



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**Manoel Augusto Corrêa da Costa**

**Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do  
batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil**

---

*Orientadora*

**Profa. Dra. Maria Zélia Aguiar de Sousa**

*Co-orientador*

**Dr. Jaime Estevão Scandolara**

CUIABÁ

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

**REITORIA**

*Reitora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Lucia Cavalli Neder**

*Vice-Reitor*

**Prof. Dr. Francisco José Dutra Souto**

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

*Pró-Reitora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leny Caselli Anzai**

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA**

*Diretor*

**Prof.<sup>o</sup> Dr. Martinho da Costa Araújo**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS**

*Chefe*

**Prof.<sup>o</sup> Dr. Ronaldo Pierosan**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

*Coordenador*

**Prof.<sup>o</sup> Dr. Paulo César Corrêa da Costa**

*Vice-Coordenadora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cláudia Dantas da Costa**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

# Geociências



UFMT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 66

**Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil**

---

**Manoel Augusto Corrêa da Costa**

*Orientadora*

**Profa. Dra. Maria Zélia Aguiar de Sousa**

*Co-orientador*

**Dr. Jaime Estevão Scandolara**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências.**

CUIABÁ

2015

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

C837g Costa, Manoel Augusto Corrêa da.  
Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil / Manoel Augusto Corrêa da Costa. -- 2015  
ix, 84 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Maria Zélia Aguiar de Sousa. Co-orientador: Jaime Estevão Scandolaro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Cuiabá, 2015.

Inclui bibliografia.

1. batólito Serra da Providência. 2. Geoquímica. 3. Geocronologia U-Pb. 4. Granitos rapakivi. 5. Riólitos. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**

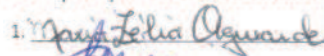




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 - CUIABÁ/MT  
Tel : 3615-8951 - Email : pgec@ufmt.br

**ATA DE DEFESA PÚBLICA**  
**Mestrando Manoel Augusto Corrêa da Costa**

Aos 14 dias do mês de Dezembro do ano de 2015, à 10:00 horas, no Auditório do Departamento de Recursos Minerais, sob a presidência da professora Doutora Maria Zélia Aguiar de Sousa, orientadora, reuniu-se em sessão pública a Banca Examinadora de defesa da Dissertação de Mestrado, o discente Manoel Augusto Corrêa da Costa do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, visando a obtenção de título de MESTRE EM GEOCIÊNCIAS. O Mestrando concluiu os créditos exigidos para obtenção do título de Mestre, na Área de Concentração GEOLOGIA REGIONAL E RECURSOS MINERAIS, e foi aprovado no Exame de Qualificação no dia 23 de Fevereiro de 2015, de acordo com os registros constantes na Secretaria do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS. Esta foi a 66ª sessão pública de Defesa de Dissertação do Programa. Os trabalhos foram instalados às 10:00 horas pelo presidente da Banca Examinadora, constituída pelos professores Doutores Maria Zélia Aguiar de Sousa (Presidente Banca / Orientador/07181493434), Jayme Alfredo Dexheimer Leite (Examinador Interno/26617650000), Jean-Michel Lafon (Examinador Externo/UFPA/29375010287). O pós-graduando procedeu à apresentação de seu trabalho, cujo título é "GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DOS GRANITOS RPAKIVI E ROCHAS ASSOCIADAS DA PORÇÃO CENTRO OESTE DO BATÓLITO SERRA DA PROVIDÊNCIA, SW DO CRÁTON AMAZÔNICO, RONDÔNIA, BRASIL". E em seguida foi arguido pelos integrantes da banca. Os trabalhos de arguição foram encerrados às 13:00 horas, e após reunião a Banca deliberou por sua APROVAÇÃO. Proclamando o resultado final pela Presidente da Banca Examinadora foram concluídos os trabalhos. O título de Mestre será conferido sob condição de apresentação, na Secretaria do Programa, da versão final corrigida na forma e no prazo estabelecido no Regimento Interno do Programa (30 dias) juntamente com o Termo de Aprovação do Orientador. Cumpridas as formalidades, às 13:40 horas, a presidente da mesa encerrou a sessão de defesa, e para constar eu, Daniele Cristina Secretária do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos integrantes da banca examinadora em 3 vias de igual teor.

Composição da Banca Examinadora:

1.  Maria Zélia Aguiar de Sousa (Presidente Banca / Orientadora)
2.  Doutor Jayme Alfredo Dexheimer Leite (Examinador Interno)
3.  Doutor Jean-Michel Lafon (Examinador Externo)

Recomendações da Banca :

Ciência do Discente :



CUIABÁ, 14/12/2015.

\* Este documento tem validade de 24 meses contados a partir da data de sua emissão.

**Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas  
associadas da porção centro oeste do batólito Serra da  
Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil**

---

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Zélia Aguiar de Sousa

*Orientadora (UFMT)*

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Jayme Dexheimer Leite

*Examinador Interno (UFMT)*

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Jean-Michel Lafon

*Examinador Externo*

*“Segue o teu destino,  
Rega as tuas plantas,  
Ama as tuas rosas.  
O resto é a sombra  
De árvores alheias”*

*Fernando Pessoa*

***Dedicatória***

*A minha mãe, Raquel Neix, ao meu pai, Manoel Corrêa da Costa Neto, a minha irmã, Carolina Corrêa da Costa, mas, sobretudo, ao meu grande irmão, Alexandre Corrêa da Costa (In memoriam).*



## Agradecimentos

---

Agradeço a minha esposa Marcela Maracaípe Braga, pelo companheirismo e luta nas horas difíceis, e pelas muitas horas boas, sempre ao meu lado.

Aos meus amigos de Porto Velho-RO (CPRM), Anderson Souza, Marcos Quadros, Luis Palmeira, Daiane Hammes, Francisco Reis, Pâmela Silva, Ardiles Gimax, Carlos Eduardo, Alex Silva, Terezinha Foro, por não me deixarem desistir de minhas aspirações em momentos extremamente difíceis, pela ótima amizade, encorajamento e pela mão amiga.

Agradeço o meu grande tutor no conhecimento da Geologia do SW do Cráton Amazônico, Jaime Estevão Scandolaro (co-orientador deste trabalho), pela sinceridade nas palavras, pela imensa transferência de conhecimento e, sobretudo, pela nossa amizade.

Muito obrigado ao meu eterno orientador Roberto Dall’Agnol, pela paciência infinita, pela sabedoria extremamente rara, por sempre me ajudar sem se importar, pelo esforço imensurável e, sobretudo, pela humildade e honestidade.

Agradeço com sorriso fácil aos meus grandes amigos e professores da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Maria Zélia Aguiar de Sousa (orientadora deste trabalho), Amarildo Salina Ruiz, Jayme Dexheimer Leite e Paulo César Corrêa da Costa, pelo acolhimento, pelas aulas enriquecedoras, pela oportunidade e pelo companheirismo.

Agradeço ao Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), pela oportunidade de poder desenvolver este trabalho. À geóloga Mônica Mazzini Perrotta, pelo apoio e suporte, pelo acolhimento.

Muito obrigado a minha família, minha base, minha mãe Raquel, meu pai Manoel, minha irmã Carolina, minha esposa Marcela.

E como disse certa vez, agradeço a: “...Meu irmão, que sempre estilhaçou no peito o perigo / Para nós caçulas passarmos”. Alexandre Corrêa da Costa, a minha vitória será sempre a sua.

# Sumário

---

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	viii
<i>Abstract</i> .....	ix
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>I.1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
I.1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	1
I.1.2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	1
I.1.3. OBJETIVOS.....	2
I.1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
I.1.5. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA.....	3
I.1.5.1 Etapa Preparatória/Preliminar.....	3
I.1.5.1.1 Base Cartográfica.....	3
I.1.5.1.2 Levantamento Bibliográfico e Aquisição de Dados.....	4
I.1.5.1.3 Dados Aerogeofísicos.....	6
I.1.5.2 Etapa de Aquisição de Dados.....	8
I.1.5.2.1 Mapeamento geológico.....	8
I.1.5.2.2 Análises Laboratoriais.....	9
<i>Análises petrográficas</i> .....	9
<i>Análises litogeoquímicas (rocha total)</i> .....	9
<i>Análises Geocronológicas</i> .....	9
I.1.5.3 Etapa de Tratamento e Sistematização de Dados.....	11
I.1.5.4 Etapa de Conclusão e Divulgação dos Resultados.....	12
<b>I.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	12
I.2.1 CRÁTON AMAZÔNICO.....	12
I.2.2 DOMÍNIO JAMARI.....	15

<b>CAPÍTULO II – GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA</b> .....	19
<b>II.1 ASPECTOS GERAIS</b> .....	19
<b>II.2 COMPLEXO JAMARI</b> .....	21
<b>II.3 SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA</b> .....	22
II.3.1 Batólito Serra da Providência .....	23
II.3.1.1 Fácies Viborgito / Piterlito .....	23
II.3.1.2 Fácies Sienogranito granofírico .....	25
II.3.1.3 Fácies Leucossienogranito .....	26
II.3.1.4 Fácies Riolito porfirítico .....	28
II.3.1.5 Fácies Charnockito .....	30
II.3.1.6 Fácies Gabronorito equigranular .....	31
II.3.1.7 Fácies Gabronorito porfirítico .....	31
II.4 FORMAÇÃO IGARAPÉ LOURDES .....	33
II.5 FORMAÇÃO IGARAPÉ QUINZE .....	34
II.6 FORMAÇÃO PEDRA REDONDA .....	35
<b>CAPÍTULO III – ARTIGO SUBMETIDO À JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES</b> .....	37
III.1. Introduction .....	38
III.2. Geologic background .....	39
III.3. Analytical procedures .....	42
<i>III.3.1. Whole-rock geochemistry</i> .....	42
<i>III.3.2. U – Pb isotopic analyses</i> .....	42
III.4. Geology and petrography .....	42
<i>III.4.1. Pyterlites and wiborgites</i> .....	43
<i>III.4.2. Granophyric syenogranites</i> .....	43
<i>III.4.3. Leucosyenogranites</i> .....	43
<i>III.4.4. Porphyritic rhyolites</i> .....	44

III.4.5. <i>Associated mafic rocks</i> .....	44
III.5. U–Pb zircon geochronology .....	49
III.5.1. <i>Available geochronological data</i> .....	49
III.5.2. <i>New geochronological data for the Serra da Providência batholith</i> .....	49
III.6. Geochemistry .....	51
III.6.1. <i>Felsic rocks</i> .....	51
III.6.2. <i>Mafic rocks</i> .....	57
III.7. Discussion .....	61
III.7.1. <i>Age, tectonic setting and sources</i> .....	61
III.7.2. <i>Geochemical comparison with other plutons of the SPS</i> .....	62
III.7.3. <i>Deformation and recrystallization</i> .....	62
III.7.4. <i>Crustal depth and metallogenic implications</i> .....	63
III.8. Conclusions .....	63
Acknowledgements .....	64
References .....	64
<b>CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES</b> .....	69
Referências Bibliográficas .....	72

## Lista de Figuras

---

### CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Figura I.1. Mapa de localização e vias de acesso da área de estudo.....	2
Figura I.2. Principais trabalhos consultados e que abrangem a área da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).....	6
Figura I.3. Mapa do ternário da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).....	7
Figura I.4. Mapa da primeira derivada vertical da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).....	8
Figura I.5. Mapa de localização dos afloramentos da área estudada.....	11
Figura I.6. Compartimentação geocronológica e tectônica do Cráton Amazônico, segundo Santos <i>et al.</i> (2008).....	14
Figura I.7. Mapa geológico regional (escala 1:650.000), onde está inserida a área de estudo (batólito Serra da Providência). Modificado de Quadros & Rizzotto (2007); Lacerda Filho <i>et al.</i> (2004).....	18

### CAPÍTULO II – GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA

Figura II.1. Mapa geológico (escala 1:100.000) da folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI). Modificado de Figueiredo <i>et al.</i> (2014).....	20
Figura II.2. Aspectos de campo das rochas do Complexo Jamari.....	22
Figura II.3. Aspectos de campo da fácies viborgito/piterlito.....	24
Figura II.4. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies viborgito/piterlito.....	25
Figura II.5. Aspectos de campo da fácies sienogranito granofírico.....	26
Figura II.6. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies sienogranito granofírico.....	26
Figura II.7. Aspectos de campo da fácies leucossienogranito.....	27
Figura II.8. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies leucossienogranito.....	28
Figura II.9. Aspectos de campo da fácies riolito porfírico.....	29
Figura II.10. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies Riolito porfírico.....	30
Figura II.11. Aspectos de campo da fácies charnockito.....	30
Figura II.12. Aspectos de campo da fácies gabronorito equigranular.....	31
Figura II.13. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies gabronorito equigranular.....	31
Figura II.14. Aspectos de campo da fácies gabronorito porfírico.....	32

Figura II.15. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies gabronorito porfirítico.....	33
Figura II.16. Aspectos de campo das rochas metassedimentares da Formação Igarapé Lourdes.....	34
Figura II.17. Amostras de rochas metassedimentares da Formação Igarapé Quinze.....	35
Figura II.18. Aspectos de campo de rochas da Formação Pedra Redonda.....	36

### **CAPÍTULO III – ARTIGO SUBMETIDO À *JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES***

Fig. III.1 – Geochronological provinces of the Amazonian Craton.....	40
Fig. III.2 – Regional geologic map of the study area.....	41
Fig. III.3 – Geologic map of the study area.....	45
Fig. III.4 – Aspects of the main rock varieties exposed in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	46
Fig. III.5 – Field aspects of specific facies in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith.....	47
Fig. III.6 - Photomicrographs illustrating the main facies in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith.....	47
Fig. III.7 – Field aspects and photomicrographs of the mafic rocks in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith.....	48
Fig. III.8 – Diagrams for the samples dated from the Serra da Providência batholith.....	51
Fig. III.9 - Chemical variation diagrams for major elements using silica as a differentiation index for the felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	55
Fig. III.10 – Geochemical classification of the felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	56
Fig. III.11 – Geochemical plot for the felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	57
Fig. III.12 – Classification diagrams of mafic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	60

## Lista de Tabelas

---

### **CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO**

Tabela I.1. Principais parâmetros dos projetos aerogeofísicos utilizados.....	7
---	---

### **CAPÍTULO III – ARTIGO SUBMETIDO À *JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES***

Table III.1. Summary of LA-ICP-MS U-Th-Pb results for zircons of the samples CC-23 and MC-462.....	50
--	----

Table III.2. Representative chemical compositions of the wiborgites / pyterlites and granophyric syenogranites in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	53
--	----

Table III.3. Representative chemical compositions of the leucosyenogranites and subvolcanic felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	54
--	----

Table III.4. Representative chemical compositions of the mafic rocks associated with the midwest portion of the Serra da Providência batholith.....	59
---	----

Table III.5 Comparison between main chemical features of the tin-specialized granites of the eastern Amazonian region and leucosyenogranite facies.....	63
---	----

## Resumo

---

O batólito Serra da Providência inclui a área tipo da suíte homônima, a mais antiga associação magmática rapakivi no sudoeste do Cráton Amazônico (1,60–1,53 Ga). Na porção centro oeste deste batólito, foram descritos viborgitos/piterlitos, sienogranitos granofíricos, charnockitos, gabronoritos, leucossienogranitos e riolitos porfíricos (subvulcânicas), sendo que estas duas últimas fácies correspondem a novas ocorrências agora identificadas. Foram geradas as idades U–Pb em zircão (LA-MC-ICP-MS) de 1574±9 Ma e 1604±3 Ma, respectivamente, para estas rochas, que confirmam a sua relação com o magmatismo Serra da Providência, sendo que os riolitos porfíricos são mais antigos e foram formados em um evento precursor. As fácies graníticas são metaluminosas a peraluminosas, álcali-cálcicas, ferrosas, do tipo A2. Possuem razões FeOt/(FeOt+MgO) entre 0,83 e 0,98, o que sugere que estas rochas foram formadas a partir de magmas do tipo A oxidados a reduzidos, sendo que os leucossienogranitos e sienogranitos granofíricos possuem um caráter mais reduzido. Apresentam padrões de ETR fracionados e com anomalias negativas de Eu pronunciadas a pouco expressivas. A presença dominante de texturas granofíricas, bem como, de cavidades miarolíticas nas fácies sienograníticas sugere sua colocação em níveis crustais rasos (<3 km). Três amostras de leucossienogranitos se assemelham aos granitos mineralizados em Sn, descritos no Cráton Amazônico, com elevados teores de SiO<sub>2</sub> (>75%) e razão FeOt/(FeOt+MgO) (>0,88), além de valores da razão K/Rb menores que 150. Dois grupos distintos de rochas máficas, classificados como basaltos toleíticos, foram descritos na área de estudo: gabronoritos porfíricos com #Mg de 37 a 41, e gabronoritos equigranulares com #Mg de 51 a 65. Os valores baixos a moderados de #Mg sugerem que estas rochas foram formadas a partir de magmas basálticos mais evoluídos. Os gabronoritos porfíricos são enriquecidos em TiO<sub>2</sub>, FeOt, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e ETR, com anomalias negativas de Eu significativas em relação aos gabronoritos equigranulares, que por sua vez apresentam maiores teores de MgO e CaO. As características geoquímicas dos gabronoritos porfíricos são similares a basaltos cálcio-alcalinos, enquanto que os gabronoritos equigranulares assemelham-se a basaltos continentais. Os dados petrográficos e geoquímicos das fácies félsicas e máficas confirmam o caráter bimodal, pós colisional do magmatismo Serra da Providência. A presença de riolitos porfíricos, associados a granitos de colocação rasa, reforça a similariedade entre os granitos descritos no Estado de Rondônia com os clássicos granitos rapakivi da Finlândia.

**Palavras-Chave:** batólito Serra da Providência, Geoquímica, Geocronologia U-Pb, Granitos rapakivi, Riolitos.



## **Abstract**

---

*The Serra da Providência batholith includes the type area of the homonymous suite, the oldest rapakivi magmatic assemblage in the SW of the Amazonian craton (1.60–1.53 Ga). In the midwest portion of this massif, besides wiborgites/pyterlites and granophyric syenogranites, a leucosyenogranite facies and porphyritic rhyolites constitute new rock varieties recently described in that area. U–Pb LA-MC-ICP-MS zircon ages of 1574±9 Ma and 1604±3 Ma, respectively, were obtained for these new varieties and confirm their link with the Serra da Providência magmatism, whereas the subvolcanic rocks are older than the main rock varieties and were formed in a precursor event. These granitic facies are metaluminous to peraluminous, alkali-calcic, A2-type, ferroan granites. Their FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) ratios vary from 0.83 to 0.98 and suggest that these rocks were crystallized from oxidized- to reduced-A-type magmas, where the leucosyenogranites and granophyric syenogranites tend to be formed under more reduced conditions. They show fractionated REE patterns with very pronounced to weak negative Eu anomalies. The presence of granophyric textures and miarolitic cavities in equigranular syenogranitic facies suggests that these rocks were formed at shallow crustal depths, lower than 3 km. Three samples of leucosyenogranite have silica contents higher than 75% and low K/Rb ratios (<150), similarly to the tin specialized granites described in the Amazonian craton. Two distinctive groups of mafic rocks were recognized in the study area: porphyritic and equigranular gabbronorites. They correspond to tholeiitic basalts, with #Mg varying from 37 to 41 in porphyritic gabbronorites and 51 to 65 in equigranular gabbronorites. The low to moderate #Mg suggests that these rocks were crystallized from more evolved basaltic magmas. The porphyritic gabbronorites are enriched in TiO<sub>2</sub>, FeO<sub>t</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and REE compared to the equigranular gabbronorites that are enriched in MgO and CaO. The porphyritic gabbronorites have significant negative Eu anomalies a feature not observed in the equigranular gabbronorites. Porphyritic gabbronorites geochemical characteristics are similar to calc-alkaline basalts, whereas equigranular gabbronorites are similar to continental basalts. Petrographic, geochemical, and geological data of the felsic facies and the presence of associated mafic rocks corroborate the bimodal and post-collisional character of this magmatism. The occurrence of porphyritic rhyolites associated with shallow level plutonic granites in the Serra da Providência batholith reinforces the similarities between the Rondonian granites and the classical Fennoscandian rapakivi granites.*

**Keywords:** *Serra da Providência batholith, Geochemistry, U-Pb Geochronology, Rapakivi granites, Rhyolites.*

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

---

### I.1. INTRODUÇÃO

#### I.1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

A Suíte Intrusiva Serra da Providência (Leal *et al.*, 1976; Tassinari, 1984) corresponde a um extenso magmatismo rapakivi do tipo A, mesoproterozoico (1,60 – 1,53 Ga), no sudoeste do Cráton Amazônico (Scandolaro, 2006). Seus registros ocorrem desde a porção oeste do Estado do Mato Grosso, como também na região centro-norte de Rondônia, além de exposições isoladas no sul do Amazonas. O batólito Serra da Providência (BSP), principal maciço desta suíte, está situado no limite entre os estados de Rondônia e Mato Grosso. Esta suíte está inserida no contexto geotectônico da Província Geocronológica Rondônia – Juruena (Santos *et al.*, 2008). No âmbito desta província, o batólito Serra da Providência é intrusivo na região limite entre os domínios Jamari e Roosevelt-Juruena.

A área de estudo compreende a porção sul da Serra da Providência, ou centro oeste do batólito homônimo, que corresponde à área-tipo da referida suíte.

#### I.1.2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo está localizada na porção centro-leste do Estado de Rondônia, na divisa com o Estado do Mato Grosso (Figura I.1), e compreende a folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI). Esta folha está situada entre os paralelos 10°30'S - 11°00'S e meridianos 61°30'W - 62°00'W (Greenwich). Compõe uma área de 3.000 km<sup>2</sup> que abrange os municípios de Ji-Paraná, Ouro Preto do Oeste, Ministro Andreazza, Presidente Médici em Rondônia e uma pequena porção de Rondolândia, no Estado do Mato Grosso.

A área de estudo pode ser acessada por vias rodoviárias ou aéreas. Partindo-se de Cuiabá, o acesso terrestre é feito através da rodovia pavimentada BR-364, sentido Porto Velho - RO. A sede do município de Ji-Paraná também conta com o Aeroporto José Coletto, que possui vôos diários que partem da capital do Estado de Mato Grosso.

A Folha Ji-Paraná é cortada pela BR-364 em sua porção sudoeste, em direção NW/SE, e apresenta uma razoável quantidade de estradas vicinais não pavimentadas, denominadas de “Linhas”, que em grande parte encontram-se bem preservadas sendo muito utilizadas pelos moradores da região. Estas linhas, em geral, acessam áreas rurais como também servem de rota para pequenos municípios adjacentes e ainda para o Estado de Mato Grosso.

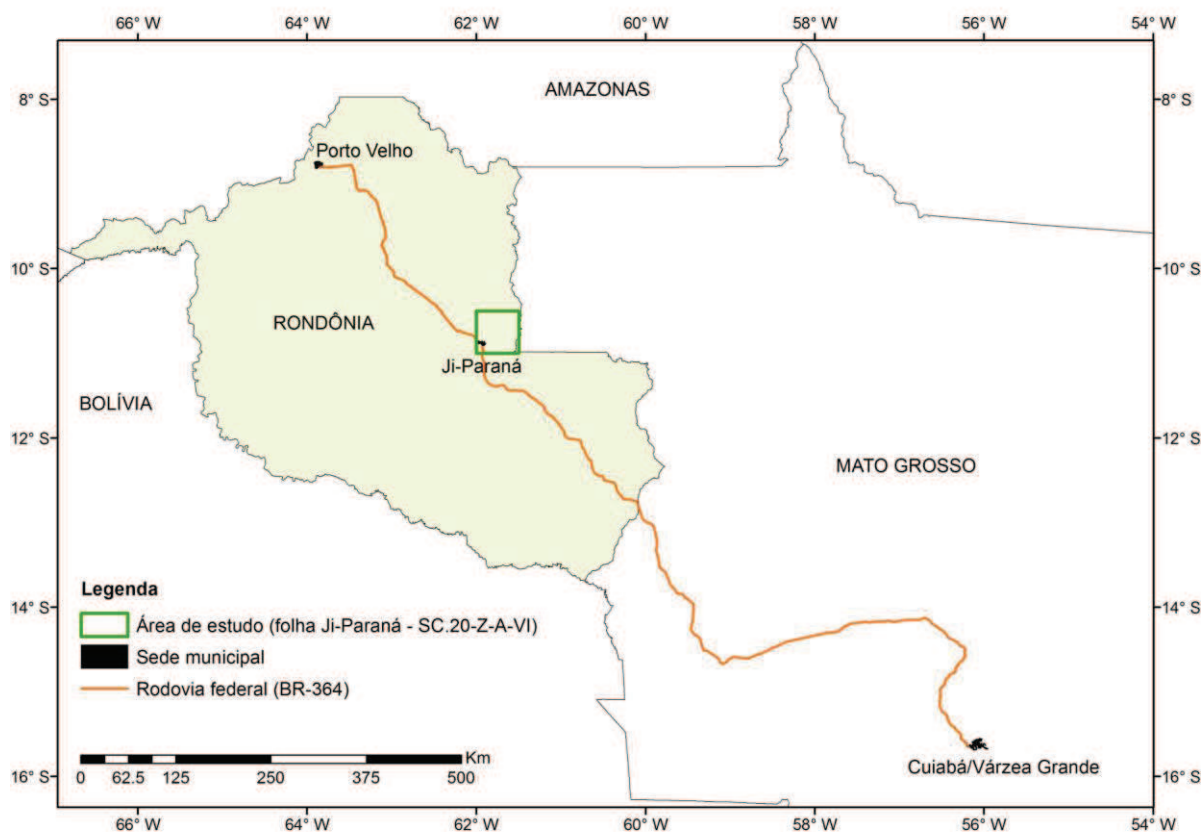


Figura I.1. Mapa de localização e vias de acesso da área de estudo.

### I.1.3. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é contribuir com novos dados geoquímicos e geocronológicos a respeito de novas ocorrências faciológicas descritas na região da área-tipo da Suíte Intrusiva Serra da Providência, no intuito de caracterizar, com maior detalhe, seu amplo espectro composicional. Adicionalmente, pretende-se avaliar o potencial metalogenético das rochas descritas na área de estudo.

Nesse sentido, têm-se como objetivos específicos:

- Cartografia geológica da região da folha Ji-Paraná;
- Caracterização petrográfica das rochas graníticas/subvulcânicas félsicas e rochas máficas associadas da porção centro oeste do BSP;
- Investigação litogeoquímica das rochas graníticas/subvulcânicas félsicas e rochas máficas associadas da porção centro oeste do BSP;
- Definição da idade de cristalização de novas fácies descritas na porção centro oeste do BSP.

#### **I.1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação é composta por quatro capítulos. O primeiro procura situar o tema de estudo, descrevendo sua localização, contexto geotectônico, bem como, compreende os objetivos e métodos utilizados para a realização do presente trabalho. Em seguida, há uma descrição sucinta do contexto geológico regional da área de estudo e de sua evolução crustal, no âmbito do Cráton Amazônico.

O segundo capítulo inclui a descrição dos aspectos de campo e petrográficos das principais fácies mapeadas na porção centro oeste do BSP, bem como das características gerais das demais unidades litoestratigráficas presentes na folha Ji-Paraná.

O terceiro capítulo corresponde ao artigo “Geochemistry and geochronology of the rapakivi granites and associated rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith, SW of Amazonian craton, Rondônia, Brazil”, submetido ao periódico *Journal of South American Earth Sciences* (SAMES).

O quarto capítulo discorre sobre as principais conclusões obtidas neste trabalho, sob a forma de um breve resumo que inclui: caracterização petrográfica e geoquímica das rochas estudadas; comparação com estudos anteriores realizados na Suíte Intrusiva Serra da Providência; resultados geocronológicos e correlações com dados da literatura; potencial metalogenético das rochas estudadas.

#### **I.1.5. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA**

Os métodos empregados no mapeamento da área de estudo seguem os padrões rotineiros previstos em atividade de mapeamento geológico, através de um cronograma dividido em quatro principais etapas: etapa preliminar, de aquisição de dados (em campo e em laboratório), de tratamento e sistematização de dados e de conclusão e divulgação dos resultados.

##### **I.1.5.1 Etapa Preparatória/Preliminar**

Esta etapa compreende a pesquisa bibliográfica e a reunião de todo o acervo disponível da área de estudo, incluindo projetos executados anteriormente, dissertações e teses acadêmicas, artigos publicados, com seus respectivos mapas geológicos e dados obtidos. Também inclui a aquisição da base cartográfica da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).

##### **I.1.5.1.1 Base Cartográfica**

A base cartográfica foi gerada pela Divisão de Cartografia do Departamento de Apoio Técnico do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. Foi produzido, em meio digital, um “kit” contendo imagens de satélite e de radar, limite estadual, curvas de nível, rede de drenagens, vias de acesso, limites municipais e localidades contidas na área de estudo. Entre os sensores remotos, foi

processada uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para obtenção de mapa do relevo sombreado da área. Estas bases cartográficas foram utilizadas principalmente na fotointerpretação de lineamentos e contorno das zonas homólogas, bem como na programação da etapa de mapeamento geológico.

#### **I.1.5.1.2 Levantamento Bibliográfico e Aquisição de Dados**

Em termos de projetos mais abrangentes, que incluem a área de estudo, encontra-se o Projeto RadamBrasil (1978), que em seu volume 16 destaca, numa escala 1:1.000.000, a Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra da Folha Porto Velho (SC.20; Leal *et al.* 1978).

A partir de estudos mais detalhados na região centro-leste de Rondônia, Leal *et al.* (1976) denominaram Granito Serra da Providência uma série de intrusões de granitos rapakivi, sob as formas de batólitos e *stocks*, aflorantes nos arredores da serra homônima, região de Ji-Paraná. Neste trabalho (em escala 1:250.000), foram descritas as características petrográficas e geoquímicas de 8 amostras destas rochas divididas em diferentes fácies não cartografadas, bem como sua comparação com outras associações rapakivi do mundo. Adicionalmente, foi gerada uma idade convencional pelo método Rb-Sr de ~1,5 Ga para esse magmatismo.

O Projeto Manganês na Serra da Providência (Soeiro *et al.* 1977) consistiu basicamente de mapeamento geológico (1:100.000), reconhecimento e descrição das principais unidades estratigráficas da região, além da análise química de concentrados de bateia, objetivando avaliar o potencial prospectivo da região. Com esse mesmo intuito, foi também executado um reconhecimento cintilométrico para se detectar possíveis anomalias nestes granitos.

Na década de 80, o Projeto Centro-Leste de Rondônia desenvolveu trabalhos de mapeamento geológico em duas folhas, na escala 1:250.000: Folha Rondônia - SC.20-Z-A (Kato *et al.* 1983) e Folha Rio Branco – SC.20-Z-B (Adamy *et al.* 1984), das quais, somente a primeira abrange a área de estudo. Esses trabalhos geraram mapas de caminamento e geológicos, respectivamente, nas escalas 1:100.000 e 1:250.000. Em 1985, a Folha Rondônia foi alvo de pesquisas vinculadas ao Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais (Batista *et al.* 1985), onde foram elaboradas as cartas metalogenética, de previsão de recursos minerais e a de previsão para planejamento de ações governamentais. Para a confecção dos referidos mapas foram compilados dados de mapeamento, estruturais, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos de trabalhos anteriores executados pela CPRM. Neste projeto foram catalogadas as ocorrências de estanho, ouro e manganês, os principais bens minerais da região, além da atualização do mapa geológico, descrevendo as principais unidades cartografadas na área.

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Rizzotto *et al.* (1995) realizaram estudos específicos no batólito Serra da Providência (região da área de estudo), onde descrevem quatro fácies distintas, representadas por monzogranito porfirítico (piterlitos) com viborgito subordinado, e sienogranito granofírico.

Farina *et al.* (1997) avaliaram a potencialidade para ouro da Folha Rondônia através do Programa Nacional de Prospecção de Ouro, Série Mapas Temáticos do Ouro.

