

CARACTERIZAÇÃO PETROLÓGICA DE MACIÇOS PERTENCENTES A SERRA DA PROVIDÊNCIA COM BASE EM DADOS LITOGEOQUÍMICOS, PETROGRÁFICOS E ISOTÓPICOS (U-Pb E Lu-Hf) EM ZIRCÃO

PETROLOGICAL CHARACTERIZATION OF SERRA DA PROVIDÊNCIA MASSIFS BASED ON LITOGEOCHEMICAL, PETROGRAPHIC AND ISOTOPIC (U-Pb AND Lu-Hf) DATA IN ZIRCON

Beatriz Pereira DEBOWSKI¹, Luiz Felipe Romero da SILVA¹, Guilherme Loriato POTRATZ¹, Marco Helenio Alves COELHO², Armando Dias TAVARES², Maria Virginia Alves MARTINS^{1,3}, Mauro Cesar GERALDES¹

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Avenida São Francisco Xavier, 524, Maracanã. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. E-mails: biadebowski@uefrj.br; romerolipe@gmail.com; geo.loriato@gmail.com; mauro.geraldes@gmail.com

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Física. Avenida São Francisco Xavier, 524, Maracanã. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. E-mails: marco.helenio@gmail.com; tavares@uerj.br

³Universidade de Aveiro, GeoBioTec, Departamento de Geociências, Câmpus Universitário de Santiago, Aveiro, Portugal. E-mail: virginia.martins@ua.pt

Introdução

Granitos Rapakivi da Província Estanífera de Rondônia (PER)

Materiais e métodos

Resultados

Petrografia

Fácies com piroxênio

Fácies com anfibólio

Fácies com biotita

Litogeoquímica

Geocronologia U-Pb

Geologia isotópica Lu-Hf

Discussões

Conclusões

Agradecimentos

Referências

RESUMO – A suíte intrusiva Serra da Providência (1,57 a 1,53 Ga), compreende as rochas mais antigas do magmatismo do tipo-A rapakivi, formada no SW do Cráton Amazônico associadas a mineralizações em Sn, Nb, Ta, W e topázio integrantes da Província Estanífera de Rondônia. Este trabalho investigou a litogeoquímica e os isotópicos U-Pb e Lu-Hf por LA-ICP-MS em zircão das rochas da Suíte Serra da Providência composta por biotita granito e anfibólio-granito que foram classificados como granitos intracratônicos, do tipo ferroso e oxidado, além de piroxênio granito caracterizados como granitos de arco oceânico, composição cálcica e do tipo magnésiano e reduzido. As idades obtidas para as amostras de rochas dessa Suíte foram de 1557.7 ± 8.4 Ma para o granito com clinopiroxênio, 1540 ± 5.7 Ma e 1573.7 ± 6.6 Ma para as amostras da fácies com anfibólio e 1525 ± 5.6 Ma para um biotita granito. As idades TDM e os valores de ϵ_{Hf} confirmam a heterogeneidade de fontes para a formação das rochas dessa Suíte, mostrando que a rocha com piroxênio tem idade TDM entre 2,33 a 2,27 Ga e ϵ_{Hf} (-9,6 a -7,4) é formada a partir de uma fonte exclusivamente crustal do Paleoproterozoico, enquanto as demais rochas apresentam como fonte uma mistura de componentes crustais em pequena proporção e maior contribuição de rochas mantélicas com idades de extração do manto do Paleo- ao Mesoproterozoico.

Palavras chaves: Granitos rapakivíticos. Província Estanífera de Rondônia. Idades U-Pb e Lu-Hf.

ABSTRACT - The Serra da Providência intrusive suite (1.57 to 1.53 Ga), comprises the oldest rocks of rapakivi type-A magmatism, formed in the SW of the Amazonian craton associated with mineralization in Sn, Nb, Ta, W, and topaz as part of the Rondônia Tin Province. This work investigated the lithogeochemistry, U-Pb and Lu-Hf isotopes by LA-ICP-MS in zircon from the Serra da Providência Suite composed of biotite-granite, amphibole-granite (both classified as intra-cratonic granites), ferroan type oxidized and pyroxene-granite defined as reduced magnesian and presents a calcic composition coherent with oceanic arc granites. The ages obtained for the samples from this Suite were 1557.7 ± 8.4 My for the clinopyroxene-bearing granite, 1540 ± 5.7 My, and 1573.7 ± 6.6 My for the amphibole-bearing facies samples, and 1525 ± 5.6 My for a biotite-granite. TDM ages and ϵ_{Hf} values define the heterogeneity of sources for the formation of the rocks in this Suite, showing that the pyroxene-bearing rock has a TDM age between 2.33 to 2.27 Gy and ϵ_{Hf} (-9.6 to -7.4) improbably formed from in a crustal Paleoproterozoic source. In contrast, the other rocks have a small proportion of crustal components as their source and a greater contribution from the mantle with ages of extraction from the Paleo to Mesoproterozoic.

Keywords: Rapakivi granites, Rondônia Tin Province, U-Pb and Lu-Hf ages.

INTRODUÇÃO

Suítes de granitos do tipo rapakivi são descritas em quase todas as províncias cratônicas do mundo (Ramo & Haapala, 1995; Anderson & Bender, 1989; Dall’Agnol et al., 1994; Bettencourt et al., 1995; Tassinari et al., 2000) e se concentram num período entre o final do

Paleoproterozoico e início do Neoproterozoico. A origem desses granitos ainda é controversa, entretanto, há um consenso na literatura de que o ambiente tectônico para a formação desses granitos seja preferencialmente anorogênico ou pós-orogênico.

A primeira referência aos granitos anorogênicos da porção sudoeste do Cráton Amazônico se deve à Kloosterman (1968) que denominou de Younger Granites diversos corpos graníticos anorogênicos de textura rapakivi situados na porção central de Rondônia. Os granitos rapakivi de Rondônia estão relacionados a um dos maiores depósitos de estanho do Brasil, que contém ainda mineralizações de W, Nb, Ta, berilo e topázio associadas (Bettencourt et al., 1999; Debowski et al., 2018, 2019).

Posteriormente, Bettencourt et al. (1999) por meio de estudos geocronológicos associados a dados petrográficos e geoquímicos de elementos traços (Leite Junior, 1992; Bettencourt et al., 1987, 1995; Payolla, 1994), propuseram a separação da Província Estanífera de Rondônia em sete suítes intrusivas de granitos rapakivi: Suíte Intrusiva Serra da Providência (SISP) (entre 1606 e 1532 Ma), Suíte Santo Antônio (1406 ± 32 Ma), Suíte Teotônio (1387 ± 16 Ma), Suíte Alto Candeias (1346 ± 5 Ma), Suíte São Lourenço-Caripunas (1309 ± 24 Ma), Suíte Santa Clara (1081 ± 50 Ma) e Suíte Intrusiva Rondônia (SIR) (998 ± 4 Ma), (Bettencourt et al., 1999).

Apesar do grande valor econômico mineral, a região carece de estudos que visem o entendimento da evolução petrológica dos maciços e a relação destes com as mineralizações (Leite Junior, 1992; 2002; Nogueira et al., 2015, 2019; Debowski et al., 2022). A obtenção de idades U-Pb associada à estudos isotópicos Lu-Hf em zircão, além de descrições petrográficas e análises litogeoquímicas, são de grande importância para o entendimento da evolução petrológica deste magmatismo, de forma a contribuir na compreensão dos processos petrogenéticos de conjunto de rochas, além da definição de possíveis fontes e processos magmáticos responsáveis pela formação das rochas que compõem a Província Estanífera de Rondônia (PER).

A SISP está situada na porção sudoeste do Cráton Amazônico, nas Províncias Geocronológicas Rio Negro-Juruena e Rondoniana-San Ignacio (Cordani et al., 1979, Teixeira et al., 1989 e Tassinari et al., 1996; Geraldés et al., 2001; Teixeira et al., 2010). A formalização do

SISP como unidade estratigráfica deve-se a Leal et al. (1976), que reconheceu intrusões com textura rapakivi aflorantes na serra de mesmo nome. Tassinari et al (1984) passaram a denominar este conjunto de rochas de Suíte Intrusiva Serra da Providência. Rizzotto et al. (1995, 1996) incluíram nesta unidade corpos de gabro, charnockito e mangerito, enquanto Bettencourt et al. (1995) acrescentaram à mesma o mangerito Maciço União e o charnockito de Ouro Preto. Scandolaro et al. (1999) incluíram também diversos *stocks* deformados e intrusivos nas rochas do Complexo Jamari, relacionando-os a esta suíte intrusiva.

As rochas desta suíte têm ampla distribuição geográfica na porção centro-norte do estado de Rondônia, principalmente entre o médio curso do rio Machado e o alto curso do rio Branco, onde compõem um batólito que sustenta a serra de mesmo nome, bem como na região de Machadinho d'Oeste e Ouro Preto d'Oeste, também como batólito e *stocks* isolados a leste e a oeste da Serra da Providência.

Rizzotto et al. (1995) observaram que o Batólito Serra da Providência possui quatro fácies representadas por monzogranitos porfiríticos piterlíticos e com viborgitos associados, monzogranitos porfiríticos, monzogranitos pórfiros e sienogranitos granofíricos. As rochas deste batólito são intrusivas nos litotipos do Complexo Jamari, embora sejam raras as exposições de contato direto entre estes.

Os piterlitos compreendem hornblenda-biotita monzogranitos com fenocristais de álcali-feldspato rodeados por auréolas finas de cor cinza-esbranquiçada de plagioclásio. A presença de enclaves quartzo dioríticos e feições de assimilação de dois magmas distintos são comuns. Os sienogranitos têm textura granofírica e cavidades preenchidas por quartzo e fluorita. Os monzogranitos porfiríticos possuem, em alguns locais, textura rapakivi. Dados geoquímicos evidenciam que as rochas da SISP se assemelham a granitos tipo-A (Rizzotto et al., 1995).

O potencial mineral desta unidade reside na sua exploração atual na região de Machadinho d'Oeste, Cacoal e Ji-Paraná, mas com finalidade ornamental. Segundo Bettencourt et al. (1999), seis amostras desta suíte intrusiva foram datadas segundo o método U-Pb (SHRIMP). As idades entre 1554 ± 47 Ma e 1606 ± 24 Ma obtidas sugerem que as rochas do Batólito Serra da Providência devem ter tido seu *emplacement* durante um período de pouco mais de 50 Ma.

Neste trabalho são apresentadas novas idades U-Pb em zircão obtidas por LA-ICP-MS que definem um range menor para o magmatismo, entre 1573.7 ± 6.6 Ma e 1525 ± 5.6 Ma, além de

dados geoquímicos e isotópicos Lu-Hf que permitem avançar no conhecimento dos processos geodinâmicos formadores das suítes anorogênicas rapakivíticas de Rondônia.

GRANITOS RAPA-KIVI DA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA (PER)

Bettencourt et al. (1999), através de estudos geocronológicos, associados a dados petrográficos e geoquímica de elementos traços para a SISP incluiu estas rochas na PER (Figura 1) conforme o mapa reportado neste trabalho, com a distribuição desses granitos na região de Rondônia e suas respectivas idades.

A SISP (1606 - 1532 Ma), uma associação do tipo AMCG, já foi relacionada ao arco magmático mais jovem na Província Rio Negro-Juruena (Rizzotto et al., 1995, Tassinari et al., 1996).

Entretanto, as atividades orogênicas desta Província aparentam restringir-se a um período entre 1,8 e 1,7 Ga, anterior a cristalização da SSP.

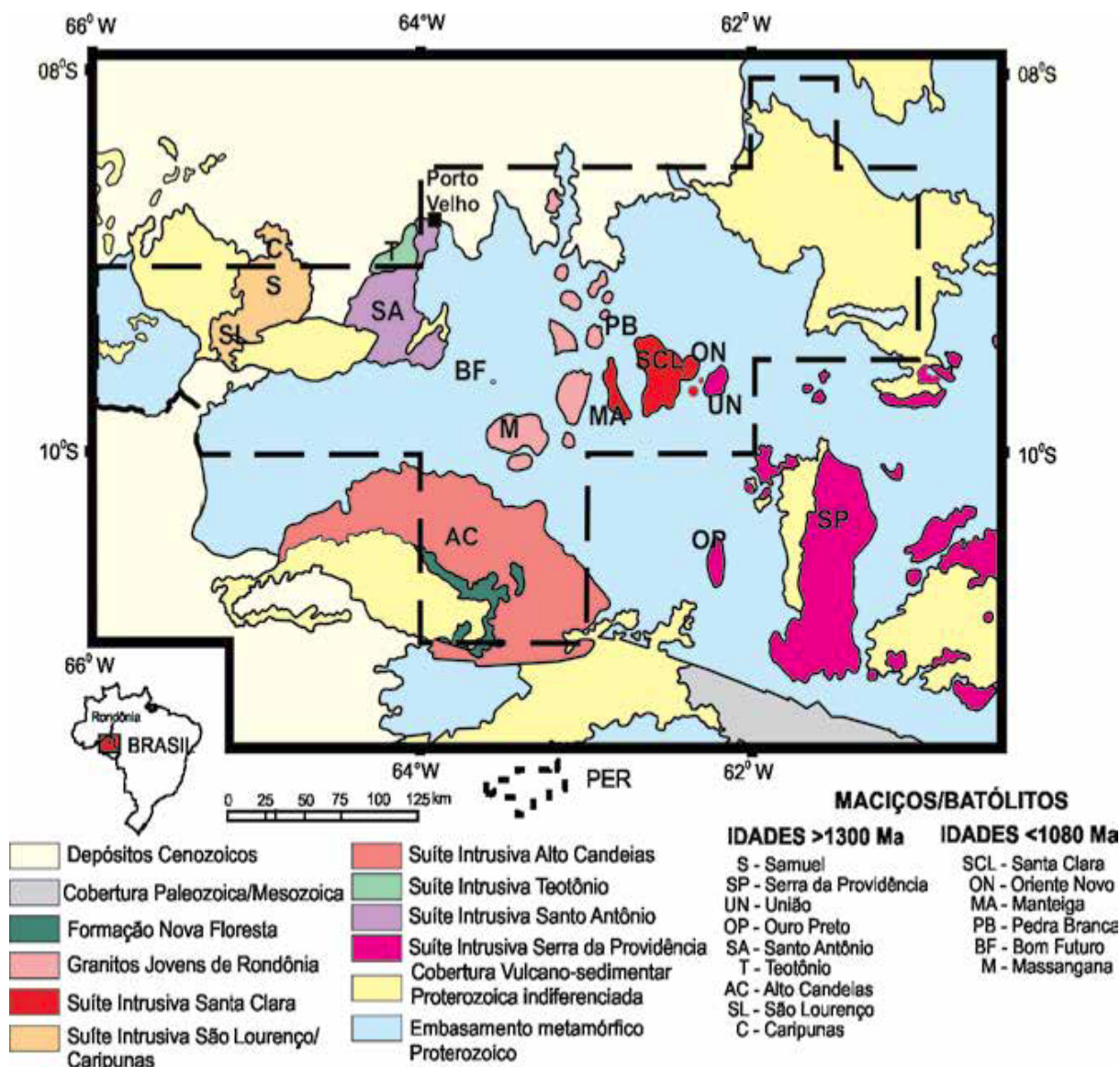


Figura 1 - Mapa geológico da Província Estanífera de Rondônia e área adjacentes segundo Bettencourt et al. (1999).

Logo, estas rochas aqui estudadas devem estar provavelmente relacionadas a um regime tectônico transpressivo que ocorreu durante ou após a colisão do Orógeno Rondoniano-San Ignácio (Bettencourt et al., 1999).

As mineralizações em estanho são relacionadas até o momento às três Suítes mais jovens: São

Lourenço-Caripunas, Santa Clara e Rondônia. Apenas um depósito de cassiterita (depósito Liberdade) foi identificado na Suíte Intrusiva Alto Candeias, levantando a possibilidade desta Suíte também ser mineralizada (Santos Jr. et al., 2007). A figura 1 apresenta o mapa geológico da PER, destacando as suítes que apresentam mine-

ralização em estanho. Castro (2010) apresentou informações de mineralizações em terrenos formados pela SISP através de concentrados de cassiterita relacionados a sedimentos fluviais recentes, porém não existem ainda depósitos econômicos conhecidos.

