e *albite rim*. **B)** cristal de plagioclásio parcialmente alterado para sericita/muscovita, fluorita e topázio e cristal de biotita (à esquerda) parcialmente substituído por muscovita. **C)** cristais de biotita com alteração incipiente para clorita. **D)** cristal subédrico de topázio com sericita nas bordas e nos planos de fratura. **E)** microclínio pertítico com intercrescimento granofírico na borda. **F)** agregado de biotita, quartzo, fluorita, zircão,

minerais opacos e clorita. Fotomicrografias A com polarizadores cruzados e placa de gipso; B, C, D e E com polarizadores cruzados e F com polarizadores paralelos.....65

Figura 16: Aspectos microscópicos dos biotita sienogranitos porfiríticos (A – B) do plúton Pascana, biotita granito miarolítico e rochas de diques (C, D e E) do plúton Saubinha. **A)** megacrystal de microclínio pertítico com borda sobrecrecida poiquilítica (linha tracejada branca) envolvendo pequenos cristais de plagioclásio, quartzo e biotita. **B)** cristais de biotita com quartzo, fluorita, zircão e minerais opacos. **C)** albita *chessboard*. **D)** quartzo globular com sinais de corrosão magmática em matriz inequigranular fina. **E)** miárola preenchido por biotita com fluorita associada. **F)** megacrystal de feldspato alcalino textura rapakivi. Figuras A e C com polarizadores cruzados e placa de gipso.....68

Figura 17: Greisens, veios e vênulas de quartzo. **A)** veios de greisen com veios ou vênulas de quartzo associados em sistemas subparalelo. **B)** veios e vênulas de quartzo em sistemas subparalelos e em stockwork.....70

Figura 18: Diagrama de classificação Q-(T+F)-M para os greisens do distrito São Lourenço-Macisa. Os campos são de Kuhne et al. (1972) em Stempok (1987).71

Figura 19: Greisens, veios e vênulas de quartzo. **A)** fengita-quartzo greisen. **B)** textura heterogranoblástica fina a média com QzI, II e III e agregados de fengita. **C)** topázio-Li-siderofilita-quartzo greisen em biotita sienogranito seriado, ambos parcialmente cloritizado. **D)** topázio-Li-fengita-quartzo greisen e veio de quartzo com Li-fengita, topázio e cassiterita em biotita sienogranito seriado, todos parcialmente cloritizados. **E)** greisen parcialmente cloritizado e muscovitizado com cassiterita. **F)** cristais de cassiterita zonada em veio de quartzo com topázio e mica (não mostrados). **G)** pirita, calcopirita, arsenopirita e esfalerita em veio de quartzo com carbonato, clorita e fluorita (não mostrados). Fotomicrografias B e E com polarizadores cruzados, F com polarizadores paralelos e G com luz refletida e polarizados paralelos.73

Figura 20: Diagramas de Harker para os elementos maiores e menores (% em peso) *versus* sílica (% em peso) para os granitos precoces e tardios da SISLC no distrito, com a inclusão dos campos das rochas do maciço Caripunas e do plúton Saubinha de acordo com Leite Júnior et al. (2010) e Farias (2020), respectivamente.81

Figura 21: Diagramas de Harker para os elementos maiores e menores (% em peso) *versus* sílica (% em peso) para os gabros, microgabros, hornblenda quartzo-monzonitos e granitos pórfiro I.82

Figura 22 : Diagramas de Harker para os elementos em traços (ppm) *versus* sílica (% em peso) para os granitos precoces e tardios da SISLC no distrito, com a inclusão dos campos das rochas do maciço Caripunas e do plúton Saubinha de acordo com Leite Júnior et al. (2010) e Farias (2020), respectivamente.....84

Figura 23: Diagramas de Harker para os elementos em traços (ppm) *versus* sílica (% em peso) para os gabros, microgabros, hornblenda quartzo-monzonitos e granitos pórfiros I.....85

Figura 24: Diagramas de elementos terras raras para as fácies precoces e tardias da SISLC no distrito, com valores normalizados pelo condrito de McDonough e Sun (1995) e inclusão dos campos das rochas

do maciço Caripunas e do plúton Saubinha de acordo com Leite Júnior et al. (2010) e Farias (2020), respectivamente.....87

Figura 25: Diagramas de classificação química para os granitos precoces e tardios da SISLC no distrito. **A)** diagrama de $\text{FeO}^{\text{I}}/(\text{FeO}^{\text{I}}+\text{MgO})$ versus SiO_2 (% em peso) de Frost et al. (2001). **B)** diagrama de $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO})$ versus SiO_2 (% em peso) de Frost et al. (2001). **C)** diagrama de alumina-saturação de Shand (1943).....89

Figura 26: Classificação tectônica e genética dos granitos precoces e tardios da SISLC. **A)** diagrama Nb versus Y de Pierce et al. (1984). **B – E)** diagramas $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$, $\text{FeO}^{\text{I}}/\text{MgO}$, Nb e Y versus $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$ de Whalen et al. (1987). **F)** diagrama ternário Nb x Y x $3 \cdot \text{Ga}$ de Eby (1992), com os campos do maciço Caripunas e do plúton Saubinha definidos a partir de dados inéditos de Leite Júnior (2010) e de Farias (2020), respectivamente. **G)** diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ de Dall'Agnol e Oliveira (2007).....90

Figura 27: Diagramas de classificação química e tectônica para as rochas básicas da SISLC no distrito. **A)** diagrama $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 (% em peso) de Irvine e Baragar (1971). **B)** diagrama Zr/Y versus Zr (ppm) (Pearce e Nory, 1979). **C)** diagrama ternário Ti/100 versus Zr versus 3Y (Pearce e Cann, 1973). **D)** diagrama ternário $2 \cdot \text{Nb}$ versus Zr/4 versus Y (Meschede, 1986).92

Figura 28: Diagrama de idade versus $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ para as rochas da SISLC no distrito.94

Figura 29: Diagrama Wo-Fs-En de classificação química de piroxênios conforme classificação de Morimoto (1990), com as análises dos piroxênios dos gabros e microgabros da Unidade C da SISLC no distrito.....98

Figura 30: Diagramas de classificação para os anfibólios dos viborgitos, piterlitos, granitos pórfiros e hornblenda quartzo-monzonito, segundo Leake et al., (1997).99

Figura 31: Classificação dos plagioclásios das fácies precoces e tardias da SISLC no distrito..... 100

Figura 32: Diagramas de classificação para as micas de granitos, greisens e veios de quartzo da SISLC no distrito. **A)** Diagrama binário $\text{Fe}^{\text{T}}+\text{Mn}+\text{Ti}-\text{Al}^{\text{VI}}$ versus Mg-Li (Tischendorf et al., 1997, 2001). **B)** Diagrama triangular Li-Ti+ Al^{VI} - $\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}+\text{Mg}$ (Stone et al., 1988). A linha sólida representa a série transicional entre muscovita-zinnwladita de Monier e Robert (1986). 102

Figura 33: Diagramas binários de unidades de átomos por fórmula (a.p.f.u.) para as micas dos granitos, greisens e veios de quartzo. **A)** diagrama Al^{VI} versus Fe. **B)** diagrama Si versus Fe..... 103

Figura 34: Diagramas de TiO_2 versus Al_2O_3 , Na_2O , Zr e Rb para as fácies graníticas precoces e tardias da SISLC no distrito..... 108

Figura 35: Fácies graníticas precoces e tardias da SISLC no distrito. **A)** Classificação do grau de diferenciação magmática com base no diagrama ternário Rb-Ba-Sr de Bouseily e Sokkary (1975). **B)** Diagrama $\text{SiO}_2(\%)$ versus razão Zr/Hf com os limites definidos por Zaraisky et al. (2009)..... 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Idades U-Pb em cristais de zircão para algumas rochas da SISLC.....	34
Tabela 2: Composição modal para as fácies das unidades A, B (em parte) e C.	47
Tabela 3: Composição modal para os granitos tardios da SISLC.	61
Tabela 4: Composição modal dos greisens do distrito São Lourenço-Macisa.....	71
Tabela 5: Análises químicas de amostras representativas da SISLC no distrito.	77
Tabela 6: Análises isotópicas de Sm-Nd em rocha total para as amostras da SISLC no distrito.	93
Tabela 7: Minerais analisados em microsonda eletrônica nas principais fácies petrográficas ígneas e hidrotermais da SISLC no distrito.....	96
Tabela 8: Análises químicas por microsonda eletrônica em cristais de piroxênio.....	130
Tabela 9: Análises químicas por microsonda eletrônica em cristais de anfibólio.	131
Tabela 10: Análises químicas por microsonda eletrônica em cristais de plagioclásio.	135
Tabela 11: Análises químicas por microsonda eletrônica em cristais de micas.	138

ABREVIATÖES

Allanita – Aln

Apatita – Ap

Arsenopirita – Apy

Augita – Aug

Biotita – Bt

Calcopirita – Ccp

Carbonato – Cb

Cassiterita – Cst

Clorita – Chl

Esfalerita – Sp

Feldspato Alcalino – Afs

Fengita – Ph

Fluorita – Fl

Hornblenda – Hbl

Li-Fengita – Liph

Li-Siderofilita – Lisid

Magnetita – Mg

Microclíneo – Mc

Minerais Opacos – Opq

Muscovita – Ms

Plagioclásio – Pl

Pirita – Py

Quartzo – Qz

Sericita – Ser

Sulfeto – Sf

Uvoespínlio – Usp

Titanita – Ttn

Topázio – Tpz

Zircão – Zrn

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	19
1.1 Apresentação e justificativas	19
1.2 Objetivos	21
1.3 Localização, extensão e acesso à área	21
1.4 Aspectos fisiográficos	22
1.5 Materiais e métodos	23
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1 Os granitos tipo-A	28
2.2 Os granitos rapakivi	29
2.3 A Suíte Intrusiva São Lourenço Caripunas – SISLC	31
CAPÍTULO 3: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	35
3.1 O Cráton Amazônico	35
3.2 A Província Estanífera de Rondônia	37
CAPÍTULO 4: GEOLOGIA E PETROLOGIA DA SISLC NO DISTRITO	41
4.1 GEOLOGIA	41
4.2 PETROGRAFIA DAS FÁCIES MAGMÁTICAS	45
4.2.1 Unidade A: viborgitos, piterlitos e granitos seriados, com hornblenda e/ou biotita	46
Biotita-hornblenda quartzo-sienito porfirítico (viborgito)	47
Hornblenda-biotita sienogranitos (piterlito)	51
Biotita sienogranitos seriados	54
4.2.2 Unidade B: granitos pórfiros com hornblenda e/ou biotita	54
4.2.3 Unidade C: gabros, microgabros e hornblenda quartzo-monzonitos	57
Gabros e microgabros	57
Hornblenda quartzo-monzonitos	59
4.2.4 Unidade D: granitos equigranulares e inequigranulares seriados e porfiríticos com biotita	61
Biotita sienogranitos equigranulares	62
Biotita sienogranitos e álcali-feldspato granitos seriados	64
Biotita sienogranitos porfiríticos	66
Biotita álcali-feldspato granito mirolítico	67
Biotita álcali-feldspato granito porfirítico: rocha de dique	69
4.3 PETROGRAFIA DAS FÁCIES HIDROTERMAIS	70
Mica-quartzo greisen: fengita-quartzo greisen e muscovita-quartzo greisen	72