Em 1999, foi lançado pela CPRM o Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia (Scandolara *et al.*, 1999; Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil), que sintetizava todo o conhecimento geológico (escala 1:1.000.000) alcançado nas pesquisas realizadas pela CPRM no Estado de Rondônia, através de projetos específicos e parcerias em teses acadêmicas. Anos depois, este projeto foi revisado através do Programa Geologia do Brasil (Quadros e Rizzotto, 2007).

Outra importante contribuição para o conhecimento geológico da área de estudo foi dada por Jaime Estevão Scandolara, em sua tese de doutorado, realizada na Universidade de Brasília. Este trabalho (Scandolara, 2006) forneceu uma visão completa a respeito da geologia da região centro leste de Rondônia (escala 1: 250.000), que abrange grande parte do Domínio Jamari. Seu trabalho inclui estudos petrográficos, estruturais, geoquímicos, geocronológicos e petrogenéticos das diferentes litologias presentes na região, gerando uma extensa base de dados que foi de extrema importância para o direcionamento dos trabalhos desta pesquisa. A caracterização do magmatismo Serra da Providência foi publicada, posteriormente, por Scandolara *et al.* (2013).

Os principais trabalhos consultados estão sintetizados na figura I.2.

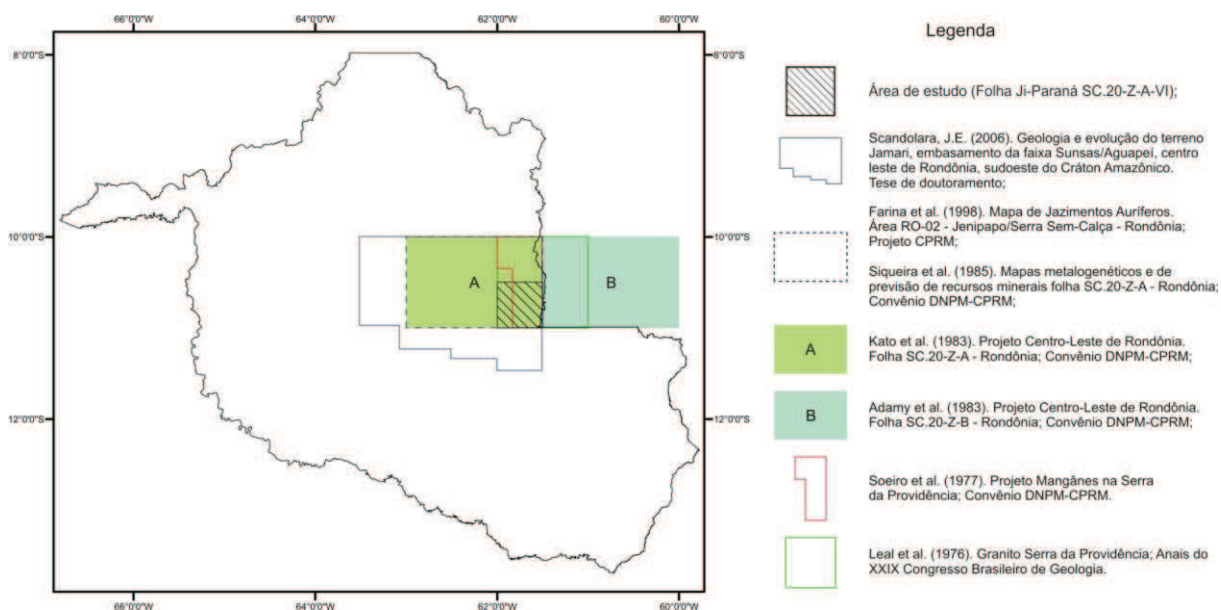


Figura I.2. Principais trabalhos consultados e que abrangem a área da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).

### I.1.5.1.3 Dados Aerogeofísicos

O recobrimento aerogeofísico da folha mapeada foi possível através da realização do projeto Rio Machado. Este projeto foi concluído em 2009 e sua área inclui essencialmente a porção leste do Estado de Rondônia. Foram gerados dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos, e os principais parâmetros deste projeto estão relacionados na tabela I.1.

O processamento dos dados obtidos foi feito através do *software* OASIS MONTAJ (versões 6.4 e 7.2) do sistema *GEOSOFT*, além das rotinas de pré-processamento proprietárias, que permitem a exportação do dado binário coletado em voo para formato ASC II XYZ *GEOSOFT*.

O mapa aerogamaespectrométrico (Figura I.3) foi utilizado para identificar assinaturas típicas de algumas litologias anteriormente descritas na área de estudo, possibilitando uma correlação direta com diferentes domínios ainda não mapeados. Já o mapa aeromagnetométrico (Figura I.4) foi utilizado principalmente para a distinção de lineamentos magnéticos e delimitação de domínios estruturais da região.

Tabela I.1. Principais parâmetros dos projetos aerogeofísicos utilizados.

PARÂMETROS	PROJETO RIO MACHADO
Período de aquisição dos dados	27/07/2008 a 05/02/2009
Total de perfis	84.000 km
Altura média de voo	100 m
Direção das linhas de voo	N-S
Espaçamento das linhas de voo	500 m
Direção das linhas de controle	E-W

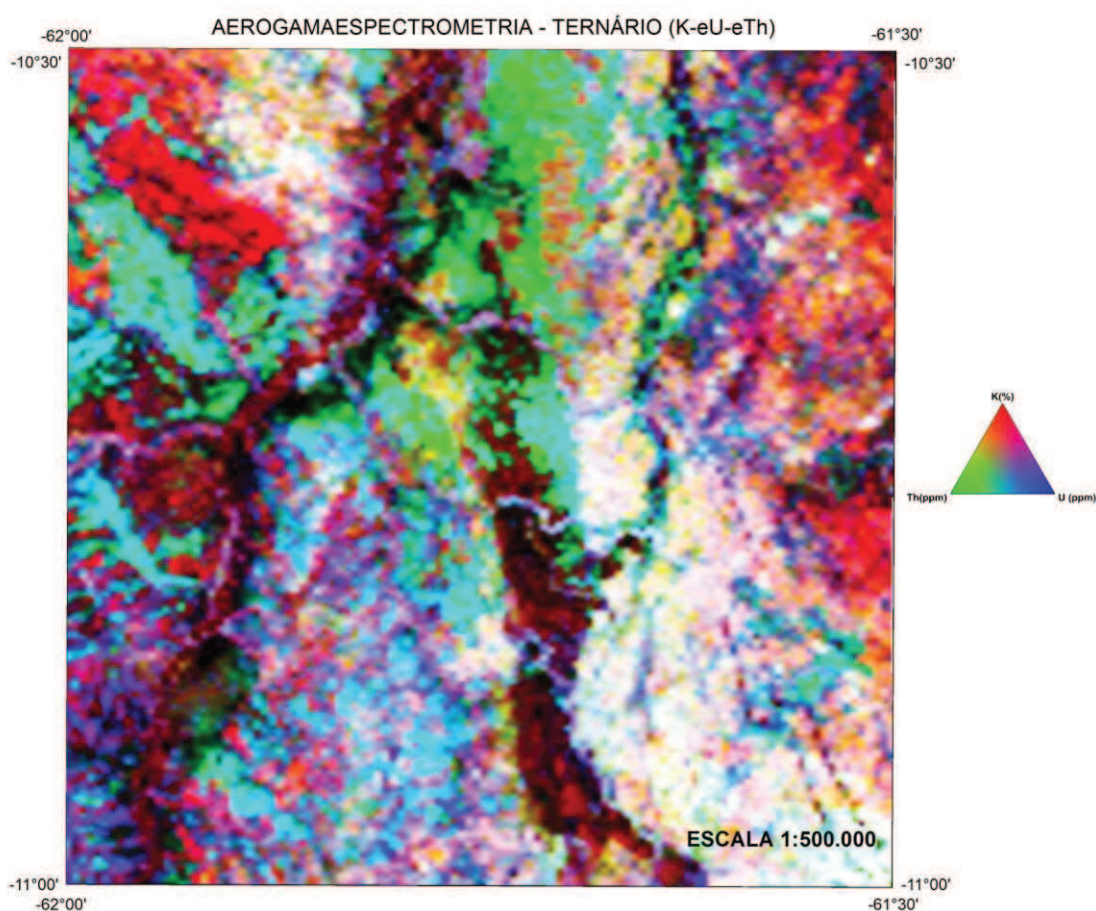


Figura I.3. Mapa do ternário da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).



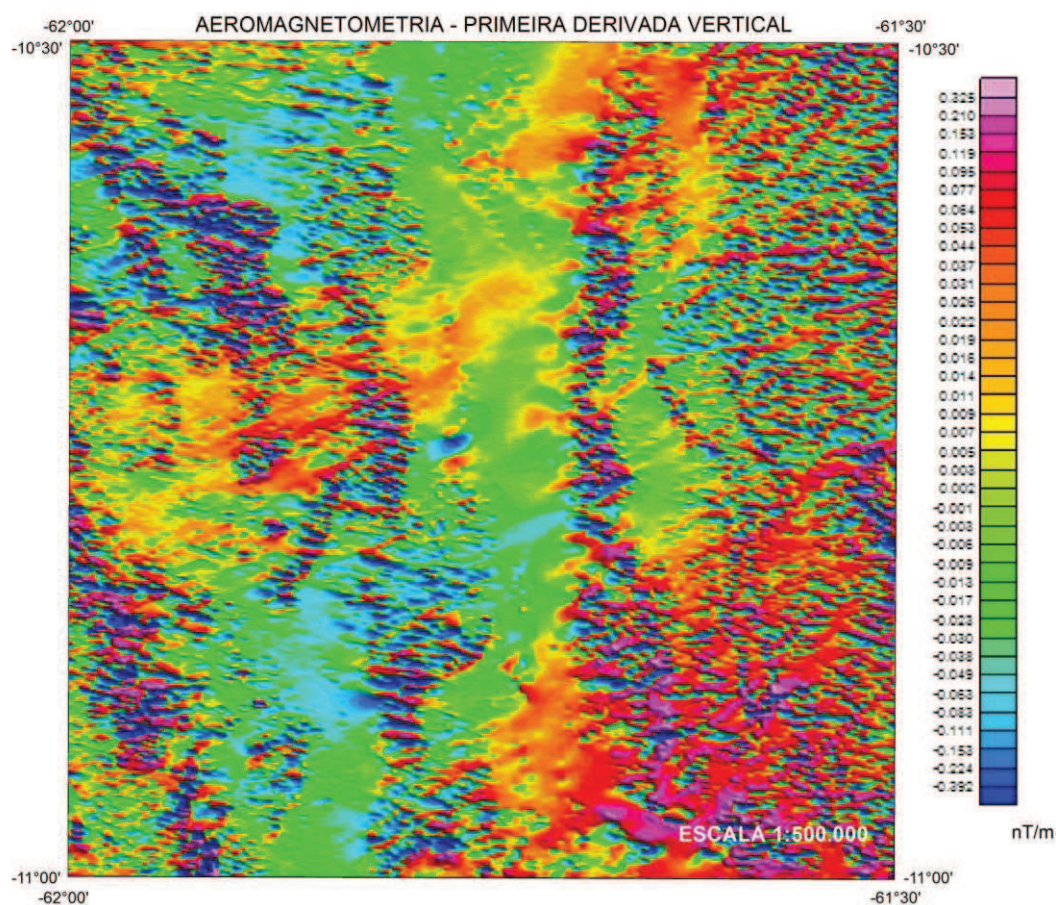


Figura I.4. Mapa da primeira derivada vertical da Folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI).

### I.1.5.2 Etapa de Aquisição de Dados

Esta etapa inclui a obtenção de dados em campo através do mapeamento geológico, bem como de laboratório por meio de análises petrográficas, litogeoquímicas e geocronológicas.

#### I.1.5.2.1 Mapeamento geológico

Esta etapa consistiu basicamente na aquisição de novos dados de campo no que diz respeito à cartografia geológica, incluindo a descrição de afloramentos, medidas estruturais, coleta de amostras para análises petrográficas, geoquímicas e geocronológicas. Esta etapa baseou-se no mapa geológico, em escala 1:100.000, confeccionado pelo Serviço Geológico do Brasil para a Folha Ji-Paraná – SC.20-Z-A-VI, entre os anos de 2009 e 2013, recentemente publicado *online* em formato *pdf* no site da CPRM ([www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)). Seguindo os objetivos propostos neste trabalho, foi realizada uma etapa de reconhecimento geológico das principais unidades litoestratigráficas e fácies associadas, através de perfis ao longo da malha de estradas presentes na área e checagem de pontos previamente descritos. Foram selecionadas 25 amostras representativas das principais fácies graníticas da porção sul do batólito Serra da Providência, bem como 7 amostras de rochas máficas associadas ao batólito, para posterior análise petrográfica e geoquímica (Figura I.5).

#### **I.1.5.2.2 Análises Laboratoriais**

##### *Análises petrográficas*

A descrição macroscópica de 32 amostras teve como enfoque os seus aspectos texturais, composicionais e estruturais. A confecção das seções delgadas destas amostras foi feita no Laboratório de Preparação de Amostras da CPRM, Residência de Porto Velho (LAMIN Porto Velho-RO). A descrição de lâminas foi feita em microscópio óptico binocular da marca Olympus, modelo BX50, no Laboratório de Microscopia do Departamento de Recursos Minerais (DRM) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). As fotomicrografias das seções delgadas foram obtidas com polarizadores paralelos e cruzados, usando uma câmera modelo *Infinity Capture* acoplada ao microscópio, disponibilizada também pelo DRM da UFMT.

##### *Análises litogeoquímicas (rocha total)*

A preparação e análise litogeoquímica das 32 amostras representativas foi feita pelo SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA, e incluiu a britagem e pulverização das amostras seguindo os padrões de qualidade do referido laboratório. Os elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) foram analisados pelo método *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (ICP-ES). Elementos traços (Rb, Sr, Cr, Ni, Zr, Y, Ce, Ba, Be, Nb, Cu, Lu, Dy, Gd, Er, Yb, Y, La, Eu, Nd, Ce e Sm) foram analisados pelo método *Inductively Coupled Plasma Atomic Mass Spectrometry* (ICP-MS). Metais-base e metais preciosos foram analisados por *ICP Mass Spectrometry*.

##### *Análises Geocronológicas*

Foram selecionadas 2 amostras (MC-462 e CC-23) referentes às fácies recentemente descritas na região e desprovidas de dados geocronológicos (Figura I.5). Foi utilizado o método U-Pb LA-ICP-MS em zircões.

As amostras foram tratadas no Laboratório de Preparação de Amostras da CPRM, Residência de Porto Velho (LAMIN Porto Velho-RO). Inicialmente, a rocha bruta foi triturada em britador de mandíbula, moída em moinho de discos e peneirada nas frações 250, 210, 177, 125, 90, e 63 *mesh*. O concentrado de intervalo 90 *mesh* foi usado para a análise, e os intervalos restantes, reservados. Os minerais magnéticos foram removidos com a passagem de ímã de mão. Posteriormente, ocorreu a etapa de separação por líquido denso bromofórmio ( $d = 2,85 \text{ g/cm}^3$ ), de onde resultou o concentrado com zircões. Em seguida os minerais com diferentes susceptibilidades magnéticas foram concentrados no separador magnético tipo *Frantz*, variando-se a inclinação e a intensidade do campo eletromagnético para eliminar a maioria dos minerais magnéticos. Do material resultante, foi separada manualmente uma quantidade de 100 zircões com o auxílio de lupa binocular *Olympus*, modelo BX50,

no LAMIN Porto Velho-RO. As análises geocronológicas foram realizadas pelo Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (amostra CC-23) e pelo Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (amostra MC-462).

As análises isotópicas foram obtidas no instrumento MC-ICP-MS Neptune (Thermo-Finnigan) com o *Laser Ablation System* (New Wave Research, USA) Nd-YAG ( $\lambda=213$  nm) acoplado (LAM-MC-ICP-MS). As determinações realizadas no LAM-MC-ICP-MS seguiram o procedimento apresentado por Buhn *et al.* (2009). Para a limpeza dos *mounts* foi utilizada acetona e um leve polimento para extração de qualquer resíduo da cobertura de carbono, necessária para o imageamento por microscópio eletrônico de varredura. As imagens de *backscattering* foram obtidas no equipamento de microscopia eletrônica JEOL JSM 5800. A ablação dos grãos foi realizada em *spots* 30  $\mu\text{m}$ , com frequência de 10 Hz e intensidade de 0.19 a 1.02  $\text{J}/\text{cm}^2$ . O material pulverizado foi carregado por um fluxo de He (~0.40 L/min) e Ar (~0.90 L/min). Em todas as análises foi utilizado o padrão internacional GJ-1 para a correção da deriva do equipamento, assim como para o fracionamento entre os isótopos de U e Pb. Para a verificação da acurácia foram realizadas análises nos padrões Temora (para a amostra CC-23) e UQZ (para a amostra MC-462).

Os dados foram adquiridos em 40 ciclos de 1 segundo. O procedimento de coleta de dados seguiu a sequência de leitura: 1 branco, 1 padrão, 4 amostras, 1 branco e 1 padrão. Em cada leitura são determinadas as intensidades das massas  $^{202}\text{Hg}$ ,  $^{204}(\text{Pb}+\text{Hg})$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  e  $^{238}\text{U}$ .

A redução dos dados brutos, que inclui as correções para branco, deriva do equipamento e chumbo comum, foram realizadas em planilha EXCEL (Buhn *et al.*, 2009). As incertezas associadas às razões apresentadas nas tabelas são de  $1\sigma$ , em porcentagem. As idades foram calculadas utilizando o ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003) e os diagramas (95 % de confiança) confeccionados no mesmo programa.

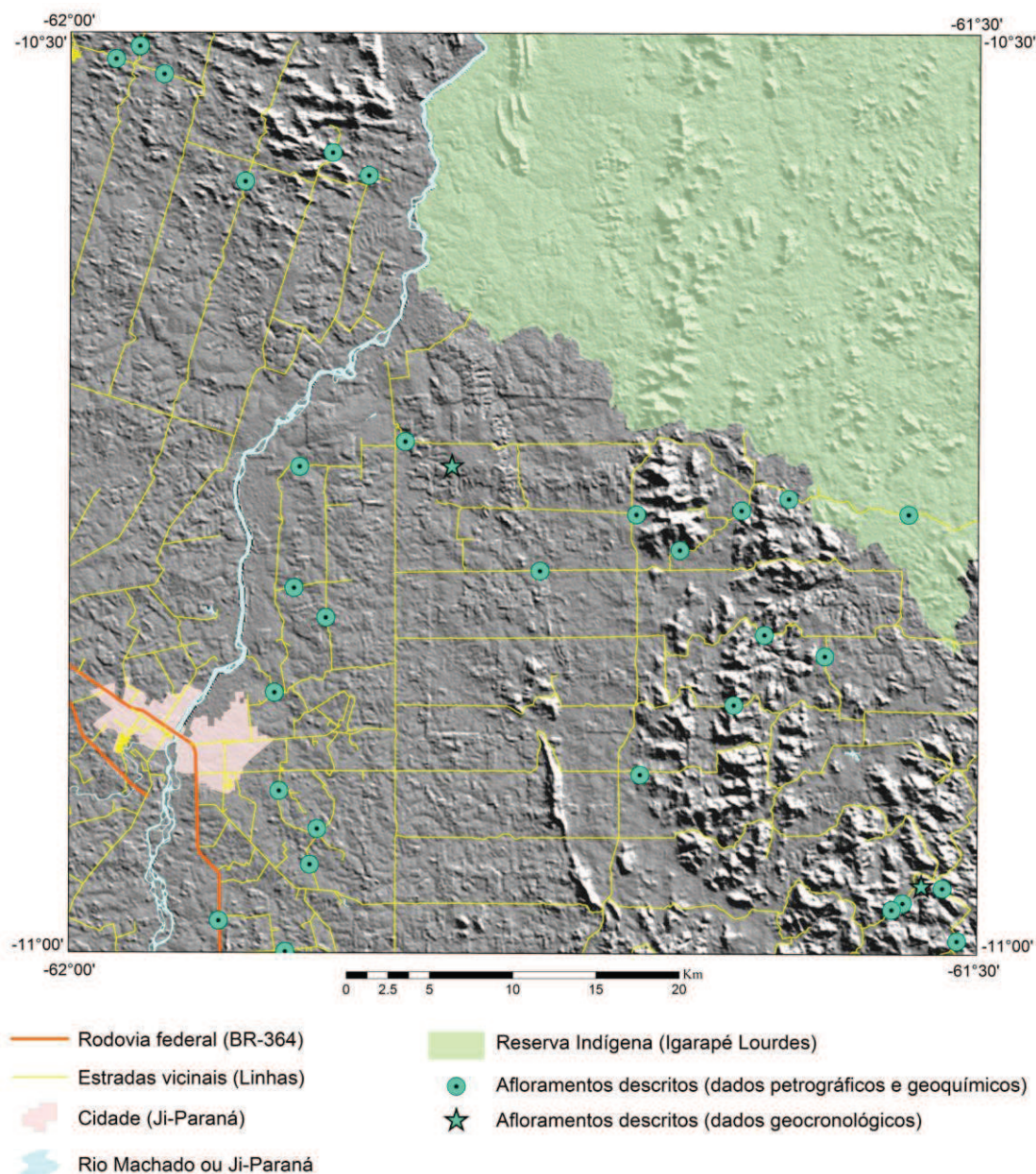


Figura I.5. Mapa de localização dos afloramentos da área estudada.

### I.1.5.3 Etapa de Tratamento e Sistematização de Dados

Esta etapa teve como enfoque o processamento e interpretações de dados coletados em campo e em laboratório, bem como integrá-los e compará-los com dados existentes na literatura temática, para melhor entendimento da área de estudo. Foram utilizados os seguintes *softwares* para o desenvolvimento desta etapa:

- *ESRI Arcmap 10.1-ARCVIEW* – confecção dos mapas de localização e vias de acesso, localização de afloramentos e geológico;

- *GCDkit 3.0* – geração de diagramas litogeoquímicos;

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

- *Corel Draw X6* – compilação e melhoramento de mapas, tratamento de fotografias e fotomicrografias, melhoramento de diagramas litogeoquímicos e geocronológicos;

- *Microsoft Excel 2010* – elaboração de planilhas com dados litogeoquímicos e geocronológicos;

- *Microsoft Word 2010* – confecção da redação e formatação da presente dissertação de mestrado.

- *Microsoft Power Point 2010* – elaboração da apresentação pública.

#### **I.1.5.4 Etapa de Conclusão e Divulgação dos Resultados**

Esta etapa compreende elaboração da dissertação de mestrado acompanhada da apresentação e defesa pública para a banca avaliadora, além da participação em eventos de divulgação científica e publicação em periódicos especializados de circulação nacional.

Os resultados obtidos pelo presente trabalho foram submetidos, sob a forma de artigo acadêmico, ao periódico *Journal of South American Earth Sciences (JSAES)*, com o título: **“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.”**.

## **I.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

### **I.2.1 CRÁTON AMAZÔNICO**

A área de estudo está inserida no contexto geotectônico do Cráton Amazônico, em sua porção sudoeste, correspondente ao Escudo Brasil Central. O Cráton Amazônico possui uma área de aproximadamente 5.600.000 km<sup>2</sup>, sendo que 4.400.000 km<sup>2</sup> pertencem ao território brasileiro. Seu limite ocidental provavelmente se estende sob uma extensa cobertura cenozoica (Llanos colombianos e venezuelanos, Chaco paraguaio-boliviano, etc.) até encontrar a faixa orogênica andina. Seu limite leste está em contato com o Grupo Baixo Araguaia, e a sul e sudeste com os grupos: Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá; além de unidades referentes ao Ciclo Orogrênico Brasileiro (900 – 540 Ma, Pimentel e Fuck, 1992). Este cráton é ainda recoberto pelas bacias fanerozoicas do Parnaíba (a leste), Xingú e Alto Tapajós (a sul), Parecis (a sudoeste), Tacutu (a norte) e Amazonas (porção central).

Inicialmente, a evolução tectônica do Cráton Amazônico convergia para ideias fixistas, onde ele era subdividido em províncias estruturais arqueanas, delimitadas por megaestruturas que foram reativadas no Paleoproterozoico (Hasui *et al.* 1984, entre outros). Porém, posteriormente, este modelo de evolução foi incapaz de explicar inúmeras diferenças de idades entre as rochas existentes no interior do cráton. Deste modo, um novo modelo baseado em províncias geocronológicas foi proposto (Cordani & Brito Neves 1982, Teixeira *et al.* 1989; Tassinari & Macambira, 1999, entre outros), onde

o Cráton Amazônico teria se formado a partir de um núcleo arqueano, ao qual foram acrescentadas diversas faixas móveis ao longo do Proterozoico. Essas faixas móveis teriam sido vinculadas ao núcleo arqueano em sentido sudoeste, gerando províncias geocronológicas cada vez mais jovens na medida em que se avança para este sentido.

Atualmente, o modelo geocronológico tem sido o mais difundido e aprimorado, chegando à proposta de Santos *et al.* (2008). Neste modelo, o Craton Amazônico é dividido em 7 províncias geocronológicas (Figura I.6): Carajás (3,0 – 2,5 Ga); Transamazônica (2,26 – 2,01 Ga); Tapajós – Parima (2,03 – 1,88 Ga); Amazônia Central (Arqueano?); Rio Negro (1,82 – 1,52 Ga); Rondônia – Juruena (1,82 – 1,54 Ga); Sunsás (1,45 – 1,10 Ga).

A área de estudo está situada na porção sudoeste da Província Rondônia – Juruena (ou Rio Negro – Juruena, segundo Tassinari & Macambira, 1999), próximo do limite com a Província Sunsás, a mais jovem província geocronológica do Cráton Amazônico (Figura I.6). A Província Rondônia – Juruena possui registros de faixas móveis acrescionárias e colisionais, geradas a partir do Paleoproterozoico (1,82-1,54 Ga). Estes registros incluem sequências vulcanossedimentares, suítes orogênicas e pós-orogênicas, por vezes polideformadas e metamorfizadas em médio a alto grau.

A Província Rondônia – Juruena foi subdividida em três domínios (Santos *et al.*, 2008): Jamari (porção oeste), Juruena (porção leste; ou Roosevelt/Juruena, segundo Scandolara *et al.*, 1999) e Alto Jauru (extremo sul). A área de estudo está localizada no Domínio Jamari, na região próxima do limite com o Domínio Roosevelt – Juruena (Figura I.6).

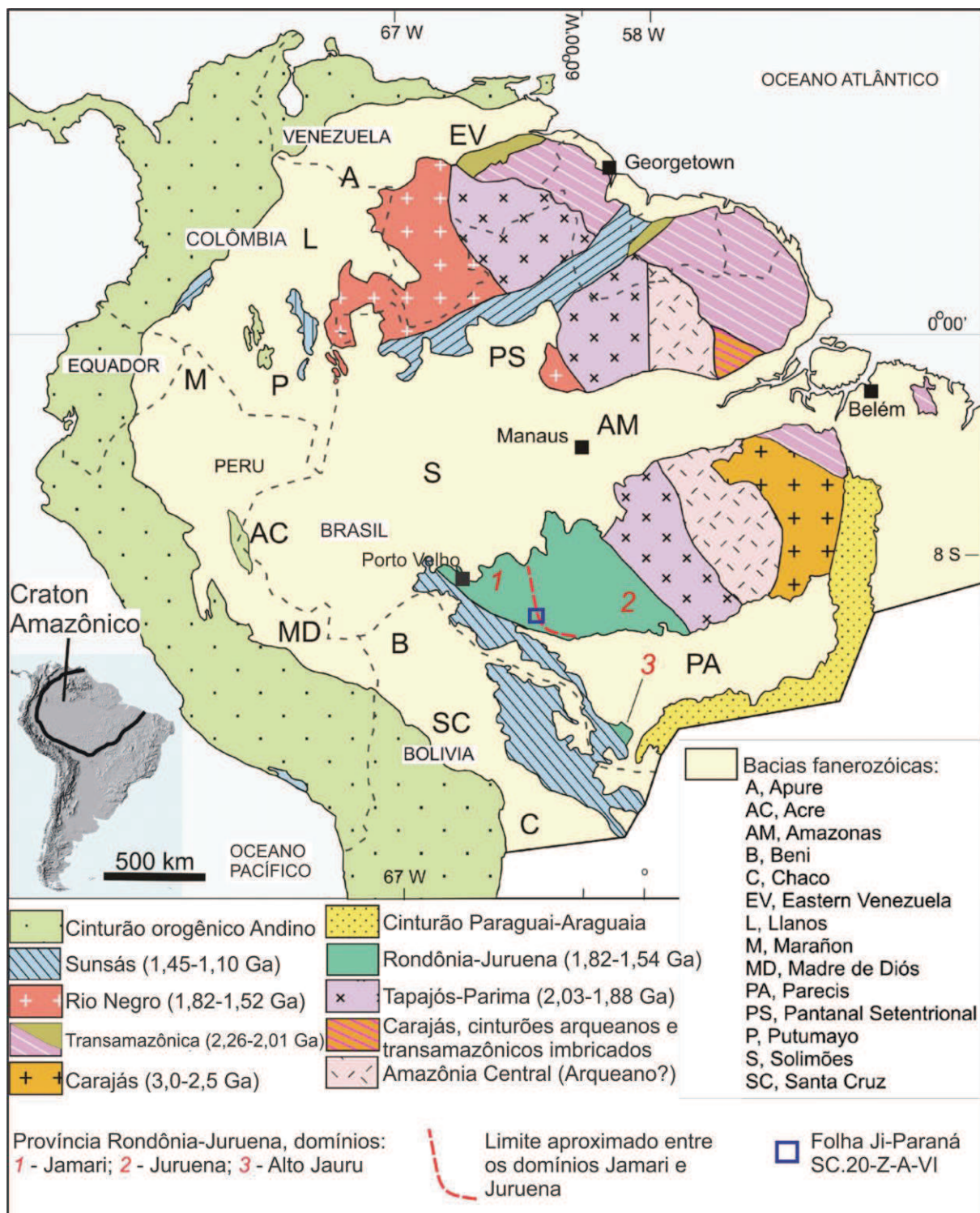


Figura I.6. Compartimentação geocronológica e tectônica do Crátão Amazônico, segundo Santos *et al.* (2008).

## I.2.2 DOMÍNIO JAMARI

O Domínio Jamari (Figura I.7) corresponde ao produto da Orogenia **Juruena ou Jauru**, ocorrida entre 1,78 – 1,74 Ga (Bizzi *et al.* 2004) e relacionada à formação de crosta juvenil em arco de ilhas (Tassinari *et al.* 1996). Os registros deste magmatismo foram agrupados sob a designação de Complexo Jamari (Isotta *et al.* 1978), que inclui unidades ígneas metamorfizadas em médio a alto grau (gnaiesses tonalíticos, granodioríticos a quartzo dioríticos, metabásicas), de afinidade cálcio-alcálica e idade de cristalização entre 1,76 e 1,73 Ga (Payolla *et al.* 2002; Santos, 2002). Corpos lenticulares relacionados a sequências supracrustais paraderivadas ocorrem de maneira subordinada nesta unidade.

Unidades vulcanossedimentares correlatas à formação deste arco também foram registradas no Domínio Jamari, sendo agrupadas nas formações Mutum-Paraná (Lobato *et al.* 1966) e no Grupo Roosevelt (Santos *et al.* 2000). O Grupo Roosevelt é composto por rochas vulcânicas félsicas, metapelitos, metacherts, metatufos, ignimbritos, formações ferríferas e raras intercalações de basaltos. Datações geocronológicas (U-Pb/SHRIMP em zircão) em metadacitos deste grupo revelaram idades entre 1,76 e 1,74 Ga (Neder *et al.* 2000; Santos *et al.* 2000). A Formação Mutum-Paraná compreende metapelitos, metapsamitos, metacherts, filitos, ardósias, quartzitos e metatufos, sendo estes últimos datados em aproximadamente 1,73 Ga (U-Pb/SHRIMP em zircão, Santos *et al.* 2001).