A Suíte Intrusiva Serra da Providência (SISP) constitui um batólito alongado e de forma ovalada com 140 km de extensão e 40 km de largura e diversos corpos satélites localizados principalmente na porção sudeste da Província Estanífera de Rondônia, intrudidos em rochas do Complexo Jamari. Segundo Scandolara et al. (2013), contatos da encaixante com as rochas da SISP são bem demarcados e evidenciam uma sobreposição tangencial de deformações de tipo *strike-*

slip associados a processos de migmatização. Rizzotto et al. (1995) reconhecem quatro unidades graníticas principais: monzogranitos porfiríticos (com ou sem textura rapakivi) com viborgitos subordinados, sienito equigranular e granito porfirítico. Posteriormente Betencourt et al. (1999) caracterizam a SISP como uma associação do tipo AMCG (anortosito–mangerito–charnockito–granito).

De acordo com Scandolara et al. (2013) duas variedades de rochas máficas ocorrem associadas a SISP, na forma de diques e pequenos *stocks*: gabronoritos e hornblenda gabros. Características isotópicas de Sm-Nd indicaram fontes heterogêneas, com contribuição tanto crustal, quanto mantélica para a formação das rochas da SSP (Scandolara et al., 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas oito amostras para análise litogeoquímica, que foram enviadas ao Activation Laboratories ACTLABS no Canadá. Os elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{FeO}_{(t)}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5) foram analisados por Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP23 AES) e os elementos traços: Ba, Rb, Cs, Ga, Hf, Nb, Y, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Sc, Pb, Zn, Ni e REE foram analisados por Inductively Coupled Plasma Atomic Mass Spectrometry (ICP-MAS). Os elementos foram analisados após diluição com metaborato ou tetraborato de Lítio e fusão. Para cada grupo de amostras três brancos foram analisados e cinco amostras de controle.

As datações U-Pb foram realizadas por LA-ICP-MS que envolve a volatilização da amostra por um feixe de laser seguido pela ionização por um plasma induzido (ICP) que possibilita a análise de grãos ou parte de grãos individuais.

A possibilidade de análises pontuais, a alta resolução espacial e a rapidez com que são feitas essas análises são vantagens desse método, em especial para grãos de zircão, que podem apresentar idades diferentes na borda e no núcleo.

Outra vantagem do método é a baixa susceptibilidade à contaminação, ao contrário do que ocorre na diluição isotópica da amostra, procedimento que requer ambiente ultralimpo e que só fornece idades do grão como um todo, não levando em consideração diferenças geocronológicas internas ao grão.

O equipamento utilizado nas análises U-Pb e Lu-Hf foi um ICP Neptune Plus com sete coletores multiplicadores de elétrons e nove coletores

faraday. O equipamento está acoplado a um Excimer Laser Photon Machines 193mm com fluxo de gás He de 0,550 L/min para o MCF1 e 0,200 para o MCF2.

As configurações dos multicoletores e copos *faraday* para os métodos U-Pb e Lu-Hf são rotinas do laboratório.

Para as análises de U-Pb, foi utilizada uma frequência de 8Hz. Para as análises de Lu-Hf foi necessária uma taxa de repetição de 10 Hz. O diâmetro dos furos com laser foram de 30 μ para as análises de U-Pb e de 50 μ para Lu-Hf.

O decaimento radioativo relevante para estudos isotópicos é o do ^{176}Lu para o ^{176}Hf , que ocorre espontaneamente e possibilita o cálculo da idade Lu-Hf em rochas e minerais. A razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ no zircão pode ser considerada como sendo o valor inicial de quando ele foi cristalizado. Além disso, a alta resistência desse mineral a eventos termiais posteriores, devido à temperatura de fechamento de Hf nesse mineral ser de cerca de 1.200°C, torna a dupla U-Pb e Lu-Hf em zircão ainda mais interessante. As interpretações geológicas do Lu-Hf são semelhantes às aquelas do par Sm-Nd no que diz respeito ao comportamento desses elementos durante o processo de fusão parcial do manto.

Da mesma forma que os isótopos de Nd, os valores isotópicos de Hf podem ser expressos em ϵHf , que consiste basicamente na comparação da razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ da amostra estudada para a época de sua formação ou de seu valor atual, relacionado ao reservatório condritico uniforme padrão (CHUR).

Outro dado importante fornecido pelo sistema

Lu-Hf é a idade modelo do manto empobrecido, ou idade TDM (*Depleted Mantle*) que é calculada a partir da composição isotópica inicial de Hf do momento em que o zircão cristalizou e da razão Lu/Hf da crosta precursora (Pietranik et al., 2008).

A idade TDM indica o tempo de residência crustal da rocha hospedeira do zircão. Os valores atuais assumidos para o manto empobrecido são de 0,28325 para a razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ e 0,0388 para o $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ (Andersen et al., 2009).

RESULTADOS

Aqui são apresentadas as descrições petrográficas, bem como os resultados geoquímicos e os resultados das análises de geocronologia U-Pb e geologia isotópica Lu-Hf em zircão, dos litotipos amostrados neste estudo, pertencentes à SISP.

Petrografia

As rochas da SISP representam parte do embasamento da área de estudo mostrada na figura 2, onde ocorre o Maciço Massangana (pertencente a Suíte Intrusiva Rondoniana) e ocorrem na forma

de blocos, matacões e lajedos.

Os contatos do Maciço Massangana com as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência não foram observados diretamente, apenas zonas com indícios de deformação rúptil. As variedades descritas são principalmente rochas com textura grossa a porfirítica de coloração rosada a esbranquiçada. Também são descritos de forma mais restrita rochas com textura equigranular fina e inequigranular média a grossa que variam do cinza ao cinza rosado.

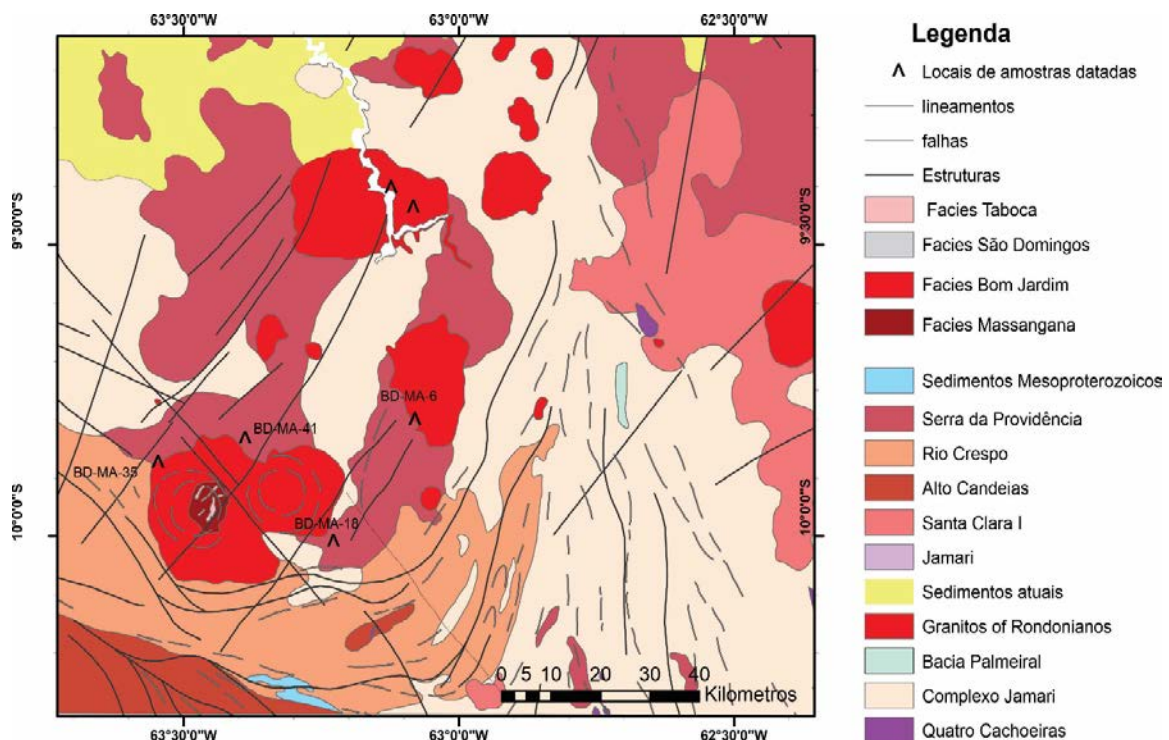


Figura 2 - Mapa geológico da área de estudo, mostrando pontos amostrados no Suíte Intrusiva Serra da Providência. (Mod. de Debowski et al., 2018; Isotta et al., 1978 e Romanini, 1982).

A separação das litofácies foi feita com base na variação dos minerais máficos. Desse modo, foram reconhecidas três litofácies principais: A primeira, que pode ser considerada a variação litológica menos evoluída das amostras descritas, contém piroxênio como máfico principal, a segunda contém anfibólio e a terceira apenas a biotita.

Fácies com piroxênio

Esta fácies é representada principalmente pela amostra BD-MA-18 que apresenta como minerais máficos constituintes clinopiroxênio, hornblenda e biotita, e a amostra BD-MA-15, apresenta clinopiroxênio em pequena quantidade (< 5%).

A amostra BD-MA-18, apresenta coloração cinza, estrutura maciça e textura inequigranular fina a média (Figuras 3A e B).

A mineralogia principal é composta por quartzo, plagioclásio hornblenda, biotita e clinopiroxênio. O quartzo representa cerca de (40%) da composição dessa rocha, é granular em sua maioria, ocorre geralmente em pequenos grãos (<0,1mm), que em alguns pontos apresentam textura em mosaico à grãos maiores, que chegam a 0,2 mm de diâmetro. O plagioclásio (35%) ocorre com hábito tabular subédrico, forma cristais geralmente curtos e foi definido pelo método de

Michel-Lévy como oligoclásio.

Os minerais acessórios são representados principalmente por titanita e minerais opacos. A titanita ocorre na forma granular e (Figuras 3C e D) associada ao clinopiroxênio, juntamente com minerais opacos, que também são abundantes e

podem ser anédricos ou cúbicos. Em teste com imã de mão, foi possível verificar que os minerais opacos apresentam certo magnetismo, o que pode indicar a presença de magnetita. Como mineral secundário, é descrito clorita, que ocorre como produto de substituição do clinopiroxênio.

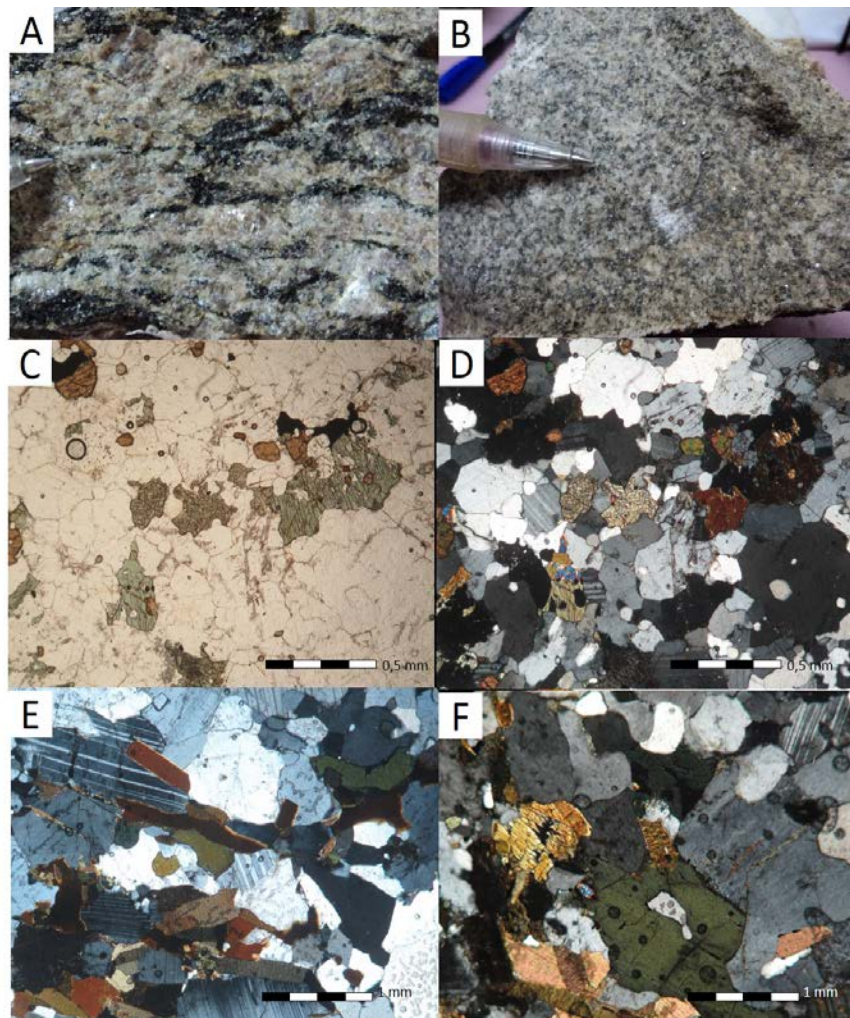


Figura 3 - Imagens de amostra de mão em A e B e em C, D, E e F fotomicrografias da fácies com piroxênio da Suíte Intrusiva Serra da Providência. A) aspecto macroscópico da amostra BD-MA-15, de granulação grossa e que apresenta textura *schlieren* com leve orientação dos minerais máficos. B) amostra BD-MA-18, de coloração cinza e textura isotrópica. C e D) fotomicrografias com nicóis paralelos e nicóis cruzados, respectivamente, mostrando cristais de clinopiroxênio e hornblenda (verde claro) e de titanita (amarelo) em meio a cristais anédricos de quartzo e oligoclásio subédrico. E) fotomicrografia com nicóis cruzados de ripas de biotita e hornblenda em meio a cristais de plagioclásio e quartzo. F) biotita, hornblenda e clinopiroxênio (com cor de interferência amarelo de 2ª ordem) em meio a cristais anédricos de quartzo e ortoclásio.

A amostra BD-MA-15 apresenta granulação média a grossa e mineralogia principal constituída por quartzo, plagioclásio, ortoclásio, biotita e hornblenda. O quartzo constitui cerca de 45% da composição dessa rocha, ocorre com formato granular subédrico, que por vezes apresenta textura em mosaico, apresentando tamanhos entre 0,05 e 0,2 mm. O plagioclásio definido com oligoclásio (20%), ocorre geralmente em ripas subédricas curtas. O ortoclásio é anédrico e límpido, representa cerca de 20% da composição dessa rocha. Os minerais máficos ocorrem sempre

em aglomerados. A biotita, que representa cerca de 12% da composição mineralógica da rocha, apresenta coloração avermelhada a esverdeada (Figuras 3E e F) e ocorre em ripas alongadas. É possível notar uma leve deformação nas lamelas que ocorrem em contato com os cristais de hornblenda e clinopiroxênio. A hornblenda, que compõem cerca de (8%) da rocha, apresenta coloração verde claro a verde escuro. O clinopiroxênio ocorre de forma mais restrita (< 5%), na forma de pequenos cristais, sempre associados aos demais máficos.

Fácies com anfíbólio

Esta fácies representa a maioria das amostras coletadas. A textura das amostras é geralmente inequigranular média a grossa, com tendência porfirítica (Figuras 4A e B). Algumas amostras apresentam orientação preferencial dos minerais máficos. A mineralogia principal é composta por quartzo, microclina, ortoclásio, plagioclásio, biotita e hornblenda.

As amostras BD-MA-10, BD-MA-17 e BD-MA-44 possuem microclina como feldspato

predominante (entre 60 e 65%), que ocorre na forma de grandes cristais subédricos que chegam até 1 mm de comprimento, ou como cristais menores (cerca de 0,05 mm de diâmetro). O ortoclásio, que ocorre em algumas amostras como feldspato principal, apresenta tamanhos que variam de 0,6 a 1 mm, formato anédrico e intercrescimento gráfico incipiente. Em alguns cristais, tanto de microclina, como de ortoclásio, é observado intercrescimento pertítico incipiente.