Topázio-mica-quartzo greisen: topázio-Li-siderofilita-quartzo greisen e topázio-Li-fengita-quartzo greisen -----	74
Veios e vênulas de quartzo -----	75
<i>CAPÍTULO 5: LITOGEOQUÍMICA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DE ROCHA TOTAL -----</i>	<i>76</i>
5.1 Litogeoquímica-----	76
5.1.1 Elementos maiores e menores-----	80
5.1.2 Elementos traços -----	83
5.2 Classificação química, tectônica e genética -----	88
5.3 Geoquímica isotópica Sm-Nd em rocha total-----	93
<i>CAPÍTULO 6: QUÍMICA MINERAL -----</i>	<i>96</i>
6.1 Piroxênio-----	97
6.2 Anfibólio -----	98
6.3 Plagioclásio-----	99
6.4 Micas -----	101
<i>CAPÍTULO 7: DISCUSSÕES E CONCLUSÕES -----</i>	<i>104</i>
<i>CAPÍTULO 8: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----</i>	<i>115</i>
<i>APÊNDICE A-----</i>	<i>128</i>
<i>APÊNDICE B-----</i>	<i>129</i>
<i>APÊNDICE C-----</i>	<i>130</i>

1.1 Apresentação e justificativas

Granitos rapakivi são granitos tipo-A caracterizados pela presença da textura rapakivi em algumas variedades graníticas, pelo menos nos grandes batólitos (Haapala e Rämö (1992; 1995). Outras características desses granitos é caráter multifásico e epizonal dos plútons e a pequena variação composicional das fácies félsicas, com conteúdo relativamente alto em feldspato alcalino e a presença de silicatos máficos ricos em ferro (Rämö e Haapala, 1995; Salonsaari, 1995).

Originalmente, a textura rapakivi inclui megacristais ovoides de feldspato alcalino com ou sem manto envoltório de plagioclásio (oligoclásio-andesina) e ocorrência de duas gerações de feldspato alcalino e quartzo, com quartzo idiomórfico mais antigo cristalizado em alta temperatura (Vorma, 1976). Porém, na literatura é descrito também como textura rapakivi os cristais tabulares de feldspato alcalino manteados por plagioclásio e, quando o inverso é observado, recebe a denominação de textura antirrapakivi (Hibbard, 1995).

O caráter bimodal (máfico e félsico) do magmatismo rapakivi é registrado em vários complexos rapakivi ao redor do mundo e a maior ou menor ocorrência de rochas máficas pode estar relacionada, entre outros fatores, ao nível de erosão desses complexos (Haapala e Rämö, 1999). Além de apresentarem idades semelhantes, as rochas máficas e félsicas podem mostrar evidências petrográficas compatíveis com a atuação de processos de interação entre magmas de diferentes composições, como a presença de enclaves e/ou xenocristais mútuos ou mesmo de rocha híbrida de composição intermediária (Salonsaari e Haapala, 1994; Lowell e Young, 1999).

Na província estanífera de Rondônia (PER) e adjacências, o caráter bimodal (básico e ácido) é reconhecido nas suítes intrusivas Serra da Providência, Santo Antônio e São Lourenço-Caripunas (Bettencourt et al., 1999), nas duas primeiras com evidências petrográficas de interação entre os magmas (Payolla, 1994; Costa et al., 2016).

A Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas – SISLC (1,32 – 1,30 Ga) foi definida por Bettencourt et al. (1999) e inclui granitos rapakivi (viborgitos e piterlitos) e

equigranulares, além de rochas subvulcânicas e vulcânicas félsicas que ocorrem nos maciços São Lourenço e Caripunas entre os estados de Rondônia e Amazonas, na porção noroeste da PER. Estes tipos litológicos foram reconhecidos em trabalhos anteriores realizados de Isotta et al. (1978) e Bettencourt e Kaedei (1984) e reavaliados mais recentemente por Buch et al. (2019) na região do maciço São Lourenço.

O mapeamento geológico na escala 1:25.000 realizado por Cembrani e Bettencourt (1985) no distrito mineiro de São Lourenço-Macisa, identificou a presença de viborgitos, piterlitos, granitos pórfiros, seriados e equigranulares, além de gabros, microgabros, riolitos e riolacitos pórfiros. Os depósitos primários de estanho e outros metais associados são encontrados principalmente na forma de lentes e veios de greisen e quartzo, relacionados espacial e temporalmente aos biotita granitos nos setores de São Lourenço e Macisa (Bettencourt et al., 1987; Farias, 2020).

A presente pesquisa apresenta a petrografia das fácies precoces e tardias que compõem a SISLC no distrito mineiro São Lourenço-Macisa a partir dos dados adquiridos durante o mapeamento geológico realizado por Cembrani e Bettencourt (1985) na região, além de dados oriundos dos trabalhos de Farias (2020) e daqueles adquiridos pela autora em trabalho de campo realizado no ano de 2022 no distrito. Apresenta também o mapa geológico atualizado na escala 1:25.000, discute a relação das principais texturas relacionadas aos processos de interação de magmas de diferentes composições e apresenta a composição geoquímica e mineralógica para os diferentes tipos litológicos que compõem a SISLC. Nesse contexto, a presente tese busca contribuir ainda com a discussão dos principais produtos de processos hidrotermais pós-magmáticos relacionados com os depósitos primários de estanho e metais base na área.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização geológica, petrográfica, geoquímica e isotópica dos litotipos que compõem a SISLC, na região do distrito mineiro São Lourenço-Macisa, com ênfase nos granitos precoces, tardios e greisens de modo a contribuir com o entendimento da gênese e evolução do magmatismo rapakivi da Suíte. Os objetivos específicos envolvem:

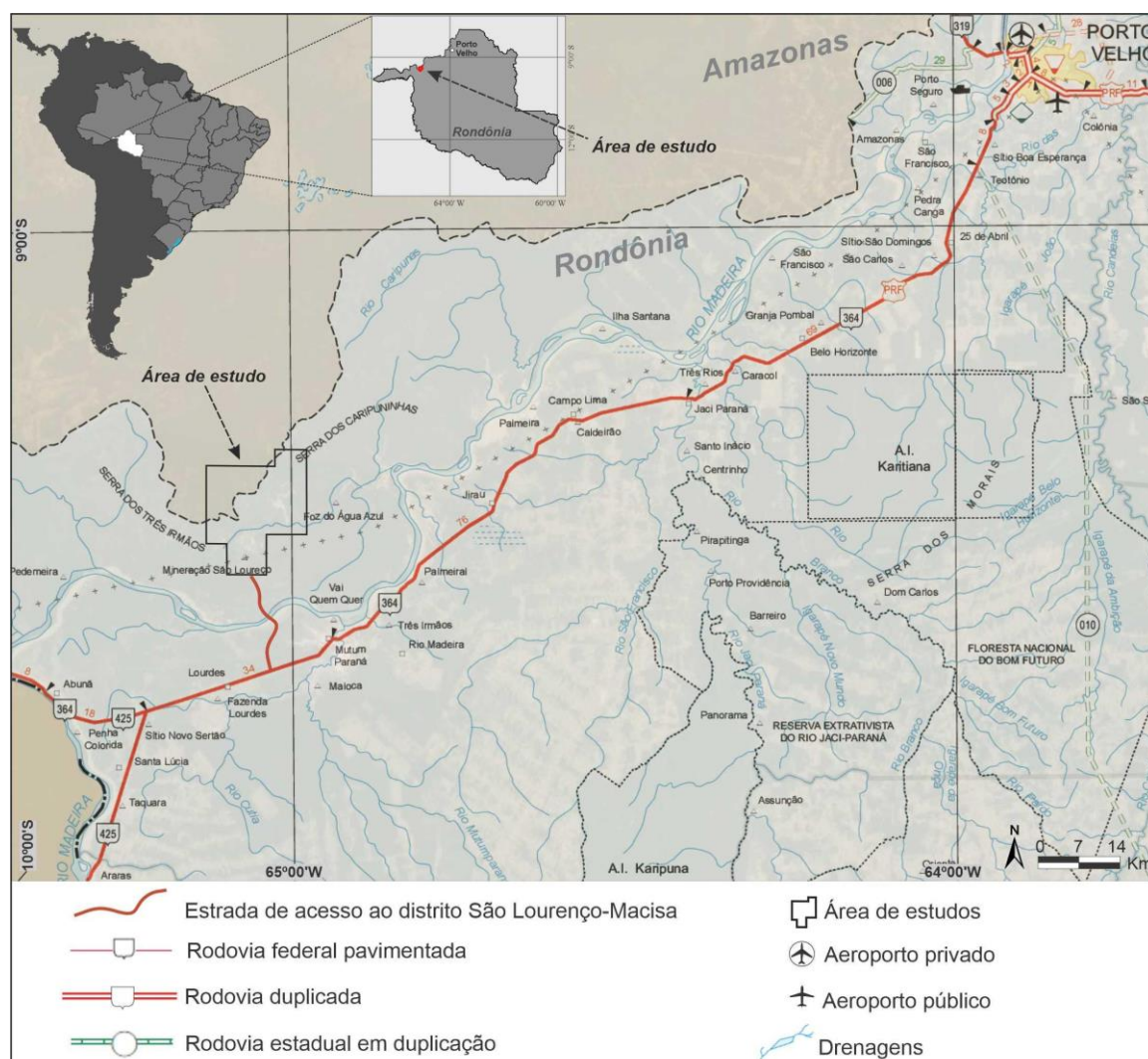
- ✓ elaboração de um novo mapa geológico na escala 1:25.000;
- ✓ caracterização petrográfica e litológica das rochas félsicas e máficas;
- ✓ caracterização química do piroxênio, anfibólio, plagioclásio e das micas; e
- ✓ geoquímica isotópica de Sm-Nd (rocha total) das rochas félsicas e máficas.

1.3 Localização, extensão e acesso à área

A área de estudo está localizada na região noroeste do estado de Rondônia (RO) e sul do estado do Amazonas (AM). Inclui parte dos municípios de Porto Velho (RO), distrito de Mutum-Paraná e Lábrea (AM). A área, com cerca de 350 km², tem seus extremos limitados pelas coordenadas 9°31' / 64°58' e 9°31' / 65°7' e abrange parte das Folhas Serrania do Candomblé (SC-20-V-C-11) e Abunã (SC-20-V-C-V) (Figura 1).

O centro da área dista cerca de 150 km em linha reta de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia. O acesso pode ser feito por rodovia federal pavimentada e por acessos secundários não pavimentados de tráfego permanente. A partir de Porto Velho, percorre-se a BR-364 para sudoeste por cerca de 172 km até o distrito Mutum-Paraná, pertencente ao município de Porto Velho. Posteriormente, o trajeto é feito via estrada vicinal não pavimentada por cerca de 10 km até a margem direita do Rio Madeira, com travessia para a margem esquerda realizada em balsa. A partir do Rio Madeira, o trajeto continua pela estrada não pavimentada por 15 km até a Vila de São Lourenço. Deste ponto, percorre-se mais 10 km até a Vila da Macisa (Apêndice A).