Os corpos lenticulares de sequências supracrustais que ocorrem intercalados às rochas do Complexo Jamari foram datados por Payolla *et al.* (2003a) e revelaram uma idade máxima de sedimentação em aproximadamente 1,66 Ga (U-Pb/SHRIMP em zircão), e que sugere um segundo evento orogênico denominado de Orogenia Ouro Preto, entre aproximadamente 1,67 – 1,63 Ga (Payolla *et al.* 2002, Santos *et al.* 2003). No entanto, a área fonte para estes zircões detríticos ainda permanece incerta. Tais rochas foram inicialmente desmembradas do Complexo Jamari por Scandola *et al.* (1999) e atualmente pertencem ao Complexo Quatro Cachoeiras (Quadros *et al.* 2011). Ao final da Orogenia Juruena ou Jauru houve a colocação de granitos pós colisionais agrupados na Suíte Intrusiva Serra da Providência.

A Suíte Intrusiva Serra da Providência (Leal *et al.* 1976) corresponde a um extenso magmatismo pós orogênico, Mesoproterozoico, subalcalino, do tipo A, rapakivítico e de caráter bimodal. Suas litologias ocorrem tanto isotrópicas como metamorfizadas em médio a alto grau, e possuem idades entre 1,60 a 1,53 Ga (Bettencourt *et al.* 1999). Este período pós colisional também permitiu a formação de rochas vulcanossedimentares agrupadas na Formação Igarapé Lourdes. A Formação Igarapé Lourdes inclui metapelitos, metapsamitos, xistos, metatufos, metavulcânicas e formações ferríferas. Esta formação possui inúmeros registros de ocorrências manganésíferas (Soeiro *et al.* 1977), em geral relacionadas aos metapelitos. Seu posicionamento estratigráfico era atribuído ao Paleoproterozoico, através de relações de campo até então pouco esclarecidas. No entanto, Costa *et al.*



(2014) geraram novos dados geocronológicos em metapsamitos desta unidade que permitiram reposicioná-la no Calimiano, com idade máxima de sedimentação em torno de 1,55 Ga.

A formação da Província Sunsás (Ciclo Sunsás) afetou substancialmente a porção sudoeste da Província Rondônia – Juruena, provocando o retrabalhamento de muitas unidades ali presentes. Segundo Santos *et al.* (2008), o Ciclo Sunsás inclui três principais orogenias: Santa Helena (1465 – 1420 Ma), Candeias (1370 – 1320 Ma) e Nova Brasilândia (1180 – 1100 Ma). Este ciclo acarretou na geração de rochas miloníticas e gnáissicas, metamorfizadas em médio a alto grau, que formam extensas zonas de cisalhamento no Domínio Jamari (Zona de Cisalhamento Rio Formoso – Ariquemes e Sistema Transpressivo Sinistral Ji-Paraná).

O Complexo Nova Mamoré foi redefinido por Rizzotto *et al.* (2005a, 2005b) para descrever os gnaisses paraderivados que ocorrem na região oeste-noroeste do Estado de Rondônia, entre os municípios de Guajara-Mirim, Nova Mamoré e Nova Califórnia. O Complexo Nova Mamoré compreende gnaisses quartzo-feldspáticos, granada-biotita-quartzo gnaisse bandado, granofels quartzo-feldspáticos, gnaisses calcissilicáticos bandados, granofels calcissilicáticos e sillimanita-granada-biotita-gnaisses. Bettencourt *et al.* (2014) geraram novos dados geocronológicos em uma amostra de sillimanita-biotita-cordierita gnaisse, localizada na região do município de Buritis, que revelaram uma idade máxima de sedimentação de cerca de 1,48 Ga, com idade de metamorfismo em aproximadamente 1,32 Ga. Segundo estes autores, o protólito desta unidade foi formado em um ambiente de margem continental passiva, durante os estágios iniciais da formação do cinturão Alto Guaporé (1,47-1,32 Ga). No interior do domínio do Complexo Nova Mamoré ocorrem inúmeros corpos graníticos leucocráticos, sintectônicos, que foram incluídos na Suíte Laje (Rizzotto *et al.* 2005b). Seus constituintes essenciais compreendem K-feldspato, quartzo, granada, biotita e plagioclásio e são interpretados com resultado da fusão parcial das rochas do Complexo Nova Mamoré. Dados isotópicos, U-Pb SHRIMP em zircão (J.O. Santos, 2005, inf. verbal), forneceram a idade de 1340 Ma, interpretada como a do clímax do metamorfismo regional e da idade de cristalização dos granitos anatóticos da suíte. O pico metamórfico corresponde ao da Orogenia Alto Candeias (Santos *et al.*, 2002) ou Rondoniana- San Ignácio (Teixeira & Tassinari, 1984).

Recentemente, Quadros *et al.* (2011) descreveram a presença de rochas paraderivadas com idade máxima de sedimentação em torno de 1,36 Ga, que foram agrupadas na Formação Igarapé Quinze.

O período pós colisional da Orogenia Candeias gerou um extenso magmatismo do tipo A, rapakivítico, no domínio Jamari, denominado de Suíte Intrusiva Alto Candeias (Bettencourt *et al.* 1999). O principal registro deste magmatismo corresponde ao Maciço Alto Candeias. Dados geocronológicos, obtidos pelo método U-Pb SHRIMP em zircão de um biotita hornblenda

monzogranito (porção norte do batólito), forneceram a idade de  $1339 \pm 7$  Ma (Santos *et al.* 2002). No entanto, tendo em vista a grande extensão de ocorrência destas rochas, o intervalo de colocação deste magmatismo ainda necessita de novos dados geocronológicos.

A Orogenia Nova Brasilândia (1180 – 1100 Ma) também afetou o Domínio Jamari em aproximadamente 1,1 Ga, formando extensas zonas de cisalhamento transpressionais, tendo como principal representante na área de estudo a Zona de Cisalhamento Ji-Paraná (Scandolara, 2006).

Coberturas sedimentares proterozoicas, atribuídas ao final da Orogenia Nova Brasilândia, compõem a Formação Palmeiral (Lobato *et al.* 1966), que tem sua principal ocorrência localizada na borda sudoeste do maciço Alto Candeias (Suíte Intrusiva Alto Candeias). Trata-se de arenitos e conglomerados, maciços a estratificados, com idade máxima de sedimentação em aproximadamente 1,03 Ga (U-Pb/SHRIMP em zircão, Santos *et al.* 2001). Santos *et al.* (2002) interpretam que esta sedimentação corresponde a formação de bacia do tipo *foreland*, relacionada à Orogenia Nova Brasilândia. No entanto, Bahia (1997), através do estudo de paleocorrentes, sugere que tal sedimentação seja oriunda de ambiente fluvial anastomosado, relacionada à formação de bacia do tipo sinéclise.

No contato entre as rochas graníticas do maciço Alto Candeias e os sedimentos da Formação Palmeiral ocorrem diques e soleiras de rochas básicas, incluídos na Formação Nova Floresta (Souza *et al.* 1975). Correspondem a basaltos, diabásios, gabros, olivina gabros e gabros anortosíticos, de natureza toleítica (Romanini, 2000). Dados isotópicos Rb-Sr, obtidos por Silva *et al.* (1992), forneceram idades entre 1016 Ma e 982 Ma.

Ao final da Orogenia Nova Brasilândia houve ainda a colocação de granitos anorogênicos no intervalo de 1,08 – 0,97 Ga (suítes intrusivas Santa Clara e Rondônia). Estes granitoides possuem uma grande importância econômica no quadro metalogenético de Rondônia, por hospedarem importantes depósitos primários de cassiterita, topázio, columbita-tantalita e wolframita (Província Estanífera de Rondônia).

Coberturas sedimentares paleozoicas e mesozoicas, relacionadas à formação da Bacia dos Parecis, recobrem pequenas regiões no interior do Domínio Jamari, e foram agrupadas na Formação Pedra Redonda. Inúmeros diques e chaminés de kimberlitos também ocorrem neste domínio e são atribuídos ao Cretáceo Superior (Quadros e Rizzotto, 2007).

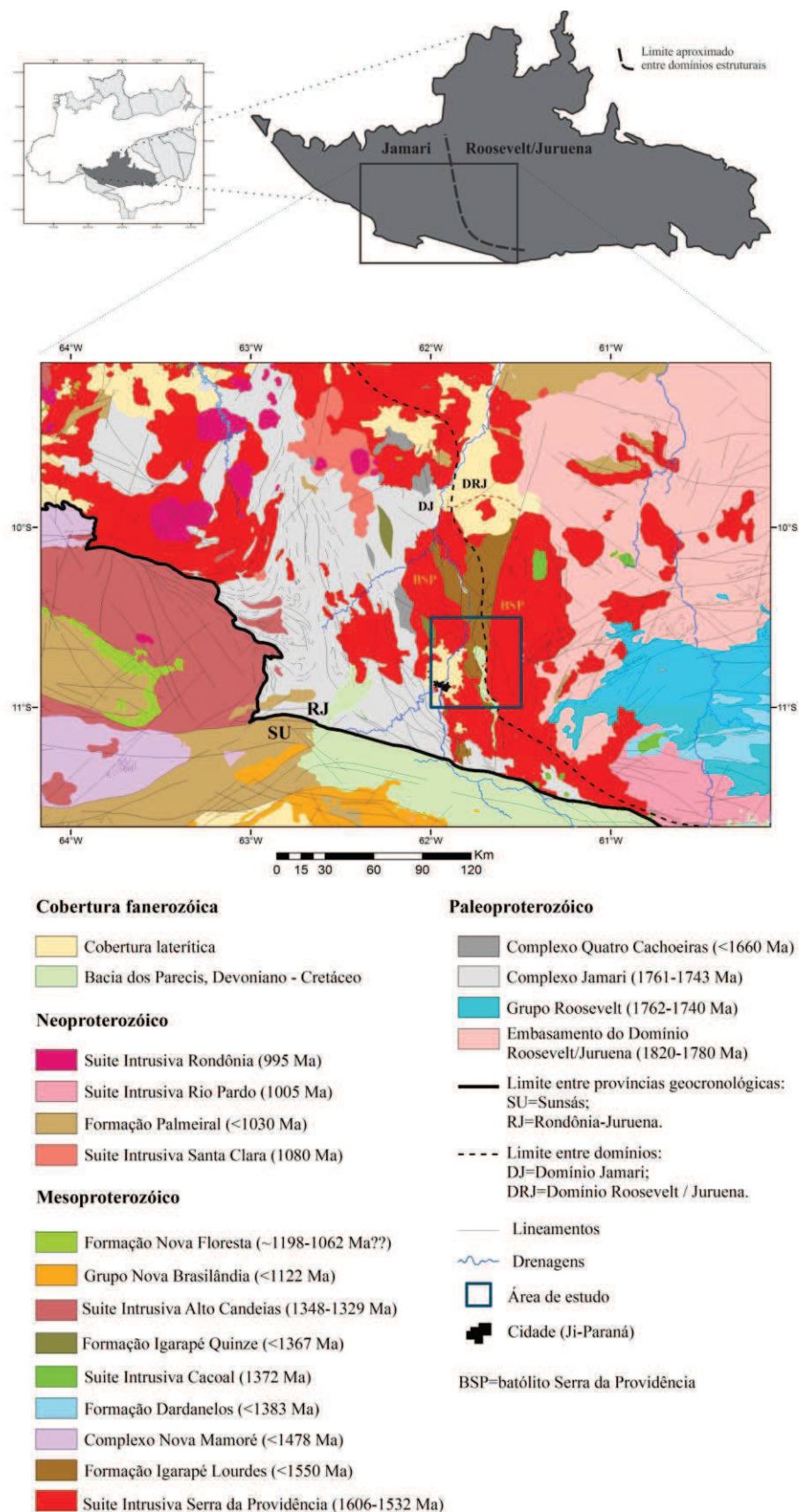


Figura I.7. Mapa geológico regional (escala 1:650.000), onde está inserida a área de estudo (batólito Serra da Providência). Modificado de Quadros & Rizzotto (2007); Lacerda Filho *et al.* (2004).

## CAPÍTULO II

### GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA

---

#### II.1 ASPECTOS GERAIS

De um modo geral, as rochas ígneas e metamórficas paleo/mesoproterozoicas são predominantes na região. Elas compõem um terreno polideformado e afetado por diferentes intensidades de metamorfismo. Durante o mapeamento geológico, notou-se que existe uma tendência geral das rochas mais intensamente deformadas e metamorfizadas se situarem na porção oeste da área de estudo, sendo que na medida em que os perfis geológicos avançam para leste essas exposições apresentam uma diminuição no grau de deformação/metamorfismo até se tornarem isotrópicas na porção leste da área.

A área de estudo encontra-se no Domínio/Terreno Jamari, próximo do limite com o Domínio/Terreno Roosevelt-Juruena (a leste). Esta região também se situa próximo do limite da Província Rondônia – Juruena com a Província Sunsás, a sul da área. Nesse contexto, a estratigrafia da região contém principalmente unidades pré-cambrianas formadas a partir do Paleoproterozoico, além de unidades paleozoicas ligadas à sedimentação da Bacia dos Parecis, a sul da área.

O Paleoproterozoico é representado na área de estudo por exposições de rochas relacionadas ao **Complexo Jamari**. O Mesoproterozoico é representado pela **Suíte Intrusiva Serra da Providência**, além das unidades metassedimentares **Formação Igarapé Lourdes** e **Formação Igarapé Quinze**. O Fanerozoico compreende, na área de estudo, os depósitos glaciogênicos da **Formação Pedra Redonda**, além de depósitos aluvionares.

A área estudada encontra-se sob forte influência do clima tropical úmido da região amazônica, que acarreta no predomínio de intemperismo químico sobre rochas e espessos perfis de laterização/solos. Neste contexto, as relações de contato entre as diversas unidades litoestratigráficas da região são pouco evidentes, possivelmente encobertas pela capa de solo ou transformadas em perfis lateríticos.

A descrição da Geologia Local baseia-se fundamentalmente no projeto desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil na área da folha Ji-Paraná (Figueiredo *et al.* 2014), em escala 1:100.000 (Figura II.1).

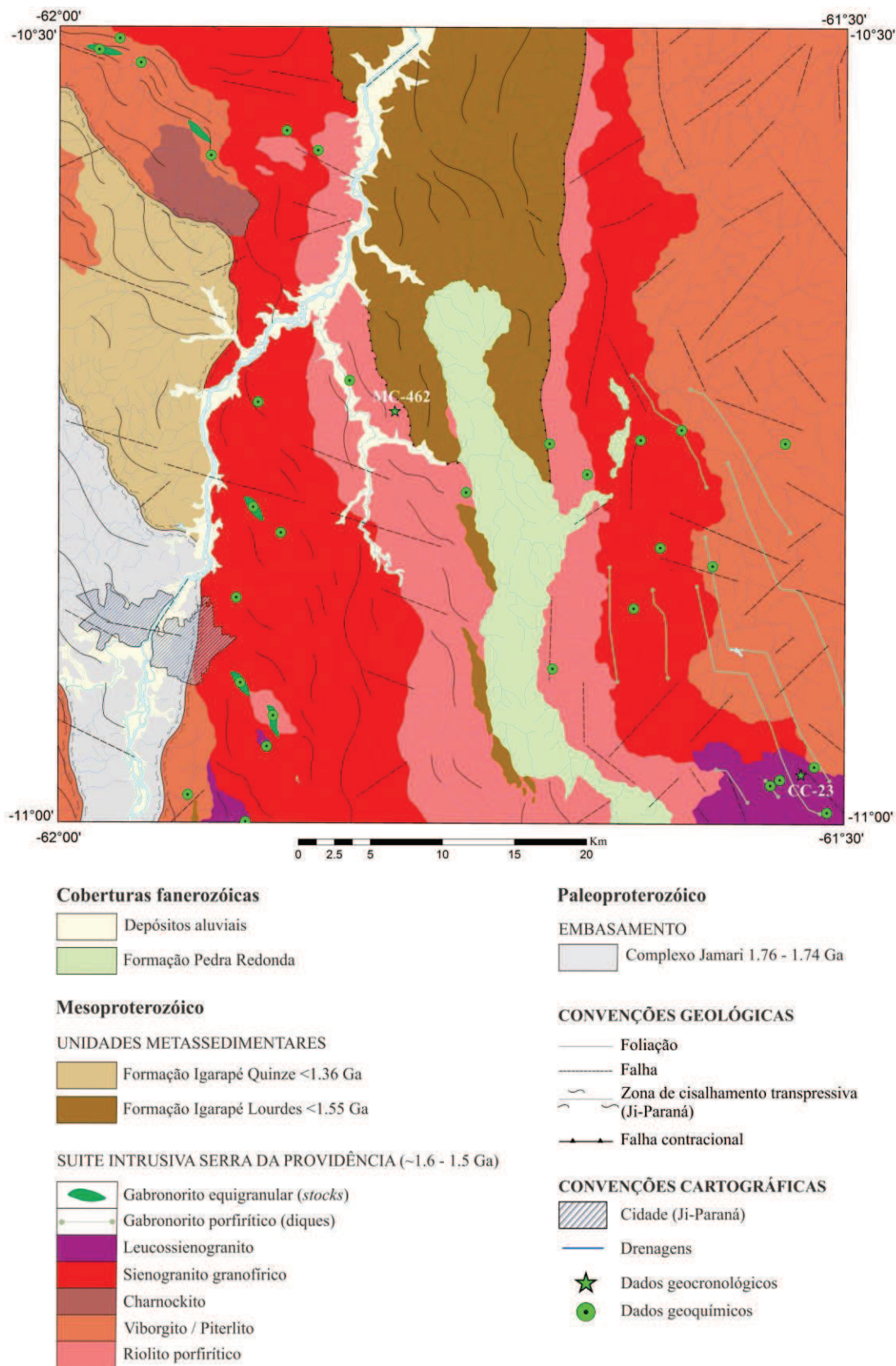


Figura II.1. Mapa geológico (escala 1:100.000) da folha Ji-Paraná (SC.20-Z-A-VI). Modificado de Figueiredo *et al.* (2014).

## II.2 COMPLEXO JAMARI

O Complexo Jamari inclui gnaisses ortoderivados de composição intermediária, que em geral varia de quartzo dioritos, tonalitos a granodioritos, com afinidade cálcio-alcálica, além de rochas metamáficas toleíticas. Estas rochas encontram-se deformadas e metamorfizadas na fácies anfibolito superior a granulito, por vezes com feições de migmatização. Esta associação metaígneia está relacionada à geração de arcos magmáticos em zona de subducção de margem continental do tipo Andino (Payolla *et al.* 2002), e possuem idade de cristalização entre 1,76 e 1,73 Ga (U-Pb em zircão, Santos *et al.* 2000; Payolla *et al.* 2002).

As rochas do Complexo Jamari foram afetadas por pelo menos três eventos orogênicos: Orogênese Ouro Preto, entre 1,67 e 1,63 Ga (Santos *et al.* 2008); Orogênese Candeias, entre 1,35 e 1,33 Ga (Santos *et al.* 2003 e 2008); Orogênese Nova Brasilândia, entre 1,20 e 1,12 Ga (Scandolaro *et al.* 1999).

Na região da folha Ji-Paraná, as rochas dessa unidade afloram sob a forma de lajedos (Figura II.2a), configurando pequenos morrotes. Em geral seus afloramentos são descontínuos e esparsos, próximos às margens das drenagens.

São rochas leucocráticas, anisotrópicas, de cor cinza esbranquiçada a esverdeada, granulação média a fina, equigranulares (Figura II.2b). Sua mineralogia macroscópica é composta basicamente por plagioclásio, quartzo, máficos (epidoto, biotita e anfibólio) e feldspato alcalino. Possuem uma foliação milonítica a gnáissica, evidenciada principalmente pela orientação dos minerais máficos. Tal estrutura varia de subvertical a altos ângulos de mergulho e possui direção aproximada 270° Az. Em raras exposições, observa-se bandamento metamórfico em escala mesoscópica e estruturas dobradas. É comum a ocorrência de enclaves máficos estirados segundo a foliação da rocha (Figura II.2a). Estes enclaves possuem uma forma elíptica com 20 a 30 cm de comprimento. Diques máficos (possivelmente diabásio) ocorrem associados a estas rochas, com cerca de 30 cm de espessura e direção aproximada 350° Az.

De um modo geral, os principais litotipos que compõem este grupo de rochas foram classificados como Epidoto Biotita Metatonalito a Epidoto Hornblenda Biotita Metatonalito.

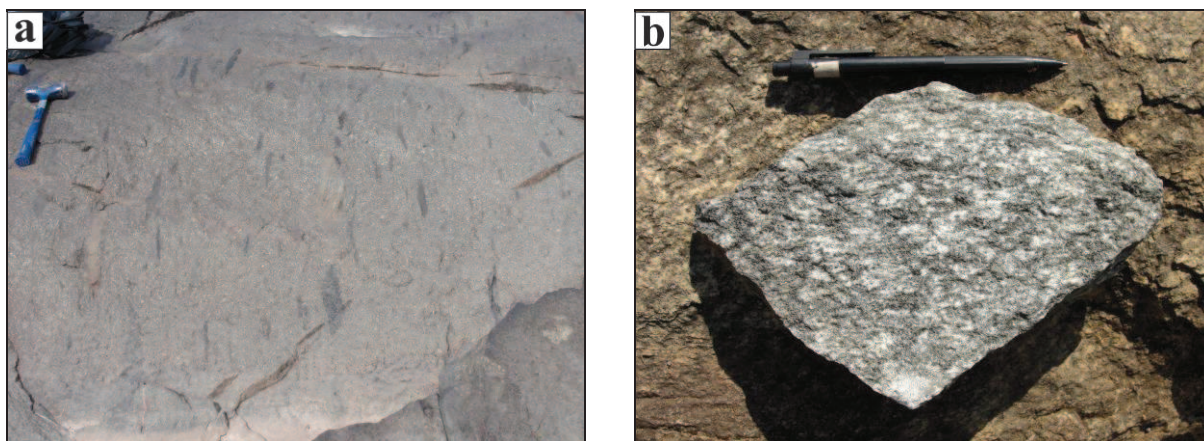


Figura II.2. Aspectos de campo das rochas do Complexo Jamari – a) lajedo em margem de rio, com enclaves máficos concordantes com a foliação da rocha; b) amostra de mão de metatonalito.

### II.3 SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA

Esta suíte inclui monzogranitos, sienogranitos, charnockitos, mangeritos, gabros e diabásios, que podem ocorrer isotrópicos ou tectonizados por eventos deformacionais posteriores, onde em geral exibem foliações miloníticas e/ou bandamento composicional. Nos termos graníticos, é comum a ocorrência de textura rapakivi. Esta associação é interpretada como um magmatismo granítico rapakivi, de natureza subalcalina, do tipo A, bimodal, gerada em ambiente pós-orogênico a anorogênico, com idades entre ~1,60 a ~1,53 Ga, como produto final da Orogenia Ouro Preto ou Quatro Cachoeiras (Scandolaro *et al.*, 2013).

As rochas desta suíte encontram-se, por vezes, deformadas por eventos tectonometamórficos relacionados ao retrabalhamento crustal gerado pelas orogenias Candeias ou Rondoniana-San Ignácio (~1,35 Ga) e Sunsás - Nova Brasilândia (~1,15 Ga), e que afetam substancialmente as rochas que compõem o Domínio Jamari. Nesse sentido, os granitoides da Suíte Intrusiva Serra da Providência podem ocorrer com texturas miloníticas e/ou gnáissicas geradas sob condições de médio grau metamórfico (fácies anfíbolito a anfíbolito superior).

A Suíte Intrusiva Serra da Providência possui inúmeras exposições em batólitos e *stocks*, que formam corpos/maçiços isolados e/ou tectonizados ao longo de extensas regiões. Historicamente, tentou-se cartografar e estudar separadamente os principais corpos/maçiços que compõem esta suíte, sob as seguintes denominações: batólito Serra da Providência (1,60–1,53 Ga; Bettencourt *et al.* 1999); Charnockito Jauru (1,56 Ga; Payolla *et al.* 2002); granito cinza de Samuel (1,55–1,54 Ga; Payolla *et al.* 2002); maciço União e granito rosa de Ariquemes (1,52 Ga; Bettencourt *et al.*, 1999; Payolla *et al.* 2002), maciço Ouro Preto (1,53 Ga; Santos *et al.*, 2000). Recentemente, Quadros *et al.* (2011) individualizaram quatro maciços na região da Folha Rio Machadinho (SC.20-X-C): Maciço Machadinho, Maciço União (5° BEC), Maciço Aquariquara e Maciço Rio Crespo. Na área de estudo,

as exposições de granitoides desta suíte correspondem à porção centro oeste do batólito Serra da Providência.

### II.3.1 Batólito Serra da Providência

Corresponde ao principal pulso magmático da Suíte Intrusiva Serra da Providência e está localizado na região homônima, um importante limite estrutural no interior da Província Geocronológica Rondônia-Juruena. A área de estudo inclui grande parte da porção sul deste batólito. Na porção central/centro-sul do batólito (áreas a leste da folha Ji-Paraná), as rochas encontram-se indeformadas.

Rizzotto *et al.* (1995) descrevem quatro fácies distintas neste batólito, representadas por monzogranito porfirítico (piterlitos) com viborgito subordinado e sienogranito granofírico. No entanto, devido à escala do mapeamento e ausência de dados aerogeofísicos, estas fácies não puderam ser cartografadas. No presente trabalho, as fácies propostas por esses autores puderam ser confirmadas e cartografadas, bem como, novas fácies do interior do batólito foram identificadas, descritas e cartografadas. Assim sendo, a porção sul do batólito Serra da Providência é composto por cinco fácies petrográficas ácidas: Sienogranitos porfiríticos (viborgitos e piterlitos); Subvulcânicas (riolitos); Sienogranitos granofíricos; Leucossienogranitos; Charnockitos; como também dois grupos distintos de rochas máficas associadas ao magmatismo bimodal, divididos em Gabronoritos equigranulares (*stocks*) e Gabronoritos porfiríticos (diques).

#### II.3.1.1 Fácies Viborgito / Piterlito

São rochas leucocráticas, de cor cinza esbranquiçada, megaporfiríticas, com matriz de granulação média a grossa e aspecto intersticial, rica em minerais máficos, além de quartzo, K-feldspato e plagioclásio (Figura II.3a, b). Os fenocristais são megacristais de K-feldspato, subédricos a subarredondados (ovoides) com cerca de 2 a 3 cm de diâmetro, de cor vermelho alaranjado, que por vezes exibem manteamento de plagioclásio (textura rapakivi). O aspecto “ovoide” dos fenocristais de K-feldspato, por vezes, imprime à rocha uma afinidade viborgítica (ovoides manteados) a piterlítica (ovoides não manteados). Preferencialmente, nas exposições a leste da área de estudo, a textura rapakivi é pouco evidente, sendo comum a presença de autólitos máficos, subarredondados, com cerca de 10 a 20 cm de diâmetro, contendo xenocristais subédricos a ovoides de K-feldspato, similares àqueles característicos desta fácies (Figura II.3c). Nas exposições desta fácies a SW e NW da Folha Ji-Paraná, a presença de granitoides com textura rapakivi é mais frequente (afinidade viborgítica). Quando deformadas, exibem uma foliação milonítica/gnáissica de médio a alto ângulo de mergulho (50 a 70°/WNW a SW), com *trends* de direção NNE/SSW a NW. A foliação milonítica/gnáissica imprime na rocha uma textura porfiroclástica do tipo *augen*, sendo por vezes classificada como augengnaisse sienogranítico (Figura II.3d).



Em nível microscópico, estas rochas possuem uma textura porfirítica a porfítica seriada, com matriz de textura inequigranular xenomórfica média a grossa (Figura II.4a), marcada pela predominância de quartzo, ortoclásio e microclina micropertíticos, e plagioclásio, além de biotita, hornblenda, titanita, apatita, allanita zircão e opacos. Os grãos de plagioclásio apresentam um grau moderado a alto de alteração para epidoto e sericita (saussuritização), assim como é comum a alteração de biotita para clorita. A titanita ocorre como cristais xenomórficos em contato com minerais opacos. Os fenocristais são de feldspato alcalino pertítico, por vezes mateados por plagioclásio (Figura II.4b), ou ainda com textura poiquilítica marcada por inclusões de biotita. Estas rochas foram classificadas como hornblenda biotita Sienogranitos porfiríticos de matriz média a grossa.

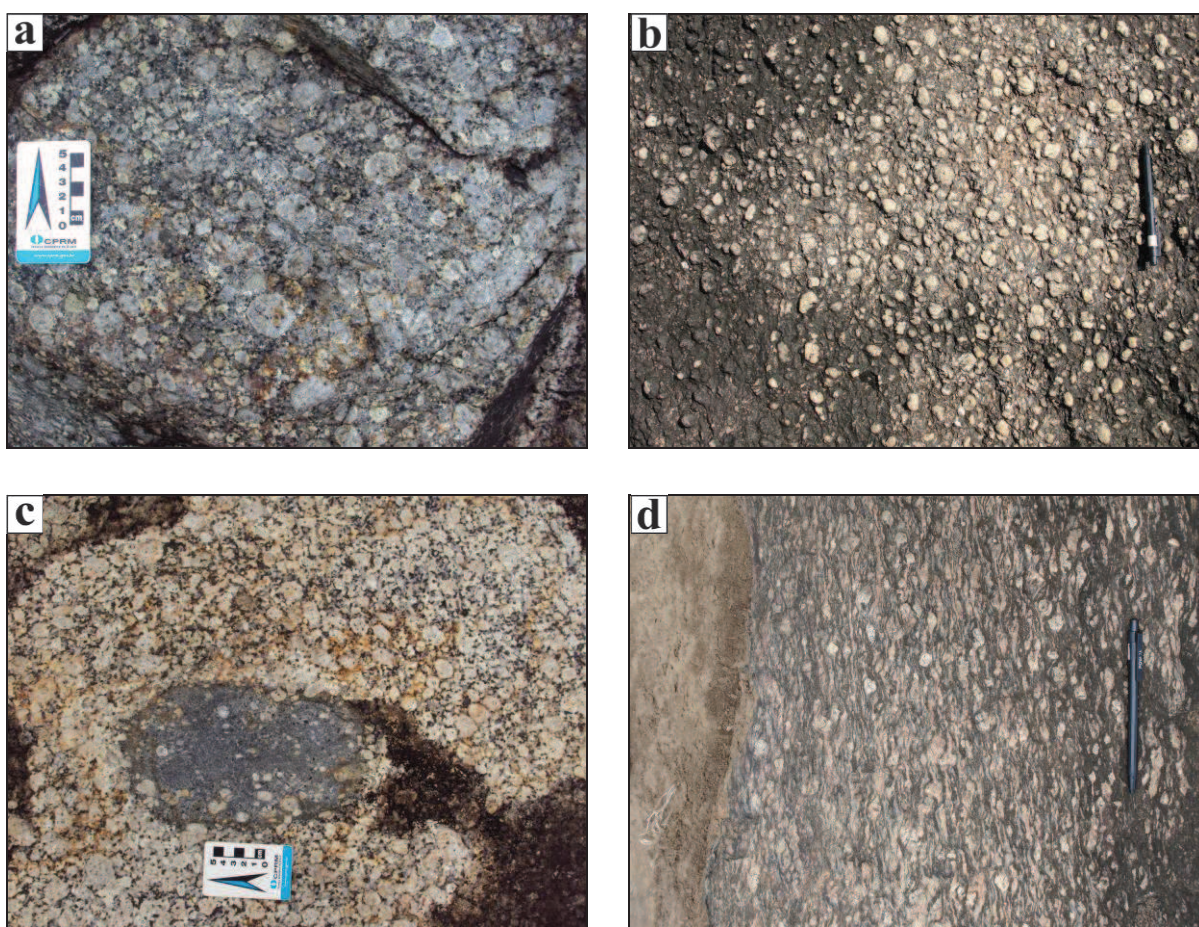


Figura II.3. Aspectos de campo da fácies viborgito/piterlito – a) rocha de afinidade viborgítica, isotrópica; b) rocha de afinidade piterlítica, isotrópica; c) autólito de composição máfica com xenocristais de feldspato alcalino (evidência de mistura de magmas); d) rocha de afinidade viborgítica, milonitizada.