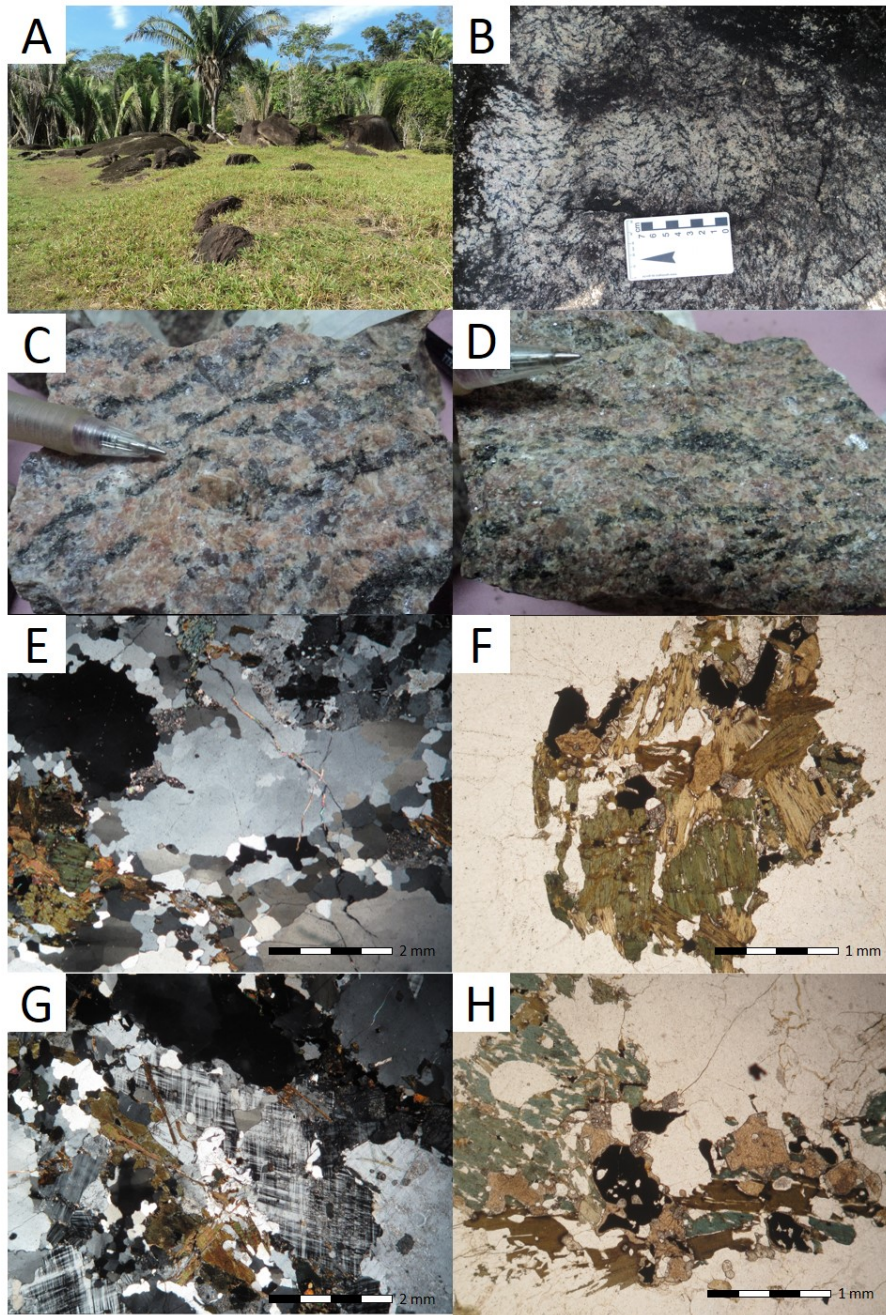


Figura 4 – A) Afloramento na forma de blocos da fácies biotita-hornblenda granito da Suíte Intrusiva Serra da Providência, B) detalhe do afloramento, mostrando orientação dos minerais máficos. C e D) amostra de mão (BD-MA-06 e BD-MA-10, respectivamente) de coloração rosada e acinzentada, com agregados máficos mostrando certa orientação, E) fenocristal de quartzo em meio à matriz composta por quartzo e feldspato e aglomerados máficos, F) detalhe do aglomerado máfico da foto anterior, composto por biotita, hornblenda e minerais acessórios: opacos, zircão e titanita. G) cristais subédricos de microclina em contato com biotita e hornblenda e cristais anédricos de quartzo e H) aglomerado de hornblenda, biotita e epidoto e minerais acessórios: titanita zircão e minerais opacos e de alteração, epidoto.

O plagioclásio é escasso (< 20%) e ocorre geralmente na forma de ripas curtas subédricas intersticiais ou na forma granular anédrica que comumente apresenta auréola de reação nas bordas, que deve ser composta por feldspato diferente, possivelmente o potássico. É possível verificar a presença de textura mirmequítica em grande parte das amostras.

O quartzo é anédrico, ocorre na forma intersticial ou na formar de grandes cristais (cerca de 0,8 mm de diâmetro) que apresentam certa deformação (Figura 4E). As concentrações de quartzo variam entre 15 e 30%, sendo mais escasso nas amostras em que a microclina é o feldspato predominante. A biotita ocorre na forma de lamelas finas sempre em aglomerados, junto à hornblenda, na maioria das amostras, e a minerais opacos e acessórios (Figura 4C e D). A hornblenda ocorre em cristais de hábito lamelar ou em formato granular anédrico sempre em aglomerados com a biotita e

minerais acessórios. Esta apresenta coloração que varia de verde pálido e, em alguns cristais, nota-se a clivagem característica (Figuras 4E e F).

Os minerais acessórios são representados por titanita euédrica de coloração bege, zircão prismático e minerais opacos. Os minerais de alteração são sericita (Figuras 4G e H), que ocorre preferencialmente nos planos de clivagem, fraturas e bordas dos cristais de microclina e ortoclásio, epidoto amarelo pálido com formato xenomórfico, que ocorre junto aos agregados máficos, e clorita, que se forma a partir da biotita.

Fácies com biotita

A litofácies que apresenta biotita como máfico principal é representada pelas amostras BD-MA-01 e BD-MA-35 (Figuras 5A e B). Apresenta textura inequigranular média a grossa com leve estiramento dos máficos. A mineralogia principal é composta por quartzo e feldspato potássico, plagioclásio e biotita.

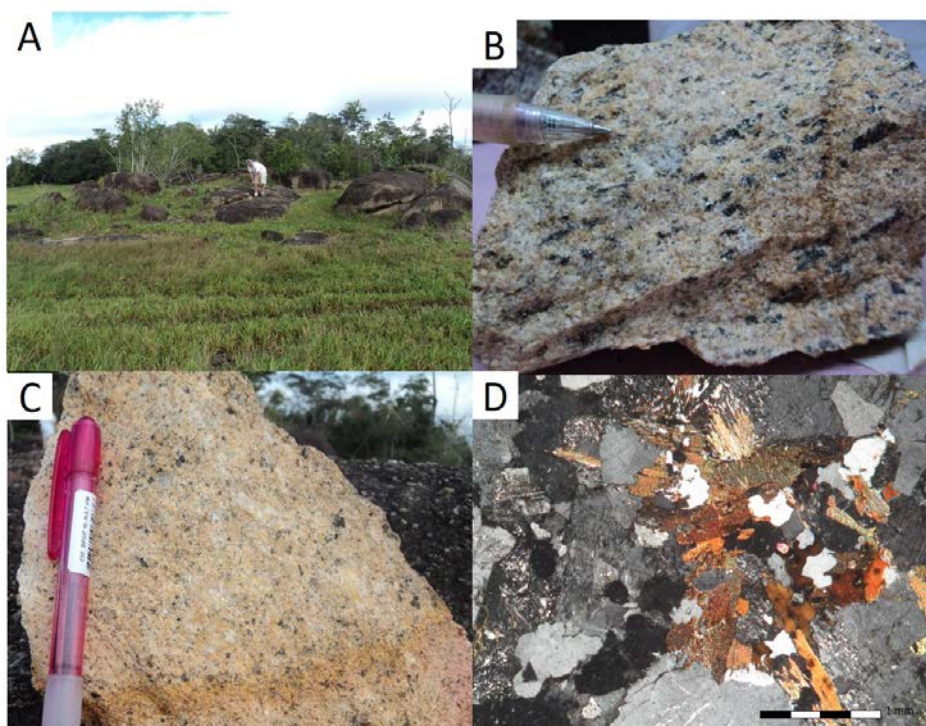


Figura 5 - A) afloramento na forma de blocos da fácies com biotita da Suíte Intrusiva Serra da Providência. B e C) amostras de mão dessa fácies e D) fotomicrografia mostrando aglomerado de biotita com sericitização em meio a cristais de ortoclásio.

O quartzo ocorre na forma de grãos anédricos com cerca de 0,1 mm de diâmetro, ou na forma intersticial, apresentando em alguns casos textura em mosaico.

Os feldspatos potássicos, que representam cerca de 40% da composição das amostras desta fácies são o ortoclásio que ocorre na forma ripas subédricas com até 5 mm de comprimento ou com formato granular anédrico, e microclina ocorre na forma tabular subédrica, que chega a 1 mm de

comprimento, ou de forma intersticial em grãos subédricos com cerca de 0,1 mm de diâmetro.

A biotita ocorre em lamelas límpidas ou na forma de aglomerados com as bordas serrilhadas com cores que variam do bege ao acastanhado (Figura 5C e D).

O plagioclásio ocorre na amostra BD-MA-35 em ripas curtas disperso na matriz hábito tabular e bordas irregulares, e na amostra BD-MA-01 representa cerca de 30% da composição desta, e

apresenta-se com formato tabular subédrico e tamanhos que variam entre 0,05 e 0,2 mm de comprimento. Apresenta geminação que segue a lei da albita e geminação simples, sendo classificado pelo método Michel-Lévy como oligoclásio. Os minerais acessórios são zircão, titanita e minerais opacos e o secundário sericita que ocorre concentrada nas clivagens, fraturas e porções centrais do feldspato potássico e princi-

palmente do oligoclásio. Também é observado intercrescimento mirmequítico entre o plagioclásio e o quartzo.

Litogeoquímica

As amostras da SISP foram separadas em três fácies principais de acordo com o tipo de máfico presente em: com clinopiroxênio, com hornblenda e com biotita. Os dados litogeoquímicos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das análises geoquímicas das amostras da Suíte Serra da Providência Material

	BD-MA-15	BD-MA-18	BD-MA-01	BD-MA-35A	BD-MA-41A	BD-MA-06A	BD-MA-09	BD-MA-10	BD-MA-17	BD-MA-42	BD-MA-44
SiO ₂	63,61	68,26	74,68	75,70	72,07	75,66	70,66	75,36	68,44	80,64	65,81
TiO ₂	1,08	0,83	0,04	0,26	0,34	0,20	0,52	0,27	0,67	0,14	0,63
Al ₂ O ₃	15,29	14,06	12,86	11,77	12,91	12,00	12,72	11,25	12,81	9,97	13,89
Fe ₂ O ₃	7,33	2,72	1,21	2,24	2,72	1,73	4,07	1,87	5,25	1,43	6,54
MnO	0,11	0,10	0,02	0,03	0,04	0,03	0,06	0,04	0,06	0,03	0,12
MgO	1,29	0,80	0,02	0,14	0,26	0,23	0,49	0,17	0,64	0,11	0,21
CaO	3,55	5,07	0,57	0,52	1,47	1,09	1,79	1,15	1,95	0,69	2,32
Na ₂ O	3,20	6,11	3,69	2,43	2,81	2,95	2,87	2,32	2,60	1,97	3,37
K ₂ O	4,58	0,51	4,69	5,58	6,48	5,21	5,01	5,63	5,48	5,11	5,74
P ₂ O ₅	0,29	0,22	0,01	0,04	0,08	0,04	0,06	0,03	0,14	0,03	0,11
LOI	0,29	0,19	0,74	0,67	0,33	0,40	0,27	0,41	0,35	0,38	0,49
Total	100,62	98,87	98,53	99,38	99,51	99,54	98,52	98,50	98,39	100,49	99,23
Cs	0,60	n.d.	3,70	0,90	n.d.	n.d.	1,50	n.d.	2,20	0,70	1,30
Rb	113,00	4,00	559,00	193,00	219,00	133,00	231,00	226,00	284,00	195,00	161,00
Ba	1769,00	57,00	30,00	429,00	957,00	450,00	581,00	346,00	580,00	418,00	749,00
Sr	334,00	228,00	11,00	60,00	130,00	84,00	86,00	82,00	79,00	68,00	104,00
Pb	16,00	34,00	66,00	31,00	19,00	107,00	29,00	50,00	164,00	25,00	29,00
Th	13,50	17,60	38,80	31,80	9,40	10,70	22,10	44,00	34,20	40,80	6,40
U	1,30	6,20	19,30	4,40	3,30	1,10	4,60	10,10	2,50	11,10	2,30
Zr	826,00	494,00	81,00	444,00	433,00	130,00	502,00	272,00	544,00	184,00	952,00
Hf	17,10	12,30	5,00	13,10	11,20	3,60	11,60	7,70	12,80	4,60	21,70
Ta	1,50	1,90	10,50	2,10	2,30	0,40	1,80	2,70	1,50	0,30	3,20
Y	60,00	126,00	176,00	142,00	59,00	33,00	78,00	84,00	81,00	18,00	114,00
Nb	35,00	24,00	69,00	32,00	23,00	7,00	21,00	21,00	25,00	4,00	54,00
Sc	17,00	13,00	2,00	2,00	8,00	4,00	8,00	3,00	9,00	2,00	9,00
Co	19,00	18,00	20,00	24,00	21,00	13,00	14,00	14,00	19,00	21,00	15,00
V	56,00	32,00	n.d.	8,00	14,00	9,00	24,00	8,00	43,00	5,00	7,00
Sn	1,00	3,00	16,00	3,00	5,00	1,00	6,00	6,00	8,00	n.d.	5,00
W	124,00	169,00	246,00	303,00	249,00	136,00	123,00	188,00	128,00	227,00	161,00
Ga	22,00	22,00	36,00	22,00	19,00	18,00	23,00	19,00	22,00	14,00	27,00
Zn	90,00	370,00	30,00	n.d.	n.d.	n.d.	70,00	40,00	70,00	n.d.	140,00
La	154,00	96,30	57,30	336,00	49,20	67,10	66,70	96,30	135,00	71,10	56,40
Ce	305,00	195,00	126,00	345,00	117,00	135,00	156,00	193,00	283,00	132,00	147,00
Pr	35,10	25,00	17,20	60,40	15,40	15,60	18,20	22,10	32,70	14,30	22,20
Nd	126,00	94,40	63,20	209,00	58,70	54,40	69,10	74,30	115,00	47,00	98,30
Sm	20,70	19,10	18,70	35,40	11,30	9,50	14,60	14,20	20,60	7,40	23,70
Eu	2,86	2,77	0,38	3,79	1,56	0,77	1,42	0,78	1,67	0,92	3,17
Gd	15,20	18,80	19,20	35,30	9,40	7,00	13,00	12,20	15,80	4,90	21,80
Tb	2,10	3,20	3,80	5,00	1,50	1,10	2,20	2,10	2,50	0,60	3,50
Dy	12,00	19,80	26,80	25,90	9,50	6,40	14,20	13,70	14,90	3,60	21,20
Ho	2,20	4,20	5,70	4,60	2,00	1,30	2,90	2,90	2,90	0,60	4,20
Er	6,30	13,10	18,60	12,30	6,20	3,60	8,90	9,00	8,50	1,90	12,10
Tm	0,84	1,97	3,09	1,63	0,97	0,48	1,31	1,36	1,17	0,28	1,70

Os valores de SiO₂ variam entre 63,6% e 80,6%; sendo as amostras das fácies com biotita e hornblenda as que apresentam os maiores teores de sílica. O conteúdo de Al₂O₃ apresenta

também ampla variação, entre 10 e 15,3%; bem como o de Fe₂O₃, entre 1,4 e 7,3%; Na₂O, entre 2,0 e 6,1%; K₂O, entre 0,5 e 6,5% e CaO, entre 0,52 e 5,7%. Os valores de TiO₂ ficam entre 0,04

e 1,08 %; de MgO entre 0,02 e 1,29%; MnO entre 0,02 e 0,12% e P₂O₅ entre 0,01 e 0,3 %.

A razão K₂O/ Na₂O varia entre 1,27 e 2,59%, com exceção da amostra BD-MA-18, da fácies com piroxênio, que apresentou valor muito baixo para essa razão, de 0,08 mostrando uma maior incorporação de Na₂O nesta amostra em detri-

mento de K₂O, fato também evidenciado pela presença apenas de plagioclásio como feldspato. Nos diagramas de litogeoquímica foram lançados conjuntamente os resultados publicados por Scandolara (2006) e Godoy et al. (2019). A classificação geoquímica das amostras é apresentada nas figuras 6 e 7.