Figura 1: Localização e acessos à área de estudo



Fonte: Modificado de DNIT (2013).

1.4 Aspectos fisiográficos

A área de estudo está situada no domínio morfoclimático Planaltos Dissecados Sul da Amazônia (RADAMBRASIL, 1978), representado por um relevo de colinas dissecadas, morros e serras isoladas. Apresenta vertentes declivosas e vales estreitos com média densidade de drenagem (Adamy, 2010). Segundo esse autor, a configuração do relevo nessa área demonstra o aspecto residual de um planalto profundamente erodido, com cotas entre 250 e 550m. Os relevos mais elevados do planalto residual geralmente são esculpidos em litologias mais resistentes à erosão e compõem o domínio das serras da Providência, de Ouro Preto, dos Três Irmãos, etc.

Esses planaltos são sustentados por rochas graníticas de idade mesoproterozoicas, assim como por metarenitos, metassiltitos, rochas metavulcânicas. A Serra dos Três Irmãos, situada a oeste da área de estudo, está embasada por metarenitos, metargilitos, tufos e quartzitos de idade paleoproterozoica (Adamy, 2010).

O processo de dissecação produziu, em muitos casos, um relevo com predomínio de morros, cristas, esparsos platôs e rebordos erosivos. Nesses terrenos predominam solos pouco profundos, de boa fertilidade natural e cobertos, em grande parte, pela Floresta Amazônica preservada (Santos et al., 2011).

A área situa-se entre as bacias hidrográficas dos rios Madeira e Purus. As drenagens são, no geral, de pequeno porte e aquelas que correm para o norte (Igarapés Borracha, Castanha, Fragatão e Branco) pertencem a sub-bacia do Rio Ituxi (afluente da margem direita do Rio Purus), as demais (Igarapés, Pio, Mutum, Pascana, Borrachudo e Água Azul, entre outros) são da sub-bacia do Rio São Lourenço (afluente da margem esquerda do Rio Madeira). Algumas são controladas por traços de fraturas ou falhas de direções gerais NE-SW e NW-SE.

O clima da área é tropical úmido, com temperatura média anual entre 24 e 28°C, índice pluviométrico anual em torno de 2350 mm. A estação seca ocorre nos meses de julho, agosto, setembro e outubro (ANA, 2018).

1.5 Materiais e métodos

1.5.1 Revisão Bibliográfica

A etapa inicial consistiu na pesquisa de trabalhos sobre a geologia regional e local da área de estudo. Trabalhos que envolvem a ocorrência de granitos rapakivi, granitos tipo-A e mistura de magmas foram selecionados para familiarização com o tema. A pesquisa foi feita em plataformas digitais de periódicos (periodicos.capes.gov.br) e em repositórios de universidades.

A pesquisa da base cartográfica foi realizada através do levantamento de relatórios técnicos e mapas dos arquivos internos da antiga empresa Mineração Oriente Novo S.A. Foram adquiridas também imagens SRTM na resolução espacial de 30 m, obtidas através do site do Serviço Geológico Americano – USGS.

1.5.2 Inventário, triagem, descrição das amostras e trabalhos de campo

A maior parte do material utilizado nesta pesquisa é produto de trabalhos de mapeamento geológico realizados na área durante o “Projeto Granito”. Cerca de 170 amostras foram recuperadas, catalogadas e submetidas à descrição petrográfica macroscópica (Apêndice A).

Trabalhos de campo foram realizados no distrito mineiro São Lourenço-Macisa em agosto de 2022 com o objetivo de efetuar o reconhecimento da área de estudo e coletar amostras adicionais das rochas máficas, félsicas greisens. No total, 13 pontos foram visitados, descritos e amostrados (Apêndice A). Essa atividade durou 4 dias e foi acompanhada pelo Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Júnior e pelo geólogo Ms. Bruno Leonelo Payolla.

1.5.3 Petrografia

Foram confeccionadas cerca de 130 lâminas delgadas consideradas representativas da SISLC. Outras seis lâminas delgadas foram previamente fornecidas pelo orientador, o que resultou em 136 lâminas para estudos petrográficos. As análises microscópicas foram realizadas à luz transmitida, em microscópio petrográfico da marca Olympus modelo BX40F4, com aumentos de 4, 10 e 50 vezes. A documentação fotomicrográfica de minerais e texturas foi feita utilizando-se uma câmera Canon modelo DS126201 acoplada ao microscópio Zeiss modelo Axioskop 40.

A abreviação dos minerais nas fotomicrografias seguiu a proposta elaborada por Whitney e Evans (2010). A descrição das lâminas delgadas e polidas incluiu a identificação das fases minerais e texturas para auxiliar na compreensão da evolução das rochas graníticas da SISLC.

A determinação da moda envolveu, para as rochas de granulação média e grossa, o processo do tingimento com cobalto nitrito de sódio (Hutchison, 1974), realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Geologia da Unesp – campus de Rio Claro (SP). As amostras tingidas foram fotografadas e a análise modal para estas rochas foi feita por meio de uma malha pré-estabelecida de 5,5 mm x 5,5 mm. Para rochas de granulação fina, o método empregado foi da contagem

modal em microscópio petrográfico com uso do *charriot* para movimentação lateral da lâmina. O número de pontos contados por amostra variou de 500 a 1.000 pontos.

1.5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram confeccionadas 15 lâminas polidas para estudos mais detalhados no MEV. As amostras foram preparadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Unesp - campus de Rio Claro (SP) e enviadas ao mesmo laboratório. As lâminas foram metalizadas com película de carbono e as análises foram realizadas em equipamento da marca FEI, modelo Quanta 650FEG, equipado com detector EDS Quantax, da fabricante Bruker. As condições de operações foram em alto vácuo, com voltagem de aceleração em 20 kV, corrente de 100 nA e spot com 6 µm.

1.5.5 Estudos de Química Mineral

Todas as lâminas estudadas no MEV foram submetidas a estudos de química mineral por meio da microsonda eletrônica da marca JEOL, modelo JXA-8230 superprobe. As análises foram executadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Geologia da Unesp – campus de Rio Claro (SP). Tais atividades foram realizadas sob condições de aceleração de 15 kV, corrente de 20 nA, diâmetro do feixe de 10 µm, com uso de padrões dos elementos feita em minerais e óxidos, dependendo do elemento a ser analisado. O tempo de contagem para os elementos maiores foi de 10 segundos no pico e 5 segundos em cada background. Para os elementos menores foi de 20 segundos no pico e 10 segundos em cada background. Foram realizadas análises pontuais posicionadas em núcleo e borda de cristais de piroxênio, anfibólio, plagioclásio e micas. Todos os dados foram organizados e tratados em planilhas do Microsoft Excel 2019. Os diagramas classificatórios foram gerados no software GCDkit 6.0 e editados no Coreldraw 2020.

1.5.6 Geoquímica de rocha total

Para os estudos geoquímicos em rocha total, foram selecionadas 17 amostras com base em critérios geológicos e petrográficos. Toda a preparação foi feita no laboratório de preparação de amostras do Departamento de Geologia da Unesp – campus de Rio Claro (SP).

Inicialmente as amostras foram serradas e, posteriormente, a cominuição foi feita com auxílio de marreta e bigorna. A pulverização, em granulometria adequada, foi realizada nos moinhos de tungstênio (10 minutos) e de ágata (30 segundos). Esse procedimento gerou amostras com cerca de 50 g.

A fração pulverizada no moinho de tungstênio foi encaminhada para o Laboratório de Geoquímica e de Fluorescência de raios-X do Departamento de Geologia da Unesp – campus de Rio Claro (SP), onde foram analisados os elementos maiores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) por meio de espectrometria de fluorescência de raios-X. As amostras em pó pré-calcinadas foram fundidas a 1000°C com tetraborato de lítio num preparador automático de discos de vidro marca Claisse, modelo Fluxy B. Logo após, os discos foram analisados com auxílio de um espectrômetro sequencial da marca Philips, modelo PW 2400. Todo o processo seguiu as recomendações propostas por Nardy et al. (1997).

A fração pulverizada no moinho de ágata foi encaminhada para o Laboratório de Geoquímica da Geosol, em Vespasiano (MG). Nesse lote foram analisados os elementos menores e traços por meio de ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) e terras raras – ETR por meio de ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Os teores dos elementos em traços foram quantificados por meio de digestão multiácida e os terras raras por meio da fusão com metaborato de lítio. Todos os resultados analíticos foram tratados com auxílio dos programas Microsoft Excel 2019 e GCDkit 6.0.

1.5.7 Análises químicas isotópicas de Sm-Nd em rocha total

No Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica da Universidade de São Paulo (CPGeo – USP) foram executadas análises para determinação isotópica pelo método Sm-Nd em 7 amostras, as quais foram pulverizadas e moinho de ágata no laboratório de preparação de amostras do Departamento de Geologia da Unesp – campus de Rio Claro (SP).

Todo o processo analítico foi realizado pelos técnicos do CPGeo – USP. As análises foram realizadas por MC-ICP-MS em espectrômetro da marca Thermo Scientific, modelo Neptune Plus conforme procedimentos descritos por Petronilho

(2009) e Souza (2009). Os cálculos de ϵ_{Nd} e idade TDM foram efetuados com uso do Isoplot 4.15.

CAPÍTULO 7: DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A SISLC inclui, como definida por Bettencourt et al. (1999), granitos rapakivi e rochas associadas expostas principalmente nos maciços São Lourenço e Caripunas localizados à noroeste da província estanífera de Rondônia. Idades U-Pb em zircão definem a cristalização dessas rochas no intervalo de tempo entre 1,32 a 1,30 Ga (Silva et al., 2021), as quais, junto com os granitos rapakivi e rochas associadas das suítes intrusivas Santo Antônio (1,38 a 1,37 Ga), Teotônio (ca. 1,37 Ga) e Alto Candeias (1,36 a 1,33 Ga), indicam a ocorrência de atividade magmática rapakivi quase contínua por um período de aproximadamente 80 Ma. As rochas dessas suítes são, pelo menos, 120 Ma mais jovens que as rochas estaterianas e calimianas encaixantes, mas são em parte contemporâneas ao evento tectono-metamórfico ectasiano relacionado à orogenia Rondoniana-San Ignacio (1,35 a 1,32 Ga) (Bettencourt et al., 2010; Rizzotto et al. 2014).

Neste trabalho, as rochas da SISLC no distrito São Lourenço-Macisa foram agrupadas em quatro unidades ígneas, com base nos trabalhos de mapeamento geológicos (1:25.000) de Cembrani e Bettencourt (1984) e informalmente denominadas de A, B, C e D. As unidades A, B e C incluem predominantemente rochas aqui interpretadas como de fase precoce e a Unidade D como de fase tardia. Essas com ocorrências principalmente nos plútons Pascana e Saubinha e associadas espacialmente aos depósitos primários de estanho e metais base (Cu, Pb e Zn).

As fácies ígneas precoces são viborgitos, piterlitos e granitos pórfiros, com hornblenda e biotita (Unidades A e B) e, em proporções aparentemente bem menores, gabros, microgabros e hornblenda quartzo-monzonitos (Unidade C). Já as fácies tardias são biotita sienogranitos e álcali-feldspato granitos equigranulares, seriados e porfíricos (Unidade D), além de granitos pórfiros com biotita e aplitos (Figuras 4, 6 e 7).