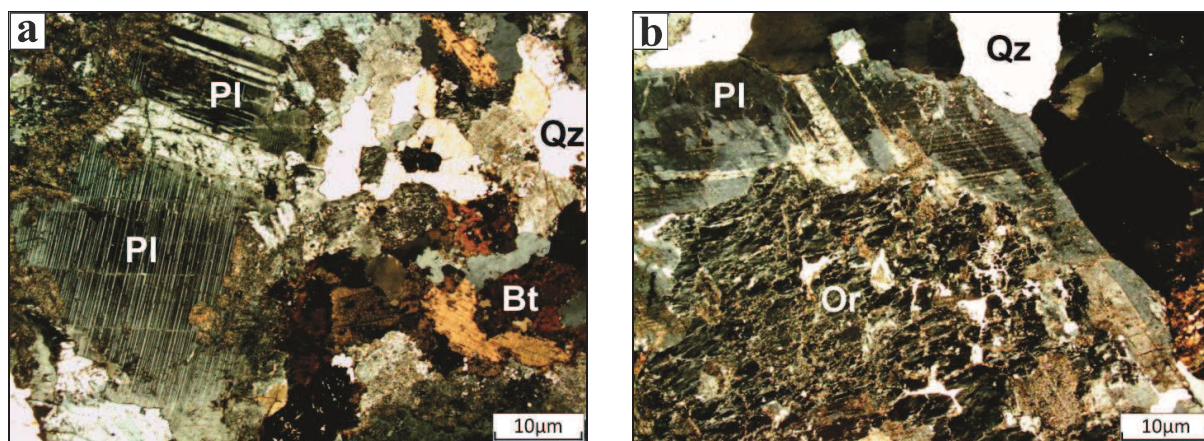


Figura II.4. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies viborgito/piterlito – a) matriz com textura inequigranular xenomórfica; b) detalhe de textura rapakivi em fenocristal de ortoclásio pertítico. Pl=Plagioclásio; Or=Orotclásio; Qz=Quartzo; Bt=Biotita.

### II.3.1.2 Fácies Sienogranito granofírico

São rochas leucocráticas, de cor avermelhada com tons alaranjados, isotrópicas a tectonizadas (foliadas), equi a inequigranulares médias, compostas por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, biotita e, eventualmente, fluorita (Figura II.5a, b). Textura rapakivi pode ocorrer de maneira subordinada. Quando deformadas, exibem foliação milonítica marcada pela trama de minerais máficos, que envolvem clastos sigmoidais de feldspato alcalino, por vezes estirados, que em elevados estágios de deformação podem exibir recristalização sob aspecto de “fitas” descontínuas, concordantes com a foliação da rocha. A foliação milonítica possui *trends* de direção NNW/SSE a NNE/SSW e mergulhos entre 20 e 40°/WSW a WNW e lineações frontais, com caimento a WSW a WNW. Microscopicamente, estas rochas caracterizam-se pela presença constante de intercrescimentos granofíricos (Figura II.6a, b). Possuem textura equi a inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, sendo compostas essencialmente por quartzo, feldspato alcalino pertítico, plagioclásio e biotita, além de opacos, apatita, titanita, zircão e fluorita. Os feldspatos alcalinos encontram-se dispostos aleatoriamente, com interstícios preenchidos por placas irregulares de quartzo. O plagioclásio encontra-se comumente alterado para finos cristais de epidoto e sericita (saussuritizado; Figura II.6b). Os agregados de palhetas de biotita encontram-se fortemente cloritizados, associados a manchas irregulares de opacos, epidoto e titanita, que formam grumos dispersos em meio ao quartzo. Fluorita, muito irregular, permeia o quartzo intersticial aos feldspatos. Apatita e zircão, em cristais muito finos, associam-se aos máficos, estando ainda inclusos no quartzo. Estas rochas foram classificadas como Biotita Sienogranito granofírico. Quando deformadas, exibem textura porfiroclástica, onde a trama de quartzo e biotita recristalizados marcam a sua foliação, e envolvem porfiroclastos de ortoclásio, granulares a anédricos. O quartzo recristaliza-se em subgrãos, com aspecto de “fitas” que acompanham os cristais orientados de biotita.

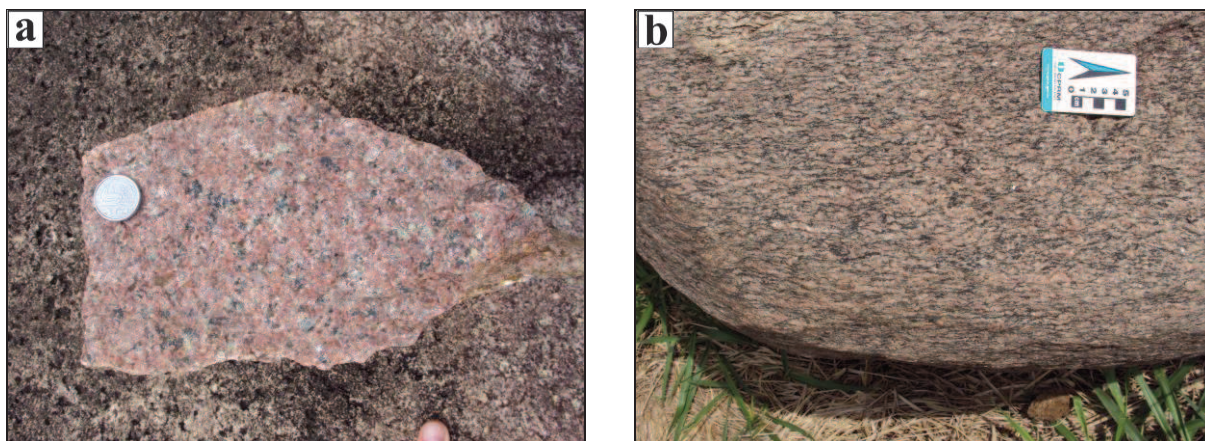


Figura II.5. Aspectos de campo da fácies sienogranito granofírico – a) amostra de mão de biotita sienogranito isotrópico; b) amostra de mão de biotita sienogranito milonitizado.

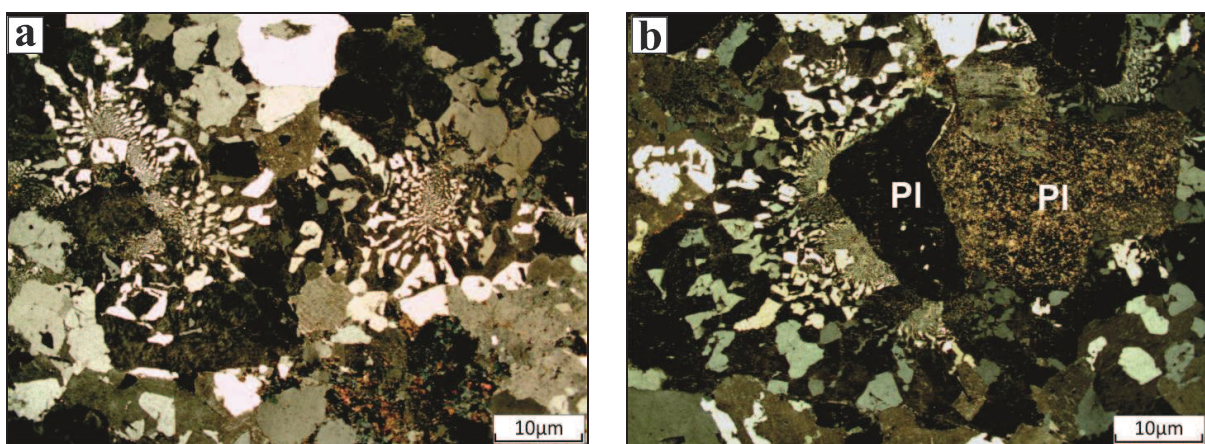


Figura II.6. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies sienogranito granofírico – a) textura granofírica; b) textura granofírica com detalhe de grãos de plagioclásio fortemente alterados. Pl=Plagioclásio.

### II.3.1.3 Fácies Leucossienogranito

Em afloramento, estas rochas são muito similares aos sienogranitos granofíricos da região. No entanto, em mapas aerogamaespectrométricos, estas rochas exibem teores anômalos de U, Th e K que as diferenciam das rochas adjacentes, além de serem relativamente mais enriquecidas em quartzo. Elas são holo leucocráticas a leucocráticas, de cor avermelhada com tons alaranjados a esbranquiçados, de granulação média a grossa, em geral equigranulares (Figura II.7a), compostas essencialmente por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, biotita e fluorita. É comum a ocorrência de cavidades miarolíticas, com cerca de 5 a 10 cm de diâmetro, preenchidas por turmalina preta (schorlita) e quartzo leitoso (Figura II.7b). Segundo Nascimento *et al.* (2002), essas estruturas indicam a exsolução de fases fluidas sob baixa pressão confinante. Costa & Figueiredo (2011) relacionam esta fácies a uma provável zona de cúpula granítica no interior do batólito Serra da Providência.

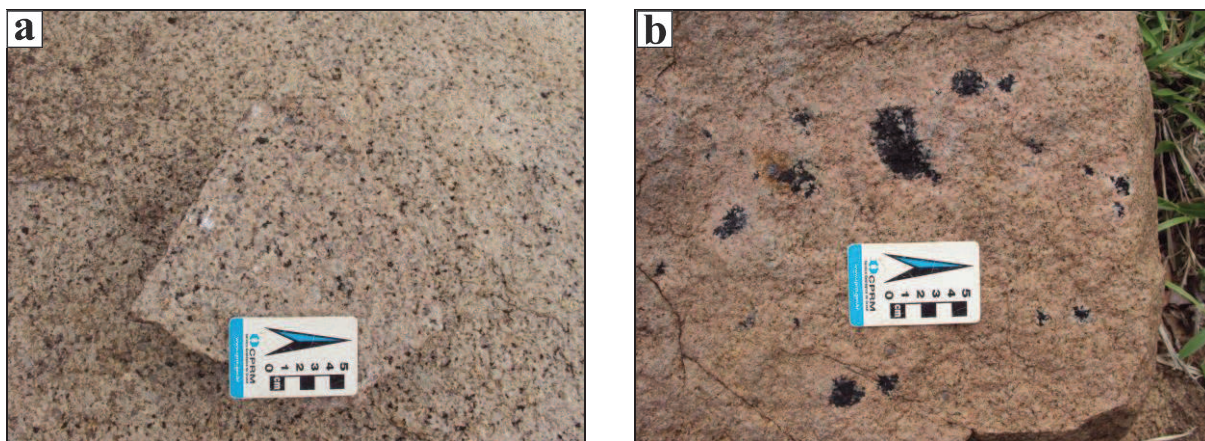


Figura II.7. Aspectos de campo da fácies leucossienogranito – a) amostra de mão de biotita leucossienogranito isotrópico; b) cavidades miarolíticas preenchidas por schorlita e quartzo.

Ao microscópio, apresentam textura equigranular xenomórfica a hipidiomórfica, média a grossa (Figura II.8a), formada por quartzo, feldspato alcalino mesoperítico, plagioclásio, biotita, além de allanita, epidoto, apatita, titanita, zircão, fluorita, turmalina e opacos. Localmente, encontra-se intercrescimento gráfico e em apenas uma amostra desta fácies (EI-124A) foi evidenciada a presença de um cristal isolado de topázio (Figura II.8b). Os cristais tabulares de ortoclásio perítico e plagioclásio, entre 3,0 mm e 1,0 cm, a maioria em torno de 5,0 mm, estão dispostos aleatoriamente, com interstícios preenchidos por agregados de cristais irregulares de quartzo, de 1,0 a 3,0 mm. O plagioclásio encontra-se parcialmente assimilado pelo ortoclásio. Agregados de palhetas, não orientadas, de biotita castanha, de 1,0 a 3,0 mm cada, moderadamente cloritizadas, associam-se a outras de muscovita (provavelmente de alteração), bem como a manchas e finos cristais de opacos (óxidos de Fe/Ti) e de titanita, que ocorrem nos interstícios dos feldspatos. Fluorita, de cor violácea, ocorre de maneira irregular nos interstícios de quartzo. Cristais muito finos de apatita estão associados à biotita. Este litotipo foi classificado como biotita Leucossienogranito com fluorita.

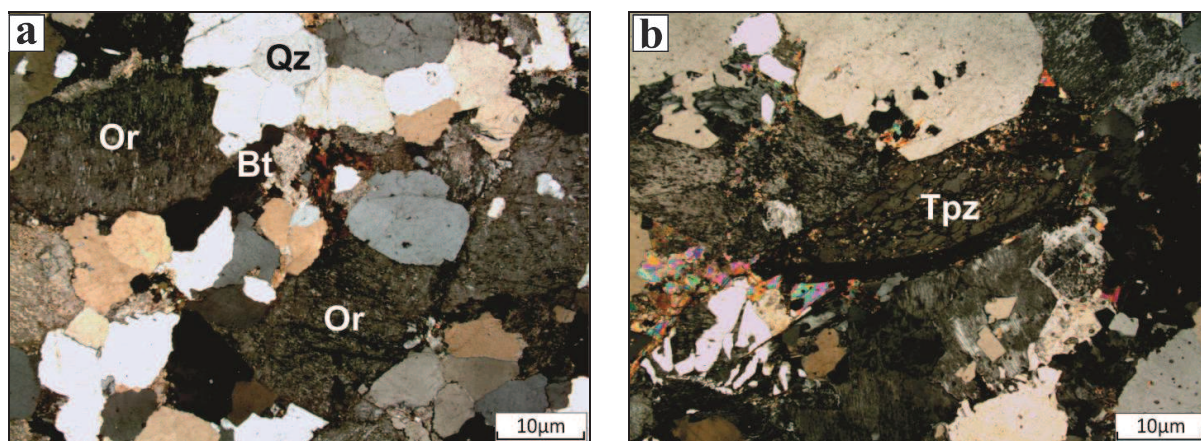


Figura II.8. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies leucossienogranito – a) textura equigranular xenomórfica; b) detalhe de grão de topázio e intercrescimento gráfico. Or=Orotclásio; Qz=Quartzo; Bt=Biotita; Tpz=Topázio.

#### II.3.1.4 Fácies Riólito porfirítico

Macroscopicamente, são rochas leucocráticas, de cor cinza escuro com tons alaranjados, isotrópicas a anisotrópicas (Figura II.9a, b). Quando indeformadas, possuem textura porfirítica, de matriz muito fina, com fenocristais subédricos, de granulação média a grossa, representados por feldspato alcalino, de cor alaranjada com tons acinzentados, com cerca de 1 x 0,5 cm de tamanho, além de plagioclásio de cor esbranquiçada com tons esverdeados devido à alteração para epidoto. Eventualmente, o quartzo também ocorre em fenocristais anédricos a subarredondados, com brilho vítreo, cor acinzentada a azulada, com cerca de 0,5 cm de diâmetro. Nas exposições onde esta fácies está deformada, exibe uma foliação de baixo ângulo com *trends* de direção NNW/SSE a NNE/SSW e mergulhos entre 20 e 40°/WSW a WNW. Esta estrutura é marcada principalmente pela orientação de porfiroclastos de feldspato alcalino e cominuição/recristalização dos minerais que constituem a matriz fina da rocha.

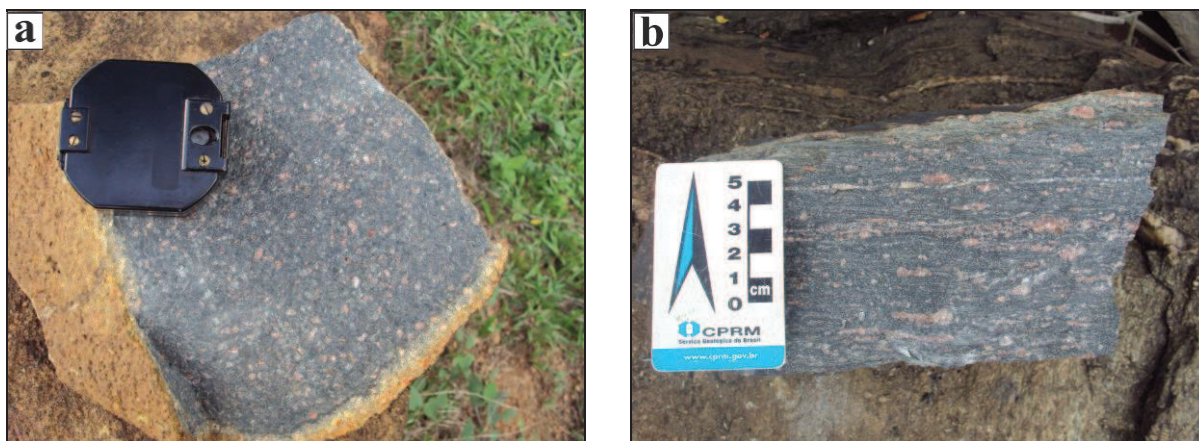


Figura II.9. Aspectos de campo da fácies riolito porfírico – a) amostra de mão de riolito isotrópico; b) amostra de mão de riolito milonitizado.

Microscopicamente, as rochas subvulcânicas exibem textura porfírica a glomeroporfírica, com predomínio de fenocristais de granulação média a grossa de feldspato alcalino peritítico, além de plagioclásio sódico (albita a andesina) e quartzo anédrico (Figura II.10a, b). Os fenocristais de plagioclásio são geralmente subédricos a anédricos, com evidências de intensa corrosão magmática (embaixamentos) e substituição por óxidos/hidróxidos de ferro, sericita e epidoto. Os fenocristais de feldspato alcalino peritítico eventualmente exibem intercrescimento gráfico a granofírico e em geral encontram-se pseudomorfizados. A matriz é fina a felsítica com intercrescimentos gráfico, composta essencialmente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, além de biotita, hornblenda, allanita, apatita, titanita, zircão, clorita, epidoto, sericita, calcita, fluorita e opacos. Agregados finos de hornblenda verde, associados ou substituídos por biotita marrom a verde, ocorrem parcialmente alterados para clorita. Quando deformada, a rocha possui textura porfiroclástica, onde a matriz quartzo-feldspática exhibe textura granoblástica marcada pela forte cominuição dos grãos. A biotita é muito fina e orientada e apresenta-se dispersa ou em agregados como sombra de pressão e em finos leitos ondulados e descontínuos que marcam a foliação. Os fenocristais são fraturados e tensionados. Esta fácies inclui termos subvulcânicos, classificados como hornblenda biotita Riolito porfírico.

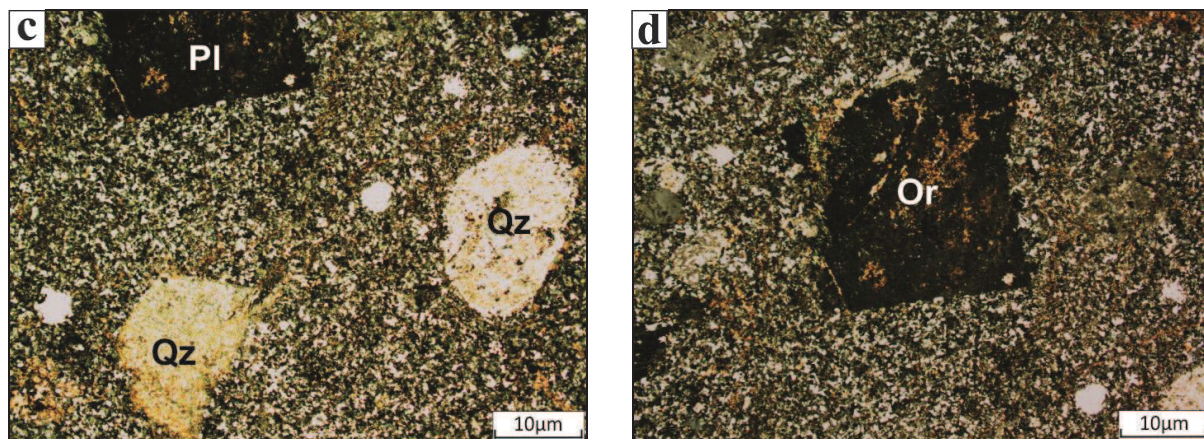


Figura II.10. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies Riolito porfírico – a) textura porfírica de matriz fina e fenocristais subédricos a anédricos arredondados; b) detalhe de grão de ortoclásio subédrico pseudomorfizado. Pl=Plagioclásio; Or=Orotclásio; Qz=Quartzo.

### II.3.1.5 Fácies Charnockito

Rochas charnockitoides ocorrem de maneira mais restrita na área de estudo e correspondem a um pequeno núcleo indeformado na porção noroeste da Folha Ji-Paraná. Encontram-se em pequenos lajedos e matacões, por vezes, com moderado grau de alteração.

Em escala de afloramento, esta fácies corresponde a rochas leucocráticas de cor cinza escura com tons esverdeados a acastanhados, são isotrópicas, megaporfíricas com matriz de granulação grossa, de aspecto intersticial (Figura II.11a, b), constituída essencialmente por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e ortopiroxênio. Seus fenocristais são de feldspato alcalino, subédricos com dimensões médias de 3 x 2 cm, de cor cinza esverdeada.

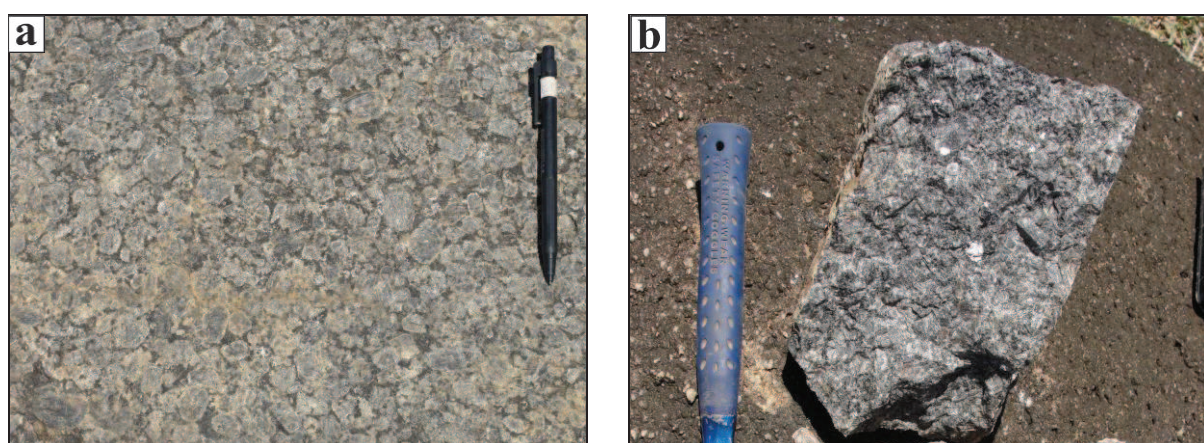


Figura II.11. Aspectos de campo da Fácies Charnockito – a) capa de alteração em afloramento de rocha charnockitoide; b) amostra de mão de rocha charnockítica.

### II.3.1.6 Fácies Gabronorito equigranular

Estas rochas ocorrem como pequenos *stocks*, preferencialmente na porção oeste da área de estudo, onde correspondem a blocos e matacões esparsos em meio aos granitoides milonitizados, em contatos difusos, muitas vezes sob a forma aparente de lentes (Figura II.12a). São rochas melanocráticas, equigranulares de granulação fina a média, compostas essencialmente por plagioclásio, piroxênio, quartzo e biotita (Figura II.12b). Ao microscópio, as rochas exibem textura ofítica a subofítica, composta essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, biotita, titanita, apatita e opacos, e pequenas quantidades de quartzo (Figura II.13a, b).

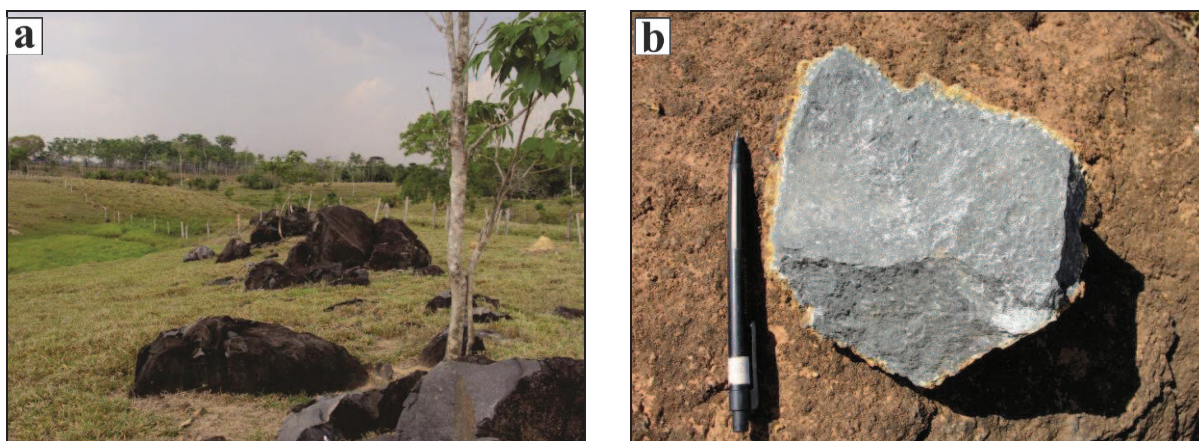


Figura II.12. Aspectos de campo da fácies gabronorito equigranular – a) afloramento orientado formado por blocos, na porção oeste da área de estudo; b) amostra de mão de gabronorito equigranular.

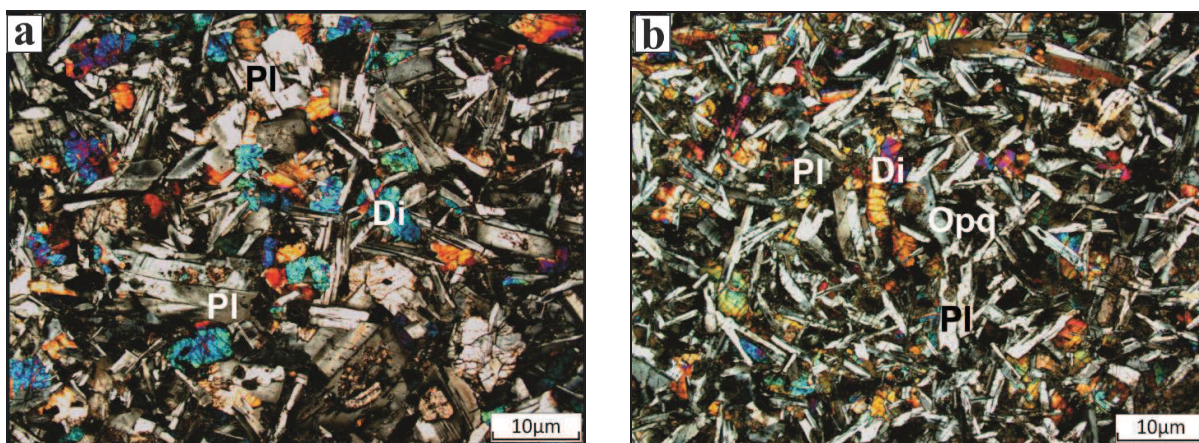


Figura II.13. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies gabronorito equigranular – a), b) textura subofítica a ofítica, comum a estas rochas. Pl=Plagioclásio; Di=Diopsídio; Opq=Opacos.

### II.3.1.7 Fácies Gabronorito porfirítico

Nas porções indeformadas (principalmente na região leste da área de estudo), o domínio destas rochas é identificável em imagens aerogamaespectrométricas, sob a forma de grandes diques de direções aproximadas NNW/SSE, com cerca de 10 a 20 quilômetros de extensão e espessuras que



variam de 300 a 500 metros, que formam solos de cor marrom escura em vales por entre morros e colinas do batólito Serra da Providência. Nestas regiões, blocos e matacões esparsos, por vezes, expõem a rocha bem preservada destacando-se fenocristais euédricos tabulares de plagioclásio (Figura II.14a). São rochas mesocráticas a melanocráticas, porfíricas de matriz fina (Figura II.14b) de textura ofítica a subofítica, compostas essencialmente por plagioclásio, piroxênio, quartzo e biotita. Os fenocristais são de plagioclásio, subédricos a euédricos, com tamanhos que variam de 1 x 0,5 cm a até 1 x 4 cm, de cor branca, por vezes com tons esverdeados (saussuritizados).

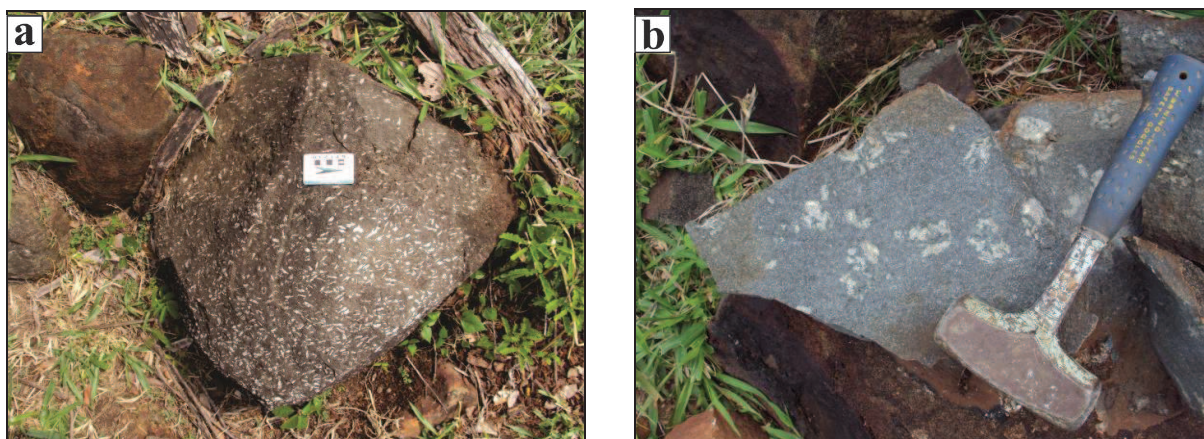


Figura II.14. Aspectos de campo da fácies gabronorito porfírico – a) blocos esparsos onde se encontram fenocristais tabulares de plagioclásio; b) amostra de mão de gabronorito porfírico.

Ao microscópio as rochas porfíricas exibem matriz com textura intergranular a ofítica/subofítica (Figura II.15a), composta essencialmente por plagioclásio, titanaugita, hiperstênio, titanobiotita, quartzo, raramente olivina, além de titanita, apatita e opacos. Na matriz, cristais de plagioclásio são subédricos a anédricos, encontram-se saussuritizados, com 0,2 a 1,5 mm, dispostos aleatoriamente, com interstícios preenchidos a parcialmente assimilados por cristais irregulares de titano-augita, rosa acastanhada, de até 3,0 mm de diâmetro. Este piroxênio se encontra fortemente substituído, nas bordas e ao longo das clivagens, por tremolita/actinolita fibrosa, verde clara, associada a clorita (Figura II.15b). O quartzo ocorre apenas nas amostras sem olivina, em grãos muito irregulares, de até 0,5 mm de diâmetro, preenchendo interstícios de cristais de plagioclásio. Manchas irregulares e plaquetas de opacos (óxidos de Fe/Ti), de até 1,0 mm de comprimento, associadas à titanita, ocorrem dispersas ou associadas aos máficos. Apatita, em cristais bem formados e finos, encontra-se inclusa no plagioclásio.