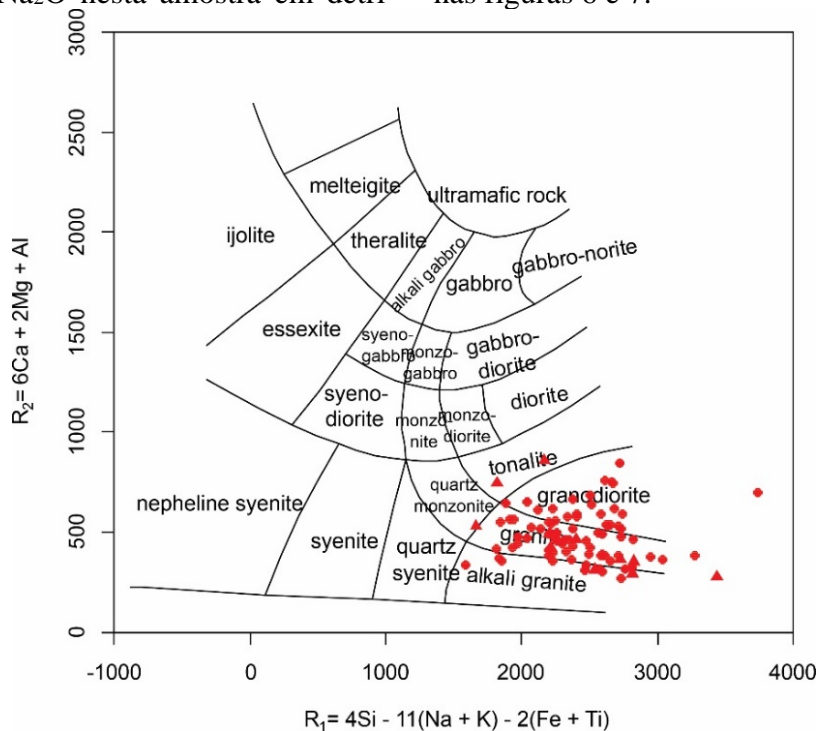


Figura 6 - Diagrama R1 -R2 de classificação para rochas plutônicas das rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência, onde $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ e $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$. Fonte: De La Roche et al. (1980). Os triângulos representam as amostras analisadas neste trabalho e os demais pontos representam as amostras compiladas de Scandolara (2006) e Godoy et al. (2019).

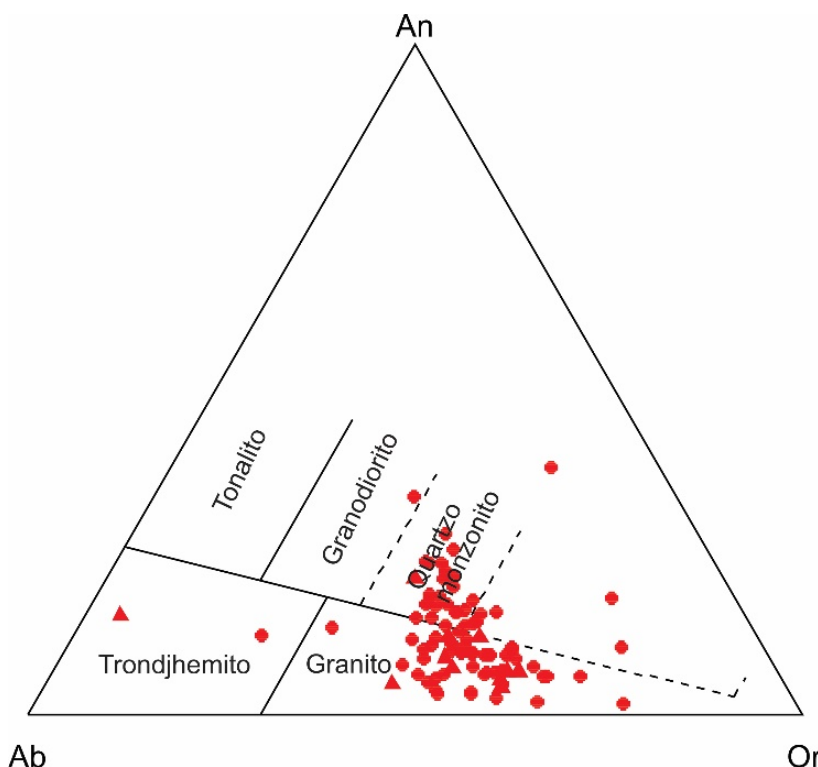


Figura 7 - Diagrama ternário Ab-An-Or de classificação modal para rochas plutônicas com mais de 10% de quartzo normativo, caso das rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência. Fonte: O'Connor (1965).

Nos diagramas Harker, as amostras da SISF mostram correlações negativas para os óxidos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , MnO e P_2O_5 (Figura 8), através de *trend* linear e sem lacunas, o que aponta para um processo evolutivo de cristalização fracionada sem mudança na assembleia

fracionante. Os elementos Al, Fe, Mg, Mn, Ti e P devem ter entrado na composição de feldspatos, do clinopiroxênio, e da hornblenda, além de minerais acessórios, como titanita, apatita e minerais opacos de Fe-Ti que compõem as rochas estudadas.

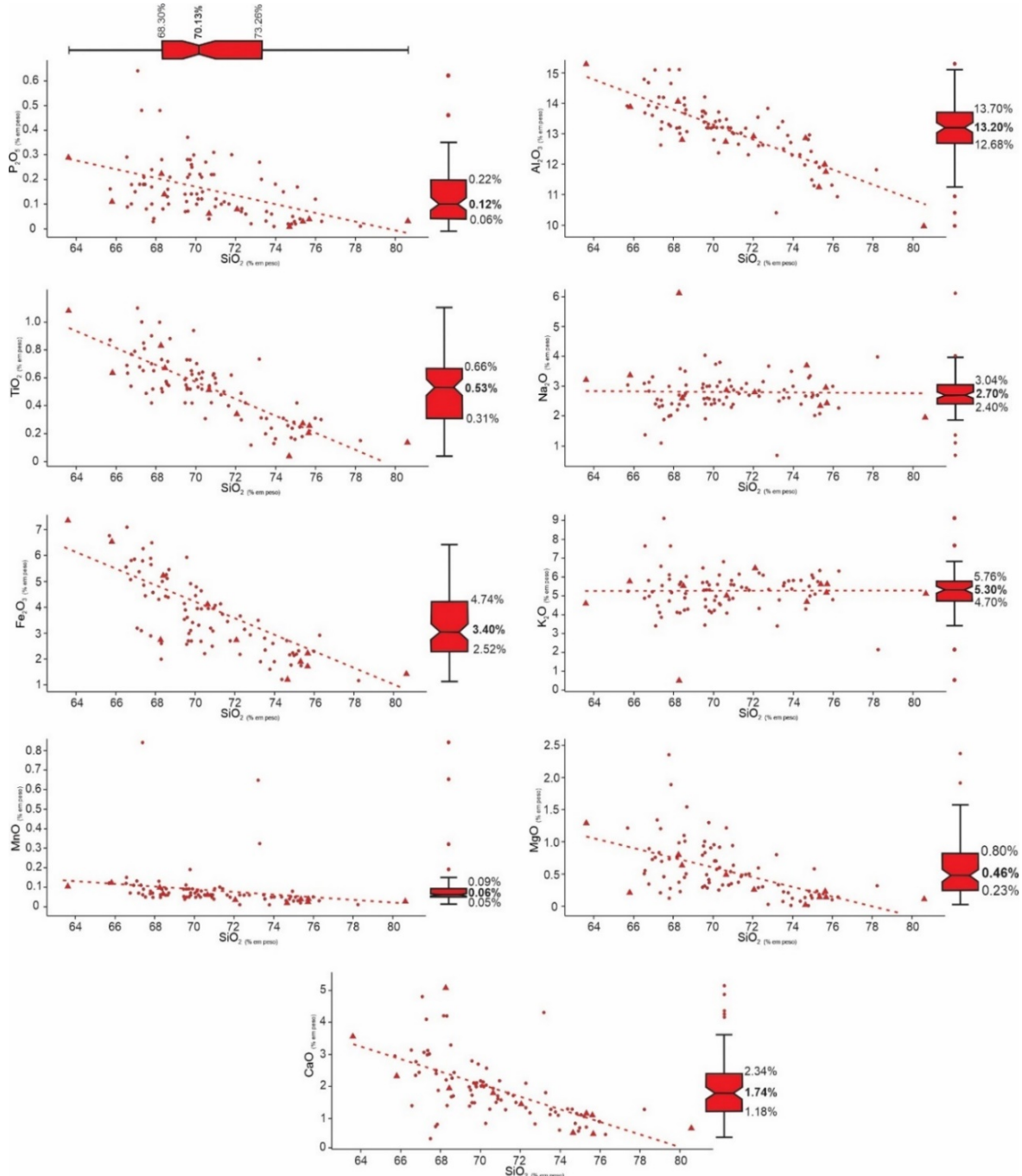


Figura 8 - Diagramas Harker para os óxidos principais das rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência. Os triângulos representam as amostras analisadas neste trabalho e os demais pontos representam as amostras compiladas de Scandolaro (2006) e Godoy et al. (2019). Os diagramas marginais apresentam a distribuição dos respectivos elementos, com destaque para a mediana e os quartis 1 e 3.

Com relação aos elementos traços, as correlações com o SiO_2 , mostram-se pouco evidentes (Figura 9), ocorrendo na maioria dos diagramas, dispersão de dados. Alguns *trends* são observados, como o do Zr, que provavelmente entra na composição dos cristais de zircão, mineral aces-

sório descrito em todas as fácies. Correlações negativas pouco evidentes ocorrem também para Sc, Ba e Sr, que também podem estar relacionados a entrada desses elementos em fases minerais, como nos feldspatos e na biotita. Nos diagramas de SiO_2 versus Y, Rb, La e Ce nota-se que uma

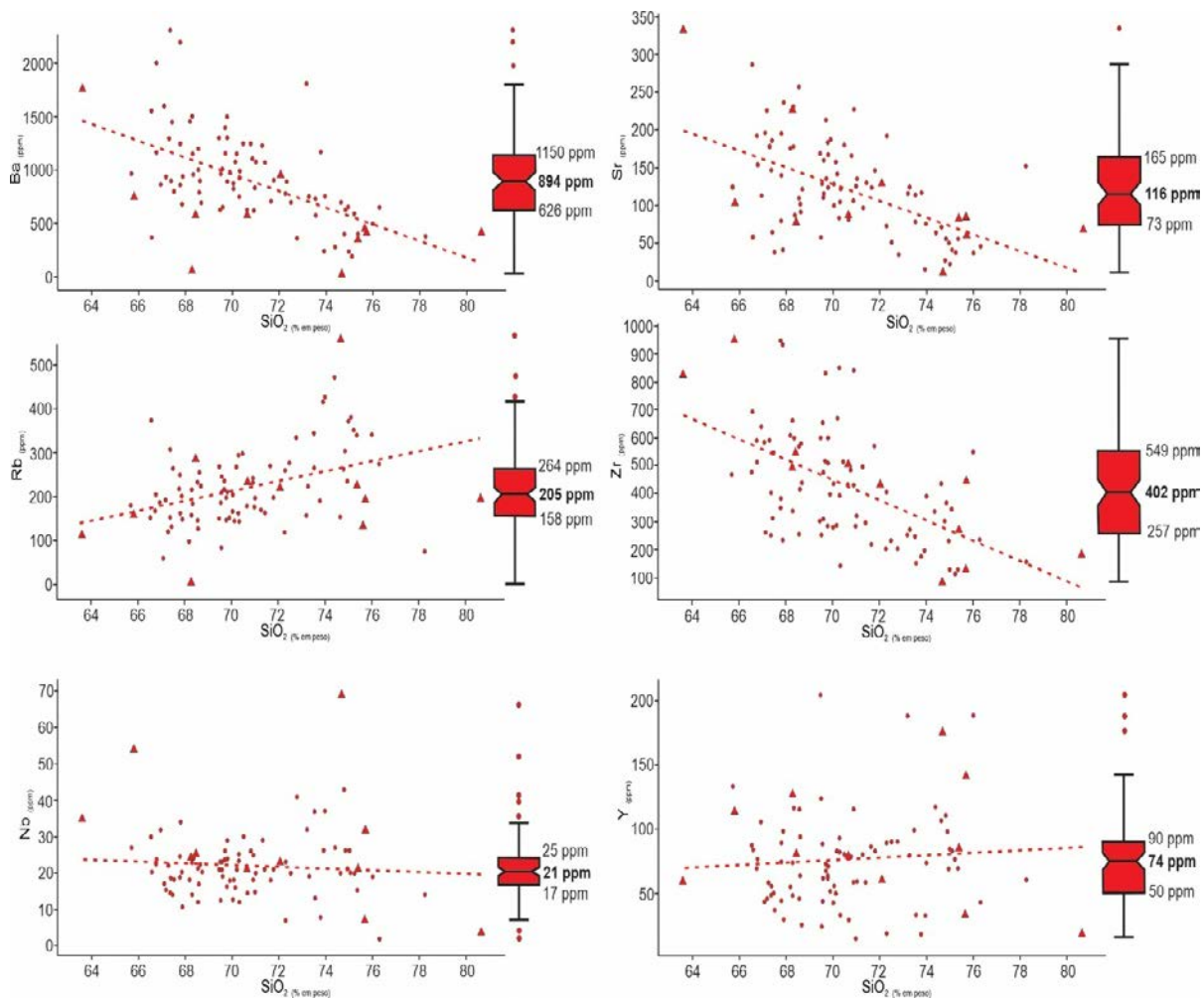


Figura 9 - Diagramas Harker para elementos traços das rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência. Os triângulos representam as amostras analisadas neste trabalho e os demais pontos representam as amostras compiladas de Scandolaro (2006) e Godoy et al. (2019). Os diagramas marginais apresentam a distribuição dos respectivos elementos, com destaque para a mediana e os quartis 1 e 3.

das amostras da fácies com biotita (BD-MA-35) não acompanham o sentido preferencial dos possíveis *trends*.

Todas as amostras apresentam anomalias negativas em Eu (Figura 10A), apresentam valores de $[(Eu/Eu^*)_N]$, com pouca variação (entre 0.45 e 0.5) para a fácies com piroxênio e uma ampla variação (entre 0.18 a 0.46) para as fácies com anfibólio e para a fácies com biotita (0.06 e 0.33), mostrando que o líquido magmático foi submetido a fracionamento de feldspatos que deve ter ocorrido por meio de cristalização fracionada

O enriquecimento em ETRL é baixo a moderado $[(La/Yb)_N = 5,23$ a $20,76]$, para as amostras da fácies com piroxênio, que apresenta entre 63,6 e 68,3 % de SiO_2 . Para a fácies com anfibólio, com teores de SiO_2 entre 65,8 e 75,4 em % de peso, o enriquecimento em ETRL também é baixo a moderado $[(La/Yb)_N = 3,45$ a $25,23]$, assim como para a fácies com biotita, com valores de ETRL $(La/Yb)_N = 1,81$ e $22,65$ e teores de SiO_2 de 74,7 e de 75,7 em % de peso.

Os diagramas multielementares normalizados (Figura 10) mostram de forma geral anomalias negativas acentuadas em Ba, Sr, P e Ti, características comuns em granitos do tipo-A, com exceção de uma das amostras da fácies com piroxênio que não apresentou anomalia negativa em Ba. As amostras da fácies com piroxênio mostram certa divergência de seus elementos traços, com anomalias positivas em Rb, Ba na amostra BD-MA-15 e negativas na BD-MA-18 (Figura 10B).

As amostras da fácies com biotita diferem uma da outra com relação ao Zr e ao Ba que apresentam anomalias negativas acentuadas na amostra BD-MA-01, enquanto a amostra BD-MA35 apresenta anomalias positivas em Rb, Th, Ce e Sm e anomalia negativa em Ba pouco acentuada. As amostras da fácies com anfibólio mostram, de maneira geral, anomalias positivas em Rb, Th, Ce e Sm e negativas em Ba, com exceção de duas amostras que não apresentam anomalias positivas em Rb.