Os viborgitos, piterlitos e granitos pórfiros com hornblenda e biotita, esses denominados de granitos pórfiros I, apresentam assembleias incomuns de texturas, tais como, cristais ovóides de microclínio peritítico, cristais ovóides e tabulares de microclínio peritítico com mantos de plagioclásio (textura rapakivi), plagioclásio celular

manteado por plagioclásio não celular, plagioclásio com núcleo mais cálcico (sericitizado/saussuritizado) e borda límpida mais sódica, raros cristais de plagioclásio com mantos de hornblenda e biotita (plagioclásio ocelar), cristais de plagioclásio com manto de microclínio (textura antirrapakivi) e quartzo subédricos e arredondados com sinais de corrosão que indicam, segundo Hibbard (1991, 1995), interação entre magmas mais máficos e mais félsicos (Figuras 8, 9, 10 e 11).

De modo semelhante, as rochas intermediárias no distrito, que são representadas por hornblenda quartzo-monzonitos, ocorrem espacialmente associadas com gabros, microgabros e granitos pórfiros I. Essas rochas apresentam também uma assembleia de texturas incomuns que sugerem interação de magmas, tais como, megacristais de microclínio pertítico ovalados com manto ou não de plagioclásio, plagioclásio parcialmente alterado no núcleo (sericitizado/saussuritizado) com borda límpida de microclínio (textura antirrapakivi), quartzo subédrico e ovalado com sinais de corrosão e apatita acicular. Essa última ocorre também nos microgabros junto com pequenos enclaves microgranulares mais máficos (Figuras 12 e 13).

A textura rapakivi ocorre predominantemente nos viborgitos, mas também nos piterlitos, granitos pórfiros e quartzo-monzonitos. Várias interpretações são sugeridas para explicar a formação posterior do plagioclásio em relação ao feldspato alcalino (Hibbard, 1981; Dempster et al., 1994; Eklund e Shebanov, 1999). Provavelmente, as mais realistas referem-se a mistura de magmas de composições diferentes ou a cristalização de magma granítico sob condições de acentuada queda de pressão combinada com pequena mudança de temperatura (Rämö et al., 1999). Todavia, a aplicação de qualquer modelo genético, para a textura rapakivi nas rochas do distrito, deve contemplar também as outras características petrográficas identificadas, tais como: megacristais ovóides de feldspato alcalino sem manto de plagioclásio, cristais subédricos ou arredondados de quartzo com sinais de corrosão magmática, plagioclásio celular, textura antirrapakivi, apatita acicular, intercrescimentos granofíricos, entre outras.

Megacristais ovóides de feldspato alcalino sem manto de plagioclásio são explicados por processos magmáticos de crescimento ou corrosão, contudo, além da corrosão magmática, os processos de interação de magmas são mais efetivos para justificar a coexistência de megacristais com e sem manto de plagioclásio (Vernon,

2016; Currier et al., 2019). Plagioclásio celular, textura antirrapakivi e apatita acicular são compatíveis com ambientes de interação de magmas, assim como cristais de quartzo com sinais de corrosão magmática, devido às diferenças de composição e/ou temperatura entre os magmas (Andersson e Eklund, 1994; Hibbard, 1995; Müller et al., 2008, entre outros). Já os intercrescimentos granofíricos são indicativos de atividades magmáticas em níveis crustais relativamente altos, em condições de magma *undercooled* (London, 2008; Vernon, 2016).

Os biotita sienogranitos são dominantes em área sobre os granitos pórfiros com biotita (granitos pórfiros II), biotita álcali-feldspato granitos e aplitos. O feldspato alcalino (subédrico e anédrico) é sempre o microclínio turvo e pertítico, com albita sob a forma de filmes, veios ou manchas. O plagioclásio (subédrico e anédrico) tem composição variando de albita a oligoclásio e se mostra parcialmente alterado para sericita, fluorita e, por vezes, topázio. O quartzo é predominantemente subédrico e anédrico arredondado com sinais de corrosão, mas aparece também sob a forma de cristais anédricos intersticiais ou em agregados granofíricos e, mais raramente, mirmequíticos. A biotita (subédrica e anédrica) tem composição variando de siderofilita a Li-siderofilita e quase sempre forma agregados de cristais com a fluorita nos interstícios dos minerais félsicos. A fluorita roxa é onipresente e o topázio magmático foi reconhecido apenas no tipo equigranular do plúton Pascana. Zircão, monazita e minerais opacos completam os minerais acessórios reconhecidos. Já, como produto da interação fluido-rocha, ocorrem quase sempre a albita em veios e manchas no microclínio, albita intergranular, sericita, fluorita e, por vezes, topázio no plagioclásio e clorita, leucoxênio e minerais opacos na biotita (Figuras 14, 15 e 16).

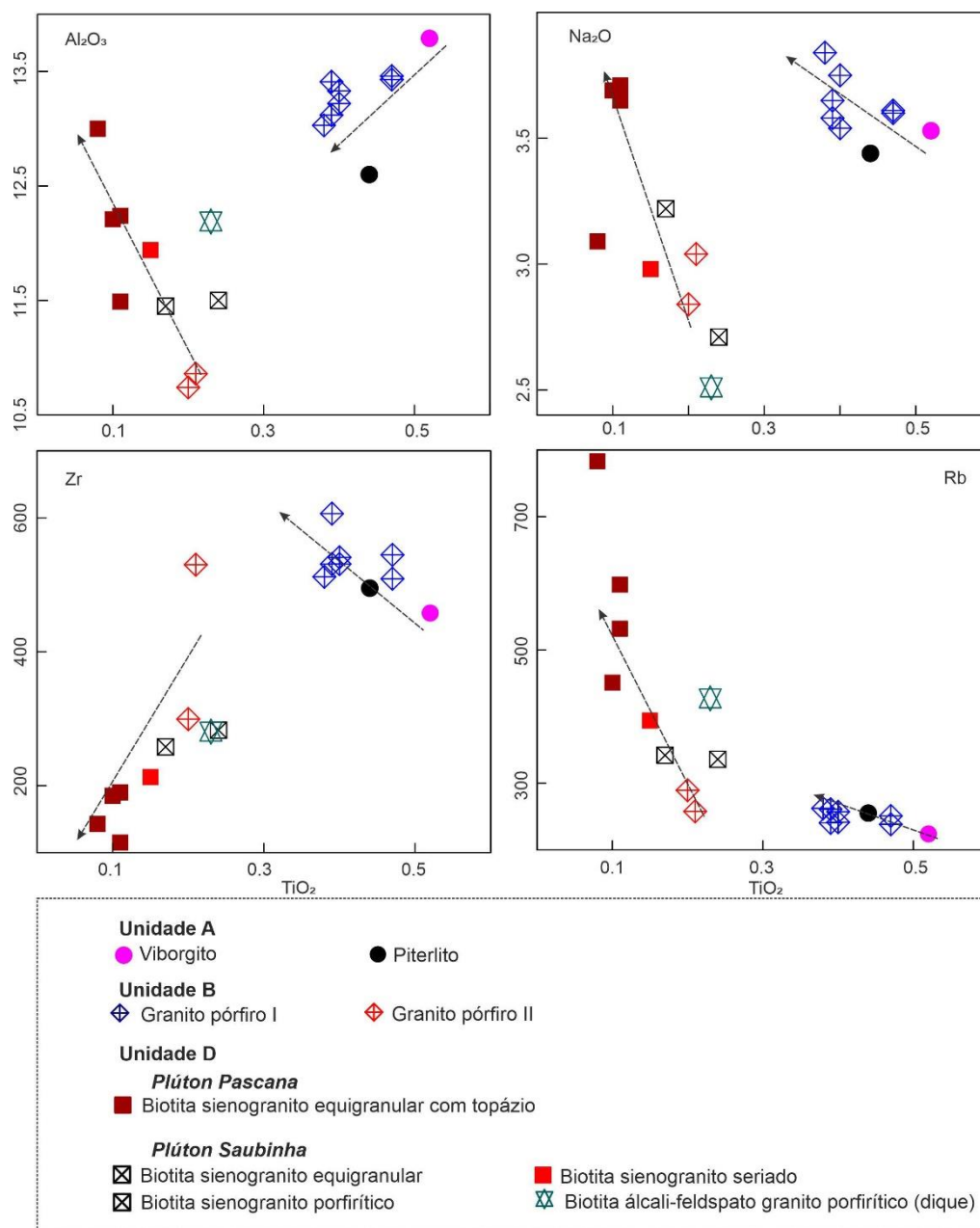
Os biotita sienogranitos do distrito são petrograficamente semelhantes aos biotita rapakivi granitos evoluídos do sul da Finlândia, devido à presença de microclínio e não de ortoclásio, plagioclásio de composição variando de oligoclásio a albita, quartzo globular (*drop-like quartz*), biotita intersticial, pelo menos uma fácies com topázio, além de fluorita e monazita como minerais acessórios típicos (cf., Ramo et al., 1999; Heinonen, 2010). Segundo Ramo et al. (1999), as fácies com topázio representam as fases intrusivas mais tardias e mostram características de granitos estaníferos. Contudo, três variedades de granitos a metais raros são reconhecidas (Pollard, 1989): álcali-granito, biotita e/ou muscovita granito e Li-mica ($\pm$ topázio)

granitos. Assim, no distrito, pelo menos duas fácies com topázio podem estar presentes, uma dominante e outra subordinada no atual nível de erosão, as quais são representadas, respectivamente, pelo biotita (siderofilita a Li-siderofilita) sienogranito equigranular com topázio do plúton Pascana e pelo topázio-mica-albita granito reconhecido por Buch et al. (2019). Esta última pode se tratar de um topázio-Li-mica-albita granito semelhante àqueles reconhecidos nas suítes intrusivas Santa Clara e Rondônia (Souza e Botelho, 2002; Bettencourt et al., 2005; Ciotta, 2022, entre outros).

Geoquimicamente, as fácies graníticas precoces e tardias têm características geoquímicas de granitos *ferroan* ou tipo-A reduzido (subtipo-A₂) e de granitos intraplaca (Figura 26). Porém, as fácies precoces são metaluminosas e álcali-cálcicas, enquanto às tardias são metaluminosas a peraluminosas e álcali-cálcicas a cálcio-alcalinas (Figura 25Figura 25), compatíveis com as presenças de hornblenda e biotita (annita a siderofilita?) e de biotita (siderofilita a Li-siderofilita), fluorita e topázio, respectivamente.

As fácies graníticas precoces e tardias mostram, com base nos diagramas de Harker, duas tendências geoquímicas distintas (Figuras 20 e 22), as quais sugerem processos independentes de diferenciação magmática por cristalização fracionada (ver também Figura 34). Nas fácies graníticas precoces a evolução geoquímica, com aumento dos teores de SiO₂, ocorre dos viborgitos aos granitos pórfiro I, com remoção importante dos minerais plagioclásio, hornblenda, biotita, magnetita, ilmenita e apatita e enriquecimento relativo em feldspato alcalino. Já nas fácies graníticas tardias, a diferenciação magmática, com diminuição dos teores de SiO₂, se dá dos granitos pórfiros II aos biotita sienogranitos com topázio, com remoção de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, zircão e minerais opacos e enriquecimento relativo em albita e topázio (cf., Liverton e Alderton, 1994, Yin et al., 1995, Leite Júnior, 2002, Ciotta, 2022). Neste caso, ocorre também a diminuição dos teores totais de ETR (743 a 361 ppm) e o aumento da anomalia negativa de Eu (0,20 a 0,06) (Tabela 5, Figura 24 B). Ademais, a variação na composição das micas de siderofilita a Li-siderofilita (Figuras 32 e 33) corrobora também com a evolução magmática dessas rochas (cf., Henderson et al., 1989; du Bray, 1994; Liverton e Botelho, 2001; Breiter et al., 2019; Ciotta, 2022).