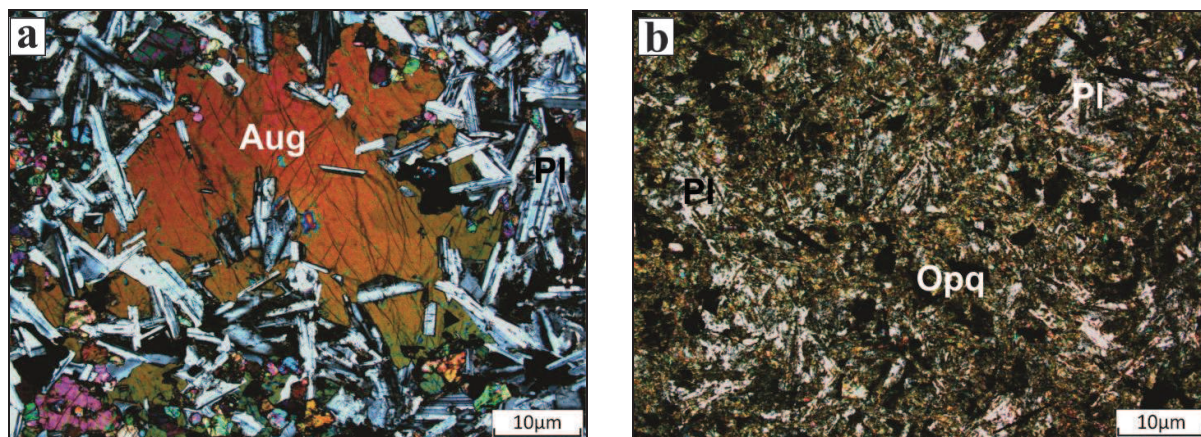


Figura II.15. Fotomicrografias com polarizadores cruzados da fácies gabronorito porfírico – a) textura ofítica formada por ripas de plagioclásio em cristal de augita; b) detalhe da intensa alteração dos grãos de piroxênio para tremolita-actinolita. Pl=Plagioclásio; Aug=Augita; Opq=Opacos. Abreviações dos minerais segundo Kretz (1983).

#### II.4 FORMAÇÃO IGARAPÉ LOURDES

A Formação Igarapé Lourdes foi individualizada por Quadros e Rizzotto (2007) e corresponde a sequências vulcanossedimentares, metamorfizadas na fácies xisto verde, que ocorrem ao longo da Serra da Providência, em contato tectônico com as rochas da porção centro-oeste do batólito Serra da Providência. Na área estudada, puderam ser observados apenas registros metassedimentares desta formação que, segundo Scandolaro (2006), correspondem a uma sequência psamo-pelítica de deposição marinha rasa. Estas rochas foram agrupadas em duas fácies distintas: metapsamítica e metapelítica.

A fácies metapsamítica corresponde às cristas do tipo *hogback* que ocorrem de maneira isolada na porção centro-sul da Folha Ji-Paraná. É constituída por metarenitos arcoseanos de cor cinza esbranquiçada, anisotrópicos, que possuem granulometria de areia média (Figura II.16a), formados, predominantemente, por quartzo, plagioclásio, K-feldspato, além de muscovita e minerais pesados. Os metarenitos possuem uma foliação de baixo ângulo, pouco penetrativa, com mergulhos que em geral variam de 20 a 40°/WNW a WSW e direções em geral entre WNW/SSE a NNE/SSW. Em raras exposições, encontra-se muscovita quartzito, onde o grau de metamorfismo de fácies xisto verde promove a recristalização do quartzo, feldspatos e muscovita. Eventualmente, no topo das cristas de metarenitos, encontra-se metaconglomerados com seixos silicosos de formato elíptico, com cerca de 5 cm (eixo maior) x 3 cm (eixo menor), concordantes com a foliação da rocha.

Os afloramentos da fácies metapelítica são restritos, e em geral ocorrem como pequenos lajedos parcialmente cobertos pelo solo. Esta fácies também ocorre na porção basal de algumas cristas do tipo *hogback* formada por metapsamitos, no entanto o empilhamento desta unidade sugere que há

uma intercalação entre metapelitos e metapsamitos que foram tectonizados por falhas de empurrão com sentido de oeste para leste. São rochas muito friáveis, de cor marrom ocre a amarelo amarronzado com tons acinzentados, anisotrópicas, com granulometria de argila a silte, que foram classificadas como Metargilitos a Metassiltitos (Figura II.16b). Possuem uma foliação de baixo ângulo, provavelmente desenvolvida sobre laminações primárias preservadas na rocha que, de maneira similar aos metapsamitos, possuem mergulhos que variam de 20 a 40°/WNW a WSW e direções entre WNW/SSE a NNE/SSW. Eventualmente, os metargilitos exibem lentes métricas de metassiltitos, ou ainda níveis/camadas de ferro. Esta fácies encontra-se metamorfizada na fácies xisto verde.

Os principais registros de mineralizações da Formação Igarapé Lourdes estão relacionados à fácies metapelítica e incluem inúmeras ocorrências manganésíferas e níveis de ferro (Soeiro *et al.*, 1977; Quadros e Rizzotto, 2007). Os dados isotópicos U-Pb (LA-ICP-MS) obtidos em amostra de metarenito desta formação sugerem uma idade máxima de sedimentação em 1550 Ma (Costa *et al.*, 2014).

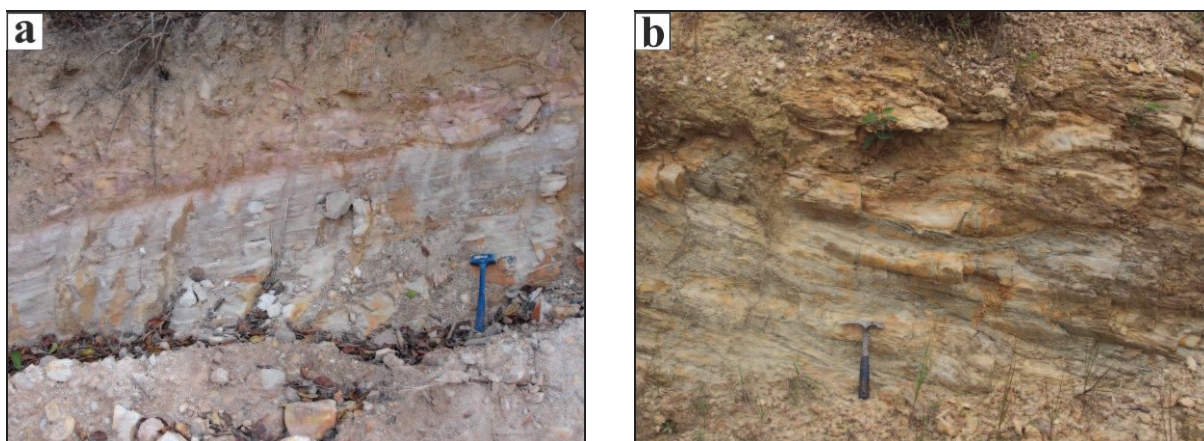


Figura II.16. Aspectos de campo das rochas metassedimentares da Formação Igarapé Lourdes – a) corte de estrada com exposição de sequência metapsamítica; b) corte de estrada com exposição de sequência metapelítica.

## II.5 FORMAÇÃO IGARAPÉ QUINZE

A Formação Igarapé Quinze foi definida pela primeira vez por Quadros *et al.* (2011) como um conjunto litológico predominantemente paraderivado e, subordinadamente, ortoderivado. Na área de estudo, os contatos da Formação Igarapé Quinze com as unidades mais antigas são tectônicos e difíceis de serem estabelecidos no campo em razão do seu elevado grau de intemperismo.

Esta formação é composta, predominantemente, por uma sequência metapsamo-pelítica formada por quartzitos micáceos (Figura II.17a) e xistos (Figura II.17b). Quadros *et al.* (2011) descrevem que esta sequência ocorre de maneira rítmica e formando faixas verticalizadas, de dimensões centimétricas a métricas de quartzito micáceo, fino a médio e faixas xistosas dominadas por

minerais micáceos, tendo quartzo e feldspatos disseminados ou como agregados granoblásticos em lentes ou níveis estirados. Comumente, estas rochas apresentam mobilizados quartzosos e graníticos, dispostos paralelos a subparalelos à foliação regional. Segundo Quadros *et al.* (2011) o metamorfismo que afetou as rochas da Formação Igarapé Quinze é condizente, pelo menos, com a fácies anfibolito superior. Os dados isotópicos U-Pb (LA-ICP-MS) obtidos em amostra de xisto desta formação sugerem uma idade máxima de sedimentação em 1367 Ma.

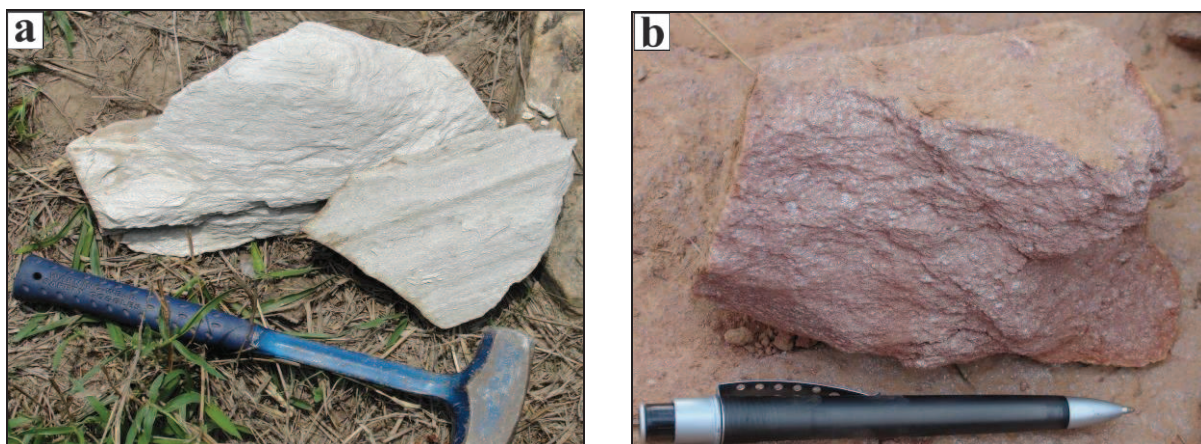


Figura II.17. Amostras de rochas metassedimentares da Formação Igarapé Quinze – a) amostra de mão de quartzito micáceo; b) amostra de mão de xisto.

## II.6 FORMAÇÃO PEDRA REDONDA

Os litotipos pertencentes à Formação Pedra Redonda ocorrem essencialmente em um vale localizado na porção central da área de estudo, com aproximadamente 60 km de comprimento (N-S) e largura média de 5 km. É limitado a norte pelos metassedimentos da Formação Igarapé Lourdes e nas demais adjacências pelos litotipos da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

O vale é essencialmente constituído por diamictitos (paraconglomerados polimíticos; Figura II.18a) suportados por matriz siltico-argilosa avermelhada com clastos de diferentes formas e tamanhos de granito rapakivi, riolito, arenito, quartzo, entre outros, que variam desde seixos a matacões, com predomínio daqueles de granulometria entre seixo e bloco, principalmente angulosos e, subordinadamente, subangulosos, além de esporádicos seixos facetados (tipo "ferro-de-engomar"). Análises palinológicas realizadas na matriz dos diamictitos/tilitos indicaram uma assembleia vegetal atribuída ao Permo-Carbonífero (Pinto Filho *et al.*, 1977). Esta formação também inclui arenitos arcoseanos, em geral de aspecto maciço (Figura II.18b), que esporadicamente podem apresentar inclusões de seixos e/ou fragmentos de rochas. Estes arenitos ocorrem, por vezes, silicificados e impõem um relevo positivo no interior do vale, em especial, na porção centro-sul da área.

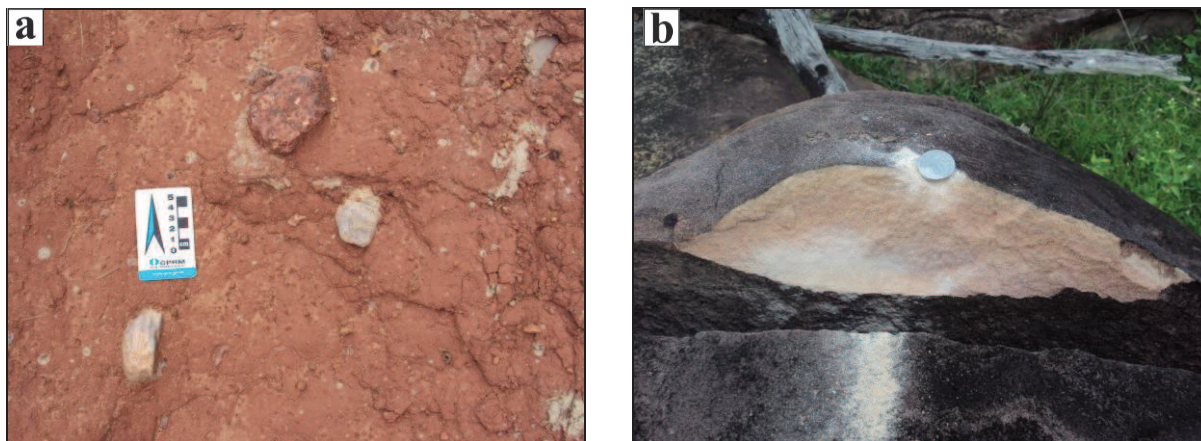


Figura II.18. Aspectos de campo de rochas da Formação Pedra Redonda – a) diamictito (paraconglomerado polimítico) fortemente alterado; b) arenito arcoseano.

## CAPÍTULO III

### ARTIGO SUBMETIDO À *JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES*

---

#### 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.

#### TÍTULO RESUMIDO: SERRA DA PROVIDÊNCIA COMPOSITE BATHOLITH – SW OF AMAZONIAN CRATON – RONDÔNIA – BRAZIL

Manoel Augusto Corrêa da Costa <sup>a</sup>, Maria Zélia Aguiar de Sousa <sup>b</sup>, Roberto Dall’Agnol <sup>c,d</sup>, Jaime E. Scandolara <sup>e</sup>, Amarildo Salina Ruiz <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Brazilian Geological Survey (CPRM), Rua Costa 55, 7° Andar. CEP 01304-010, São Paulo, SP, Brazil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Ciências Exatas e da Terra – (ICET), Avenida Fernando Corrêa, s/n, Bairro Coxipó. CEP 78060-900, Cuiabá, MT, Brazil.

<sup>c</sup> Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA). Caixa Postal 8608, CEP 66075-900, Belém, PA, Brazil

<sup>d</sup> Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável, Belém, Pará, Brazil

<sup>e</sup> Brazilian Geological Survey (CPRM), SGAN 603, 1° Andar. CEP 70830-039, Brasília, DF, Brazil.

**ABSTRACT** – The Serra da Providência batholith includes the type area of the homonymous suite, the oldest rapakivi magmatic assemblage in the SW of the Amazonian craton (1.60–1.53 Ga). In the midwest portion of this massif, besides wiborgites/pyterlites and granophyric syenogranites, a leucosyenogranite facies and porphyritic rhyolites constitute new rock varieties recently described in that area. U–Pb LA-MC-ICP-MS zircon ages of 1574±9 Ma and 1604±3 Ma, respectively, were obtained for these new varieties and confirm their link with the Serra da Providência magmatism, whereas the subvolcanic rocks are older than the main rock varieties and were formed in a precursor event. These granitic facies are metaluminous to peraluminous, alkali-calcic, A2-type, ferroan granites. Their FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) ratios vary from 0.83 to 0.98 and suggest that these rocks were crystallized from oxidized- to reduced-A-type magmas, where the leucosyenogranites and granophyric sienogranites tend to be formed under more reduced conditions. They show fractionated REE patterns with very pronounced to weak negative Eu anomalies. The presence of granophyric textures and miarolitic cavities in equigranular syenogranitic facies suggests that these rocks were formed at shallow crustal depths, lower than 3 km. Three samples of leucosyenogranite have silica contents higher than 75% and low K/Rb ratios (<150), similarly to the tin specialized granites described in the Amazonian craton. Two distinctive groups of mafic rocks were recognized in the study area: porphyritic and equigranular gabbro-norites. They correspond to tholeiitic basalts, with #Mg varying from 37 to 41 in porphyritic gabbro-norites and 51 to 65 in equigranular gabbro-norites. The low to moderate #Mg suggests that these rocks were crystallized from more evolved basaltic

magmas. The porphyritic gabbrogranites are enriched in  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  and REE compared to the equigranular gabbrogranites that are enriched in  $\text{MgO}$  and  $\text{CaO}$ . The porphyritic gabbrogranites have significant negative Eu anomalies a feature not observed in the equigranular gabbrogranites. Porphyritic gabbrogranites geochemical characteristics are similar to calc-alkaline basalts, whereas equigranular gabbrogranites are similar to continental basalts. Petrographic, geochemical, and geological data of the felsic facies and the presence of associated mafic rocks corroborate the bimodal and post-collisional character of this magmatism. The occurrence of porphyritic rhyolites associated with shallow level plutonic granites in the Serra da Providência batholith reinforces the similarities between the Rondonian granites and the classical Fennoscandian rapakivi granites.

Keywords: Serra da Providência composite batholith, Geochemistry, U-Pb Geochronology, Rapakivi granites, Rhyolites.

### III.1. Introduction

Rapakivi magmatic assemblages occupy large areas in the Amazonian craton and represent an important stage in Precambrian tectonic evolution and crustal growth. They correspond to anorogenic or post-collisional A-type granites with emplacement ages between 1.88 and 1.0 Ga (Dall'Agnol *et al.*, 1999). The younger rapakivi suites are situated in the southwestern border of the Amazonian craton and show ages between 1.6 and 1.0 Ga, with very important tin deposits associated to the Neoproterozoic anorogenic 'Younger' A-type granites (Bettencourt *et al.*, 1999). The Rondonia region has the largest occurrences of rapakivi granites and related rocks in the Amazonian craton. Nevertheless, detailed geological studies, including geochemical, geochronological and metallogenic aspects, are generally limited to the 'Younger' tin-granites and are particularly scarce in the Mesoproterozoic, A-type granite suites, so far, devoid of significant associated mineralizations. In this context, a relevant exception is the study of the early Mesoproterozoic mangerite-charnockite-rapakivi granites and associated gabbros of the Serra da Providência Suite (1.60-1.53 Ga), which are related to a post-collisional magmatism (Scandolaro *et al.*, 2013). The Serra da Providência batholith is situated along the border of the Rondonia and Mato Grosso states of Brazil. Rizzotto *et al.* (1996) distinguished four main facies within this batholith: pyterlites, wiborgites, porphyritic monzogranites and granophyric syenogranites (facies classification scheme according to Rämö and Haapala, 1995).

Costa and Figueiredo (2011) showed the presence of more differentiated rocks in the Serra da Providência batholith. Recently, the Geological Survey of the Brazil (SGB/CPRM) held systematic geologic studies in the midwest portion of this massif, reevaluated the distribution of different granitic varieties and described new subvolcanic rocks associated with the previous recognized facies (Figueiredo *et al.*, 2014). Vorm (1976) demonstrated that the rapakivi batholiths are composite bodies and discussed for each rapakivi massif taken separately, the importance of the emplacement time gap and the differentiation of intrusive phases. Moreover, in the Suursaari island, located just to the south of the 1.65-1.62 Ga Wiborg rapakivi batholith in the Fennoscandian shield, occurrences of basal conglomerates and associated basalt and quartz porphyries (the latter have U-Pb zircon age of  $1633 \pm 2$  Ma and was considered as coeval with the batholith; Rämö *et al.*, 2007) have also been described (Pokki *et al.*, 2013). This reinforces the interest of a detailed geochemical study of the different granite facies and associated subvolcanic porphyries in the Serra da Providência Suite.

This paper describes in detail the midwestern sector of the Serra da Providência batholith in terms of geology, petrography, and geochemistry of different varieties, which include mafic and felsic plutonic and also felsic volcanic rocks. The ages of the new introduced varieties, leucosyenogranite and porphyritic rhyolites are also presented. The compositional range and general characteristics of the rapakivi magmatism in the midwestern sector of the Serra da Providência Suite was defined and metallogenic aspects and the degree of oxidation of their magmas are also discussed. This will contribute to the understanding of the geochemical characteristics and magmatic differentiation of the rapakivi magmatism in the Rondonian Province of the Amazonian Craton.

### III.2. Geologic background

The Amazonian craton covers about 5.6 million square kilometers in most of northern Brazil, where it includes Brasil-Central Shield and part of Guyana Shield (Bizzi *et al.*, 2004).

According to Santos *et al.* (2008), the Amazonian craton was formed from an Archean core, with successive accretion and amalgamation of younger mobile belts during the Proterozoic, namely (Fig. III.1): Carajás (Archean province, 3.1 – 2.53 Ga); Central Amazon (Archean?); Transamazonic (2.26 – 2.01 Ga); Tapajós – Parima (2.03 – 1.88 Ga); Rio Negro (1.82 – 1.52 Ga); Rondônia – Juruena (1.80 – 1.50 Ga); Sunsás (1.45 – 1.10 Ga).

The study area is located in the southwestern region of the Amazonian craton, into the Rondônia – Juruena province (1.80 to 1.50 Ga; Santos *et al.* 2000, 2008). This province was generated in the Statherian and it was interpreted as related to a subduction tectonic setting and divided in three major domains (Santos *et al.*, 2008): Jamari, Roosevelt/Juruena and Alto Jauru. The Serra da Providência batholith is situated at the boundary between Jamari and Roosevelt/Juruena domains (Fig. III.2), and the main tectono-thermal events identified in the evolution of the Jamari domain were also registered in the Serra da Providência massif (Scandolaro, 2006).

The Jamari domain was formed during an orogeny named Juruena or Jauru (1.78-1.74 Ga, Bizzi *et al.*, 2004) or Madeirinha (1.78-1.63, Scandolaro *et al.*, 2011) and is interpreted as a continental margin magmatic arc (Scandolaro, 2006). The basement of this domain comprises high-grade metamorphic rocks of the Jamari Complex (Isotta *et al.*, 1978) and Quatro Cachoeiras Complex (Quadros *et al.*, 2011), besides metavolcanosedimentary sequences of the Mutum Paraná Formation (Lobato *et al.*, 1966). The Serra da Providência Suite is intrusive in the two above mentioned complexes and marks the end of the magmatic arc formation period (Scandolaro *et al.*, 2013).

The Jamari domain was reworked at least by four major tectono-thermal events (Santos *et al.*, 2008): Quatro Cachoeiras collisional event (1.67-1.63 Ga); Santa Helena orogeny (1.46-1.42 Ga); Candeias orogeny (1.37-1.32 Ga); and Sunsás-Nova Brasilândia orogeny (1.20-1.10 Ga). The Serra da Providência Suite (SPS) correspond to an extensive bimodal, A2 type, subalkaline, metaluminous to slightly peraluminous, oxidized, post collisional magmatism (Scandolaro *et al.*, 2013), linked to the final stage of the Quatro Cachoeiras collisional event (Santos *et al.* 2008; Quadros *et al.*, 2011). The SPS was emplaced between 1600 and 1530 Ma (Scandolaro, 2006) and includes mangerites, quartz mangerites, charnockites, hornblende-biotite and biotite rapakivi granites, with associated gabbros.



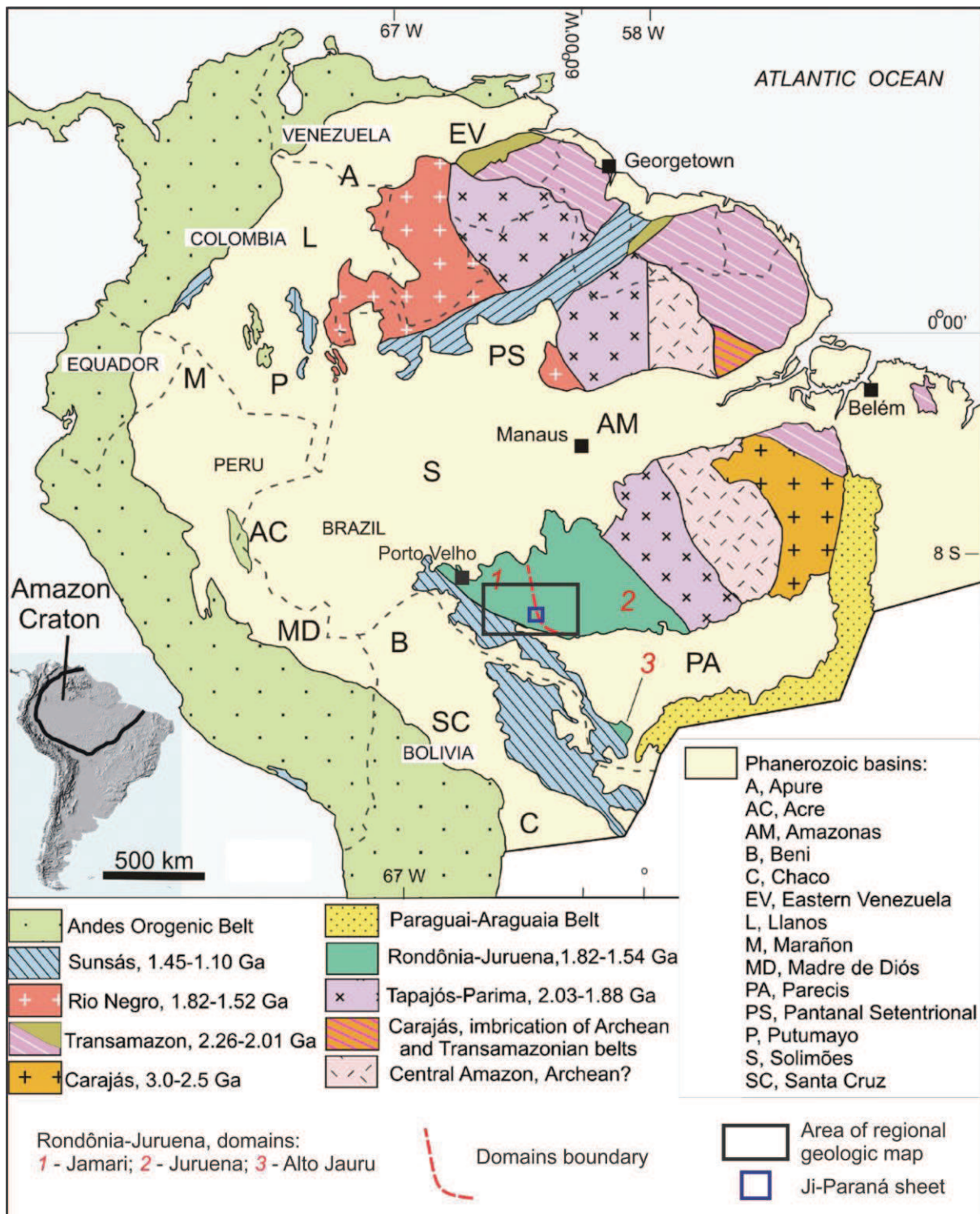


Fig. III.1 – Geochronological provinces of the Amazonian Craton, according to Santos *et al.* (2008, modified). The area of the regional geologic map presented in Figure 2 corresponds to the black rectangle.

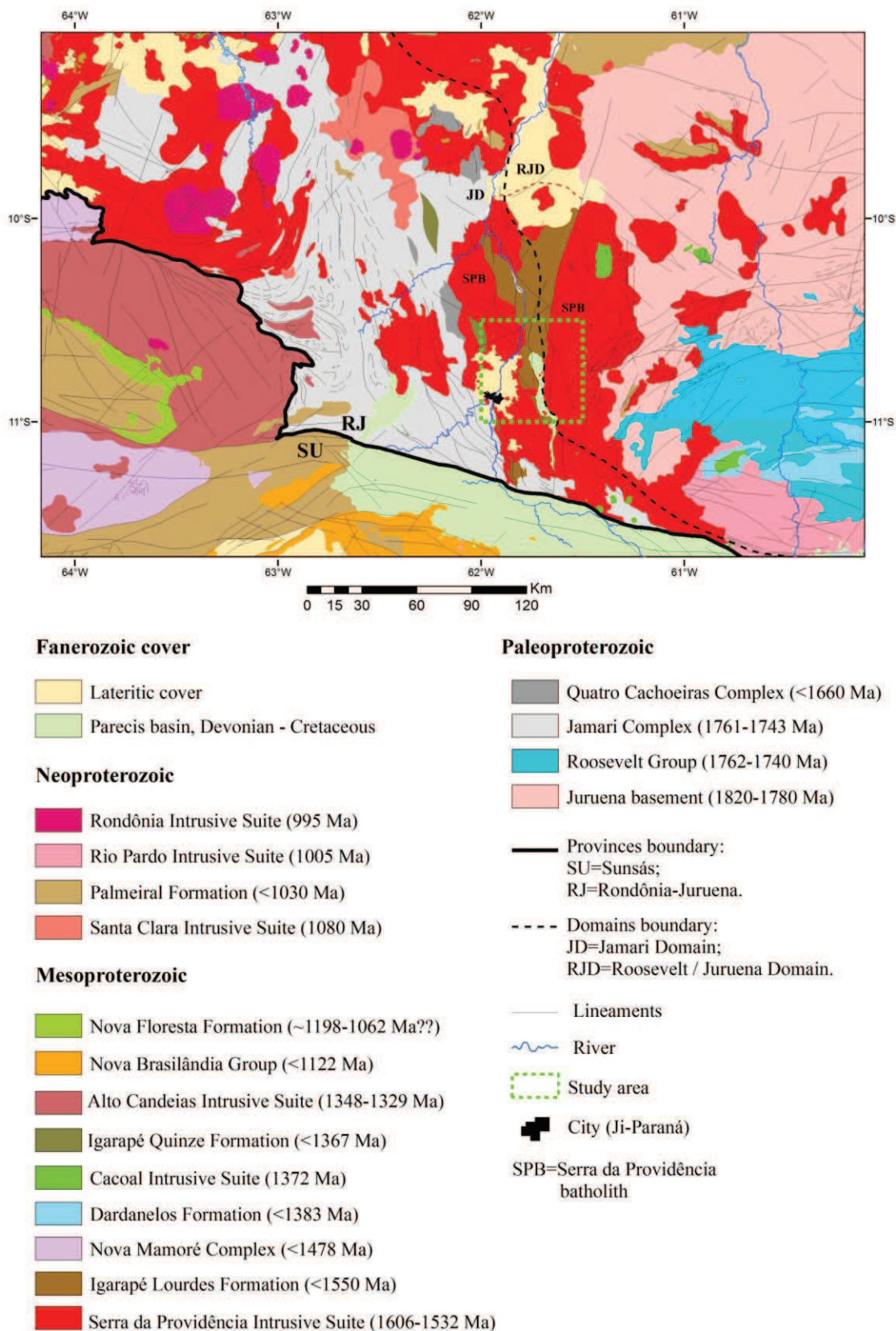


Fig. III.2 – Regional geologic map of the study area (modified from Quadros & Rizzotto, 2007; Lacerda Filho *et al.*, 2004). See Fig. III.1 for location. The area of the geologic map presented in Figure III.3 corresponds to the green rectangle (Ji-Paraná sheet).

### III.3. Analytical procedures

#### III.3.1. Whole-rock geochemistry

32 whole rock analyses of representative samples of the Midwestern sector of the Serra da Providência batholith (Tables 2–4) were performed at SGS-GEOSOL laboratory, in Brazil. Major elements were analyzed by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, following a Lithium metaborate/tetraborate fusion and dilute nitric digestion. Trace-elements (including the rare-earth elements) were analyzed by Inductively Coupled Plasma Atomic Mass Spectrometry following a Lithium metaborate/tetraborate fusion and nitric acid digestion. Precious and base metals were analyzed by ICP Mass Spectrometry. Chemical diagrams were generated using the GCDkit software, version 3.0 (Janousek *et al.*, 2003).