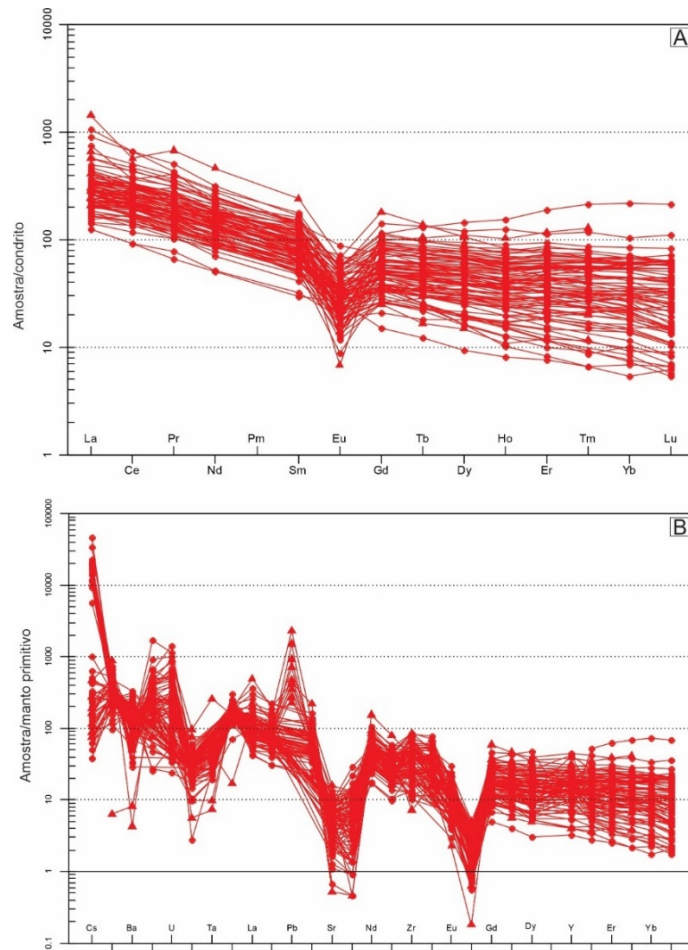


Figura 10 – A) Diagramas com padrões de ETR normalizados para o condrito de Boynton, (1984) e B) diagramas multielementares normalizados para o condrito de Thompson (1982) para as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

Nos diagramas de discriminação de granitos do tipo-A de Whalen et al. (1987), as amostras analisadas nesse estudo plotam, preferencialmente, no campo de granitos do tipo-A (Figura 11). Entretanto, nos diagramas de Zr+Nb+Ce+Y versus FeO/MgO e $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$, duas

amostras da fácies com anfibólio plotam no campo de granitos fracionados (FG) e, nos diagramas que distinguem granitos do tipo I e S de granitos de tipo-A, algumas amostras ficam no limite entre os campos delimitados por Whalen et al. (1987).

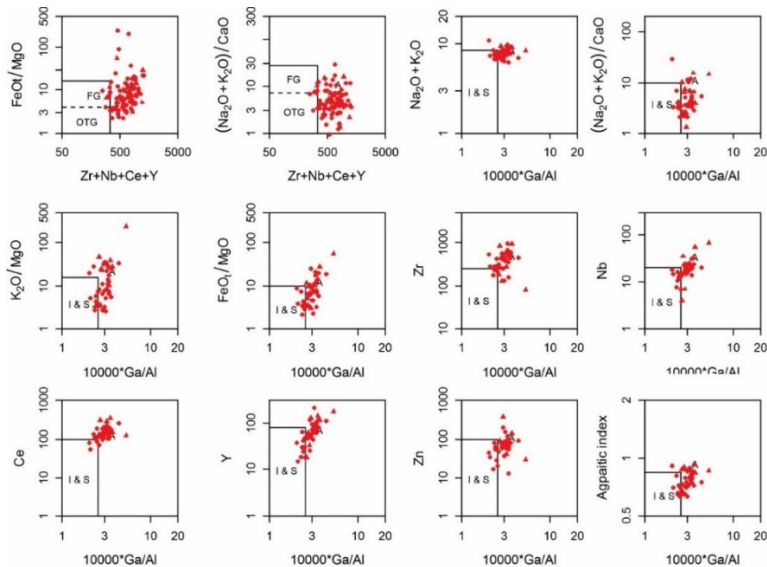


Figura 11 - Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos para as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência. **I&S**: Granitos tipo-I e Granitos tipo-S; **A**: Granitos tipo-A; **FG**: Granitos Fracionados e **OGT**: Granitos comuns. Fonte: Whalen et al. (1987).

No diagrama Al_2O_3 vs. $FeOt/(FeOt+MgO)$, que diferencia granitos do tipo-A reduzidos de oxidados e de granitos cálcio-alcálicos (Figura

12B), as rochas da SISP apresentam certo espalhamento, plotando ambos nos campos de granitos tipo-A oxidados e reduzidos (Frost et al. (2001).

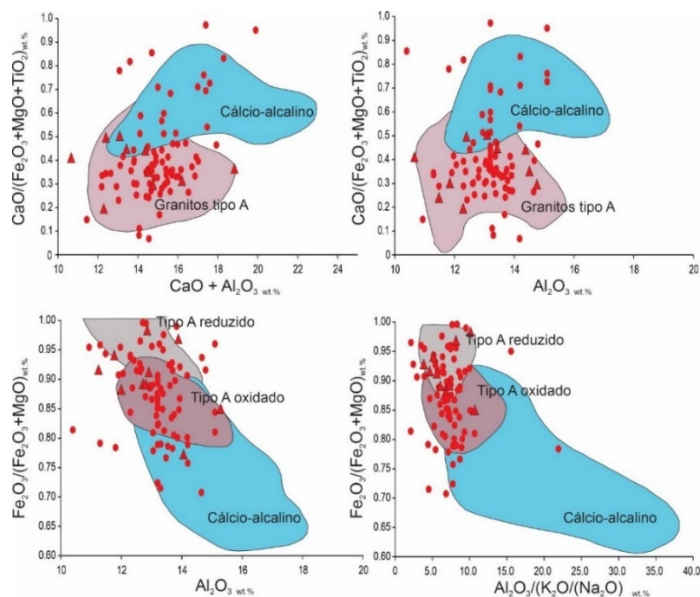


Figura 12 - Diagramas para as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência. A) $CaO/(FeO+MgO+TiO_2)$ vs. $(CaO+Al_2O_3)$; B) $CaO/(FeO+MgO+TiO_2)$ vs. Al_2O_3 ; C) $FeO/(FeO+MgO)$ vs. Al_2O_3 ; D) $FeO/(FeO+MgO)$ vs. $Al_2O_3/(K_2O/Na_2O)$ para os granitoides da SISP comparando os campos de granitos cálcio-alcálicos e granitos do tipo-A. Fonte: Frost et al. (2001); Dall’Agnol & Oliveira. (2007).

A amostra BD-MA-18 da fácies com piroxênio plota no campo de granitos cálcio-alcálicos e a amostra BD-MA-15 no campo de granitos do tipo-A oxidados. Duas amostras da fácies com anfibólio plotam fora dos campos delimitados.

O diagrama $Al_2O_3/(K_2O/Na_2O)$ vs. $FeO/(FeO+MgO)$ (Dall’Agnol & Oliveira, 2007) (Figura 12D) mostra mais coerência das amostras que plotam, preferencialmente, no campo que inclui tantos granitos do tipo-A reduzidos quanto

oxidados, com exceção da amostra BD-MA-15 que plota exclusivamente no campo de granitos do tipo-A oxidados, e da BD-MA-18 que não plota no gráfico.

No diagrama SiO_2 vs. $FeO/(FeO+MgO)$ as amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência foram classificadas como do tipo ferroso, com exceção da amostra BD-MA-18 da fácies com piroxênio, que foi classificada como do tipo magnésiano (Figura 13A).

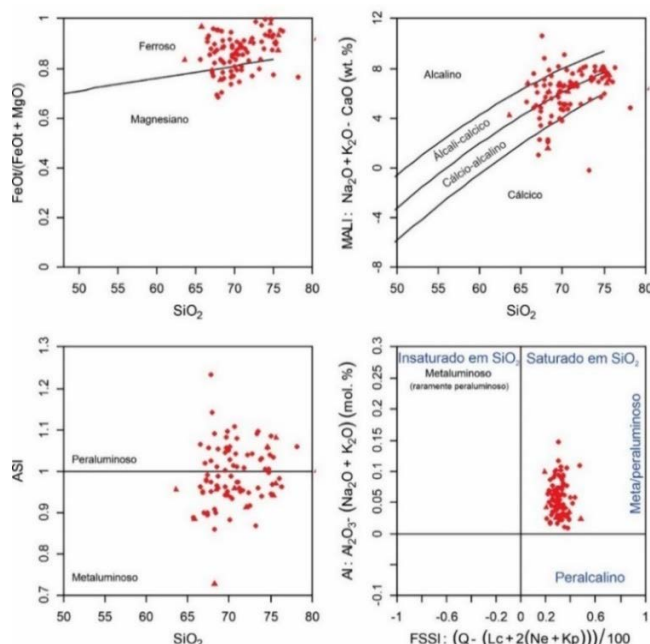


Figura 13 - Diagramas de classificação geoquímica para granitos aplicado para as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência. A) $FeO/(FeO+MgO)$ vs. SiO_2 , B) MALI e C) Alumina Saturação; e D) ANK vs. ASI. Fonte: Frost & Frost (2010).

No diagrama MALI (Figura 13B), as amostras da fácies com piroxênio plotam nos campos de álcali-cálcico (BD-MA-15) e cálcico (BD-MA-18), as amostras da fácies com anfibólio distribuem-se entre os campos alcalino, álcali-cálcico e cálcio-alcalino e as amostras da fácies com biotita plotam nos dois últimos campos citados anteriormente.

No diagrama ASI versus A/NK e FSISI (Figuras 13C e D, respectivamente), as amostras variam de metaluminosas (amostras da fácies com piroxênio e anfibólio) a fracamente peraluminosas (amostras da fácies com biotita). A

presença de granitos oxidados e reduzidos na Suíte Serra da Providência já foi reportada por Scandolaro et al. (2013), que relacionam isso a uma variação na fonte e nos processos petrogenéticos envolvidos na formação dessas rochas.

No diagrama ternário de Eby (1992), que diferencia fontes e ambientes tectônicos para granitos do tipo A (Figura 14), as amostras deste estudo plotam exclusivamente no campo de granitos do tipo A2, os quais são relacionados a fontes crustais derivadas da litosfera subcontinental ou da crosta inferior em ambiente pós-orogênicos/anorogênicos.

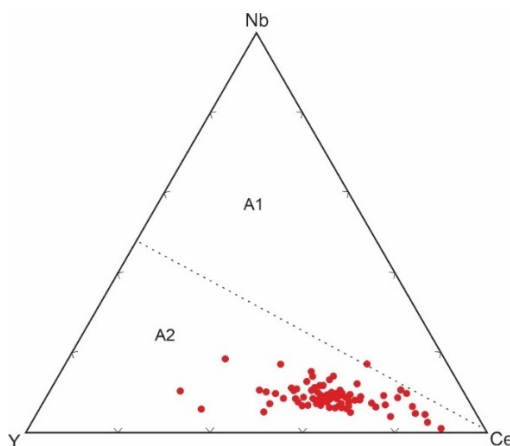


Figura 14 - Diagrama ternário Y-Nb-Ce de Eby (1992) para as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência, as quais plotam no campo de granitos do tipo A2.

Geocronologia U-Pb

Quatro amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência foram selecionadas para análise geocronológica U-Pb em zircão por LA-ICP-MS.

A figura 15 mostra as imagens de Microscópio Eletrônico de Varredura (imagens de catodoluminescência) e tabela 2 apresenta os resultados analíticos dos cristais de zircão analisados. As amostras foram coletadas próximo ao contato

com o Maciço Massangana.

A amostra BD-MA-18, pertencente à fácies com piroxênio foi coletada no limite sudeste com o Maciço Massangana. Os grãos de zircão dessa amostra são na forma de prismas alongados (entre 0,4 e 0,5 mm de comprimento) com as bordas bipiramidais ou arredondadas (Figura 15A), são geralmente incolores e apresentam zonação oscilatória e faturamento interno.

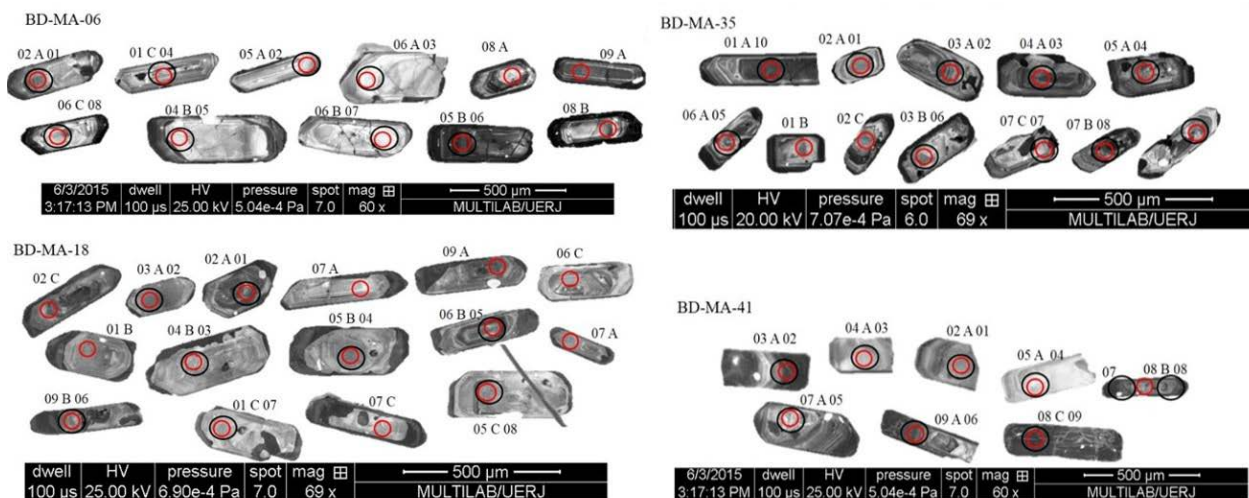


Figura 15 - Imagem de elétrons retroespalhados obtidas em MEV dos grãos de zircão das amostras BD-MA-06, BD-MA-18, BD-MA-35 e BD-MA-41 de maciços pertencentes à Suíte Intrusiva Serra da Providência, analisados pelos métodos U-Pb e Lu-Hf por LA-ICP-MS. Círculos vermelhos: spot da análise U-Pb e círculo preto spot da análise Lu-Hf.

Tabela 2 - Resultados das análises de U-Th-Pb por LA-ICP-MS em grãos de zircão das amostras BD-MA-18, BD-MA-35, BD-MA-41 E BD-MA-06. Determinação feita no laboratório Multilab da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Valores do condrito de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,336$ e $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,282785$ (Bouvier et al., 2008).