Figura 34: Diagramas de TiO_2 versus Al_2O_3 , Na_2O , Zr e Rb para as fácies graníticas precoces e tardias da SISLC no distrito.



Os gabros e microgabros mostram características geoquímicas de basaltos alcalinos da série transicional e de ambiente intraplaca (Figura 27). Nos diagramas de Harker uma reta é definida quando incluímos também os hornblenda quartzomonzonitos e granitos pórfiros I da mesma unidade ígnea (Figuras 21 e 22). Para alguns autores (Hibbard, 1995; Lowell et al., 1999), essas retas quando associadas com feições que indicam disequilíbrio composicional são interpretadas como produto

de mistura de magmas (*mixing line*). Tais texturas são reconhecidas principalmente na rocha intermediária representada pelo hornblenda quartzo-monzonito (ver acima). Essa unidade é comparável ao Complexo rapakivi Jaala-litti associado ao batólito de Wiborg (Finlândia), o qual é composto por quartzo-feldspato pórfiro, diabásio e rocha intermediária híbrida com hornblenda, cujas evidências geológicas, petrográficas e geoquímicas favorecem a atuação de processos de mistura na origem dos magmas de composição intermediária (Salonsaari e Haapala, 1994; Salonsaari, 1995).

As composições isotópicas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e os valores de $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ das rochas analisadas indicam misturas de componentes de origem mantélica e crustal em proporções variadas na origem dos magmas em geral. A contribuição de materiais crustais foi aparentemente mais significativa na formação dos magmas das fácies graníticas precoces (viborgitos, piterlitos e granitos pórfiros I: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,51186$ e $0,51187$; $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -0,72$ a $-2,91$), enquanto para os gabros, hornblenda quartzo-monzonito e fácies graníticas tardias (biotita sienogranitos) a participação foi aparentemente bem menor, com a predominância de materiais mantélicos ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,51188$ a $0,51218$; $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +0,20$ a $+2,12$). Os componentes crustais são provavelmente derivados das rochas encaixantes estaterianas do Complexo Jamari (1,79 – 1,73 Ga) e/ou calimianas das suítes intrusivas Serra da Providência (1,60 – 1,63 Ga) e Rio Crespo (ca. 1,50 Ga), as quais são ao menos 180 Ma mais antigas que as rochas da SISLC (Figura 28).

De acordo com Frost e Frost (2011), as características geoquímicas dominantes dos granitos rapakivi (*ferroan*, metaluminosos e com composição variando de álcali-cálcico a cálcio-alcálico) indicam fusão parcial de rochas crustais e assimilação de componentes crustais pelos magmas basálticos mantélicos. Estudos isotópicos Sm-Nd em rocha total nos granitos rapakivi e rochas associadas do sul da Finlândia não foram suficientes para fornecer uma resposta convincente sobre suas fontes, devido aos valores semelhantes das razões isotópicas iniciais de Nd. Contudo, Heinonen et al. (2010), com base também nos valores das razões iniciais de Hf em zircão, sugerem o envolvimento dominante de fonte crustal para os granitos e de fonte mantélica para as rochas máficas. Deste modo, esses autores sinalizam de fato para uma natureza bimodal do magmatismo rapakivi na Finlândia.

Assim, a aplicação de mais de um método isotópico nos estudos petrogenéticos são necessários para o melhor entendimento da origem e evolução de magmas (Chen et al., 2015; Sun et al., 2021; Matos et al., 2023) e deve ser o caso para as rochas no distrito. Esses estudos poderiam confirmar a natureza bimodal do magmatismo rapakivi da SISLC, bem como a participação aparente cada vez maior de componentes mantélicos ao longo da evolução magmática das fácies graníticas, isto é, os viborgitos [$\epsilon_{Nd}(t) = -2,91$] apresentam uma composição isotópica inicial de Nd menos radiogênica (mais crustal) que os piterlitos e granitos pórfiros II [$\epsilon_{Nd}(t) = -0,21$ a $1,2$] e esses menos radiogênicos que os biotita sienogranitos [$\epsilon_{Nd}(t) = 0,57$ e $2,11$].

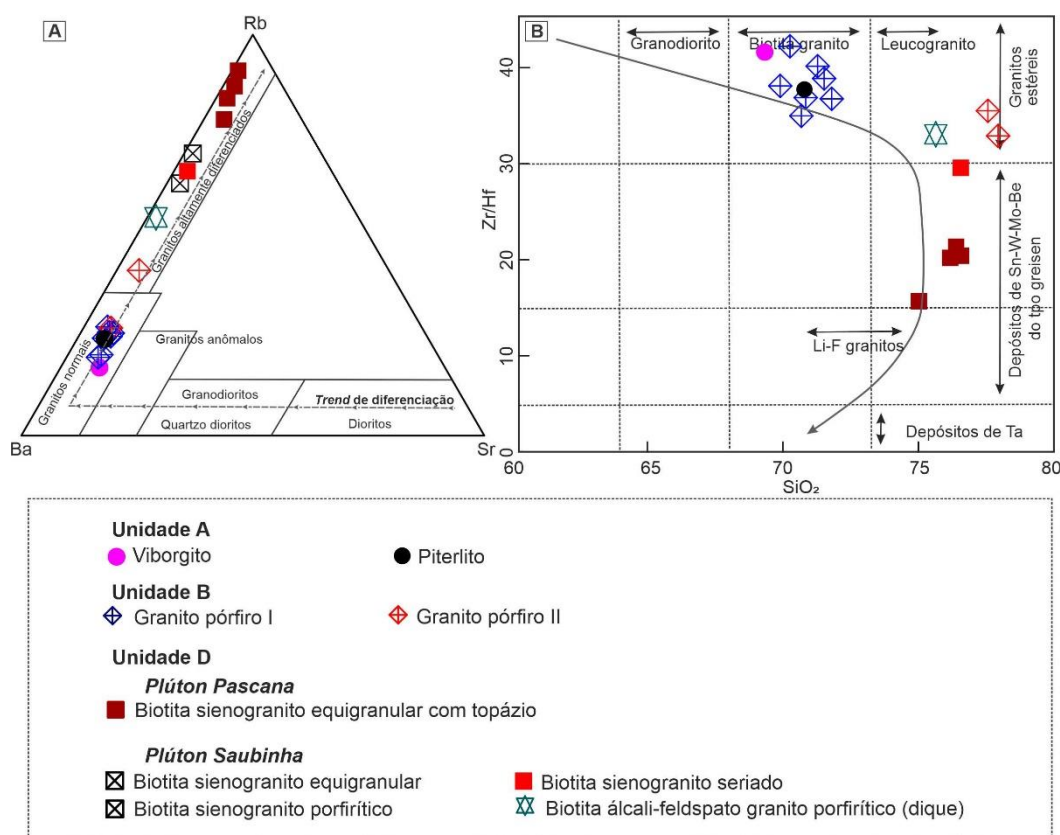
Contudo, os resultados aqui apresentados confirmam que a SISLC é zonada internamente e constituída por vários plútons também zonados e multifásicos ou não e que no distrito alguns desses plútons são representados pelas unidades ígneas A, B, C e D (ver também Isotta et al., 1978; Bettencourt et al., 1999; Silva et al., 2022). As fácies graníticas das unidades A (viborgitos e piterlitos) e B (granitos pórfiros I) são consideradas como co-magmáticas, assim como as fácies graníticas da unidade D (biotita sienogranitos e álcali-feldspato granitos) além dos granitos pórfiros II. Já as fácies petrográficas da unidade C (gabros, microgabros, hornblenda quartzo-monzonito e granito pórfiro I) são consideradas como co-genéticas.

Além, as características petrográficas, litogeoquímica e isotópica (Sm/Nd) permitem inferir que os magmas graníticos da fase precoce são produtos de fusão parcial de material crustal e que foram diferenciados por cristalização fracionada em câmara magmática profunda. Concomitantemente, processos de recarga de magmas básicos em diferentes níveis do reservatório magmático provocou a interação parcial ou total (rocha de composição intermediária) com os diferenciados graníticos e, posteriormente, os magmas resultantes foram introduzidos (vários pulsos) em níveis crustais mais elevados (cf., Clairbone et al., 2010; Chen et al., 2021). Já, os magmas graníticos da fase tardia são, provavelmente, produtos de uma nova e limitada fusão parcial de material crustal (cf., Manning e Hill, 1990; Stone et al., 1997; Breiter et al., 1999), diferenciados por cristalização fracionada e colocados também em níveis crustais mais rasos. A assinatura isotópica “híbrida” desses magmas pode estar relacionada a protólitos mistos e não a interação de magmas (Nédélec e Bouchez, 2014), já que evidências geológicas e petrográficas que indicam interação não foram

reconhecidas nesta pesquisa. Por outro lado, estudos isotópicos e de elementos traços em minerais tem revelado evidências da atuação desses processos em vários casos (Alves et al., 2021; Ji et al., 2021, entre outros).

Os produtos de processos de alteração hidrotermal e mineralização associada (Sn, Cu, Pb, Zn) ocorrem principalmente no endo e exocontatos dos plútons Pascana e Saubinha, os quais são compostos pelas fácies graníticas tardias no distrito (biotita sienogranitos e álcali-feldspatos granitos). Essas rochas apresentam características geoquímicas de granitos altamente diferenciados e associados com depósitos de estanho tipo greisen (Figura 35 A e B).

Figura 35: Fácies graníticas precoces e tardias da SISLC no distrito. **A)** Classificação do grau de diferenciação magmática com base no diagrama ternário Rb-Ba-Sr de Bouseily e Sokkary (1975). **B)** Diagrama $\text{SiO}_2(\%)$ versus razão Zr/Hf com os limites definidos por Zaraisky et al. (2009).



Quatro variedades de greisen foram identificadas neste trabalho, todas ricas em quartzo (> 60%) e com mica (mica-quartzo greisen) ou mica e topázio (topázio-mica-quartzo greisen) como minerais essenciais complementares (Figura 18). O quartzo se apresenta em até quatro tipos texturais, o QzI é aqui interpretado como magmático e herdado do granito hospedeiro, já os QzII, QzIII e QzIV são hidrotermais e relacionados com a greisenização (Figura 19). A mica tem composição variando de fengita a muscovita nos mica-quartzo greisen e de Li-siderofilita a Li-fengita nos topázio-mica-quartzo greisen (Tabela do Apêndice C), enquanto a cassiterita está quase sempre presente e, aparentemente, é mais frequente nas fácies com topázio.