#### III.3.2. U – Pb isotopic analyses

Preparation and separation of zircon concentrates were done at the LAMIN/CPRM laboratory, Porto Velho, Brazil. The isotopic analyses were performed at Geochronology Laboratory of the University of Brasília (Sample CC-23) and Isotopic Geology Laboratory of the University of Rio Grande do Sul (sample MC-462). Isotopic analyses were carried out on a Thermo-Finnigan multicollector mass spectrometer with coupled Laser Ablation System (New Wave Research, USA) Nd-YAG ( $\lambda=213$  nm). The ablation was held in spots 30  $\mu\text{m}$ , with frequency of 10 Hz and intensity from 0.19 to 1.02 J/cm<sup>2</sup>. The pulverized material was charged in a flow of He (0.40 ~ L/min) and Ar (~ 0.90 L/min). All analyzes used the international standard GJ-1 to correct the drift of the equipment, as well as the fractionation between U and Pb isotopes. The software ISOPLOT, version 3.0 (Ludwig, 2003) was used for the age calculation. Errors for isotopic ratios were 2 $\sigma$ . UQZ and Temora standards (for samples MC-462 and CC-23, respectively) were utilized for accuracy verification of the analyses.

### III.4. Geology and petrography

The Serra da Providência batholith is situated along the border of the Rondônia and Mato Grosso states (Brazil) and includes the typical area of the Serra da Providência Suite. It is an elongated, ca 140 km long by ca 40 km wide, oval-shaped batholith (Bettencourt *et al.*, 1999). The rocks of the suite intruded metamorphic rocks of the Jamari Complex, as well as paleoproterozoic granitic rocks of the Juruena basement (Fig. III.2). The western/southwestern border of the Serra da Providência batholith (including the study area) was affected at 1.20-1.15 Ga by amphibolite-facies deformation, related to the Ji-Paraná Transpressive shear zone (Tohver *et al.*, 2002, 2005a,b; Scandolaro, 2006).

Five felsic facies and two distinct groups of associated mafic rocks were identified during geological mapping in the 1:100,000 scale (Fig. III.3). The felsic facies were classified as wiborgites/pyterlites, granophyric syenogranites, leucosyenogranites, and porphyritic rhyolites, whereas the two latter varieties constitute new facies described in this region. Porphyritic rhyolites are spatially associated with granophyric syenogranites, whereas this latter is associated with pyterlites and wiborgites. Pyterlites occur predominantly in the

eastern part, and wiborgites are more restricted to the western portion. These rocks are distinguished by the larger (Wiborgites) or lesser (Pyterlites) abundance of mantled alkali-feldspar ovoids following their original definition (Vorma, 1976; Rämö and Haapala, 1995, and references therein). However, the strong variation in short distances of the abundance of mantled ovoids does not permit to individualize these rocks in different facies in the geological maps at the employed scale. Leucosyenogranites are associated with granophyric syenogranites and pyterlites. Contacts between the facies are usually hidden, as well as with the mafic rocks. Deformed rocks occur in the western portion of the study area, which have a low relief and poor rock exposition. These rocks exhibit a penetrative mylonitic foliation, but still preserve strong similarities with undeformed facies described in the eastern portion of the study area. The eastern sector corresponds to the southern portion of the Serra da Providência batholith with show comparatively higher relief and abundant rock outcrops.

Metasedimentary rocks of the Igarapé Lourdes Formation outline the limit of deformation within Serra da Providência batholith in this region, as well as Phanerozoic covers of the Pedra Redonda Formation.

#### *III.4.1. Pyterlites and wiborgites*

These rocks exhibit a gray to pink color in hand samples (Fig. III.4a, b). This is the main facies with rapakivi textures in the Serra da Providência batholith. They are coarse-grained porphyritic monzogranites to syenogranites, with large rounded alkali-feldspar ovoids (2 – 3 cm) often surrounded by plagioclase mantles (Figs. 4a, 6a). These ovoid phenocrysts can also contain biotite inclusions and develop poikilitic textures. The medium- to fine-grained matrix comprises quartz, alkali-feldspar, plagioclase, biotite, hornblende, titanite, apatite, zircon and opaque minerals (Fig. III.6b). A common feature in these rocks is the presence of rounded microgranular mafic enclaves (10 – 20 cm; Fig. III.5a). When affected by shear zones, these rocks exhibit a mylonitic to augen texture (Fig. III.4b), and are classified as mylonitic wiborgites/pyterlites.

#### *III.4.2. Granophyric syenogranites*

These rocks exhibit a remarkable homogeneity, being composed essentially of medium-grained equigranular syenogranites, with a pink to red color (Fig. III.4c, d). They show granular hypidiomorphic to xenomorphic textures, and consist of perthitic alkali-feldspar, quartz and plagioclase; biotite is the main mafic mineral, and the accessory minerals are apatite, titanite, zircon, fluorite and opaque minerals. A common feature in these rocks is the presence of granophyric textures (Fig. III.6c). Rapakivi textures are uncommon. Biotite crystals are strongly altered to chlorite, and some plagioclase crystals are affected by saussuritization.

#### *III.4.3. Leucosyenogranites*

This is the more evolved facies in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith. It occupies relatively high-relief areas and display the more accentuated positive airborne geophysical radiometric anomalies in the study area. These rocks show a pink or gray color in hand samples (Fig. III.4e, f). They are composed by medium- or coarse-grained

equigranular syenogranites, with mesoperthite, biotite (as main mafic mineral), in addition to allanite, apatite, titanite, zircon, fluorite, tourmaline, and opaque minerals (Fig. III.6d, 6e). Occasionally, rapakivi textures are present. An isolated topaz crystal was identified in the sample EI-124A. Mirolitic cavities containing quartz and tourmaline (schorl) are common in these rocks (Fig. III.5b). According to Kinnunen *et al.* (1987), the cavities have almost always leaked and are thus contaminated with later fluids present in the crust during uplift.

#### *III.4.4. Porphyritic rhyolites*

These rocks show a gray color and massive aspect in the isotropic hand samples (Fig. III.4g). They are porphyritic to glomeroporphyritic, medium- to coarse-grained phenocrysts of anhedral quartz, perthitic alkali-feldspar and plagioclase (albite to oligoclase). The phenocrysts are generally subhedral or euhedral, with evidence of intense magmatic corrosion, such as embayment and gulfs. The groundmasses are fine-grained or felsitic and mainly consist of plagioclase, quartz and alkali-feldspar with occasionally granophyric to graphic textures, in addition to biotite, hornblende, allanite, apatite, titanite, zircon, chlorite, epidote, sericite, calcite, fluorite and opaque minerals (Fig. III.6f). Fine aggregates of green hornblende, associated or replaced by biotite brownish to green, may occur partially altered to chlorite. Mylonitic rhyolites in the west portion of the study area (Fig. III.4h) are marked mainly by recrystallization of quartz, alkali feldspar, plagioclase and biotite.

#### *III.4.5. Associated mafic rocks*

There are two distinctive groups of associated mafic rocks in the study area. They are distinguished by their mode of occurrence. The first variety occurs as 10-50 km long NNW-SSE dikes in the undeformed portion of the Serra da Providência batholith. These dikes can be recognized in negative airborne geophysical radiometric anomalies. The second constitutes small bodies in the western border of the batholith. According to Scandolaro *et al.* (2013), these bodies occur as deformed stocks within foliated granitic facies in the study area. The dominant rocks in these stocks are fine- to medium-grained equigranular gabbro-norites (Fig. III.7a, b) with subophitic to intergranular textures and composed of plagioclase, orthopyroxene, clinopyroxene, biotite, titanite, apatite, and opaque minerals (Fig. III.7e, f). Along the grain boundaries, it is common in some cases the partial replacement of pyroxenes by amphibole (meta-gabbros). The dikes consist mainly of porphyritic gabbro-norites (Fig. III.7c, d), with medium- to coarse-grained phenocrysts of subhedral or euhedral plagioclase in a fine-grained matrix with ophitic/subophitic to intergranular texture, composed of plagioclase, orthopyroxene, clinopyroxene, biotite, titanite, apatite, and opaque minerals. In general, pyroxenes are strongly altered to fibrous tremolite/actinolite (with associated chlorite) (Fig. III.7g), except for the sample EI-206, where the crystals are well preserved of the alteration (Fig. III.7h).

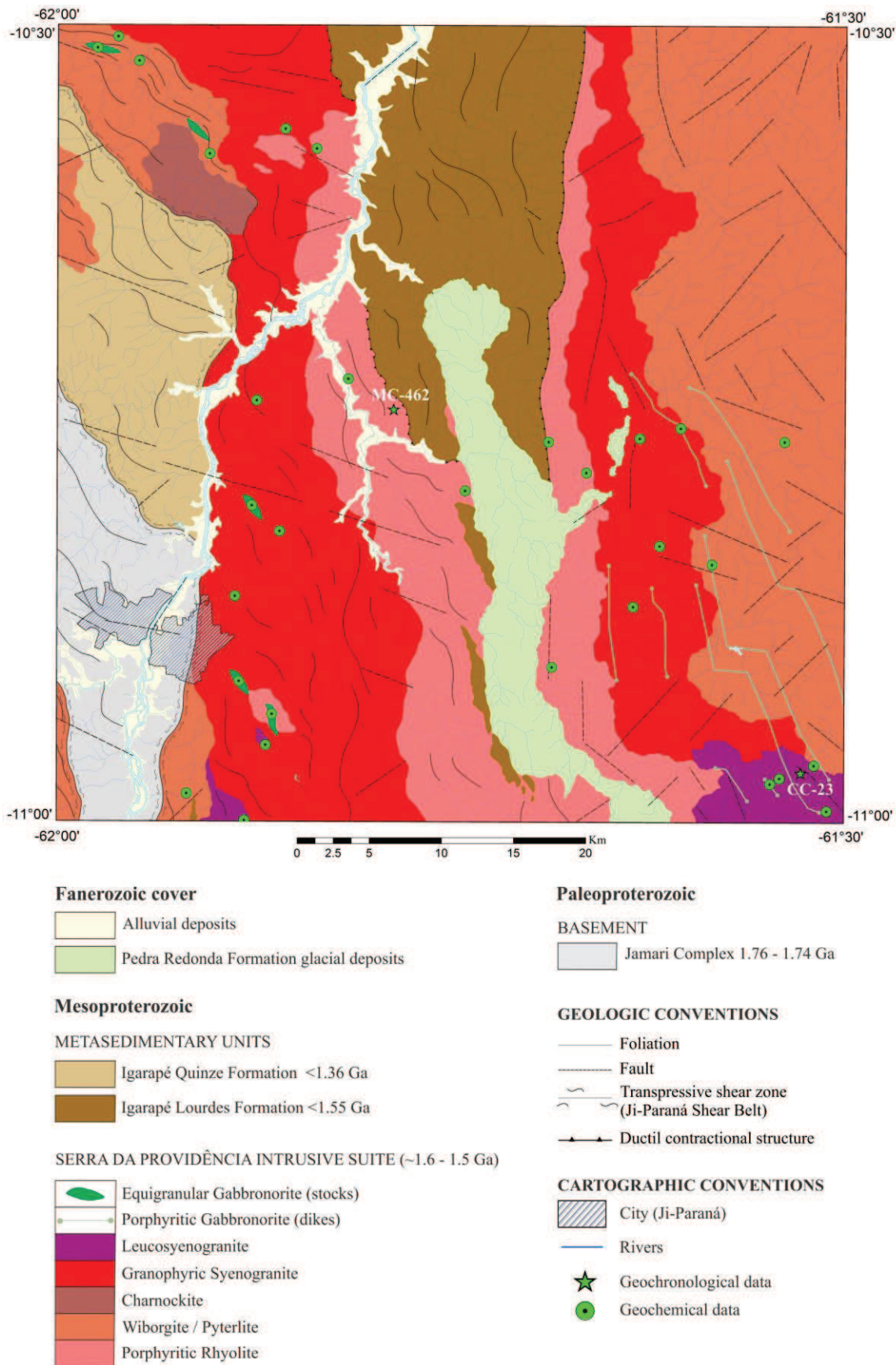


Fig. III.3 – Geologic map of the study area (Ji-Paraná sheet; modified from Figueiredo *et al.*, 2014). See Fig. III.2 for location.

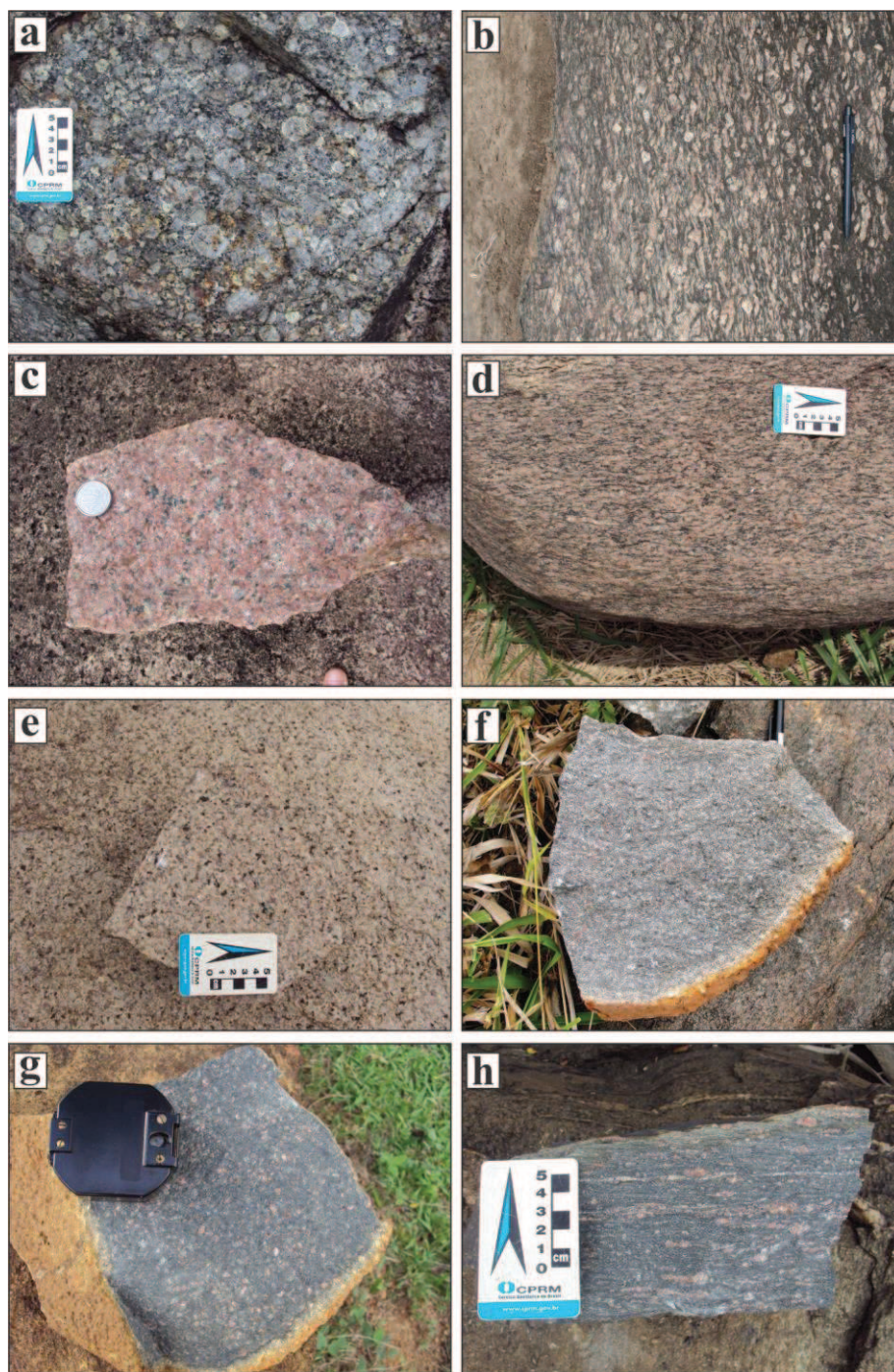


Fig. III.4 – Aspects of the main rock varieties exposed in the midwest portion of the Serra da Providência batholith: a) wiborgite with ovoids of sodic plagioclase mantled orthoclase (rapakivi texture); b) mylonitic wiborgite; c) granophyric syenogranite; d) mylonitic syenogranite; e) leucosyenogranite; f) mylonitic leucosyenogranite; g) porphyritic rhyolite; h) mylonitic porphyritic rhyolite.

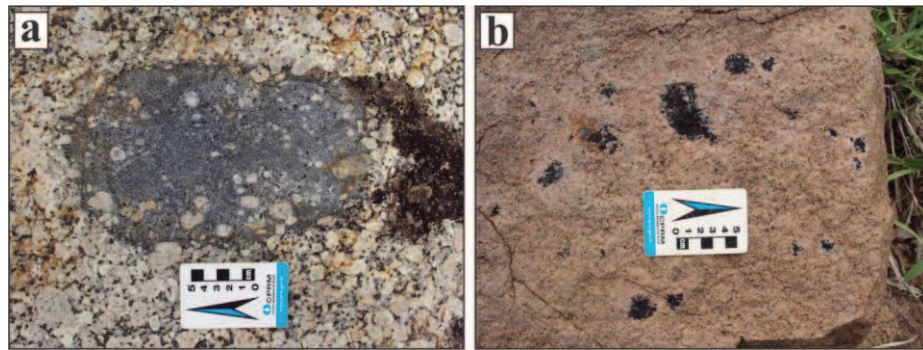


Fig. III.5 – Field aspects of specific facies in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith: a) rounded microgranular mafic enclave with xenocrysts incorporated from the surrounding wiborgite, evidence for mingling between wiborgite and mafic magmas; b) mirolitic cavities containing quartz and tourmaline in leucosyenogranite.

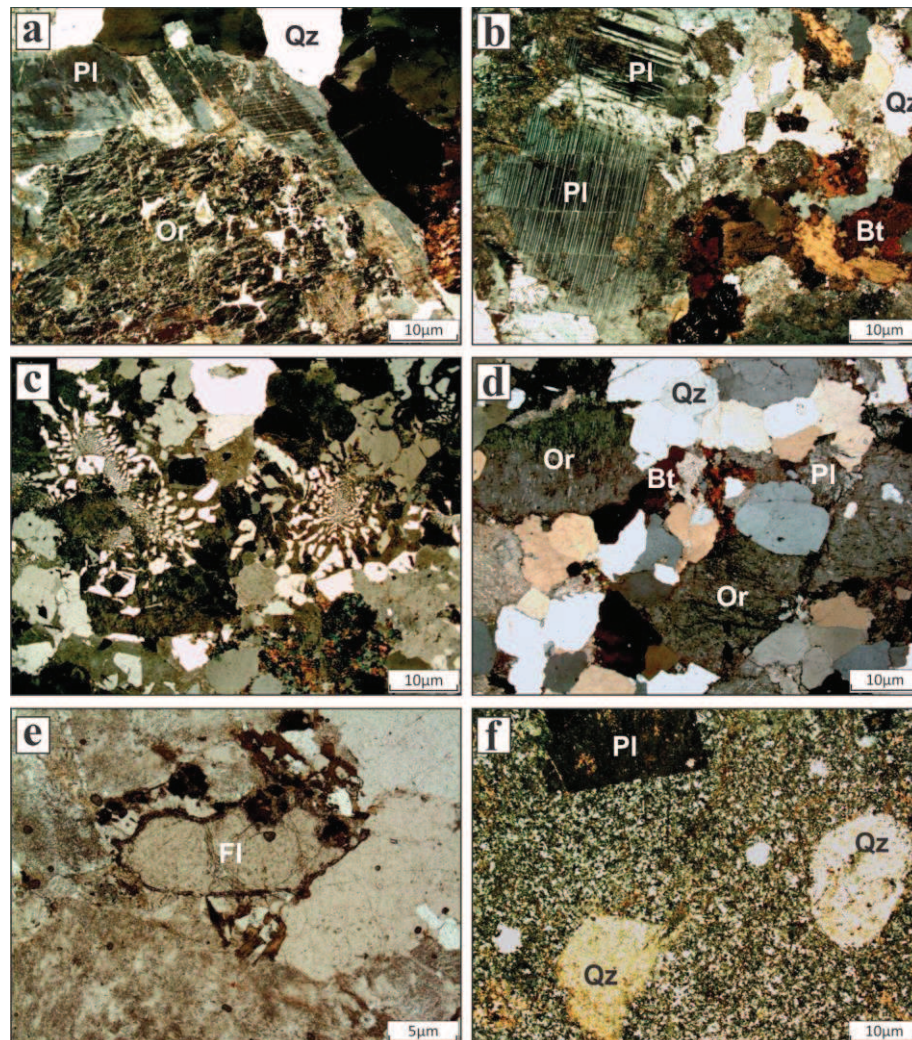


Fig. III.6 - Photomicrographs illustrating the main facies in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith: a) rapakivi texture in wiborgite; b) aspect of the matrix in wiborgite; c) granophyric texture in syenogranite; d) equigranular texture in leucosyenogranite; e) fluorite in leucosyenogranite; f) porphyritic texture in rhyolite.



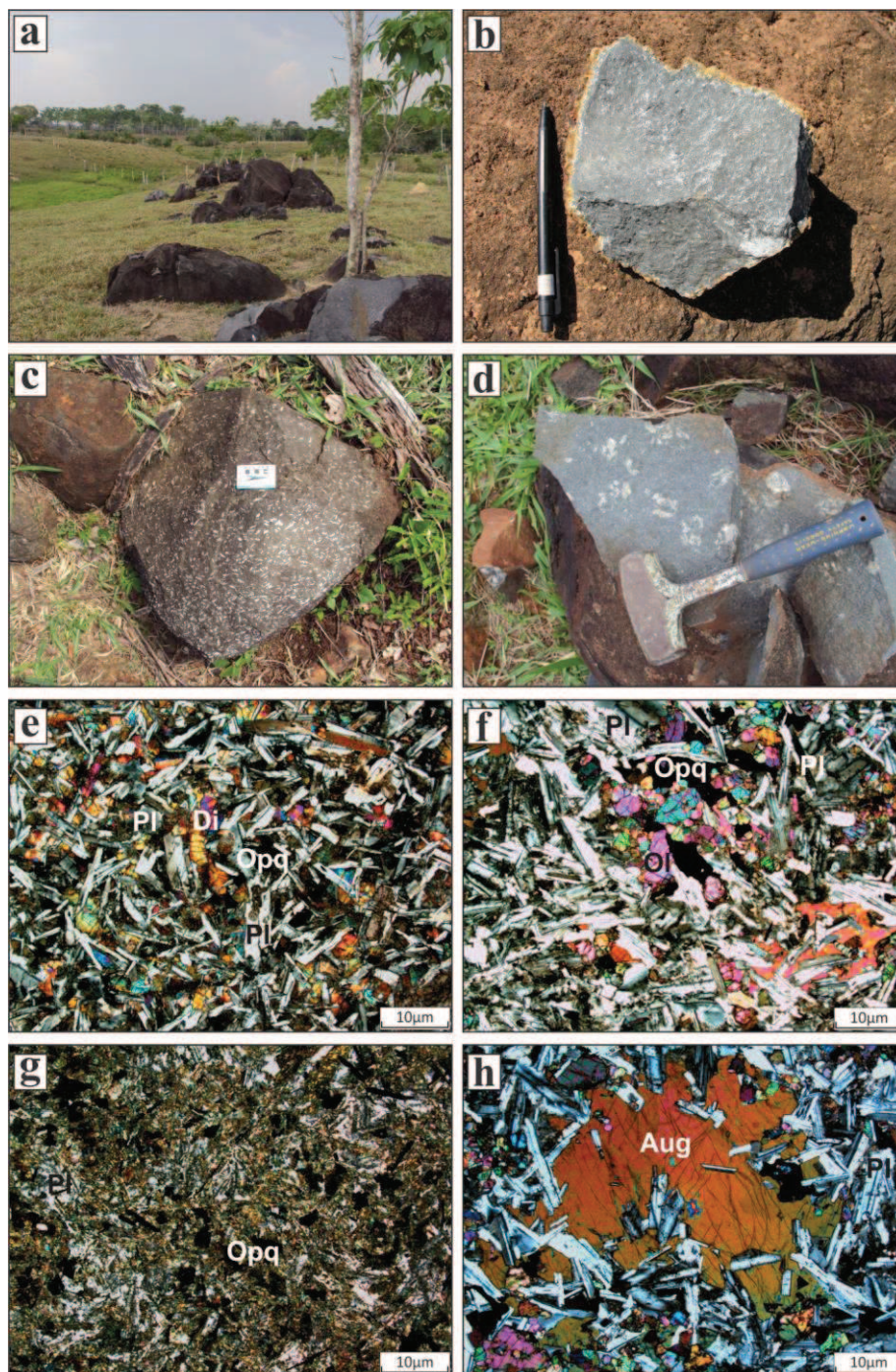


Fig. III.7 – Field aspects and photomicrographs of the mafic rocks in the midwestern portion of the Serra da Providência batholith: a, b) field aspects of the equigranular gabbronorites; c, d) field aspects of the porphyritic gabbronorites; e, f) photomicrographs illustrating subophitic to intergranular texture in equigranular gabbronorites; g) intergranular texture in a strongly altered porphyritic gabbronorite; h) ophitic texture in a porphyritic gabbronorite. Mineral abbreviations as described by Kretz (1983).

### III.5. U–Pb zircon geochronology

#### III.5.1. Available geochronological data

Five U–Pb ages on zircon grains were obtained by Bettencourt *et al.* (1999) in the Serra da Providência batholith. A porphyritic biotite syenogranite has an age of  $1606 \pm 24$  Ma and was considered the oldest intrusive phase dated within batholith. A porphyritic hornblende–biotite monzogranite (pyterlite) has an age of  $1566 \pm 5$  Ma. A porphyritic hornblende–biotite monzogranite (wiborgite) also has an age of  $1566 \pm 3$  Ma. However, the leucosyenogranite facies and associated porphyritic rhyolites (described in this work) have no available geochronological data in the literature.

Recently, Costa *et al.* (2014) provide new U–Pb geochronological data on detrital zircons from the metasedimentary rocks that occur in the deformed portion of the Serra da Providência batholith (Igarapé Lourdes Formation). They indicate a maximum depositional age of 1550 Ma, which can be considered as coeval with the latest intrusive phases of the Serra da Providência magmatism (1.60 – 1.53 Ga).

#### III.5.2. New geochronological data for the Serra da Providência batholith

The samples MC-462 and CC-23 were chosen to determine the emplacement age of the porphyritic rhyolites and leucosyenogranite facies, respectively (Table 1). For the sample MC-462, zircon grains are euhedral and prismatic in shape and width/length ratios varying from 3:1 to 4:1 (Fig. III.8a). Sixteen U–Pb LA-MC-ICP-MS analyses were obtained, where four spots were excluded due great errors in the isotopic ratios or elevated values in the degree of discordance. The Th/U ratios vary from 0.10 to 0.16 (compatible with igneous origin). Twelve spots define a discordia line (MSWD = 0.48) with upper intercept at  $1604 \pm 3$  Ma, which is estimated as the crystallization age of this sample. For the sample CC-23, zircon grains are euhedral or subhedral and width/length ratios varying from 3:1 to 4:1 (Fig. III.8b). Nine U–Pb LA-MC-ICP-MS analyses were obtained, and Th/U ratios vary from 0.15 to 0.20. Eight spots define a discordia line (MSWD = 0.98) with upper intercepts at  $1574 \pm 9$  Ma, which is interpreted as the crystallization age of this sample. One lone spot gave a concordia age at 1729 Ma and suggest the presence of inherited older zircons or xenocrystals from country rocks of the Paleoproterozoic basement.

These new data are in agreement with the emplacement time gap obtained by Bettencourt *et al.* (1999) in the Serra da Providência batholith, which varies from 1606 to 1554 Ma (during ca 50 million years). Leucosyenogranites, the more evolved facies, may correspond to the youngest intrusive phase within this massif.

**Table III.1**  
Summary of LA-ICP-MS U-Th-Pb results for zircons of the samples CC-23 and MC-462.

Facies	Sample	Zircon n°/Spot (1-core; 2-rim)	Isotopic ratios									Ages						
			Th/U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1s (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1s (%)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1s (%)	$\rho$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1s (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1s (%)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1s (%)	Conc (%)
Leucosyenogranite	CC-23	2	0.15	133526	0.097270	0.57	4.946	1.17	0.368778	1.02	0.86	1572	11	1810	10	2024	18	128.70
		3	0.17	526381	0.097097	0.43	4.657	1.12	0.347838	1.04	0.92	1569	8	1760	9	1924	17	122.64
		04-1	0.20	174058	0.097343	0.57	4.077	0.99	0.303772	0.82	0.80	1574	11	1650	8	1710	12	108.65
		04-2	0.29	194037	0.096029	0.62	3.836	1.56	0.289742	1.44	0.92	1548	12	1600	13	1640	21	105.94
		5	0.21	160035	0.097615	0.44	3.368	1.23	0.250263	1.15	0.93	1579	8	1497	10	1440	15	91.18
		6	0.21	218350	0.097430	0.41	4.781	1.19	0.355917	1.12	0.93	1575	8	1782	10	1963	19	124.58
		06-2	0.19	87931	0.097760	0.56	3.894	2.32	0.288927	2.26	0.97	1582	10	1613	19	1636	33	103.44
		7	0.21	227888	0.097432	0.44	4.125	0.81	0.307094	0.68	0.80	1576	8	1659	7	1726	10	109.57
		8	0.27	166145	0.105865	1.04	4.594	2.38	0.314752	2.14	0.90	1729	19	1748	20	1764	33	102.00
Milonitic rhyolite	MC-462	25	0.12	24873.00	0.09657	0.80	3.722	1.40	0.27395	1.2	0.82	1558.9	14.7	1576.1	11.2	1557.3	16.4	99.12
		26	0.15	51367.00	0.09664	1.10	3.8043	1.50	0.2798	1.0	0.84	1560.2	19.9	1593.7	11.8	1586.7	14.4	101.70
		28	0.14	45406.00	0.09607	0.80	3.8851	1.50	0.28743	1.3	0.84	1549.2	14.7	1611	12.1	1624.8	18.6	104.88
		29	0.13	21033.00	0.09749	0.70	3.8951	1.20	0.28398	1.0	0.81	1576.6	12.8	1612.7	9.7	1607.6	14.3	101.97
		31-2	0.1	31581.00	0.09767	1.30	3.8736	1.90	0.28189	1.4	0.88	1580.1	23.9	1608	15.4	1597.2	20.4	101.08
		33	0.11	34847.00	0.09742	0.70	3.8502	1.40	0.28091	1.2	0.85	1575.3	13.5	1603.3	11.3	1592.2	17.3	101.07
		35-1	0.12	34880.00	0.09753	0.70	3.9531	1.40	0.28809	1.2	0.87	1577.4	12.2	1624.6	11	1628.1	17.5	103.22
		35-2	0.11	57406.00	0.09615	0.70	3.8541	1.20	0.28489	1.0	0.81	1550.8	13.2	1604.1	10	1612.2	14.9	103.96
		37	0.12	45452.00	0.09584	0.80	3.8714	1.50	0.28711	1.2	0.92	1544.6	14.3	1607.7	11.8	1623.2	18.2	105.09
		43	0.16	60438.00	0.09661	0.70	3.9059	1.60	0.28736	1.4	0.90	1559.7	12.8	1614.9	12.9	1624.5	21	104.15
		45	0.15	26377.00	0.09634	0.70	3.7988	1.60	0.28025	1.4	0.89	1554.5	13.6	1592.5	13	1588.9	20.7	102.22
		44	0.1	43994.00	0.0976	0.60	3.8815	1.30	0.28267	1.2	0.90	1578.7	10.7	1609.8	10.8	1601	17.4	101.41

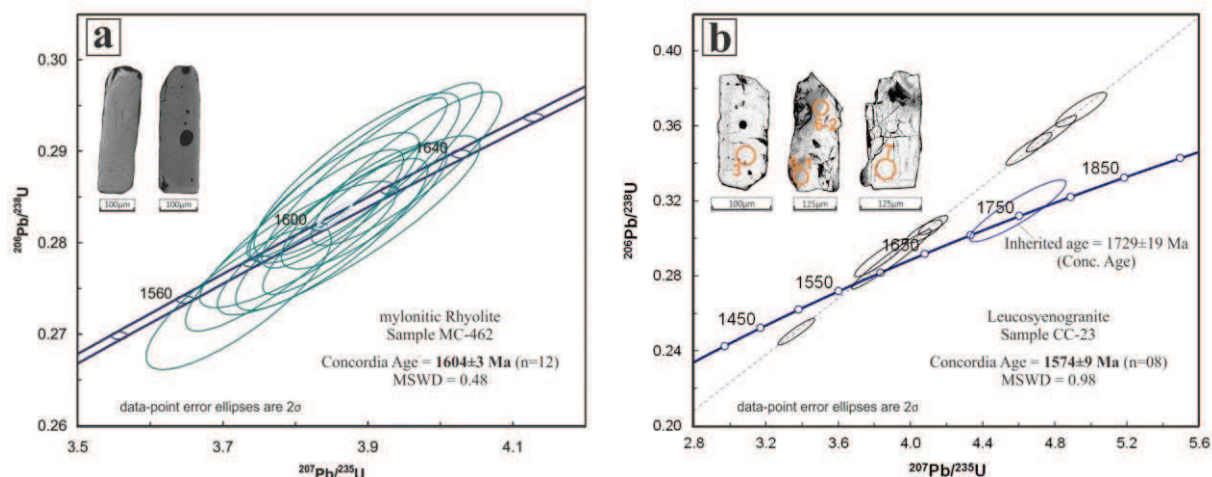


Fig. III.8 – Diagrams for the samples dated from the Serra da Providência batholith: a) U-Pb concordia diagram for zircon analytical results for sample MC-462 (mylonitic Rhyolite); b) U-Pb concordia diagram for zircons showing discordia line for zircon from sample CC-23 (Leucosyenogranite). The inserts in Fig. 8a show representative backscattering images of zircon grains. The inserts in Fig. 8b show representative cathodoluminescence images of zircon grains.