Suíte Serra da Providência: BD-MA-18															
Grão	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	Concord. (%)	
003-Sample1 A	0,40	3,796771383	3,5	0,284315007	2,60	0,75	0,09685307	2,3	1613,1	41,9	1592,1	55,3	1564,4	36,1	103,1
004-Sample 2 A	0,46	3,664540951	2,1	0,277538112	1,36	0,64	0,095762544	1,6	1579,0	21,5	1563,7	33,2	1543,1	25,1	102,3
005-Sample 3 A	0,41	3,791383445	2,9	0,283274681	2,14	0,73	0,097070815	2,0	1607,8	34,5	1590,9	46,7	1568,6	31,5	102,5
009-Sample 7 A	0,41	3,36285182	2,1	0,25635651	1,52	0,72	0,095139867	1,5	1471,2	22,3	1495,8	31,4	1530,8	22,2	96,1
011-Sample 9 A	0,44	3,460637245	4,2	0,260884189	3,41	0,81	0,096207082	2,4	1494,4	51,0	1518,3	63,7	1551,8	37,9	96,3
003-Sample1 B	0,43	3,436878366	2,3	0,259102344	1,40	0,62	0,096203649	1,8	1485,2	20,7	1512,9	34,1	1551,8	27,4	95,7
004-Sample 2 B	0,45	3,620489043	2,2	0,268772223	1,34	0,61	0,097697079	1,7	1534,6	20,5	1554,0	34,0	1580,6	27,4	97,1
006-Sample 4 B	0,39	3,577834491	2,0	0,268040815	1,34	0,66	0,096809514	1,5	1530,8	20,4	1544,6	31,0	1563,5	23,5	97,9
007-Sample 5 B	0,51	3,597510934	1,4	0,269389409	1,06	0,74	0,096854617	1,0	1537,7	16,3	1549,0	22,2	1564,4	15,1	98,3
008-Sample 6 B	0,46	3,748526499	2,1	0,2809565046	1,68	0,81	0,096762486	1,2	1596,2	26,9	1581,8	32,8	1562,6	18,8	102,2
009-Sample 7 B	0,36	3,52646797	1,2	0,265536571	0,84	0,68	0,096319524	0,9	1518,1	12,7	1533,2	19,0	1554,0	14,1	97,7
010-Sample 8 B	0,44	3,461948976	1,3	0,261497509	0,81	0,61	0,096017818	1,1	1497,5	12,1	1518,6	20,2	1548,1	16,4	96,7
011-Sample 9 B	0,38	3,561029521	1,5	0,267339066	0,99	0,67	0,096607729	1,1	1527,3	15,2	1540,9	22,8	1559,6	17,2	97,9
003-Sample1 C	0,37	3,61067022	1,1	0,272927939	0,74	0,65	0,09594858	0,9	1555,6	11,6	1551,9	17,8	1546,8	13,5	100,6
007-Sample 5 C	0,31	3,56731038	1,3	0,268607434	0,89	0,66	0,096321136	1,0	1533,7	13,7	1542,3	20,8	1554,0	15,7	98,7
008-Sample 6 C	0,32	3,44615128	1,6	0,25837455	0,67	0,42	0,095849703	1,4	1481,5	9,9	1507,8	23,9	1544,8	22,2	95,9
009-Sample 7 C	0,36	3,410719147	2,1	0,261960757	1,39	0,65	0,095620249	1,6	1499,9	20,8	1513,7	32,9	1533,2	24,6	97,8

BD-MA-35															
Grão	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	Concord. (%)	
003-Sample1 A	0,60	3,722449708	2,4	0,283521612	2,11	0,89	0,095222898	1,1	1609,1	33,9	1576,2	37,4	1532,5	16,7	105,0
004-Sample 2 A	0,54	3,511153632	2,0	0,269635836	1,71	0,85	0,094443255	1,0	1539,0	26,3	1529,7	30,7	1517,0	15,9	101,4
005-Sample 3 A	0,41	3,491772568	1,7	0,267494077	1,34	0,79	0,094673951	1,0	1528,1	20,5	1525,4	25,8	1521,6	15,7	100,4
006-Sample 4 A	0,55	3,686873599	1,3	0,282430955	0,95	0,74	0,094677042	0,9	1603,6	15,3	1568,5	20,1	1521,7	13,0	105,4
007-Sample 5 A	0,46	3,541061208	2,4	0,271263817	2,14	0,88	0,094676085	1,1	1547,2	33,0	1536,4	37,1	1521,6	17,1	101,7
008-Sample 6 A	0,49	3,490550805	2,9	0,269180444	2,66	0,92	0,094047918	1,2	1536,6	40,9	1525,1	44,4	1509,1	17,7	101,8
003-Sample1 B	0,44	3,693242962	2,0	0,283088796	1,67	0,85	0,094620213	1,0	1606,9	26,8	1569,9	30,7	1520,5	15,5	105,7
005-Sample 3 B	0,43	3,480977025	2,0	0,265838713	1,40	0,71	0,094968954	1,4	1519,6	21,3	1522,9	29,9	1527,5	21,0	99,5
009-Sample 7 B	0,44	3,558644725	2,3	0,269703565	2,14	0,92	0,095669636	0,9	1539,3	33,0	1540,4	36,0	1541,8	14,4	99,8
004-Sample 2 C	0,44	3,69082805	1,4	0,283039872	0,95	0,69	0,09478621	1,0	1606,7	15,2	1571,2	21,6	1523,8	15,2	105,4
005-Sample 3 C	0,47	3,509811426	2,2	0,270813248	1,82	0,84	0,093996999	1,2	1544,9	28,1	1529,4	33,3	1508,0	17,9	102,4
009-Sample 7 C	0,36	3,584044956	2,4	0,270998608	2,18	0,90	0,095919104	1,0	1545,9	33,6	1546,0	37,3	1546,2	16,2	100,0

BD-MA-41															
Grão	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	Concord. (%)	
004-Sample 2	0,31	3,651219705	1,5	0,27899631	0,95	0,61	0,094915739	1,2	1586,3	15,1	1560,8	24,2	1526,4	18,7	103,9
005-Sample 3	0,26	3,886474967	1,1	0,295229219	0,80	0,73	0,09547623	0,8	1667,6	13,4	1610,9	17,7	1537,5	11,6	108,5
006-Sample 4	0,41	3,636131214	2,3	0,274314682	2,10	0,93	0,096136702	0,8	1562,7	32,8	1557,5	35,1	1550,4	12,6	100,8
007-Sample 5	0,38	3,603300997	1,0	0,273464961	0,50	0,48	0,095564717	0,9	1558,4	7,8	1550,3	16,1	1539,2	14,0	101,2
011-Sample 9	0,39	3,769802775	1,4	0,286241676	1,23	0,87	0,095517839	0,7	1622,7	19,9	1586,3	22,4	1538,3	10,6	105,5
010-Sample 8	0,31	3,485734779	1,3	0,263845675	0,66	0,52	0,095817114	1,1	1509,5	9,9	1524,0	19,2	1544,2	16,6	97,8
010-Sample 8	0,66	3,82564789	2,1	0,289988053	1,88	0,90	0,095680539	0,9	1641,5	30,9	1598,2	33,5	1541,5	14,3	106,5
009-Sample 7	0,35	4,051440214	1,4	0,308119497	0,97	0,70	0,095364993	1,0	1731,4	16,8	1644,6	22,7	1535,3	15,1	112,8

BD-MA-06															
Grão	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ erro [%]	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ erro [%]	Concord. (%)	
004-Sample 2 A	0,28	3,700339371	1,4	0,273603227	0,98	0,71	0,09808872	1,0	1559,1	15,3	1571,4	21,8	1588,1	15,6	98,2
005-Sample 3 A	0,31	3,808335645	2,3	0,284806513	1,99	0,86	0,096980412	1,2	1615,5	32,1	1594,5	36,7	1568,8	18,3	103,1
007-Sample 5 A	0,32	3,808474345	1,7	0,284450972	1,21	0,70	0,097105167	1,2	1613,7	19,6	1594,5	27,7	1569,2	19,5	102,8
008-Sample 6 A	0,27	3,686533855	2,0	0,274838184	1,33	0,68	0,097283656	1,4	1565,3	20,9	1568,5	30,9	1572,7	22,8	99,5
009-Sample 7 A	0,41	4,035861732	4,4	0,301367254	4,06	0,92	0,097126769	1,8	1698,1	68,9	1641,5	72,5	1569,7	27,5	108,2
003-Sample1 B	0,39	3,971786674	2,6	0,296114491	2,33	0,88	0,097280317	1,2	1672,0	38,9	1628,5	42,9	1572,6	19,5	106,3
005-Sample 3 B	0,24	3,994385283	3,9	0,298031494	3,62	0,92	0,097204533	1,5	1681,5	60,9	1633,1	64,2	1571,2	24,0	107,0
006-Sample 4 B	0,27	3,726407122	2,2	0,277877278	1,57	0,73	0,097260402	1,5	1580,7	24,7	1577,1	34,0	1572,2	23,2	100,5
007-Sample 5 B	0,23	3,813041624	2,4	0,284444348	2,22	0,92	0,097223883	0,9	1613,7	35,7	1595,5	38,3	1571,5	14,5	102,7
008-Sample 6 B	0,27	3,678927832	2,1	0,273942917	1,77	0,85	0,097400216	1,1	1560,8	27,6	1566,8	32,5	1574,9	17,2	99,1
010-Sample 8 B	0,38	3,837351746	2,1	0,289598864	1,89	0,89	0,096102234	1,0	1639,5	31,0	1600,6	34,1	1549,8	15,3	105,8
011-Sample 9 B	0,25	3,678214955	2,2	0,275403727	1,90	0,87	0,096864807	1,1	1568,2	29,8	1566,7	34,2	1564,6	16,7	100,2
003-Sample1 C	0,40	3,85800185	2,1	0,287430871	1,94	0,91	0,097348116	0,9	1628,7	31,7	1604,9	34,3	1573,9	14,0	103,5
004-Sample 2 C	0,27	3,80155887	1,5	0,283748426	1,17	0,78	0,097168756	0,9	1610,2	18,8	1593,1	23,8	1570,5	14,6	102,5
007-Sample 5 C	0,22	4,096973264	2,4	0,305949284	2,08	0,86	0,097120836	1,3	1720,7	35,8	1653,7	40,2	1569,5	19,6	109,6
008-Sample 6 C	0,27	3,753438172	2,4	0,278931733	2,08	0,87	0,097595561	1,2	1586,0	32,9	1582,8	37,9	1578,7	18,9	100,5
010-Sample 8 C	0,47	3,891002301	3,6	0,291406729	3,06	0,86	0,096841306	1,8	1648,6	50,5	1611,8	57,3	1564,1	28,2	105,4
011-Sample 9 C	0,25	3,811608738	2,4	0,286116492	1,85	0,78	0,096619358	1,5	1622,1	30,0	1595,2	38,0	1559,8	23,4	104,0

Para a confecção do diagrama concórdia (Figura 16A), foram utilizados 17 spots que apresentam valores concordantes das razões entre 96 e 103%. A idade obtida para esta amostra foi de 1557.7 ± 8.4 Ma e foi interpretada como idade de cristalização. A amostra BD-MA-35, pertencente à fácies com biotita, foi coletada no limite noroeste com o Maciço Massangana.

Os cristais de zircão são em prismas (0,3 mm de comprimento) de formato ovalado, mais comum, ou alongado (0,5 mm de comprimento), sem inclusões e sem fraturas internas (Figura 15B) e cores variando do incolor ao rosado. A maioria dos grãos analisados, apresenta zonação oscilatória, típica de grãos magmáticos. Foram selecionados catorze spots para a confecção do diagrama concórdia (Figura 16B), que apresentam valores das razões concordantes entre 99 e 105%. A idade obtida para esta

amostra foi de 1525 ± 5.6 Ma no intercepto superior e foi interpretada como idade de cristalização.

A amostra BD-MA-41, pertencente à fácies com anfibólio foi coletada no limite norte do maciço Massangana e apresenta cristais de zircão prismáticos finos (0,1 mm) a espessos (0,3 mm), de bordas piramidais e tamanhos que variam entre 0,3 a 0,6 mm de comprimento (Figura 15C).

As cores variam entre caramelo, incolor e rosado. Para a confecção da concórdia (Figura 16C), foram utilizados oito spots que apresentam concordância entre as razões de 97 a 112%. A idade obtida para esta amostra foi de 1540 ± 5.7 Ma e foi interpretada como idade de cristalização.

A última amostra datada da Suíte Serra da Providência, BD-MA-06 pertence à fácies com anfibólio e foi coletada no limite sul do Maciço Massangana.

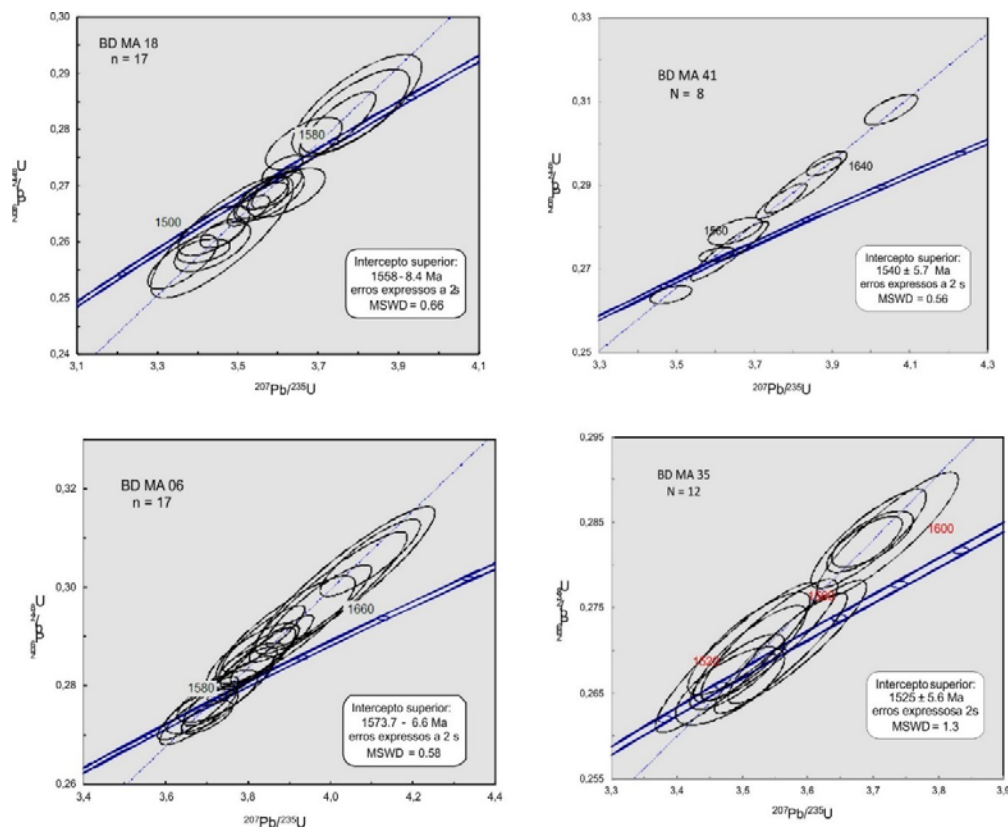


Figura 16 - A) Diagrama Concórdia para a amostra representante da fácies com anfibólio como máfico predominante da Suíte Intrusiva Serra da Providência. A idade obtida é de 1540 ± 5.7 Ma no intercepto superior e é interpretada como idade de cristalização. B) Diagrama Concórdia para a amostra representante da fácies com anfibólio como máfico predominante da SSP. A idade obtida é de 1573.7 ± 6.6 Ma no intercepto superior e é interpretada como idade de cristalização. C) Diagrama Concórdia para a amostra representante da fácies com piroxênio da Suíte Serra da Providência. A idade obtida é de 1557.7 ± 8.4 Ma no intercepto superior e é interpretada como idade de cristalização. D) Diagrama Concórdia para a amostra representante da fácies com biotita da Suíte Serra da Providência. A idade obtida é de 1525 ± 5.6 Ma no intercepto superior e é interpretada como idade de cristalização.

Apresenta cristais de zircão finos prismáticos e alongados (0,5-0,6 mm de comprimento) em sua maioria, com zonação oscilatória (Figura 15D), grande quantidade de fraturas internas e cores variando entre incolor, amarelado e avermelhado.

Foram utilizados dezessete spots para a confecção do diagrama concórdia (Figura 16D), que apresentam concordância das razões entre 98 e 108%. A idade obtida para esta amostra foi de 1573.7 ± 6.6 Ma e foi interpretada como idade de cristalização.

Geologia isotópica Lu-Hf

Foram determinadas as composições isotópicas de Hf de quatro amostras (BD-MA-06, BD-MA-18, BD-MA-35 E BD-MA-41) da SISP, todas coletadas próximo ao contato com o Maciço

Massangana e previamente datadas pelo método U-Pb. Os dados isotópicos de Lu-Hf são apresentados na tabela 3.

As rochas aqui estudadas apresentam ampla variação na composição de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ iniciais, entre 0,2815459 a 0,2823301 (Figura 17), valores representados pelas amostras BD-MA-18 e BD-MA-41 respectivamente. Esses valores correspondem a uma variação do ϵHf de $-9,6$ a $+18,3$ (Figura 18). A amostra BD-MA-18 da fácies com piroxênio, com idade de cristalização de 1558 ± 8.4 Ma, apresenta todos os valores de ϵHf negativos com pouca variação, entre $-9,6$ e $-7,4$. A idade de extração mantélica (T_{DM}) obtida fica entre 2,27 e 2,33 Ga, exclusivamente do Paleoproterozoico.

DISCUSSÕES

As idades apresentadas neste estudo para as rochas da SISP mostram uma diferença de, pelo menos, 40 milhões de anos entre as idades mais jovem e mais velha obtidas nos litotipos estudados. Esse fato, aliado à variação nos valores de ϵHf , mostram que fontes distintas

foram responsáveis pela formação dessas rochas.