Os topázio-Li-mica-quartzo greisens se apresentam quase sempre cloritizados em proporções variadas. A clorita preenche os vazios (microcavidades miarolíticas) e/ou substitui a Li-mica e, normalmente, está acompanhada por carbonato, fluorita e sulfetos. Não raramente e por sua vez, a clorita se encontra parcialmente sericitizada/muscovitizada (Figura 19 C, D e E). Portanto, uma sequência de processos de alteração hidrotermal pós-magmáticos pode ser, preliminarmente, assim definida: greisenização I → cloritização → greisenização II.

A greisenização I tem como produto os topázio-mica (Li-fengita ou Li-siderofilita) -quartzo greisen, a cloritização as zonas cloritizadas com carbonato, fluorita e sulfetos nos greisens anteriores e a greisenização II os mica (fengita ou muscovita) quartzo greisen. Além desses, um quarto processo (silicificação) é responsável pela formação dos veios e vênulas de quartzo com topázio, mica (Li-fengita ou Li-siderofilita) e cassiterita ou com carbonato, clorita, fluorita e sulfetos e ocorrem associados aos processos de greisenização I e cloritização, respectivamente. Veios e vênulas de quartzo tardios associados à greisenização II ou não provavelmente ocorrem no distrito, mas não foram reconhecidos neste trabalho. A cassiterita foi observada nos greisens e nos veios e vênulas de quartzo com topázio e mica (Figura 19 D, E e F), já os sulfetos aparecem nas zonas cloritizadas e nos veios e vênulas com carbonato, clorita e fluorita e são representados, principalmente, por esfalerita, calcopirita, galena, pirita e arsenopirita (Figura 19 G).

As composições químicas das micas secundárias nos greisens e veios de quartzo variam de Li-siderofilita a Li-fengita nos topázio-mica-quartzo greisen para fengita a muscovita nos mica-quartzo greisen (Figura 32 A), com evidências de

superposição dos processos de alteração hidrotermal (Figura 33 B), em acordo com as evidências petrográficas. Tal tendência é verificada também em muitos outros casos inclusive na própria província estanífera de Rondônia e deve refletir mudanças na temperatura e na composição química dos fluidos hidrotermais formadores dos greisens e veios de quartzo (ver e.g., Xie et al., 2015; Breiter et al., 2019, 2023; Guimarães et al., 2021; Ciotta, 2022).

Pelo exposto, as seguintes conclusões podem ser assim concebidas:

Os estudos geológicos, petrográficos, geoquímicos e isotópicos realizados na SISLC, na região do distrito mineiro São Lourenço-Macisa na província estanífera de Rondônia, definiram quatro unidades ígneas na escala 1:25.000, as quais foram informalmente denominadas de A, B, C e D. As unidades A, B e C são interpretadas como constituídas por fácies petrográficas de fase precoce, enquanto a unidade D por fácies petrográficas de fase tardia, com base nas dimensões dos plútons e nas características mineralógicas e químicas dos litotipos. Os plútons da unidade D são relativamente menores e compostos por rochas graníticas geoquimicamente mais diferenciadas e relacionadas espacialmente com os depósitos primários de estanho e metais base associados (Cu, Pb e Zn).

As fácies petrográficas precoces são viborgitos, piterlitos e granitos pórfiros com hornblenda e biotita (unidades A e B), assim como gabros, microgabros, hornblenda quartzo-monzonitos e granitos pórfiros (unidade C) e mostram evidências petrográficas e/ou químicas e isotópicas (Nd) que sugerem processos de fusão parcial, diferenciação magmática por cristalização fracionada e de interação parcial ou total de magmas félsicos de origem crustal e magmas máficos de origem mantélica em câmara magmática profunda. Adicionalmente, mostram ainda feições petrográficas que indicam a colocação dos magmas produzidos em nível crustal mais alto.

As fácies petrográficas tardias são principalmente biotita sienogranitos com e sem topázio, biotita álcali-feldspato granitos (unidade D) e granitos pórfiros com biotita e mostram características geoquímicas de granitos altamente diferenciados e associados com depósitos de estanho tipo greisen. São provavelmente produtos de fusão parcial e limitada de material crustal com contribuição de componentes mantélicos, diferenciados por cristalização fracionada e também colocados em níveis mais rasos da crosta.

Os processos hidrotermais pós-magmáticos associados às fácies graníticas tardias são responsáveis pela formação dos greisens e veios e vênulas de quartzo mineralizados com estanho ou metais base (Cu, Pb e Zn). A cassiterita ocorre nos greisens e nos veios e vênulas de quartzo com topázio e mica, enquanto a esfalerita, calcopirita e galena nas zonas cloritizadas e nos veios e vênulas de quartzo com carbonato, clorita e fluorita. Uma sequência geral desses processos pode ser assim estabelecida para o distrito: greisenização I / silicificação I → cloritização / silicificação II → greisenização II / silicificação III (?).

Finalmente, as características geoquímicas de granitos *ferroan* ou tipo-A e de granitos intraplaca das fácies graníticas, assim como a natureza também intraplaca dos gabros e microgabros associados indicam a atuação de processos de extensão sobre crosta Rio Negro-Juruena mais antiga (1,79 – 1,50 Ga) durante os eventos tectono-metamórfico relacionados com a orogenia Rondoniana-San Ignacio (1,35 a 1,32 Ga). Concomitantemente, processos magmáticos de *underplating* e/ou *intraplating* seriam os responsáveis pela fusão parcial da crosta continental, formação de câmaras magmáticas profundas e recarga de magmas máficos como indutores de processos de interação de magmas de origem crustal e mantélico.

CAPÍTULO 8: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamy, A. (2010). Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil. Levantamento da geodiversidade. Porto Velho: CPRM, 337 p.
- Agência Nacional das Águas – ANA. (2018). Plano estadual de recursos hídricos do estado de Rondônia. *Relatório final*. Curitiba (PR). 579 p.
- Alves, A.; Janasi, V. A.; Pereira, G. S.; Prado, F. A.; Munoz, P. R. M. (2021). Unravelling the hidden evidences of magma mixing processes via combination of in situ Sr isotopes and trace elements analyses on plagioclase crystals. *Lithos*, 404 – 405, 1 – 12.
- Anderson, J. L., Morrison, J. (2005). Ilmenite, magnetite, and peraluminous Mesoproterozoic anorogenic granites of Laurentia and Baltica. *Lithos* 80, 45 – 60.
- Arndt, N. T.; Goldstein, S. L. (1987). Use and abuse of crust-formation ages. *Geology*, 15, 893 – 895.
- Bahia, R. B. C. (1997). A Formação Palmeiral (Proterozóico Superior) na Serra dos Pacaás Novos, Oeste de Rondônia. 1997. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Bettencourt, J. S., Payolla, B. L., Leite Jr, W. B. (2018). U-Pb detrital and metamorphic zircon ages of paragneisses from Rondônia (Brazil), SW margin of the Amazonian Craton: passive continental margin basin sedimentation related to the evolution of the Rondonian-San Ignacio Province. *11th South American Symposium on Isotope Geology*, 63. Cochabamba, Bolívia: Program and Abstracts.
- Bettencourt, J. S., Leite Jr, W. B., Ruiz, A. S., Matos, R., Payolla, B. L., Tosdal, R. M. (2010). The Rondonian-San Ignacio Province in the SW Amazonian Craton: An overview. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 28 – 46.
- Bettencourt, J. S., Tosdal, R. M., Leite Jr, W. B., Payolla, B. L. (1999). Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil - I. Reconnaissance U–Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research*, 95, 41 – 67.

- Bettencourt, J. S.; Tosdal, R. M.; Leite Jr.; W. B.; Payolla, B. L. (1997) U-Pb, Sm-Nd, Pb-Pb and Rb-Sr isotopic constraints on the origin of the rapakivi granites of Rondônia. *Anais do South American Symposium on Isotope Geology*, Brazil, São Paulo, 47 – 48.
- Bettencourt, J. S.; Muzzolon, R.; Payolla, B. L.; Daluigna, L. G.; Pinho, O. G. (1988). Depósitos estaníferos secundários da região central de Rondônia. In: Schobbeanhaus, C.; Coelho, C. E. S. Coord. Depósitos minerais do Brasil. Rio de Janeiro. DNPM.
- Bonin, B. (2007). A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, 97, 1 – 29.
- Bowden, P.; Kinnaird, J. A.; Abaa, S. I.; Ike, E. C.; Turaki, U. M. (1984b). Geology and mineralization of the nigerian anorogenic ring complexes – with a geological map of the scale of 1:500.000. *Geology*, 53, 1 – 68.
- Bowden, P.; Batchelor, R. A.; Chapepel, B. W.; Didier, J.; Lameyre, J. (1984a). Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 35, 1 – 11.
- Breiter, K.; Galiová, M. V.; Michaela, H.; Korbelová, Z.; Jindrich, K.; Costi, H. T. (2023). Trace element composition of micas from rare-metal granites of different geochemical affiliations. *Lithos*, 4446 – 447, 1 – 22.
- Breiter, K.; Hložková, M.; Korbelová, Z.; Galiová, M. V. (2019). Diversity of lithium mica compositions in mineralized granite–greisen system: Cínovec Li-Sn-W deposit, Erzgebirge. *Ore Geology Reviews*, 106, 12 – 27.
- Breiter, K.; Forster, H. J.; Seltmann, R. (1999). Variscan silicic magmatism and related tin-tungsten mineralization in the Erzgebirge-Slavsky les metallogenic province. *Mineralogical Deposita*, 34, 504 – 521.
- Buch, T., Dall'Igna, L. G., Graça, M. C., Silva, D. R. V. (2019). *Áreas de relevante interesse mineral: reavaliação da Província Estanífera de Rondônia*. Porto Velho: CPRM.
- Cembrani, J. C.; Bettencourt, J. S. (1985). *Projeto Granito São Lourenço*. Relatório final de mapeamento do Maciço São Lourenço, 73.

- Che, S. R.; Wang, Q.; Zhu, D. C.; Weinberg; F. Zhang, L. L.; Zhao, Z. D. (2021). Reheating and magma mixing recorded by zircon and quartz from high silica rhyolite in the Coqen region, Southern Tibet. *American Mineralogist*, 106, 112 – 122.
- Chen, X. C.; Hu, R. Z.; Bi, X. W.; Zhong, H.; Lan, J. B.; Zhao, C. H.; Zhu, J. J. (2015). Petrogenesis of metaluminous A-type granitoids in the Tengchong-Lianghe tin belt of southwestern China: Evidences from zircon U-Pb ages and Hf-O isotopes, and whole rock Sr-Nd isotopes. *Lithos*, 93 – 110.
- Ciotta, M. R. (2022). *Petrologia dos granitos associados aos depósitos primários de estanho e metais base da mina Bom Futuro, Rondônia*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- Claiborne, L. L.; Miller, C. F.; Wooden, J. L. (2010). Trace element composition of igneous zircon: a thermal and compositional record of the accumulation and Evolution of a large silicic batholith, Spirit Mountain, Nevada. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160, 511 – 531.
- Cordani, U. G. (2017). História geológica do Craton. *Anais do 15º Simpósio de geologia da Amazônia*, Belém, Outubro, 11 – 16.
- Cordani, U. G., Teixeira, W. (2007). Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. *Memoir of the Geological Society of America*, 200, 297 – 320.
- Cordani, U. G.; Tassinari, C. C. G.; Teixeira, W.; Basei, M. A. S.; Kawashita, K. (1979). Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *Anais. Ciudad de Arica: Instituto de Investigaciones Geológicas*.
- Costa, M. A. C., Sousa, M. Z. A., Dall'Agnol, R., Scandolara, J. E., Ruiz, A. S. (2016). Geochemistry and geochronology of the rapakivi granites and associated rocks in the midwest portion of the Serra da Providência composite batholith, SW of Amazonian craton, Rondônia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 69, 194 – 212.
- Costa, J. B. S.; Hasui, Y. (1997) Evolução geológica da Amazônia. In: Costa, M. L. e Angélica, R. S. (coord.) Contribuições à geologia da Amazônia. Belém, Finep/SBG-NO, 19 – 90.