### III.6. Geochemistry

#### III.6.1. Felsic rocks

The 25 analyses in felsic rocks (Tables 2–3) show a wide range of chemical composition, with  $\text{SiO}_2$  varying from 68 to 79 wt.%.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{TiO}_2$  are all negatively correlated with  $\text{SiO}_2$  and generally described linear trends (Fig. III.9a, b, e, f, g). This pattern suggests the involvement of fractional crystallization process in the evolution of the parent magma.  $\text{K}_2\text{O}$  contents are high and those of  $\text{Na}_2\text{O}$  moderate and both do not show accentuated variations in parallel to  $\text{SiO}_2$  increase (Fig. 9c, d). Except for a few samples with anomalously high  $\text{K}_2\text{O}$  and low  $\text{Na}_2\text{O}$  contents, which could possibly contain cumulate K-feldspar megacrysts, the  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ratios vary between 1.5 and 2.0 (Fig. 9h).  $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$  ratios varies from 0.83 to 0.98 and increase with  $\text{SiO}_2$  (Fig. III.9i). Leucosyenogranite samples tend to present lesser  $\text{TiO}_2$  and  $\text{MgO}$  contents compared to the other facies.

The compositions of these rocks plot in the sub-alkaline granite field in the  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Le Bas *et al.* 1986; Fig. III.10a) diagram, with alkali-calcic affinity in the  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Frost *et al.*, 2001; Fig. III.10b) diagram. These granites vary from metaluminous to peraluminous in the A/CNK vs. A/NK (Maniar & Piccoli 1989; Fig. III.10c) diagram. They are concentrated in the A-type-ferroan fields in the  $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Frost *et al.*, 2001; Fig. III.10d) diagram, similarly to the studied rocks by Scandola *et al.* (2013). In the tectonic discrimination diagram (Batchelor and Bowden, 1985), they plot mainly in the late-orogenic and syn-collisional fields (Fig. III.10e). These rocks are enriched in Zr, Ga, Nb, Y, Ce and REE (except for Eu), similarly to the studied rocks from Scandola *et al.* (2013) and A-type granites of other regions (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987; Haapala and Rämö, 1990; Dall’Agnol *et al.*, 1994, 1999). Thus, they fall in the A-type field in the discriminating diagram proposed by Whalen *et al.* (1987; Fig. III.10f). Additionally, these rocks plot mainly in the crustal granites field (A2) in the Ce/Nb vs. Y/Nb diagram (Eby, 1992;

Fig. III.11a). In the  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$  vs.  $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$  diagram proposed by Dall'Agnol and Oliveira (2007), the  $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$  values suggest that these rocks were crystallized from oxidized- to reduced-A-type magmas, where the leucosyenogranites and granophyric sienogranites tend to be formed under more reduced conditions (Fig. III.11b).

Chondrite-normalized REE patterns for the four facies are approximately parallel (Fig. III.11c). They exhibit a low to moderate fractionation [(La/Yb)<sub>N</sub> ratios in the range 3.21–10.28], as well as in their enrichment in light REE (LREE), with very pronounced to weak negative Eu anomalies (Eu/Eu\* varying between 0.08 and 0.7). Primitive mantle-normalized trace element patterns (Fig. III.11d) show that these rocks have Sr, P and Ti depletions, in addition to discrete Ba, Ta, Nb and U depletions and enrichment in Ce, La, Zr, Th, Rb. However, leucosyenogranites have more accentuated negative Ba anomalies and are more enriched in U and Th. The Sr, Ba, P and Ti depletions (mainly in leucosyenogranites) indicate a fractionating of feldspar, apatite and ilmenite/magnetite during the crystallization of these rocks.



**Table III.3**

Representative chemical compositions of the leucosyenogranites and subvolcanic felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith.

Facies	Leucosyenogranite					Rhyolite						
	undeformed		mylonitic			undeformed			mylonitic			
Sample	EI 492A	EI 124A	EI 478	EI 484B	EI 484A	MC 426	MC 441	EI 44	MC 462	EI 743	MC 396	EI 536
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	71.94	78.66	79.79	69.31	79.25	70.09	70.41	75.16	69.87	71.16	72.09	72.69
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.17	0.14	0.56	0.12	0.51	0.47	0.31	0.62	0.58	0.40	0.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.14	11.23	11.16	14.56	12.43	13.12	13.22	12.83	13.31	13.80	13.43	13.91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.80	1.93	2.27	5.20	2.81	4.22	4.47	2.82	4.22	5.12	3.74	5.26
MnO	0.05	0.04	0.04	0.10	0.03	0.11	0.11	0.36	0.09	0.21	0.11	0.12
MgO	0.14	0.09	0.09	0.50	0.09	0.30	0.85	0.32	0.72	0.62	0.45	0.68
CaO	0.78	0.59	0.59	1.79	0.57	1.49	0.74	0.45	1.53	1.74	0.94	1.36
Na <sub>2</sub> O	2.80	3.23	2.82	3.46	3.30	2.95	3.42	2.39	2.92	2.31	3.08	3.01
K <sub>2</sub> O	5.16	4.57	4.76	5.43	5.05	5.58	5.81	6.72	5.22	6.35	6.10	5.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.01	<0.01	0.01	0.14	0.02	0.05	0.06	<0.01	0.08	0.11	0.01	0.16
LOI	0.12	0.18	0.46	0.07	0.27	0.26	0.65	0.74	0.31	0.97	0.84	0.56
Sum	96.13	100.69	102.13	101.12	103.94	98.68	100.21	102.10	98.89	102.97	101.19	103.91
Ba (ppm)	514.00	59.00	65.00	1539.00	146.00	1244.00	1306.00	986.00	1238.00	1729.00	1225.00	1454.00
Rb	246.00	390.00	540.00	191.00	358.00	195.00	190.00	196.00	153.00	245.00	218.00	200.00
Sr	62.50	23.80	14.90	196.00	24.10	94.60	57.80	46.30	155.00	145.00	71.40	149.00
Zr	203.00	119.00	206.00	481.00	223.00	577.00	565.00	423.00	402.00	588.00	516.00	483.00
Hf	5.18	6.17	6.36	8.51	5.65	14.91	14.52	11.19	10.60	12.05	13.71	9.87
Nb	30.17	30.00	37.64	22.73	37.77	32.38	32.93	35.60	23.39	34.68	34.50	23.34
Y	46.50	50.88	79.41	54.80	110.26	71.39	80.93	87.51	47.35	78.23	82.46	62.37
Ga	20.40	13.10	19.30	22.20	20.80	14.50	14.90	14.20	12.50	22.70	15.30	23.00
Ta	1.12	4.53	3.75	1.32	2.72	2.66	2.39	2.38	1.60	1.79	2.02	1.44
Sn	3.20	13.00	9.90	4.30	8.00	<0.30	<0.30	13.20	<0.30	6.10	0.80	5.10
W	3.30	44.40	2.70	3.10	3.70	8.90	<0.10	5.50	1.10	3.80	5.50	2.30
Th	15.10	65.40	63.80	14.80	29.30	19.70	18.70	16.20	14.50	15.10	22.40	13.00
U	3.60	31.14	16.93	3.58	9.66	4.00	7.04	7.72	4.30	4.36	5.40	3.87
Co	1.20	0.90	1.00	3.30	0.80	1.80	1.90	3.50	3.80	3.10	1.40	3.70
Ni	1.80	1.10	1.70	2.90	1.70	1.90	2.00	21.50	3.20	2.50	1.90	2.80
Cu	4.40	1.80	2.80	7.60	3.60	5.50	4.90	4.10	10.50	4.30	3.90	11.70
Pb	2.90	9.70	13.40	2.80	6.80	11.10	10.10	9.80	23.80	38.50	7.70	30.00
Zn	38.00	11.00	11.00	60.00	28.00	68.00	79.00	57.00	50.00	137.00	80.00	75.00
La	52.80	127.80	62.80	59.60	62.50	76.20	84.70	87.00	60.60	65.50	90.40	56.60
Ce	121.40	216.90	141.60	135.90	129.90	149.30	169.10	171.40	118.10	154.00	189.20	130.00
Pr	15.34	25.01	15.67	17.46	18.17	19.72	21.84	22.52	15.02	19.64	22.37	17.01
Nd	54.40	65.30	49.20	64.60	63.10	75.40	83.70	85.00	55.10	75.60	84.60	64.10
Sm	9.90	9.70	9.20	12.00	14.00	13.60	15.00	15.30	9.50	14.80	15.50	12.40
Eu	0.83	1.92	0.31	2.12	0.38	2.22	2.15	2.09	1.25	2.26	2.01	2.19
Gd	9.07	8.36	8.58	11.74	14.23	13.12	14.98	16.22	9.57	14.63	15.77	12.37
Tb	1.30	2.37	1.63	1.60	2.55	2.11	2.38	2.71	1.38	2.25	2.25	1.95
Dy	8.03	9.45	10.90	9.81	16.54	13.39	14.82	16.00	8.29	14.01	15.63	10.57
Ho	1.62	2.72	2.53	2.06	3.80	2.96	3.13	3.45	1.86	2.88	2.87	2.23
Er	5.09	6.96	9.00	6.05	11.64	8.01	9.78	9.34	5.30	8.83	9.03	6.90
Tm	0.64	1.78	1.51	0.84	1.76	1.35	1.36	1.62	0.81	1.29	1.32	1.02
Yb	4.70	8.70	11.40	5.80	13.00	8.40	9.40	9.50	5.30	8.70	9.50	6.90
Lu	1.01	2.02	1.86	0.89	1.87	1.36	1.37	1.77	0.77	1.32	1.24	1.35
Be	4.10	10.10	73.50	3.80	5.70	5.70	8.30	6.10	5.30	6.70	5.60	3.80
Sum REE	286.13	488.99	326.19	330.47	353.44	387.14	433.71	443.92	292.85	385.71	461.69	325.59
Eu/Eu*	0.27	0.66	0.11	0.55	0.08	0.51	0.44	0.41	0.40	0.47	0.40	0.54
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.49	9.79	3.67	6.85	3.21	6.05	6.01	6.11	7.62	5.02	6.34	5.47
Rb/Sr	3.94	16.39	36.24	0.97	14.85	2.06	3.29	4.23	0.99	1.69	3.05	1.34
K/Rb	174.12	97.27	73.17	235.99	117.10	237.54	253.84	284.61	283.21	215.15	232.28	229.94
Th/U	4.19	2.10	3.77	4.13	3.03	4.93	2.66	2.10	3.37	3.46	4.15	3.36
FeOt/(FeOt+MgO)	0.95	0.95	0.96	0.90	0.97	0.93	0.83	0.89	0.84	0.88	0.88	0.87
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.84	1.41	1.69	1.57	1.53	1.89	1.70	2.81	1.79	2.75	1.98	1.84

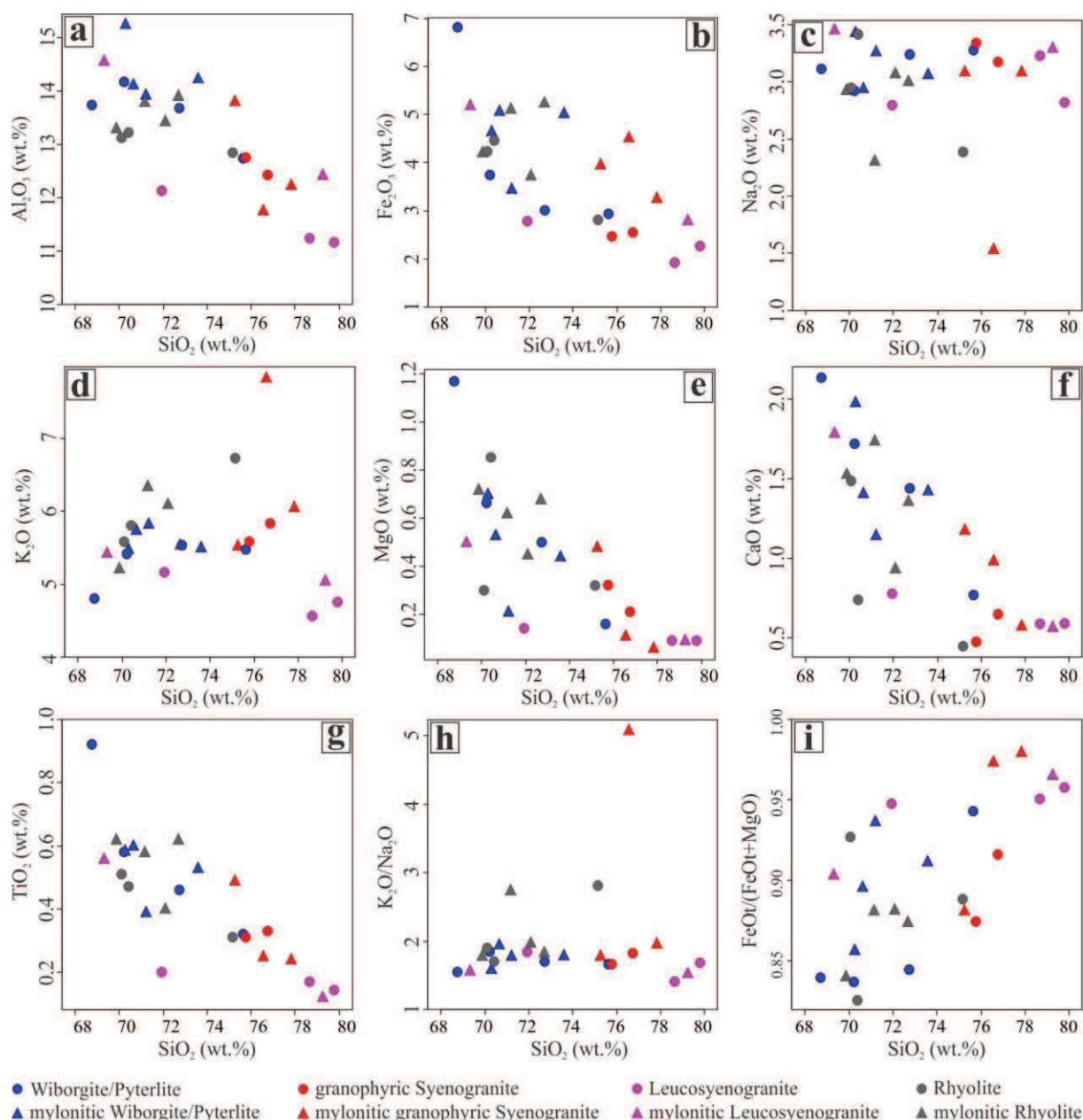


Fig. III.9 – Chemical variation diagrams for major elements using silica as a differentiation index for the felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith: In (a-g) selected major oxides vs.  $\text{SiO}_2$  (wt.%) in Harker-type diagrams; h)  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ratios vs.  $\text{SiO}_2$  (wt.%) diagram; i)  $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$  vs.  $\text{SiO}_2$  (wt.%) diagram.



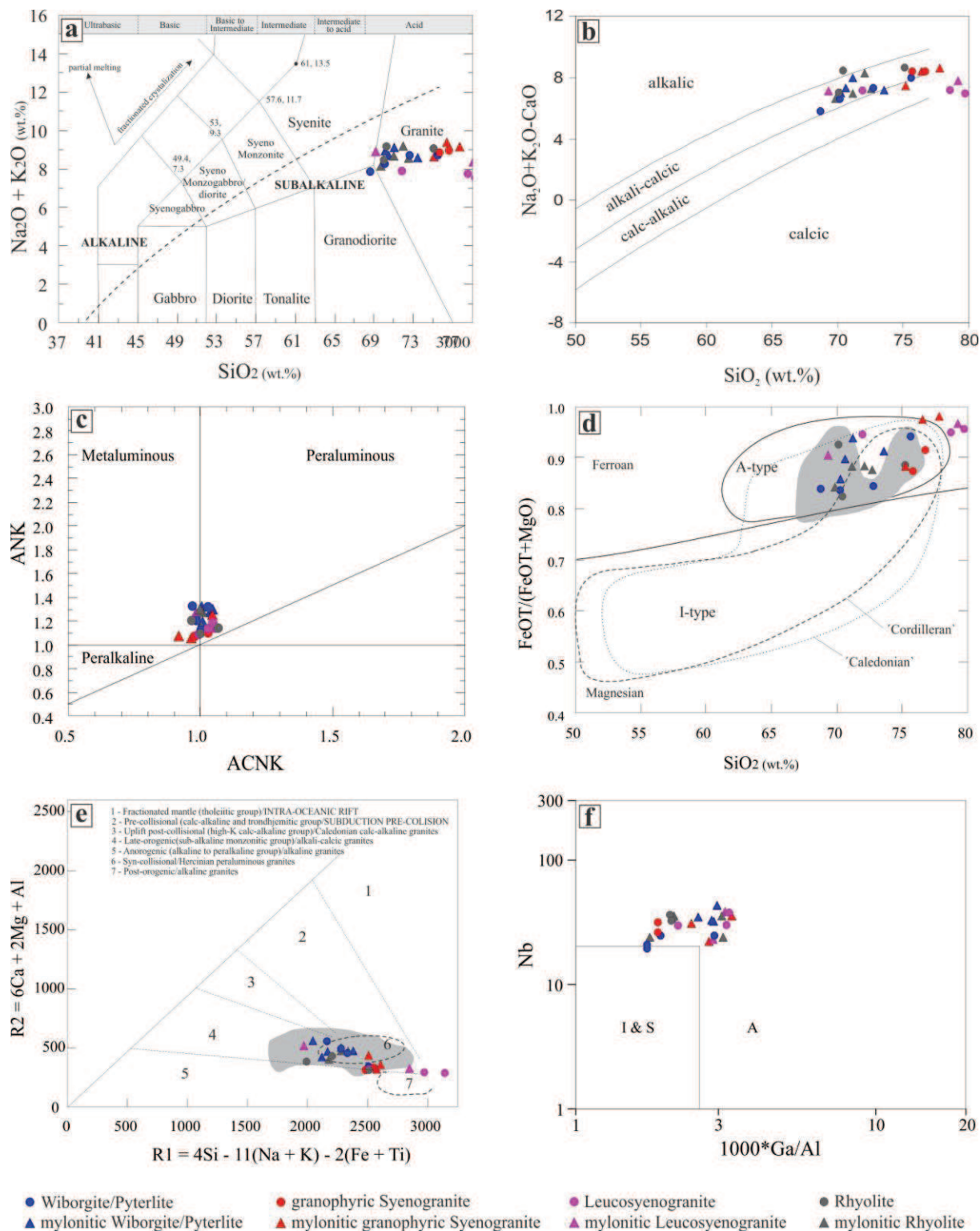


Fig. III.10 – Geochemical classification of the felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith. a) TAS diagram (Le Bas *et al.*, 1986); b)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  vs.  $\text{SiO}_2$  diagram (Frost *et al.*, 2001); c)  $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  vs.  $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  diagram (Maniar and Picolli, 1989); d)  $\text{FeO}_t / (\text{FeO}_t + \text{MgO})$  vs.  $\text{SiO}_2$  diagram (Frost *et al.*, 2001); e) multicationic diagram (R1–R2) adapted for tectonic setting by Batchelor and Bowden (1985); f) discriminating diagram by Whalen *et al.* (1987), separating A, I, and S granite fields.

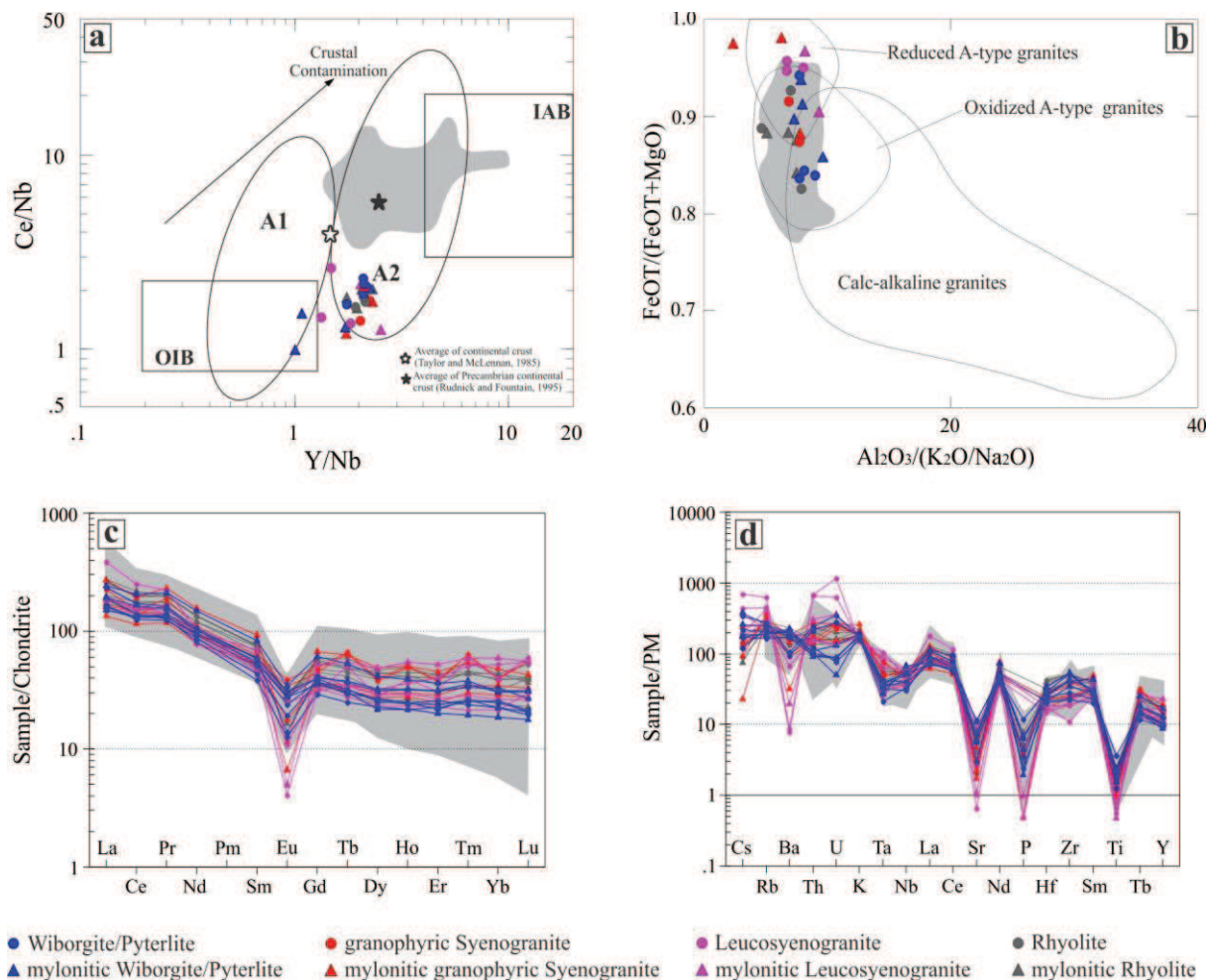


Fig. III.11 – Geochemical plot for the felsic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith. a) Ce/Nb vs. Y/Nb diagram (Eby, 1992); b) whole-rock FeOt/(FeOt+MgO) vs.  $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$  diagram (Dall’Agnol and Oliveira, 2007); c) REE patterns (normalizing factors from Boynton, 1984); d) primitive mantle (Sun and McDonough, 1989) normalized patterns for the felsic rocks. Grey: rocks of the Serra da Providência Suite (Scandolaro *et al.*, 2013).

### III.6.2. Mafic rocks

The 7 analyzed samples (Table 4) confirm the presence of two distinctive groups of mafic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith. Overall, the  $SiO_2$  content of these rocks varies from 44 to 48%, and total alkalis ( $Na_2O+K_2O$ ) range between 2.30 and 5.31 wt.%. However, porphyritic gabbronorites are relatively more enriched in  $TiO_2$ , FeOt,  $K_2O$  and  $P_2O_5$  than equigranular gabbronorites, while this latter is more enriched in MgO and CaO. The #Mg varies from 37 to 41 in porphyritic gabbronorites and 51 to 65 in equigranular gabbronorites. The low to moderate #Mg suggests that these rocks were crystallized from more evolved basaltic magmas.

As a whole these rocks define a distinct array sub-parallel to the tholeiitic trend in the AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971; Fig. III.12a). In the FeT+Ti- Al-Mg diagram (Jensen and Pykes, 1982; Fig. III.12b), they cluster in the high-Fe tholeite basalt field, where the equigranular gabbronorites tend to fall in high-Mg tholeite basalt field. In the Nb/Y vs. Zr/ $TiO_2$  diagram (Winchester and Floyd, 1977; Fig. III.12c), porphyritic gabbronorites correspond to andesitic basalts and equigranular gabbronorites to subalkaline basaltic

magmas. In the Y vs. La vs. Nb ternary diagram (Cabaniš and Lecolle, 1989; Fig. III.12d), equigranular gabbro-norites plot in the field of continental basalts and suggest assimilation of larger amounts of crustal material, whereas porphyritic gabbro-norites tend to plot in the field of calc-alkaline basalts. These plots can suggest two different sources for these rocks.

Porphyritic gabbro-norites exhibit a remarkable enrichment in trace elements (including REE) when compared with equigranular gabbro-norites. Chondrite-normalized REE patterns (Fig. III.12e) for both groups display a low fractionation [(La/Yb)<sub>N</sub> ratios in the range 2–4.79] and flat patterns for the HREE. This flat HREE pattern suggests a melting above the garnet stability field and indicates that a garnet peridotitic mantle was not the sole source for generating the parental melt of these rocks (Ray *et al.*, 2013). Equigranular gabbro-norites have no significant Eu anomalies (Eu/Eu\* ranges from 0.97 to 1.09), which implies that there was no significant role of plagioclase separation. However, sample EI-702 exhibits a discrete positive Eu anomaly and low total REE, which suggest a cumulative character. Porphyritic gabbro-norites show distinct negative Eu anomalies (Eu/Eu\*=0.63–0.79) and higher REE contents. This is compatible with the more evolved character of these rocks, as well as the fractionating of plagioclase. Additionally, REE patterns of the porphyritic gabbro-norites are more similar to the Ocean Island Basalts (OIB), whereas the equigranular gabbro-norites are close to the Enriched Mid-Ocean Ridge Basalts (E-MORB; Fig. III.12e). Primitive mantle-normalized trace element patterns (Fig. III.12f) show that the porphyritic gabbro-norites have Nb and Sr depletions, with a lone discrete peak at Th. Equigranular gabbro-norites have U, Th, Nb, La, Ce, P, and Zr depletions and distinctive peaks at K, Pb, Sr, and Nd, similarly to the rocks derived from partial melting of depleted mantle sources and metasomatized by fluids from the slab (Scandolara *et al.*, 2013).

**Table III.4**

Representative chemical compositions of the mafic rocks associated with the midwest portion of the Serra da Providência batholith.