Scandolaro et al. (2013) propõem um modelo que integra processos de interação entre magmas predominantemente crustais e, de forma subordinada, contribuição mantélica para a formação das rochas da SISP.

Tabela 3 - Resultados das análises de Hf nos grãos de zircão das amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência. Determinação feita no laboratório Multilab da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Valores do condrito de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,336$ e $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,282785$ (Bouvier et al., 2008).

S. da Providência	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (t)	ϵ_{Hf} (t)	$\pm 2\text{SE}$	Idade T_{DM}	Idade U-Pb (Ma)
BD MA 06	0,281900098	0,000032	0,0006969	0,000008	0,281879327	3,40	0,0523662	1,86	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,28194923	0,000045	0,0009414	0,000038	0,281921173	4,88	0,2189927	1,81	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281890532	0,000031	0,0005719	0,000002	0,281873488	3,19	0,0265151	1,87	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281810235	0,000086	0,0015814	0,000149	0,281763103	-0,73	0,071973	2,03	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281903622	0,000032	0,0006166	0,000010	0,281885244	3,61	0,0732341	1,86	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281922635	0,000032	0,000923	0,000004	0,281895126	3,96	0,0347467	1,84	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281909639	0,000032	0,000671	0,000009	0,281889641	3,76	0,0688906	1,85	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281932455	0,000041	0,0008717	0,000019	0,281906474	4,36	0,1135359	1,83	1573,7 \pm 5,7 Ma
BD MA 06	0,281938908	0,000039	0,0007227	0,000013	0,281917368	4,75	0,1066386	1,81	1573,7 \pm 5,7 Ma

S. da Providência	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (t)	ϵ_{Hf} (t)	$\pm 2\text{SE}$	Idade T_{DM}	Idade U-Pb (Ma)
BD MA 18	0,281602709	0,000029	0,0006849	0,000006	0,281582507	-7,50	0,1088565	2,27	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281613739	0,000049	0,0009694	0,000026	0,281585145	-7,41	0,2417989	2,27	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281595834	0,000035	0,000705	0,000019	0,281575041	-7,77	0,2507652	2,28	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281570125	0,000042	0,0010013	0,000013	0,28154059	-8,99	0,1627402	2,33	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281551236	0,000033	0,000958	0,000043	0,28152298	-9,62	0,4860368	2,35	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281587864	0,000072	0,000604	0,000013	0,281570048	-7,95	0,2219408	2,28	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281545895	0,000043	0,0004924	0,000003	0,281531371	-9,32	0,1159169	2,33	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281581219	0,000030	0,0005664	0,000008	0,281564513	-8,14	0,1653826	2,29	1558 \pm 8,4 Ma
BD MA 18	0,281563108	0,000055	0,000823	0,000026	0,281538832	-9,05	0,3388614	2,33	1558 \pm 8,4 Ma

S. da Providência	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (t)	ϵ_{Hf} (t)	$\pm 2\text{SE}$	Idade T_{DM}	Idade U-Pb (Ma)
BD MA 35	0,282002287	0,000046	0,0012808	0,000018	0,281965297	5,35	0,0947598	1,75	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,28191432	0,000041	0,0012079	0,000091	0,281879435	2,30	0,1818269	1,87	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,281975711	0,000047	0,0013796	0,000014	0,281935868	4,30	0,0610196	1,79	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,282006069	0,000049	0,0013586	0,000118	0,281966832	5,40	0,4898608	1,75	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,281930007	0,000046	0,001435	0,000119	0,281888562	2,62	0,2285774	1,86	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,281906398	0,000048	0,0012128	0,000090	0,281871372	2,01	0,1578193	1,88	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,281940174	0,000057	0,0011205	0,000050	0,281907812	3,31	0,1607812	1,83	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,281970193	0,000091	0,0019971	0,000111	0,281912516	3,47	0,207341	1,83	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,28193715	0,000051	0,0011379	0,000044	0,281904288	3,18	0,1341767	1,84	1525 \pm 5,6 Ma
BD MA 35	0,281909611	0,000045	0,0010503	0,000052	0,281879277	2,30	0,1217839	1,87	1525 \pm 5,6 Ma

S. da Providência	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\text{SE}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (t)	ϵ_{Hf} (t)	$\pm 2\text{SE}$	Idade T_{DM}	Idade U-Pb (Ma)
BD MA 41	0,281843327	0,000035	0,000609	0,000010	0,281825576	0,71	0,0144211	1,94	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281858413	0,000037	0,0007956	0,000003	0,281835219	1,05	0,0086255	1,93	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281817094	0,000038	0,0011894	0,000103	0,281782424	-0,82	0,0742544	2,00	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281843323	0,000037	0,0006232	0,000009	0,281825158	0,70	0,0128136	1,94	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281858777	0,000032	0,0005081	0,000010	0,281843967	1,36	0,0318754	1,91	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281847157	0,000033	0,0007101	0,000011	0,281826457	0,74	0,0140302	1,94	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281864038	0,000037	0,0008443	0,000012	0,281839426	1,20	0,0210781	1,92	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281839332	0,000042	0,0007439	0,000008	0,281817649	0,43	0,0060211	1,95	1540 \pm 5,7 Ma
BD MA 41	0,281848775	0,000035	0,000943	0,000002	0,281821286	0,56	0,0033529	1,95	1540 \pm 5,7 Ma

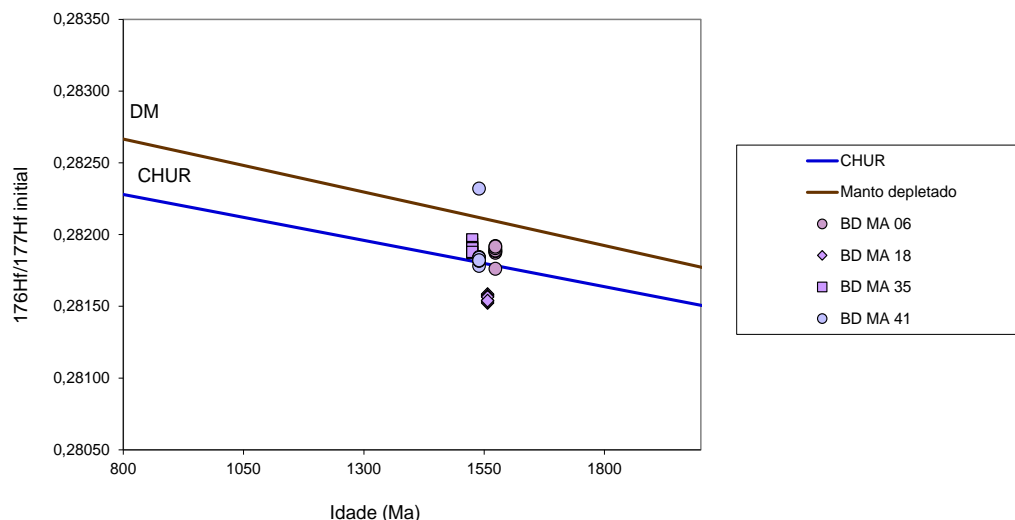


Figura 17 - Diagrama com valores de $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ inicial vs. idade U-Pb das amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

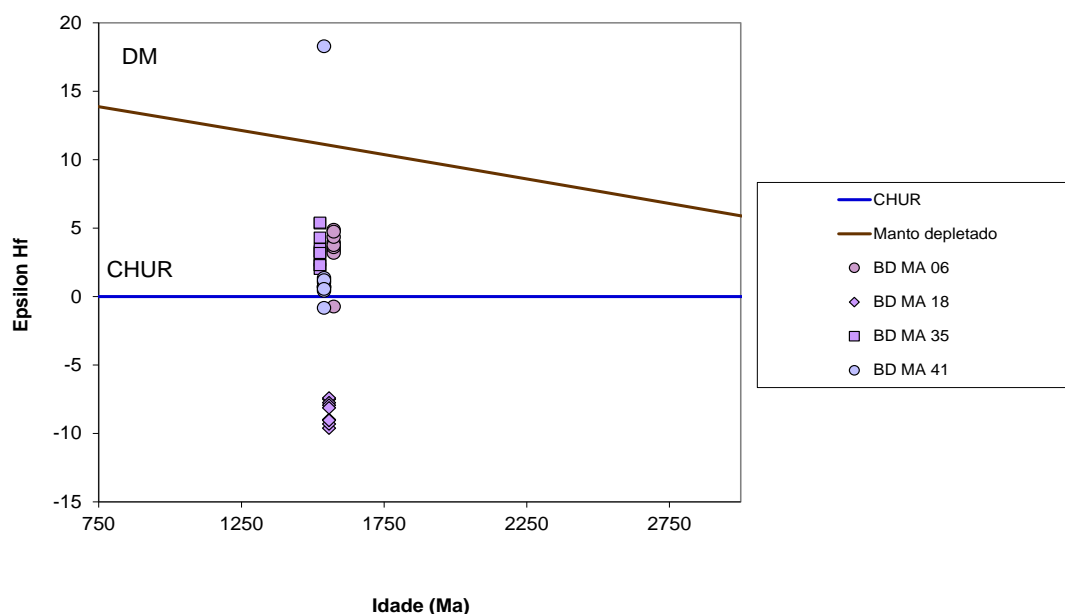


Figura 18 - Valores de Épsilon Hf vs idade U-Pb das amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

As idades apresentadas neste estudo para as rochas da SISP mostram uma diferença de, pelo menos, 40 milhões de anos entre as idades mais jovem e mais velha obtidas nos litotipos estudados. Esse fato, aliado à variação nos valores de ϵ_{Hf} , mostram que fontes distintas foram responsáveis pela formação dessas rochas.

Scandolaro et al. (2013) propõem um modelo que integra processos de interação entre magmas predominantemente crustais e, de forma subordinada, contribuição mantélica para a formação das rochas da SISP.

Os autores defendem que o Complexo Jamari, que compõe boa parte da encaixante, deve ter sido a principal fonte para as rochas dessa suíte. O Complexo Jamari, composto principalmente por anfibólitos, quartzo dioritos, tonalitos/enderbitos e granodioritos/charnoquitos, além de gnaisses graníticos subordinados, apresenta características que podem ter gerado granitos do tipo A2 como os da SISP. Scandolaro et al. (2013) afirmam que os gnaisses com idade paleoproterozoica e composição intermediária ácida devem ter sido a fonte crustal dominante e que rochas máficas tiveram apenas papel secundário.

As rochas estudadas neste trabalho diferenciam-se umas das outras tanto na composição química de rocha total, quanto na composição isotópica. A amostra BD-MA-18 da fácies com piroxênio, com idade de cristalização de 1558 ± 8.4 Ga, é a única que apresenta apenas valores negativos de ϵ_{Hf} (-9,6 e -7,4), mostrando que sua fonte é essencialmente crustal e de uma crosta paleoproterozoica (T_{DM} entre 2,27 e 2,33 Ga),

anterior à formação das rochas do Complexo Jamari (Tabela 4).

As amostras da fácies com anfibólio apresentam, em sua maioria, valores de ϵ_{Hf} positivos, variando entre +0,43 e +1,20, na amostra BD-MA-41 e entre +3,19 e +4,88, na amostra BD-MA-06, valores que correspondem a uma idade de extração mantélica (T_{DM}) de 1,91 a 1,95 Ga e de 1,81 a 1,87 Ga. Estes valores evidenciam que foram dominantes na formação dessas rochas uma derivação quase exclusiva de fontes mantélicas e, provavelmente, de processos de cristalização fracionada sem mudança de assembleia fracionante.

Dois grãos de zircão, um em cada amostra da fácies com anfibólio, apresentam valor negativo para o parâmetro ϵ_{Hf} de -0,73 e -0,82, o que talvez possa ser um indício de que houve assimilação, de forma subordinada, da encaixante.

A amostra BD-MA-35 da fácies com biotita, a mais jovem de todas, de idade de cristalização de 1525 ± 5.6 Ma, apresenta apenas valores positivos para o parâmetro ϵ_{Hf} (+2 a +5,4) evidenciando também uma fonte, predominantemente, mantélica. A idade de extração do manto, T_{DM} , varia entre 1,75 e 1,88 Ga, também no Paleoproterozoico.

Levando em consideração as características químicas e o padrão observados nos diagramas bivariantes de SiO_2 versus elementos maiores, que mostram trends lineares e sem *gaps*, é possível inferir que as amostras da fácies com biotita e com anfibólio devem pertencer ao mesmo processo evolutivo, definido como cristalização fracionada.

Tabela 4 - Resumo com os dados químicos, geocronológicos e isotópicos obtidos neste estudo para as amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

Suíte Serra da Providência						
Amostra/Idade U-Pb	Fácies/Classificação QAP	Características químicas	Epsilon Hf	Idade T _{DM}	Possível Fonte	Processo Evolutivo
BD-MA-18/ 1557.7±8.4 Ma	fácies c/ piroxênio tonalito	<i>magnesian</i> , cálcico, metaluminoso SiO ₂ = 68,26%, NaO ₂ + K ₂ O = 6,62%; A/CNK = 1,20; La _N /Yb _N = 5,23; Eu/Eu* = 0,45; A2(3), granito de crista oceânica (4)	(-7,4 a -9,62)	2,27 a 2,35	Essencialmente crustal crosta inferior pré-Jamari	FP de crosta pré-Jamari
BD-MA-06 / 1573.7± 6.6 Ma	fácies c/ anfibólio granitoide rico em quartzo	<i>ferroan</i> , cálcio-alcálica, metaluminosa (2) SiO ₂ = 76,14%, NaO ₂ + K ₂ O = 8,43%, A/CNK = 1,40, La _N /Yb _N = 4,06, Eu/Eu* = 0,10, A2(3), granito de arco vulcânico/sin-colisional (4)	(+3,40 a +4,88) 1 zircão (-0,73)	1,86 a 1,81 2,03 Ga	Predominantemente mantélica com possível assimilação de crosta	PF do manto superior (?)
BD-MA-41/ 1540 ±5.7 Ma	fácies c/ anfibólio sienogranito	<i>ferroan</i> , álcali-cálcica, metaluminosa (2) SiO ₂ = 72,07%, NaO ₂ + K ₂ O = 9,29%; A/CNK = 1,20; La _N /Yb _N = 5,10 Eu/Eu* = 0,46, A2(3), granito intraplaca (4)	(+0,43 a +1,20) 1 zircão (- 0,82)	1,95 a 1,91 2,0 Ga	Predominantemente mantélica com possível assimilação de crosta	PF do manto superior (?)
BD-MA-35/ 1525 ±5.6 Ma	fácies c/ biotita sieno- a monzogranito	<i>ferroan</i> , cálcio-alcálica, peraluminosa (2) SiO ₂ = 75,7%, NaO ₂ + K ₂ O = 8,01% A/CNK = 1,38, La _N /Yb _N = 22,65, Eu/Eu* = 0,33; A2 (3), granito intraplaca (4)	(+2,01 a +5,40)	1,87 a 1,75 Ga	mantélica	PF do manto superior (?)

2) Frost & Frost (2010), (3) Eby (1992) A1: diferenciação de magmas basálticos do tipo OIB associados a hotspots, plumas ou zonas de rift continentais, A2: derivados de litosferas subcontinentais ou crosta inferior em ambiente pós-orogênico/anorogênico, (4) Pearce et al. (1984). FP: fusão parcial, CF: cristalização fracionada.

A amostra da fácies com piroxênio, BD-MA-18, apesar de plotar nos diagramas Harker, como as menos evoluídas da série, apresentam classificação química distinta das demais amostras. A idade T_{DM} entre 2,27 e 2,33 Ga e os valores de εHf negativos (entre -9,6 e -7,4), mostram que essa rocha tem origem essencialmente crustal, diferente das demais amostras estudadas e, possivelmente com idade paleoproterozoica, anterior à formação do Complexo Jamari, que apresenta idade de cristalização entre 1,76 e 1,65 Ga (Scandolaro, 2006).

Recentemente, Silva et al. (2024) reportou a ocorrência de gnaisses no embasamento da região de Bom Futuro (20-30 Km ao norte da área estudada) com idades U/Pb em zircão entre 2041 e 2066 Ma (Gnaiss Passa Bem) e 2486 e 2608 Ma (Gnaiss Santa Cruz), com valores de T_{DM} entre 2,8 a 2,5 Ga, valores de εHf entre +8 a +1, T_{DM} entre 3.4 e 2.2 Ga e εHf entre +12 e -1,8, respectivamente. Estes resultados confirmam a presença de uma crosta arqueana na região central de Rondônia.