Costa, J.B.S.; Hasui, Y. (1991). O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*. Rio Claro – SP. Boletim de Resumos Estendidos e Roteiros das Excursões. Rio Claro – SP: UNESP/SBG. 230 p.

Dall'Agnol, R.; de Oliveira, D.C. (2007). Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of a-type granites. *Lithos*, 93, 215 – 233.

Departamento nacional de infraestrutura de transportes (DNIT): Mapa multimodal Rondônia (2013). Acessado em novembro de 2019. Disponível em: www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais/ro.pdf.

DePaolo, D. J. (1981). Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust-mantle Evolution in the Proterozoic. *Nature*, 291, 193 – 196.

Dingwell, D. B. (1988). The structure and properties of fluorine-rich magmas: a review of experimental studies. In: Taylor, R. P; Strong, D. F. (ed). *Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits*. Québec, Can. Inst. Mining Metall., Special Volume, 39, 1 – 12.

du Bray, E. A (1994). Compositions of micas in peraluminous granitoids of the Eastern Arabian Shield: implications for petrogenesis and tectonic setting of highly evolved, rare-metal enriched granites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116, 381 – 397.

Eby, G.N. (1992). Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20, 641 – 644.

Eby, G.N. (1992). The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 26, 115 – 134.

Farias, V. (2020). *Geologia e petrologia do Pluton Saubinha e os depósitos de estanho associados, Rondônia*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP. 153 p.

Farias, V. (2017). *Geologia, litogeoquímica e geocronologia U-Pb (SHRIMP) do plúton, associado à mineralização de Sn, Saubinha: SW do Cráton Amazônico: distrito mineiro de São Lourenço-Macisa (RO)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 171 p

- Frost, C. D., Frost, B. R. (2011). On ferroan (A-type) granitoids: their compositional variability and modes of origin. *Journal of Petrology*, 52, 39 – 53.
- Frost B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J., Frost, C. D. (2001). A geochemical classification for granitic rocks, *Journal of Petrology*, 42, 2033 – 2048.
- Frost, C. D; Frost, B. R. (1997). Reduced rapakivi-type granites: the tholeiite connection. *Geology*, 25, 647 – 650.
- Haapala, I., Rämö, O.T. (2015). Deposits related to granites. In: Maier, W.D., O'Brien, H., Lahtinen, R. (Eds.), *Mineral Deposits of Finland*. Elsevier, Amsterdam. 531 – 551.
- Haapala, I. (1995) Metallogeny of the rapakivi granites. *Mineralogy and Petrology*, 54, 149 – 160.
- Haapala, I.; Rämö, O. T. (1992). Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of southeastern Fennoscandia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, 165 – 171.
- Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., de Almeida, F. F. M., Bartorelli, A. (2012). Cráton Amazônico: províncias Rio Branco e Tapajós. In: Hasui, Y. et al. (Org.). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, p. 138 – 175.
- Hassui, Y.; Almeida, F. F. M. (1985). The central Brazil shield reviewed. *Episodes*, 8, 29 – 37.
- Heinonen, A. (2010). *Introduction to the rapakivi granites and associated rocks of southeastern Finland*. In: Heinonen, A.; Lukkari, S.; Rämö, T. (org.). Guide to the IGCP-510 (A-type granites and Related Rocks through Time) Field Trip, Southeastern Finland. 14-18. Department of Geosciences and Geography C3. Helsinki University Print, Helsinki, Finland, p. 8-12.
- Henderson, C. M. B.; Martins, J. S.; Mason, R. A. (1989). Compositional relations in Li-micas from S. W. England and France: an iron- and electron-microprobe study. *Mineralogical Magazine*. 53, 427 – 449.
- Hibbard, M. J. (1995). *Petrography to petrogenesis*. Jersey: Prentice.
- Hibbard, M. J. (1981). The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 76, 158 – 170.

- Hutchison, C. S. (1974). *Laboratory handbook of petrographic techniques*. Wiley Interscience.
- Iberber, W. (1999). The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 489 – 508.
- Irvine, T. N.; Baragar, W. R. A. (1971) A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523 – 548.
- Isotta, C. A. L., Carneiro, J. M., Kato, H. T., Barros, R. J. L. (1978). Projeto Província Estanífera de Rondônia, 406 p.
- Jiang, X. Y.; Ling, M. X.; Wu, K.; Zhang, Z. K.; Sun, W. D.; Sui, Q. L.; Xia, X. P. (2018). Insights into the origin of coexisting A₁- and A₂-type granites: Implications from zircon Hf-O isotopes of the Huayuangong intrusion in the Lower Yangtze River Belt, eastern China. *Lithos*, 230 – 243.
- Kamaunji, V. D.; Wang, L. X.; Ahmed, H. A.; Zhu, Y. X.; Vincent, V. I.; Girei, M. B. (2020). Coexisting A₁ and A₂ granites of Kudaru Complex: implications for genetic and tectonic diversity of A-type granite in the Younger Granite Province, north-central Nigeria. *International Journal of Earth Sciences*. 109, 511 – 535.
- Kloosterman, J. B. (1968). Uma província do tipo Nigeriano no sul da Amazônia. *Eng. Min. Metal*, 48, 59 – 64 e 167 – 168.
- Kloosterman, J. B. (1966). Granites and rhyolites of São Lourenço: A vulcano-Plutonic complex in southern Amazonia. *Eng. Min. Met.*, 44 (262): 169 – 171.
- Kühne, R.; Wasternack J.; Schulze H. (1972). Postmagmatische Meta-somatose im Endo-Exokontakt der jüngeren postkinematischen Granite des Erzgebirges. *Geologie*, 21, 457 – 493.
- Leake, B. E., Woolley, A. R.; Arps, C. E. S.; Birch, W.; Gilbert, M. C.; Hawthorne, F. C.; Grice, J. D.; Kato, A.; Kisch, H.; Krivovichev, V.; Linthout, K.; Laird, J.; Mandarino, J. A.; Maresch, W.; Nickel, E.; Rock, N. M. S., Schumacher, J. C; Smith, D. C.; Stephenson, N. C. N; Ungaretti, E. J. W.; Youzhi, G. (1997). Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association,

commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist*, 35, 219 – 246.

Lenharo, S. L. R.; Moura, M. A.; Botelho, N. F. (2002). Petrogenetic and mineralization processes in Paleo- to Mesoproterozoic rapakivi granites: examples from Pitinga and Goiás, Brazil. *Precambrian Research*, 119, 277 – 299.

Leite Junior, W. B.; Payolla, B. L.; Bettencourt, J. S.; Dias, C. A. T. (2014). 1.38 – Ga A-type granites related to the evolution of the Rondonian-San Ignacio orogenic system, SW Amazonian Craton, Brazil: a geochemical overview. *Comunicações Geológicas*. 101, nº. Especial I, 125 – 129. Portugal – Porto: IX CNG/2º CoGeLiP. Disponível em: https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2020/03/23_2971_ART.CG14_ESPECIAL_I.pdf, acessado em 20 de fevereiro de 2020.

Leite Júnior, W. B. (2002). *A suíte intrusiva Santa Clara e a mineralização polimetálica (Sn, W, Nb, Ta, Zn, Cu e Pb) associada*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, USP, São Paulo, p. 305.

Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A. J., Keller, M. J. (1989). *A Classification of igneous rocks and glossary of terms*, Blackwell, Oxford, 193 p.

Li, W. Y.; Chang, Q. M. A.; Liu, Y. Y.; Robinson, P. T. (2012). Discovery of the Indosinian aluminum A-type granite in Zhejiang Province and its geological significance. *Science China Earth Sciences*. 1, 13 – 25.

Liverton, T.; Botelho, N. F. (2001). Fractionated alkaline rare-metal granites: two examples. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, 399 – 412.

Liverton, T.; Alderton, D. H. M. (1994). Plutonic rocks of the Thirtymile Range, Dorsey Terrane: ultra fractionated tin granites in the Yukon. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31, 1557-1568. 31, 1557 – 1568.

Lobato, F. P. N. S., Apeel, L. E., Godoy, M. C. F. T., Ritter, J. E. (1966). Pesquisa de cassiterita no Território Federal de Rondônia. Relatório Final, Boletim nº. 125, p. 209. MME/DNPM/DFPM.

Loiselle, M. C., Wones, D. R. (1979). Characteristics and origin of anorogenic granites: *Geological Society of America. Abstracts with Programs*, vol. 11, 468 p.

- Manning, D. A. C.; Hill, P. I. (1990). The petrological and metallogenetic significance of topaz granite from the southwest England orefield. In: Stein, H. J.; Hannah, J. L. (ed). *Ore-bearing granite system, petrogenesis and mineralizing processes. Boulder*. The Geological Society of America, Special Paper, 246, 51 – 69.
- Matos, J. F.; Kinney, S.; Dorais, M. J.; Christiansen, E. H. (2023). An E_{Hf} and ^{18}O isotopic study of zircon of the Mount Osceola and Conway Granites, White Mountain Batholith, New Hampshire: Deciphering the petrogenesis of A-type granites.
- McDonough, W.F.; Sun, S. (1995). The composition of the Earth, *Chemical Geology*, 120, *Lithos*. 223 – 253.
- Meschede, M. (1986) A method of discrimination between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56, 207 – 218.
- Monier, G.; Robert, J. L. (1986). Evolution of the miscibility gap between muscovite and biotite solid solutions with increasing lithium content: an experimental study in the system $\text{K}_2\text{O}-\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{HF}$ at 600°C , 2 kbar $P_{\text{H}_2\text{O}}$: comparison with natural lithium micas. *Mineralogical Magazine*, 50, 641 – 651.
- Morimoto, N.; Gardá, M. G.; Atencio, A. (1990). Nomenclatura de piroxênios. *Revista Brasileira de Geociências*, 20, 318 – 328.
- Mount, M. (2009). Technical Report: The São Lourenço Tin Project, Rondônia State. Payolla, B. L. e Pinho, O. G. Relatório final do Maciço Pedra Branca executado pelo Projeto Granito, Cachoeirinha, Rondônia. Coordenador Bettencourt, J. S. Arquivos da Mineração Oriente Novo S. A., São Paulo, SP, p 69. (Inédito)
- Murphy, J. B.; Shellnutt, J. G.; Collins, W. J. (2018). Late Neoproterozoic to Carboniferous genesis of A-type magmas in Avalonia of northern Nova Scotia: repeated partial melting of anhydrous lower crust in contrasting tectonic environments. *International Journal of Earth Sciences*, 107, 587 – 599.
- Nardy, A. J. R.; Enzweiler, J.; Bahia Filho, O.; Oliveira, M. A. F.; Peneiro, M. A. V. (1997). Determinação de elementos maiores e menores em rochas silicáticas por espectrometria de fluorescência de raios X: resultados preliminares. In: VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador (BA). Resumos Expandidos. Salvador, p. 346 – 348.