Santos et al. (2007) atribuem o emplacement da SISP à segunda de três fases de movimentação que ocorreram na porção SW do Cráton Amazônico, correlacionada à Orogenia Rondoniana-São

Ignácio (1,45 a 1,30 Ga). Entretanto as idades reportadas na literatura, entre 1,60 e 1,53 Ga (Scandolaro, 2006) e idades adquiridas no presente estudo (entre 1525 ±5,6 Ma e 1557,7 ±8,4 Ma) mostram que a cristalização das rochas da Suíte Serra da Providência é anterior à Orogenia Rondoniana-São Ignácio, sendo mais provável uma correlação com a primeira fase de movimentação proposta por esse autor, relacionada aos estágios finais da Orogenia Rio-Negro Juruena (1,80 -1,55 Ga).

A tabela 2 traz um resumo com as principais características das amostras que foram submetidas a análises geocronológicas e isotópicas da SISP. Nesta tabela, fica evidente que amostra BD-MA-18, com idade de cristalização de 1557,7 ± 8,4 Ma, concordante com as idades reportadas na literatura para a SISP não se encaixa nas características de granitos do tipo-A. As características dessa amostra como: ser um, em termos composicionais, tonalito, plotar no campo de granitos de crosta oceânica, nos diagramas de Pearce et al. (1984), além baixa concentração de Rb (4 ppm), indicam uma formação possivelmente relacionada a ambiente orogênico.

As demais amostras apresentam um compor-

tamento similar a rochas definidas como do tipo-A (Tabela 2) e suas fontes mostram-se predominantemente mantélicas, fato evidenciado pela grande maioria dos valores de ϵ_{Hf} serem positivos (+0,43 a +5,40), com apenas dois valores negativos para as amostras da fácies com anfibólio, o que sugere contribuição crustal diminuta. Estes dados corroboram com a proposta de Geraldès et al. (2004) de um componente mantélico para a geração das suítes anorogênicas

de Rondônia. As idades de extração mantélicas (T_{DM}) entre 1,75 e 2,03 Ga, exclusivamente no Paleoproterozoico, indicam que as prováveis fontes mantélicas (predominante) devem ter se originado a partir de processos de fusão parcial do manto depletado com pequena assimilação das rochas encaixantes, representadas pelo Complexo Jamari e/ou de rochas anteriores a ele, fato evidenciado pelas idades (T_{DM}) mais antigas (> 1,80 Ga).

CONCLUSÕES

Suítes intrusivas de Granitos Rapakivi tem sido amplamente estudada nas últimas décadas. Apesar de serem caracterizadas principalmente como anorogênicas, novos estudos têm mostrado que relações distais com eventos orogênicos podem ter um importante papel na formação dessas suítes.

O caráter bimodal, que antes era apenas sugerido, através de feições petrográficas e litogeoquímicas; com o advento de novas técnicas de análise isotópica, principalmente a união de dados geocronológicos U-Pb e isotópicos Lu-Hf em cristais de zircão, agora pode ser confirmado. A união dessas técnicas tem se mostrando uma importante ferramenta na definição de fontes para granitos rapakivi.

Nas rochas da SISP, que são as representantes mais velhas do magmatismo rapakivítico que ocorreu no território de Rondônia, o bimodalismo é confirmado pelas análises isotópicas de Lu-Hf, as quais mostram grande variação nos

valores de ϵ_{Hf} , entre positivos e negativos, sendo que algumas amostras do mesmo maciço apresentam apenas valores positivos e outras, apenas negativos, evidencia que a mistura de fontes crustais e mantélicas é um processo importante na formação dessas rochas.

Feições petrográficas e litogeoquímicas, como *clots* de minerais máficos, presença de enclaves de microgranito, além de variação no conteúdo de ETR são mais indicativos de que mistura entre fontes contrastantes foram o principal processo na formação dessas suítes. A fonte mantélica deve ter sido, provavelmente, originada a partir de processos de fusão parcial do manto superior depletado, que também favoreceu, através do fornecimento de calor, a fusão da crosta inferior, (fonte provável para as rochas com idade T_{DM} > 1,80 Ga), ou seja, anteriores a formação da encaixante mais velha de que se tem registro na região, o Complexo Jamari.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.L. & BENDER, E.E. Nature and origin of Proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, v. 23, p 19-52, 1989.
- ANDERSSON, U.B.; GRIFFIN, W.L.; BEGG, G.; HO'GDAHL, K. Juvenile and old components in Proterozoic crust; examples from Lu-Hf isotopes in zircon from magmatic Svecofennian and rapakivi rocks in Sweden. In: 33th INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Oslo, 2008. *Abstract*...Oslo, 2008, p. 6-14/8.
- BETTENCOURT, J.S.; TOSDAL, R.M.; LEITE, JUNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L. The Rapakivi Granites of Rondônia Tin Province and Associated Mineralization. In: SYMPOSIUM RAPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS, 6, Belém, Brazil. *Excursion Guide*...Belém, 1995, p. 5- 16.
- BETTENCOURT, J.S.; LEITE JUNIOR.; W.B., PAYOLLA, B.L.; SCANDOLARA J.E.; MUZZOLON R.; VIAN J.A.J. The rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, northern Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS (ISGAM II). 1997, Salvador. *Excursions Guide*...Salvador, 1997, 31 p.
- BETTENCOURT, J.S.; TOSDAL, R.M.; LEITE JUNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L. 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*, v. 95, p. 41-67, 1999.
- BOUVIER, A.; VERVOORT, J.D.; PATCHETT, P.J. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR: Constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 273, p. 48-57, 2008.
- CASTRO, C.C. **Metalogenese dos granitos mineralizados a estanho em Rondônia**. Rio de Janeiro, 106 p., 2016. Tese (Doutorado em Análise de Bacias e Faixas Móveis), Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- CORDANI, U.G.; TASSIMARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA K. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLOGICO CHILENO, 2., Arica, 1979. *Actas*... Arica, 1979, v. 4, p. 137-148.
- DALL'AGNOL, R. & OLIVEIRA, D.C. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brasil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, v. 93, p. 215-233, 2007.
- DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, v. 50, p. 113- 138, 1994.

- DEBOWSKI, B.P.; COSTA, A.; SANTOS, A.; SANTOS, W.; GERALDES, M.C. Petrografia e Litogeoquímica dos Maciços Massangana, São Carlos e Caritianas pertencentes aos Granitos Mais Jovens da Província Estanífera de Rondônia. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, p. 395-412, 2018.
- DEBOWSKI, B.P.; ALVES, M.I., SANTOS, A.C., TAVARES JR., A.D., GERALDES, M.C. Contribution to the understanding of the Rondonia Tin Province granites (SW Amazonian Craton) origin using U-Pb and Lu-Hf in zircon by LA-ICPMS: implications to A-type granite genesis. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v. 2, n. 3, p. 151-164, 2019.
- DEBOWSKI, B. P.; POTRATZ, G. L.; TAVARES JÚNIOR, A. D.; MARTINS, M. V. A.; GERALDES, M. CAge and Origin of the Massangana Intrusive Suite and Associated Mineralizations, in the Rondônia Tin Province: Petrography, U-Pb, and Lu-Hf Isotopes Zircons. **Minerals**, v.12, p. 1304–1324, 2022.
- DE LA ROCHE, H.D.; LETERRIER, J.T.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses—its relationships with current nomenclature. **Chemical geology**, v. 29, n. 1-4, p. 183-210, 1980.
- EBY, G.N. Chemical subdivision of A-type granitoids: Petrogenetic and Tectonic Implications. **Geology**, v. 20, p. 641-644, 1992.
- FROST, C.D. & FROST, B.R. On Ferroan (A-type) Granitoids: Their compositional variability and models of origin. **Journal of Petrology**, [S.I.], v. 52, p. 39-53, 2010.
- FROST, B.R., ARCULUS, R.J., BARNES, C.G., COLLINS, W.J., ELLIS, D.J., FROST, C.D. A geochemical classification for granitic rocks. **Journal of Petrology**, [S.I.], v. 42, p. 2033-2048, 2001.
- GERALDES, M.C.; VAN SCHMUS, W.R.; CONDIE, K.C.; BELL, S.; TEIXEIRA, W.; BABINSKI, M.; Proterozoic Geologic Evolution of the SW Part of the Amazonian craton in Mato Grosso State, Brazil. **Precambrian Research**, v. 111, p. 91-108, 2001.
- GERALDES, M.C.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. Lithospheric versus asthenospheric source of the SW Amazonian craton A-Types granites: the role of the Paleo and Mesoproterozoic accretionary belts for their coeval continental suites. **Episodes**, v. 27, n. 3, p. 1-5, 2004.
- GODOY, A.M.; MANZANO, J.C.; SILVA, J.A.; VIEIRA, O.A.R.P.; ARAÚJO, L.M.B. Geologia e Geoquímica das rochas graníticas da Suíte Serra da Providência na região de Juína, noroeste do Estado de Mato Grosso. **Geociências**, v. 38, n. 2, p. 331 - 347, 2019.
- INÁCIO ALVES, M.; ALMEIDA, B.S.; CARDOSO, L.M.C.; SANTOS, A.C.; APPI, C.; BERTOTTI, A.L.; CHEMALE, F.; TAVARES JR., A.D.; MARTINS, M.V.A.; GERALDES, M.C. Isotopic composition of Lu, Hf and Yb in GJ-01, 91500 and Mud Tank reference materials measured by LA-ICP-MS: application of the Lu-Hf geochronology in zircon. **J. Sediment. Environ.**, v. 4, n. 2, p. 220-248, 2019.
- ISOTTA C.A.L.; CARNEIRO, J.M.; KATO H.T.; BARROS R.J L. **Projeto Província Estanífera de Rondônia**. Porto Velho. DNPM/CPRM, v. 1-3, 1978.
- KLOOSTERMAN, J.B. A tin province of the Nigerian type in southern Amazônia. In: TECHNICAL CONFERENCE ON TIN, 2, 1968, London. **Actas**...London, 1968. p. 381-400.
- LEAL, J.W.L.; SILVA, G.H.; ABREU, A.S.; LIMA, M.I.C. Granito Serra da Providência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976. Ouro Preto. **Anais**...Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, v. 4, p. 59-74.
- LEITE JÚNIOR, W.B. **Maciço Oriente Novo (RO) e a mineralização estano-tungstenífera associada**. 1992, São Paulo, 173 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- LEITE JÚNIOR, W.B. **A Suíte Intrusiva Santa Clara (RO) e a Mineralização primária polimetálica (Sn, W, Nb, ta, Zn, Cu e Pb) associada**. São Paulo, 2002. 310 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- NOGUEIRA C.C.; GERALDES M.C.; ALMEIDA, B.S. Contribuições à Geologia da Amazônia - Volume 9 - Província Estanífera de Rondônia: caracterização e distribuição temporal da mineralização. **Contribuições a Geologia da Amazonia**, v. 9, p. 153-171. 2015.
- NOGUEIRA, C.C.; GERALDES, M.C.; ALVES, M.I.; DEBOWSKI, B. A Suíte Intrusiva Jatuarana: um novo evento magmático anorogênico na Província Estanífera de Rondônia. **Contribuições a Geologia da Amazonia**, v. 11, p. 51-62, 2019
- O'CONNOR, J.T. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. In: US GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER B525. USGS, 1965, p. 79–84.
- PAYOLLA, B.L. **As rochas graníticas e sieníticas das cachoeiras Teotônio e Santo Antônio, rio Madeira, Porto Velho, Rondônia: geologia, petrografia e geoquímica**. Brasília, 1994. 145 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- PEARCE, P.O.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **Journal of Petrology**, v. 25, n. 4, p. 956-983. 1984.
- PIETRANIK, A.B.; HAWKESWORTH, C.J.; STOREY, C.D.; KEM, A.I.S.; SIRCOMBE, K.N.; WHITEHOUSE, M.J.; BLEEKER, W. Episodic, mafic crust formation from 4.5 to 2.8 Ga: New evidence from detrital zircons, Slabe craton, Canada. **The Geological Society of America**, v. 36, n. 11, P.,875-878, 2008.
- RAMO, O.T. & HAAPALA, I. One hundred years of rapakivi granite. **Mineral Petrol.**, v. 52, p. 129-185, 1995.
- RIZZOTTO, G.J.; SCANDOLARA, J.E.; QUADROS, M.L.E.S. Aspectos gerais da associação mangerito–charnockito– granito (MCG) da porção oriental do Estado de Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 39, 1996. Salvador. **Resumos Expandidos**...Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 35–37.
- RIZZOTTO, G.J.; SCANDOLARA, J.E.; SILVA, C.R.; DALL'AGNOL, R.; BETTENCOURT, J.S.; MORAIS, P.R. Geology and preliminary geochemistry of the middle proterozoic Serra da Providência rapakivi granite-Rondônia, Brazil. In: SYMPOSIUM ON RAPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS, 1995, Belém. **Abstract Volume**... Belém: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará., 1995, p. 5-16.
- ROMANINI, S.J. **Geologia e Geoquímica do Complexo Granitoide de Massangana e sua relação com as mineralizações de estanho**. Salvador, 85 p., 1982. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia.
- SANTOS, A.R.; VENEZIANI, P.; OKIDA, R.E.; BETTENCOURT, J.S. Contribuição do sensoriamento remoto e da Aerogeofísica na caracterização dos controles estruturais no alojamento de granitos proterozóicos em zonas de cisalhamento, em parte do Estado de Rondônia (Brasil) In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, 2007. **Anais**...Florianópolis: INPE, 2007, p. 2163-2170.
- SCANDOLARA, J.E.; RIZZOTTO, G.J.; BAHIA, R.B.C.; QUADROS, M.L.E.S.; AMORIM, J.L.; DALL'IGNA, L.G. **Geologia e Recursos Mineraiis do Estado de Rondônia: texto explicativo e mapa geológico na escala 1:1.000.000**. Programa Levantamentos Geológicos do Brasil. CPRM. Serviço Geológico do Brasil, Brasília, Brasil. 1999.
- SCANDOLARA, J.E. **Geologia e Evolução do Terreno Jamari, Embasamento da Faixa Sunsás/Aguapeí, Centro Leste de Rondônia, Sudoeste do Cráton Amazônico**. Brasília, 2006. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- SCANDOLARA, J.E.; FUCK, R.A.; DALL'AGNOL, R.; DANTAS, E.L. Geochemistry and origino f the early

- Mesoproterozoic mangerite-charnokite-rapakivi granite association of the Serra da Providência suíte and associated gabbros, central-eastern Rondônia, SW Amazonian Craton, Brasil. **Journal of South America Earth Sciences**, Elsevier, v. 45, p. 166-193, 2013.
- SILVA, L.F.R.; COELHO, M.H.; GERALDES, M.C.; LEMOS, W.; TELLES, R.; MACHADO, M.S. Contribution to geochronology of Rondônia: U-Pb and Lu-Hf isotopes applied to crustal evolution. In: XIII SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY. Armação de Búzios, 2024. **Proceedings...** SSAGI, 2024
- TASSINARI, C.C.G.; SIGA JR., O.; TEIXEIRA, W. Épocas metalogenéticas relacionadas a granitoides do Cráton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1984. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984, v. 6, p. 2963-2977.
- TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; NUTMAN, A.P.; VAN SCHMUS, W.R.; BETTENCOURT, J.S.; TAYLOR, P.N. Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro-Juruena Province (Amazonian Craton), and tectonic implications. **International Geology Review**, v. 38, n. 2, p. 161-175, 1996.
- TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES, M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ-FILHO, A., CAMPOS, D.A. (eds.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro, p. 41-95, 2000.
- TEIXEIRA, W., TASSINARI, C.C.G.; CORDANI U.G., KAWASHITA K. A review of the geochronological of the Amazonian Craton: tectonic implications. **Precambrian Research**, v. 42, p. 213-227, 1989.
- TEIXEIRA, W.; GERALDES, 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**, v. 29, p. 47 - 60, 2010.
- THOMPSON, R.N. Magmatism of the British Tertiary province Scottish. **Journal of Geology**, v. 18, p. 49-107, 1982.
- WHALEN, J.B.; CURRFFI, K.L.; CHAPPEL, B. W. A-Type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contrib. Mineral Petrol**, [S.I.], v. 95, p. 407-419, 1987.

*Submetido em 2 de agosto de 2024
Aceito para publicação em 12 de fevereiro de 2025*