- Nédélec, A.; Bouchez, J. L. (2014). *Granites: Petrology, Structure, Geological setting and Metallogeny*. Oxford University Press, New York, 335p.
- Oliveira, C. E. S.; Bergami, G. N.; Valentim da Silva, D. R.; Medeiros, C. G.; Ribeiro, T. J.; Scandolara, J. E.; Oliveira Neto, W. L. (2022). *Mapa Geológico do Projeto Geologia e Recursos Minerais da Porção Noroeste do Estado de Rondônia*. Porto Velho: SGB/CPRM, 1 mapa, color., Escala 1:250.000
- Payolla, B. L.; Bettencourt, J. S.; Kozuch, M., Leite Jr. W. B.; Fetter, A.H.; Schmus, W. R. V. (2002). Geological Evolution of the Basement Rocks in the East-Central part of the Rondônia Tin Province, SW Amazonian Craton Brazil: U-Pb and Sm-Nd Isotopic Constraints. *Precambrian Research*, 119, 141 – 169.
- Payolla, B. L.; Bettencourt, J. S.; Kozuch, M., Leite Júnior, W. B.; Fetter, A. H.; Van Schmus, W. R. (2001a). Geological Evolution of the basement rocks in the central-eastern part of the Rondônia Tin Province, Sw Amazonian Craton, Brazil: U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. In: Bettencourt, J. S.; Teixeira, W.; Pacca, I.; Geraldés, M. C.; Sparrenberg, I. (ed.). *Geology of the Sw Amazonian Craton: state-of-the-art*. ID-USP/IGCP 426, *Extended Abstracts*, 45 – 47.
- Payolla, B. L.; Muzzolon, R.; Pinho, O. G.; Bettencourt, J. S. (1984). Estratigrafia preliminar e ambientes de deposição dos depósitos estaníferos secundários nos distritos de Cachoeirinha, Monte Negro e Oriente Novo, Estado de Rondônia. In: Simpósio Amazônico, Manaus. Atas MME/DNPM, 359 – 373.
- 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, 956 – 983.
- Pearce, J. A.; Norry, M. J. (1979). Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 69, 33 – 47.
- Pearce, J. A.; Cann J. R. (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290 – 300.
- Petronilho, L. (2009). Método Sm-Nd no CPGeo-IGc-USP: Procedimentos Analíticos Atualmente em Rotina. In *Boletim de Resumos Expandidos Simpósio 45 Anos de Geocronologia no Brasil*, v. 8, p. 116 – 118.

- Priem, H. N. A.; Hoelrijk, N. A. I. M.; Hebeda, E. H.; Verschure, R. H.; Bon, E. H. (1971). Granitic Complexes and associated tin mineralizations of “Grenville” age in Rondônia, Western Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.* 82, 1095 – 1102.
- Projeto RADAMBRASIL. Programa de integração nacional. Levantamentos de recursos naturais. (1978). Folha SC. 20 Porto Velho, vol. 16, 651p.
- Quadros, M. L. E. S.; Rizzotto, G. J. (2007) (org.). *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia. Porto Velho*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia (Escala 1:1.000.000). 154 p.
- Rämö, O. T., Haapala, I. (1995). One hundred years of rapakivi granite. *Mineralogy and Petrology*, 52, 129 – 185.
- Ransey, C. R. (1986). Specialized felsic plutonic rocks of the Arabian shield and their precursors. *Journal of African Earth Sciences*, 4, 153 – 168.
- Rizzotto, G. J., Alves, C. L., Rios, F. S., Barros, M. A. S. (2019). The Western Amazonia Igneous Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 1 – 12.
- Rizzotto, G. J., Hartmann, L. A., Santos, J. O. S., McNaughton, N. J. (2014). Tectonic evolution of the southern margin of the Amazonian craton in the late Mesoproterozoic based on field relationships and zircon U-Pb geochronology. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86, 57 – 84.
- Rizzotto, G. J.; Santos, J. O. S.; Hartmann, L. A.; Tohver, E.; Pimentel, M. M.; McNaughton, N. J. (2013). The Mesoproterozoic Guaporé suture in the SW Amazonian Craton: Geotectonic implications based on field geology, zircon geochronology and Nd-Sr isotope geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 48, 271 – 295.
- Rizzotto, G. J.; Quadros, M. L. do E. S.; Bahia, R. B. C.; Cordeiro, A. V. (2004). Folha SC. 20- Porto Velho. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J. H., Santos, J. O. S., Abram, M. B., Leão Neto, R., Matos, G. M. M., Vidotti, R. M., Ramos, M. A. B., Jesus, J. D. A de (Eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas Programa Geologia do Brasil*. Brasília: CPRM, 2004.

Santos, H. G. dos; Carvalho Júnior, W.; Dart, R. O.; Áglio, M. L. D.; Sousa, J. S.; Pares, J. G.; Fontana, A.; Martins, A. L. S.; Oliveira, A. P. O. (2011). O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. *Documentos 130*. Rio de Janeiro, 67 p.

Santos, J. O. S.; Rizzotto, G. J.; Potter, P. E.; McNaughton, N. J.; Matos, R. S.; Hartmann, L. A.; Chemale, F.; Quadros, M. E. S. (2008). Age and autochthonous evolution of the Sunsás Orogen in West Amazon Craton based on mapping and U – Pb geochronology, *Precambrian Research*, 65, 3 – 4.

Santos, J. O. S.; Rizzotto, G. J.; Easton, M. R.; Potter, P. E.; Hartmann, L. A.; McNaughton, N. J. (2002). The Sunsás Orogen in Western Amazon Craton, South America and correlation with the Grenville Orogen of Laurentia, based on U-Pb isotopic study of detrital and igneous zircons. Denver: *Geological Society of America*.

Santos, J. O. S.; Hartmann, L. A.; Gaudette, H. E.; Groves, D. I.; McNaughton, N. J.; Fletcher, I. R. (2000). A new understanding of the Amazon Craton Provinces based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 4, 453 – 488.

Scandolara, J. E.; Correa, R. T.; Fuck, R. A.; Souza, V. S.; Rodrigues, J. B.; Ribeiro, P. S. E.; Frasca, A. A. S.; Saboia, A. M.; Lacerda Filho, J. V. (2017). Paleo-Mesoproterozoic arc-accretion along the southwestern margin of the Amazonian craton: The Juruena accretionary orogen and possible implications for Columbia supercontinent. *Journal of South American Earth Sciences*, 73, 223 – 247.

Scandolara, J. E., Fuck, R. A., Dall’agnol, R., Dantas, E. L. (2013 a). Geochemistry and origin of the early Mesoproterozoic mangerite-charnockite-rapakivi granite association of the Serra da Providencia suíte and associated gabbros, central-eastern Rondonia, SW Amazonian Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 166 – 193.

Shand, S. J. (1943) Eruptive Rocks. Their Genesis Composition. Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite. John Wiley & Sons, New York.

- Souza, S. (2009). Métodos Radiométricos Rb-Sr e Sm-Nd no CPGeo-IGc-USP. In *Boletim de Resumos Expandidos Simpósio 45 Anos de Geocronologia no Brasil*, p. 137–139.
- Štemprok, M. (1987). Greisenization (a review). *Geologische Rundschau*, 76, 169 – 175.
- Stone, M.; Klomínský, J.; Rajpoot, G. S. (1997). Composition of trioctahedral micas in the Karlovy Vary Pluton, Czech Republic and a comparison with those in the Cornubian Batholith, SW England. *Mineralogical Magazine*, 61, 791 – 807.
- Stone, M.; Exley, C.S.; George, M.C. (1988). Compositions of trioctahedral micas in the Cornubian batholith. *Mineralogical Magazine*, 52, 175 – 192.
- Streckeisen, A. (1976). To each Plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, 12, 1 – 33.
- Sun, Y.; Ma, C.; Liu, Bin. (2021). Important role of magma mixing in generating the Late Cretaceous Shima intrusion along the Middle-Lower Yangtze River belt: Evidence from petrology, geochemistry, and zircon U-Pb-Hf isotopes. *Lithos*, 106143, 1 – 14.
- Tassinari C. C. G.; Macambira M. J. B. (2004). A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Dal Ré Carneiro, C., Brito-Neves, B. B. (eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo. p. 471-485, 2004.
- Tassinari, C. C. G.; Bettencourt, J. S.; Geraldès, M. C., Macambira, M. J. B.; Lafon, J. M. (2000). The Amazonian Craton. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomas Filho, A.; Campos, D. A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, SBG-IUGS, 41 – 95.
- Tassinari, C. C. G.; Macambira, M. J. B. (1999). Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22, 174 – 182.
- Tassinari, C. C. G. (1996). O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos IGCUSP, São Paulo, *Tese de Livre Docência*, p. 139.
- Teixeira, W.; Geraldès, M. C.; Matos, R.; Ruiz, A. S.; Saes, G.; Vargas-Mattos, G. (2010). A review of the tectonic evolution of the Sunsás belt, SW Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 47– 60.

- Teixeira, W.; Tassinari, C. C. G.; Cordani, U. G.; Kawashita, K. (1989). A review of the geochronology of the Amazonian craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, 42, 213 – 227.
- Tischendorf, G., Gottesmann, B., Förster, H. J., Trumbull, R. B. (1997). On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation. *Mineralogical Magazine*, 61, 809 – 834.
- Tischendorf, G.; Förster, H. J.; Gottesmann, B. (2001). Minor and trace-element composition of trioctahedral micas: a review. *Mineralogical Magazine*, 65, 249 – 276.
- Tohver, E.; Van Der Pluijm, B.; Van Der Voo, R.; Rizzotto, G.; Scandolara, J. E. (2002). Paleogeography of the Amazon craton at 1.2 Ga: early Grenvillian collision with the Liano segment of Laurentia. *Earth and Planetary Science Letters*, 198, 1 – 16.
- Vernon, R. H. (2016). Rapakivi granite problems: plagioclase mantles and ovoid megacrysts, *Australian Journal of Earth Sciences*, 63, 675 – 700.
- Vorma, A. (1976). On the geochemistry of rapakivi granites with special reference to the Laitila massif, southwestern Finland. *Geology Survey Finland Bulletin*, 285, 1 – 98.
- Waghorn, J. G. (1974). The geology of Rondônia (western Brasil), with special reference to the tin-bearing complexes and placers deposits. Faculty of Science, University of London, *Tese de doutoramento*, 293 p.
- Whalen, J. B.; Currien, K. L.; Chappel, B. W. (1987). A-type granites; geochemical characteristics, discriminations and petrogenesis. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 95, 407 – 419.
- Whitney, D. L.; Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185 – 187.
- Yin, L.; Pollard, P. J.; Shouxi, H.; Taylor, R. G. (1995). Geologic and geochemical characteristics of the Yichang Ta-Nb-Li deposits, Jiangxi, South China. *Economic Geology*, 90, 577 – 585.