Facies	Porphyritic gabbronorite dikes			Equigranular gabbronorite stocks			
	MC 417	MC 477A	EI 206	EI 702	EI 569	EI 12	EI 19
Sample							
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	47.24	47.38	48.20	44.69	46.19	47.34	48.11
TiO <sub>2</sub>	2.84	3.26	2.72	0.64	1.14	0.99	1.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.63	13.21	15.42	16.52	15.94	17.77	17.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.37	15.70	14.22	10.46	12.87	11.26	13.45
MnO	0.22	0.25	0.21	0.15	0.15	0.11	0.15
MgO	5.23	4.81	5.05	10.13	7.97	6.71	7.26
CaO	6.91	7.03	7.10	7.89	9.96	10.40	10.00
Na <sub>2</sub> O	3.92	2.29	3.13	1.92	2.53	2.62	2.76
K <sub>2</sub> O	1.39	1.44	1.70	0.38	0.67	0.62	0.76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.45	0.55	0.47	0.07	0.06	0.04	0.11
LOI	<0,01	1.77	1.47	3.45	1.29	0.66	0.12
Sum	97.42	97.69	99.70	96.32	98.81	98.55	102.05
Mg#	40	37	41	65	55	54	51
Ba (ppm)	435.00	458.00	685.00	148.00	103.00	120.00	204.00
Rb	26.10	65.30	65.60	23.70	43.90	34.60	22.10
Sr	225.00	186.00	217.00	405.00	207.00	198.00	227.00
Zr	279.00	339.00	278.00	37.30	30.50	29.20	66.90
Hf	7.08	9.40	7.07	1.04	1.68	1.71	1.83
Nb	13.52	15.66	13.97	5.07	4.27	5.05	5.14
Y	48.40	63.56	46.23	15.59	19.35	19.20	19.92
Ga	16.40	16.70	15.90	16.40	17.30	18.50	15.30
Ta	0.55	1.08	1.73	0.22	0.26	0.32	0.20
Sn	<0,30	<0,30	9.90	1.00	0.90	1.40	3.30
W	<0,10	11.00	<0,10	1.40	3.80	1.50	2.80
Th	5.30	9.50	20.80	0.40	0.70	1.30	1.70
U	1.35	1.68	2.63	<0,05	<0,05	0.20	0.08
Co	32.00	32.10	27.70	32.60	17.90	15.90	16.00
Ni	39.40	30.40	38.70	159.00	20.20	12.90	14.90
Cu	28.40	32.40	30.00	24.40	33.80	32.50	19.20
Pb	3.00	3.00	2.50	2.30	1.80	1.20	3.80
Zn	86.00	106.00	84.00	37.00	25.00	21.00	24.00
La	28.70	43.10	31.10	5.20	6.00	6.70	8.00
Ce	62.80	90.00	60.10	10.90	14.10	16.10	18.30
Pr	8.70	11.78	8.87	1.71	2.11	2.35	2.48
Nd	40.70	51.90	36.70	7.30	10.20	10.40	11.80
Sm	8.80	10.60	8.00	1.70	2.90	2.80	2.90
Eu	1.90	2.78	2.31	0.72	1.02	0.94	1.02
Gd	9.83	12.73	10.17	2.42	3.31	3.18	3.03
Tb	1.40	1.85	1.72	0.33	0.48	0.50	0.53
Dy	9.65	11.94	8.93	2.34	3.31	3.34	3.35
Ho	1.83	2.46	2.05	0.50	0.72	0.72	0.69
Er	5.34	6.59	5.80	1.43	2.22	2.13	1.87
Tm	0.64	0.90	1.03	0.20	0.31	0.30	0.28
Yb	4.80	6.00	4.70	1.20	2.00	2.00	1.90
Lu	0.57	0.78	1.02	0.17	0.26	0.20	0.24
Sum REE	185.66	253.41	182.50	36.12	48.94	51.66	56.39
Eu/Eu*	0.63	0.74	0.79	1.09	1.01	0.97	1.06
(La/Yb) <sub>N</sub>	3.99	4.79	4.41	2.89	2.00	2.23	2.81
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	5.31	3.73	4.83	2.30	3.20	3.24	3.52

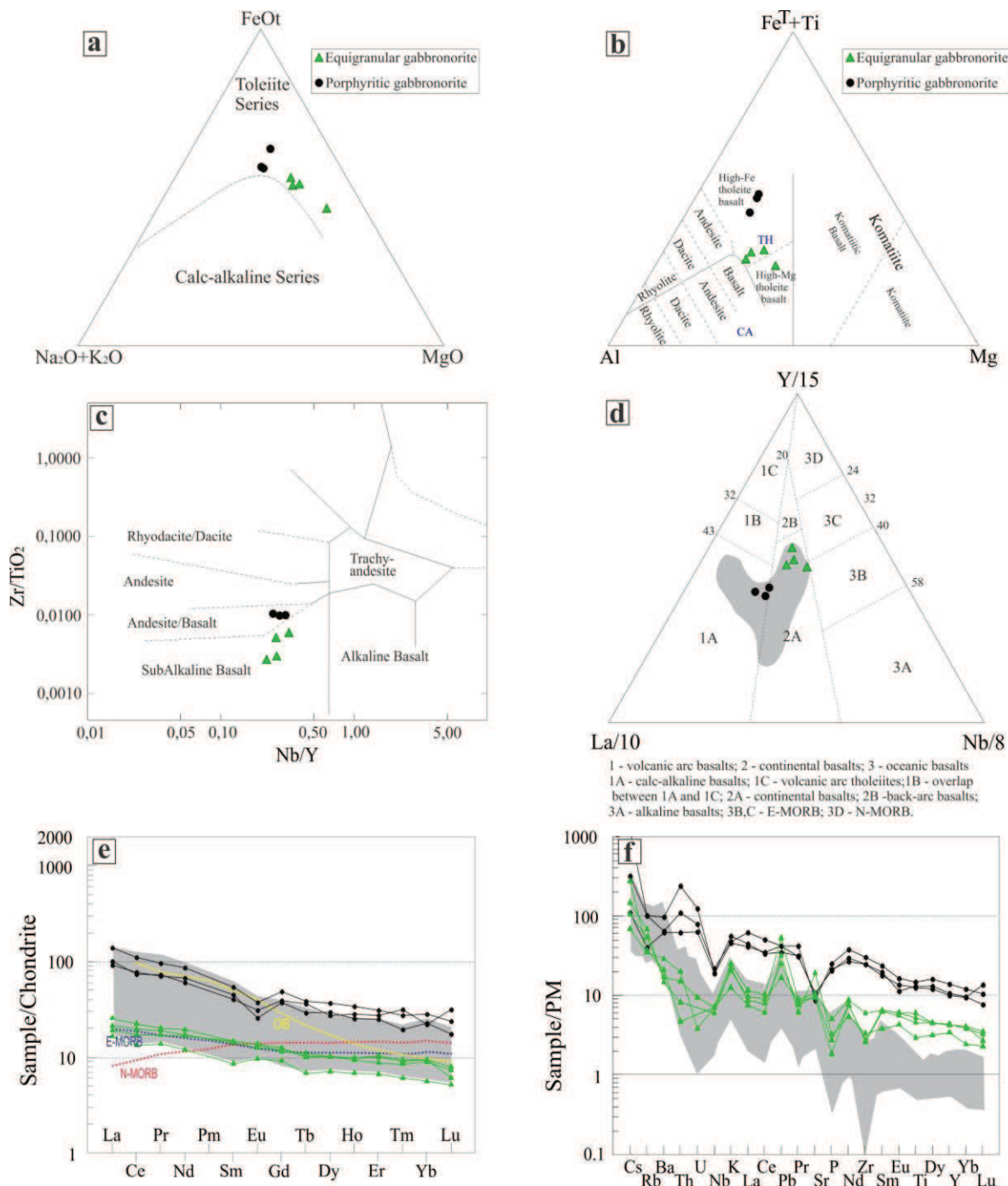


Fig. III.12 – Classification diagrams of mafic rocks in the midwest portion of the Serra da Providência batholith. a) AFM diagram by Irvine and Baragar (1971); b) (FeT+Ti)-Al-Mg ternary diagram suggested by Jensen and Pykes (1982); c) Nb/Y vs. Zr/ TiO<sub>2</sub> diagram (Winchester and Floyd, 1977); d) Y vs. La vs. Nb ternary diagram (Cabanis and Lecolle, 1989); e) chondrite-normalized REE patterns (normalizing factors from Boynton, 1984). REE patterns of N-MORB, E-MORB and OIB from Sun and McDonough (1989); f) primitive mantle (Sun and McDonough, 1989) normalized patterns for these mafic rocks. Grey: rocks of the Serra da Providência Suite (Scandolaro *et al.*, 2013).

### III.7. Discussion

#### III.7.1. Age, tectonic setting and sources

The ages obtained in this study for the porphyritic rhyolite (MC-462;  $1604 \pm 3$  Ma) and leucosyenogranite (CC-23;  $1574 \pm 9$  Ma) of the Serra da Providência batholith are comprised in the age interval previously defined ( $\sim 1600$  to  $1530$  Ma; U/Pb ID-TIMS and SHRIMP zircon; Bettencourt *et al.*, 1999; Santos *et al.*, 2000; Scandolaro, 2006) for the distinct magmatic episodes forming that huge igneous intrusion. They are also consistent with a maximum depositional age of  $1550$  Ma estimated for the sedimentary rocks deposited on the central portion of the Serra da Providência batholith (Igarapé Lourdes Formation) by Costa *et al.* (2014). If the obtained ages correspond to the crystallization ages of the new facies described in the batholith, it implies that the porphyritic rhyolite is older than the main rock varieties of the batholith and was formed in a precursor event. This contrast in age between the volcanic or hypabyssal rocks and the plutonic ones was not observed in the Suursaari island in the southern part of the Wiborg rapakivi batholith, where the quartz-feldspar porphyries correspond in age and composition to the classic rapakivi granites of the adjacent Wiborg batholith (Pokki *et al.*, 2013).

Petrographic and geochemical data indicate a bimodal association, with alkali-calcic granites and tholeiitic basaltic rocks. This bimodal characteristic and the absence of intermediate rocks are usually described in within-plate settings. The REE patterns of the felsic facies are similar to those observed in A-type magmatism related with post-collisional settings. The Nb-Ta negative anomalies in trace elements, as well as the LREE enrichment in spidergrams, indicate a subduction modified mantle source, equally similar to those found in post-collisional settings. Additionally, the enrichment in Rb, K, and Ce of these rocks suggest crustal participation in the sources.

According to Scandolaro *et al.* (2013), monzogranites and charnockites (mostly corresponding to the other plutons of the SPS in the Jamari domain) are characterized by variations of the initial Nd isotope compositions ( $\epsilon_{\text{Nd}}$  from  $-0.2$  to  $-9.6$  and  $\epsilon_{\text{Nd}}$  from  $+0.2$  to  $+2.0$ ), which is consistent with the mixing process between two end-members with contrasting isotopic composition. These authors ranked the isotopic values from the SPS in four groups, according to signs of increasing crustal contamination: (i) TDM =  $1.75$ - $1.86$  Ga and  $\epsilon_{\text{Nd}}(t=1.57 \text{ Ga}) = -0.7$  to  $-2.2$ ; (ii) TDM =  $1.91$ - $1.99$  Ga and  $\epsilon_{\text{Nd}}(1.57 \text{ Ga}) = -0.2$  to  $-1.5$ ; (iii) TDM =  $2.0$ - $2.26$  Ga and  $\epsilon_{\text{Nd}}(1.57) = -0.5$  to  $-3.6$ , and (iv) TDM =  $2.5$ - $2.55$  Ga and  $\epsilon_{\text{Nd}}(1.57) = -5.8$  to  $-9.6$ . Moreover, the presence of microgranular mafic enclaves in the pyterlitic facies suggests a contribution of magma mingling processes during the formation of these rocks. The higher FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) values ( $>0.88$ ) observed in 14 of 25 analyzed felsic rocks suggest that it could be derived from quartz-feldspathic igneous sources with a reduced character (Anderson and Morrison, 2005) or, possibly, with a metasedimentary rock contribution (Dall'Agnol *et al.*, 2005), or, alternatively, from differentiated tholeiitic sources (Frost and Frost, 1997; Frost *et al.*, 1999).

Contrasting groups of mafic rocks are coherent with the presence of heterogeneous sources in the Serra da Providência magmatism.. However, further isotopic studies should be conducted on the mafic rocks in order to establish their petrogenetic aspects, as well as their link with the Serra da Providência magmatism.

### III.7.2. Geochemical comparison with other plutons of the SPS

On a broad scale, Scandolaro *et al.* (2013) studied several bodies of the SPS in the Jamari domain, whereas the geochemical signature of their granitic and associated mafic rocks was compared to the present study, which includes new occurrences (leucosyenogranites and rhyolites) in the type area of the SPS. Overall, geochemical classification indicates a great similarity between granitic rocks of the present study and those presented by Scandolaro *et al.* (2013). They are equally metaluminous to peraluminous, medium- to high-K series, alkali-calcic, A-type-ferroan, late-orogenic granites. However, the felsic facies presented here are more enriched in Nb.

In general, leucosyenogranites and granophyric syenogranites tend to have higher FeOt/(FeOt+MgO) ratios (0.87–0.98) than the studied rocks by Scandolaro *et al.* (2013; 0.81–0.95). Anderson and Morrison (2005) stated that these higher values (>0.88) are coherent with ilmenite-series granites. These values suggest the presence of reduced A-type granites in the SPS. This internal variation on oxygen fugacity ( $fO_2$ ) can reflect the contrasting magmatic sources and petrologic processes. In terms of the REE behavior, the patterns are similar with studied rocks by Scandolaro *et al.* (2013). However, they show systematically larger negative Eu anomalies. Primitive mantle-normalized trace element patterns indicate an impoverishment in Ba and enrichment in U and Th in the leucosyenogranites, when compared with other facies, as well as the studied rocks by Scandolaro *et al.* (2013).

Concerning associated mafic rocks, the porphyritic gabbronorites show strong geochemical affinities with the Gabbros type 2 of Scandolaro *et al.* (2013), whereas the equigranular gabbronorites are akin of the Gabbros type 1 of the same authors. However, porphyritic gabbronorites are relatively more enriched in HREE. Moreover, primitive mantle-normalized trace elements exhibit more enriched patterns for these rocks, with different Sr depletion and a peak at Th, as well as the absence of P and Zr depletions and positive Pb anomalies.

In summary, the main differences of the studied rocks (including type area) is the presence of more evolved granitic and mafic rocks (leucosyenogranites, rhyolites and porphyritic gabbronorites), as well as the higher FeOt/(FeOt+MgO) ratios in syenogranitic facies and enrichment in Nb of the felsic rocks. This reinforces the need of more detailed studies in several plutons that comprise the SPS.

### III.7.3. Deformation and recrystallization

The W-SW border of the Serra da Providência batholith was overprinted in strike-slip shear zones related to the Sunsas Orogeny (1.20-1.15 Ga), the last documented tectonothermal event in the region (Scandolaro, 2006). Thus, studied rocks situated in this region exhibit protomylonitic to mylonitic textures, with a secondary metamorphic assemblage constituted by the recrystallization of quartz, alkali feldspar, plagioclase and biotite, in addition to hornblende, epidote and opaque minerals. Nevertheless, geochemical data indicate no significant mobility of the major and trace elements during metamorphism, where the foliated rocks plot near to their correlated undeformed facies in the main geochemical classification diagrams used in this work. In addition, the chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element patterns also are very similar between deformed and undeformed rocks of these facies.

### III.7.4. Crustal depth and metallogenic implications

Porphyritic rhyolites and associated equigranular syenogranites provide petrographic features that suggest the crustal level of emplacement of the Serra da Providência batholith. These rocks often exhibit granophyric textures, as well as the sericitization of plagioclase, and suggest a hypabyssal emplacement (Nascimento *et al.*, 2002). A common characteristic in leucosyenogranites is the presence of miarolitic cavities with quartz and tourmaline crystals. The presence of cavities indicates exsolution of a fluid phase under low confining pressure. The presence of granophyric textures and miarolitic cavities confirm the emplacement of these facies at a level shallow crustal, probably evidencing crystallization to lower depths than 3 km (Thorpe and Brown, 1999).

Regarding the metallogenic implications, three leucosyenogranite samples of this facies (EI-124A, EI-478 and EI-484A; Table 5) have the higher silica contents, which varies from 78.66 to 79.79%. They have K/Rb ratios between 73 and 117, whereas the sample EI-484A is more enriched in Y (110 ppm). Additionally, the FeOt/(FeOt+MgO) ratios suggest that leucosyenogranites were crystallized under reduced conditions. According to Dall'Agnol *et al.* (1993), the tin-specialized granites of the Amazonian craton can be divided into three groups: 1) those not very strongly affected by late-to postmagmatic processes; 2) those in which these processes are intense; 3) those in which these processes are extremely intense. They comprise biotite syenogranites, where fluorite and topaz are characteristic mineral phases. Silica contents generally is higher than 75%, and K/Rb ratios are lower than 150. Nb and Y have a tendency to be enriched in this phases. These authors also suggest that the tin-bearing granites crystallized in relatively low  $fO_2$  conditions. Thus, it can be concluded that leucosyenogranites have strong similarities with the tin-specialized granites, in spite of extremely intense altered rocks and greisens were not described in the study area. If these rocks had been eroded, this does not rule out the possibility of tin mineralization in the SPS, as well as the presence of secondary tin deposits associated with this suite.

**Table III.5**

Comparison between main chemical features of the tin-specialized granites of the eastern Amazonian region and leucosyenogranite facies.

Facies	Leucosyenogranite (this work)			Tin-Specialized Anorogenic Granites of the Eastern Amazonian Region (Dall'Agnol <i>et al.</i> , 1993)
	undeformed		mylonitic	
Sample	EI 124A	EI 478	EI 484A	
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	78.66	79.79	79.25	>75
K/Rb	97.27	73.17	117.10	<150
FeOt/(FeOt+MgO)	0.95	0.96	0.97	>0.9 (reduced)

### III.8. Conclusions

Serra da Providência batholith includes the type area of the homonymous suite, whereas four main granitic facies and two distinct groups of mafic rocks were recognized in the midwest portion of this massif: rhyolites, wiborgites and pyterlites, granophyric syenogranites, leucosyenogranites, as well as porphyritic and equigranular gabbronorites. Rhyolites, leucosyenogranites and porphyritic gabbronorites were recently described in this region and constitute new facies included in the Serra da Providência batholith.



Geochronological data presented in this work confirm the link of the porphyritic rhyolites and leucosyenogranites with the Serra da Providência magmatism (ca 1.60–1.53 Ga), where the sample MC-462 (mylonitic rhyolite) showed a crystallization age of  $1604 \pm 3$  Ma (U–Pb on zircon) and the sample CC-23 (leucosyenogranite) has a crystallization age of  $1574 \pm 9$  Ma (U–Pb on zircon). Subvolcanic facies is older than the main rock varieties of the batholith and was formed in a precursor event.

Petrographic and geochemical data confirm the bimodal, rapakivi, A2-type, post-collisional character of this magmatism, with emplacement time gap between 1.60 and 1.57 Ga for the felsic facies in the study area. There are two distinctive groups of associated mafic rocks in the study area: porphyritic and equigranular gabbronorites. Porphyritic gabbronorites are compatible with calc-alkaline basalts, whereas equigranular gabbronorites are similar to the continental basalts. However, its geochronological link with SPS has not been established.

Leucosyenogranites and granophyric syenogranites tend to have a more reduced character [ $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO}) > 0.88$ ] than the studied rocks by Scandolaro *et al.* (2013). Petrographic features on porphyritic rhyolites and associated equigranular syenogranites suggest that these facies were formed at shallow depths, lower than 3 km. Regarding the metallogenic implications, three leucosyenogranite samples of this facies have strong similarities with the tin-specialized granites of the Amazonian craton, in terms of silica content, K/Rb ratios, as well as his more reduced feature.

Thus, the present work contributes to the broad compositional range of the Serra da Providência rapakivi magmatism and reinforces the need of more detailed studies in several plutons that comprise this suite in the SW of the Amazonian Craton, as well as to evaluate the metallogenic potential of their different intrusive phases.

## Acknowledgements

The authors are grateful to M.L.E.S. Quadros, L. C. M. Palmeira, A. A. Souza, M. E. Almeida and E.R.H.F. Iza for discussions and support on geological mapping, petrographical and geochemical work. J.B. Rodrigues is gratefully acknowledged in cathodoluminescence imaging and U–Pb LA-MC-ICP-MS analyses. Special thanks to J. D. Leite for discussions on A-type post-collisional magmatism. The Brazilian Geological Survey (CPRM) is acknowledged for permission to include in this paper data generated in the Ji-Paraná Project (mapping of Ji-Paraná sheet). The authors thank to Federal University of Mato Grosso (UFMT) for research support. This paper is a contribution to the Brazilian Institute of Amazonia Geosciences.

## References

- Anderson, J.L., Morrison, J., 2005. Ilmenite, magnetite, and peraluminous Mesoproterozoic anorogenic granites of Laurentia and Baltica. *Lithos* 80, 45–60.
- Batchelor, R.A., Bowden, P., 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology* 48, 43-55.
- Bettencourt, J.S., Tosdal, R.M., Leite Jr., W.B., Payolla, B.L., 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of Rondonia tin province, southwestern border of the Amazonian Craton,

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Brazil: reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research* 95, 41-67.

Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H., 2004. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília. Brasil (in Portuguese).

Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, pp. 63-114.

Cabanis, B., Lecolle, M., 1989. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustal. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris* 309, 2023-2029.

Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J., Chappell, B.W., 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 80, 189-200.

Costa, M. A. C., Figueiredo, E. R. H., 2011. Dados preliminares sobre provável zona de cúpula granítica na Suíte Serra da Providência, folha Ji-Paraná-RO, SW do Cráton Amazônico. In: XII Simpósio de Geologia da Amazônia, Boa Vista, RR. (in Portuguese).

Costa, M.A.C., Rodrigues, J.B., Quadros, M.L.E.S., Scandolara, J.E., Figueiredo, E.R.H.I., 2014. New detrital zircon U-Pb ages on Igarapé Lourdes Formation, southwest of the Amazonian Craton, Ji-Paraná, Rondônia, Brazil. *South American Symposium on Isotope Geology*, 9. Short Papers. São Paulo, Brazil.

Dall'Agnol, R., Teixeira, N.P., Magalhães, M.S., 1993. Diagnostic features of the tin-specialized anorogenic granites of the Eastern Amazonian region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 65 (Supl. 1), 33–50.

Dall'Agnol, R., Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology* 50, 113-138.

Dall'Agnol, R., Costi, H.T., Leite, A.A., Magalhaes, M.S., Teixeira, N.P., 1999. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research* 95, 9– 39.

Dall'Agnol, R., Teixeira, N.P., Rämö, T.O., Moura, C.A.V., Macambira, M.J.B., Oliveira, D.C., 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archaean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos* 80, 101-129.

Dall'Agnol, R., 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.

Debon, F., Le Fort, P., 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bulletin of Mineralogy* 111, 493-510.

- Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.
- Eby, G.N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications. *Geology* 20, 641-644.
- Figueiredo, E.R.H.I., Costa, M.A.C., Castro, C.C., 2014. Geologia e recursos minerais das folhas Ji-Paraná e Serra da Providência, 1:100.000, Rondônia-RO. In: 47º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, BA. (in Portuguese).
- Frost, C.D., Frost, B.R., 1997. Reduced rapakivi type granites: the tholeiitic connection. *Geology* 25, 647-650.
- Frost, C.D., Frost, B.R., Chamberlain, K.R., Edwards, B., 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *Journal of Petrology* 40, 1771-1802.
- 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.
- Haapala, I., Rämö, O.T., 1990. Petrogenesis of the rapakivi granites of Finland. In: Stein, H.J., Hannah, J.L. (Eds.), *Ore bearing Granite Systems: Petrogenesis and Mineralizing Processes*. Special Paper-Geological Society of America, vol. 246, pp. 275-286.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R., 1971. A guide to chemical classification of common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8, 523-548.
- Isotta, C.A.L., Carneiro, J.M., Kato, H.T., Barros, R.J.L., 1978. Projeto Província Estanífera de Rondônia. Relatório Final. Porto Velho: DNP/CPRM, 16v., il. (in Portuguese).
- Janousek, V., Farrow, C.M., Erban, V., 2003. GCDkit: New PC Software for Interpretation of Whole-rock Geochemical Data from Igneous Rocks. *Godschmidt Conference Abstracts*, A186.
- Jensen, L.S., Pykes, D.R., 1982. In: Arndt, N.T., Nisbet, E.G. (Eds.), *Komatiites in the Ontario Portion of the Abitibi Belt*. Komatiites, Allen & Unwin, London, pp. 147-157.
- Kinnunen, K., Lindqvist, K., & Lahtinen, R. 1987. Fluid history from crystal cavities in rapakivi, Pyterlahti, southeastern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 59, 35-44.
- Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68, 277-279.
- Lacerda Filho, J.V., Abreu Filho, W., Valente, C.R., Oliveira, C.C., Albuquerque, M.C., 2004. Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso. Programa integração, atualização e difusão de dados da geologia. CPRM, p. 200 (in Portuguese).
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B.A., 1986. Chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27:745-750.
- Lobato, F.P.N.S., Appel, L.E., Godoy, M.C.F.T., Ritter, J.E., 1966. Pesquisa de cassiterita no Território Federal de Rondônia. Relatório Final. Rio de Janeiro: DNP/DFPM. 209p. (Boletim, 125; in Portuguese).

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Ludwig, K.R., 2003. User's Manual for Isoplot/Ex v. 3.00. In: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. BGC Special Publication 4, Berkeley, 71 pp.

Maniar, P.D., Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 101:635-643.

Nascimento M.A.L., Souza Z.S., Galindo A.C., 2002. Textura granofírica nas rochas do Granito do Cabo de Santo Agostinho, Província Magmática do Cabo, Bacia de Pernambuco (Nordeste do Brasil): implicações geodinâmicas. *Revista de Geologia da UFC*. 15: 101-107. (in Portuguese).

Pokki, J., Kohonen, J., Lahtinen, R., Rämö, O. T., & Andersen, T., 2013. Petrology and provenance of the Mesoproterozoic Satakunta sandstone, SW Finland. Geological Survey of Finland, Report of Investigation.

Quadros, M.L. do E. S., Rizzotto, G.J., 2007. Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia. Escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM, 116p. il. Programa Geologia do Brasil. (in Portuguese).

Quadros, M.L. do E.S., Palmeira, L. C. M., Castro, C. C., 2011. Geologia e recursos minerais da folha Rio Machadinho (SC.20-X-C): Sistema de Informações Geográficas-SIG: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais da folha Rio Machadinho, escala 1:250.000. Porto Velho: CPRM, 160 p. il., color. (in Portuguese).

Rämö, O.T., Haapala, I., 1995. One hundred years of rapakivi granite. *Mineral. Petrol.* 52, 129–185.

Rämö, O.T., Mänttari, I., Huhma, H., Niin, M., Pokki, J., 2007. 1635 Ma Bimodal volcanism associated with the Wiborg rapakivi batholith (Suursaari, Gulf of Finland, Russia). In: Miller, J.A., Kisters, A.F.M. (Eds.), 6th International Hutton Symposium Abstract Volume & Program Guide. Stellenbosch University, Stellenbosch, pp. 174–175.

Ray, J., Saha, A., Koeberl, C., Thoni, M., Ganguly, S., 2013. Geochemistry and petrogenesis of Proterozoic mafic rocks from East Khasi Hills, Shillong Plateau, Northeastern India. *Precambrian Res.* 230, 119-137.

Rizzotto, G.J., Scandola, J.E., Quadros, M.L.E.S., 1996. Aspectos gerais da associação mangerito–charnockito– granito (MCG) da porção oriental do Estado de Rondônia. 39th Congr. Bras. Geol., Salvador, Brasil, 1996. Resumos Expandidos, SBG 1, 35–37.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J., Fletcher, I., 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research* 3, 453-488.

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* 165, 120-152.

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Scandolaro, J.E., 2006. Geologia e Evolução do terreno Jamari, embasamento da faixa Sunsas/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. Unpublished PhD. Thesis, Universidade de Brasília, Brasil, 462 pp. (in Portuguese).

Scandolaro, J.E., Ribeiro, P.S.E., Quadros, M.E.S., Duarte, T.B., Frasca, A.S., 2011. O arco magmático Juruena-Jamari: uma entidade geotectônica Paleoproterozoica única no SW do Cráton Amazônico? In: Simpósio de Geologia da Amazônia, Boa Vista, RR. (in Portuguese).

Scandolaro, J.E., Fuck, R. A., Dall’Agnol, R., Dantas, E.L., 2013. Geochemistry and origin of the early Mesoproterozoic mangerite–charnockite–rapakivi granite association of the Serra da Providência suite and associated gabbros, central–eastern Rondônia, SW Amazonian Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 45, August 2013, Pages 166-193.

Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society London Special Publication, vol. 42, pp. 313-345.

Thorpe, R.S., Brown, G.C, 1999. *The field description of igneous rocks*. John Wiley & Sons, 154p.

Tohver, E., van der Pluijm, B.A., van der Voo, R., Rizzotto, G.A., Scandolaro, J.E., 2002. Paleogeography of the Amazon Craton at 1.2 Ga: early Grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia. *Earth and Planetary Science Letters* 199, 185-200.

Tohver, E., van der Pluijm, B.A., Scandolaro, J.E., Essene, E.J., 2005a. Late Mesoproterozoic deformation of SW Amazonia (Rondônia, Brazil): geochronological and structural evidence for collision with Southern Laurentia. *Journal of Geology* 113, 309-323.

Tohver, E., Van der Pluijm, B.A., Mezger, K., Scandolaro, J.E., Essene, E.J., 2005b. Two stage tectonic history of the SW Amazon craton in the late Mesoproterozoic: identifying a cryptic suture zone. *Precambrian Research* 137, 35-59.

Vorma, A., 1976. On the petrochemistry of rapakivi granites with special reference to the Laitila massif, southwestern Finland. *Geol. Surv. Finland Bull.* 272.

Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W., 1987. A-type granite: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95, 407-419.

Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.* 20, 325-344.

## CAPÍTULO IV

### CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

---

O batólito Serra da Providência inclui a área tipo da Suíte Intrusiva Serra da Providência (~1,6 – 1,5 Ga), que representa um importante e extenso magmatismo do tipo A no SW do Cráton Amazônico. Neste contexto, esta dissertação de mestrado caracterizou a variação faciológica (em escala 1:100.000) encontrada na porção centro oeste deste batólito, em termos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, contribuindo assim para um melhor entendimento a respeito do espectro composicional do magmatismo Serra da Providência.

O mapeamento geológico realizado na área de estudo permitiu a individualização de diferentes fácies no interior do batólito Serra da Providência: piterlitos/viborgitos, sienogranitos granofíricos, leucossienogranitos, riolitos porfiríticos (subvulcânicas), charnockitos, gabronoritos equigranulares e porfiríticos. O nível de detalhe deste mapeamento permitiu cartografar e caracterizar fácies pouco estudadas na região, como foi o caso das rochas subvulcânicas riolíticas, leucossienogranitos, além dos dois grupos distintos de rochas máficas associadas a este magmatismo bimodal (gabronoritos equigranulares e porfiríticos). As fácies graníticas/subvulcânicas félsicas mapeadas em geral são compostas por quartzo, feldspato alcalino perítico, plagioclásio e biotita, eventualmente hornblenda, além de opacos, apatita, titanita, zircão e fluorita. Por vezes, os cristais de plagioclásio apresentam alteração para epidoto e sericita (saussuritização). Já as fácies máficas são compostas por plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, biotita, titanita, apatita e opacos. Característica marcante na fácies gabronorito porfirítico é a intensa alteração dos cristais de piroxênio, substituídos nas bordas e ao longo das clivagens por tremolita-actinolita fibrosa, associada à clorita.

Foi possível gerar novos dados geocronológicos para estas rochas, que se mostraram condizentes com o intervalo de colocação desta suíte. A Fácies Riolito porfirítico representou um dos pulsos mais antigos deste magmatismo, com idade de  $1604 \pm 3$  Ma. Já a fácies leucossienogranito apresentou uma idade de  $1574 \pm 9$  Ma. Estes dados também são concordantes com o intervalo de colocação do batólito Serra da Providência (1606 – 1554 Ma) descrito na literatura (Bettencourt *et al.*, 1999).

A caracterização geoquímica das fácies félsicas estudadas permitiu concluir que estas rochas correspondem a monzogranitos/sienogranitos metaluminosos a peraluminosos, álcali-cálcicos, do tipo A2, ferrosos, similares às rochas estudadas por Scandola *et al.* (2013), colocadas em diversos pulsos deste magmatismo. No entanto, as fácies leucossienogranito e sienogranito granofírico se destacam por possuírem altos valores da razão  $FeOt/(FeOt+MgO) > 0.88$ , que sugerem condições reduzidas no estado de oxidação dos magmas que geraram estas rochas, diferentemente do caráter oxidado predominante em diversos pulsos desta suíte.

Já as fácies máficas estudadas possuem um quimismo similar a basaltos toleíticos, sendo que o #Mg varia de 37 a 41 nos gabronoritos porfiríticos e de 51 a 65 nos gabronoritos equigranulares. Os gabronoritos porfiríticos possuem características geoquímicas compatíveis com basaltos cálcio-alcalinos, e os gabronoritos equigranulares são similares a basaltos continentais.

A caracterização geoquímica feita neste trabalho permitiu ainda concluir que não houve mobilização significativa dos elementos maiores e traço nas rochas afetadas pela Zona de Cisalhamento Ji-Paraná, na porção oeste da área de estudo, pois mesmo as fácies milonitizadas se situaram em campos similares às suas correspondentes isotrópicas, nos diversos diagramas geoquímicos utilizados.

As fácies sienograníticas (sienogranito granofírico e leucossienogranito), além de estarem associadas espacialmente às rochas subvulcânicas (riolitos), possuem características que sugerem que a colocação destes pulsos ocorreu em níveis crustais rasos (<3 km), como por exemplo, a ocorrência de cavidades miarolíticas (exsolução de fases fluidas) e texturas granofíricas frequentes.

A fácies leucossienogranito apresentou características geoquímicas que apontam seu maior potencial metalogenético em relação às outras fácies estudadas. Estas rochas em geral apresentam elevados teores de SiO<sub>2</sub> (>75%) e razão FeOt/(FeOt+MgO) >0,88 (caráter reduzido), valores da razão K/Rb menores que 150. Estas características se assemelham aos granitos mineralizados em Sn do Cráton Amazônico estudados por Dall'Agnol *et al.* (1993). Apesar de não ter sido evidenciada a presença de mineralizações de Sn na área de estudo, o potencial metalogenético destas rochas pode ter sido importante na geração de depósitos secundários/aluvionares, bem como ter representado um considerável papel (como fonte magmática) na geração posterior dos granitos estaníferos da Suíte Intrusiva Rondônia (~995 Ma; Província Estanífera de Rondônia).

A ausência de rochas intermediárias associadas ao batólito Serra da Providência (magmatismo bimodal) corrobora com a sua origem em ambiente intraplaca. A presença de enclaves máficos microgranulares subarredondados (contendo fenocristais de feldspato alcalino), no interior da fácies viborgito/piterlito, evidencia a atuação de processos do tipo *mingling* entre os magmas félsicos e máficos que geraram estas rochas.

As anomalias negativas de Nb e Ta, observadas nas rochas félsicas, bem como o enriquecimento de elementos terras raras leves, sugerem uma fonte mantélica modificada em zonas de subducção, similar ao que ocorre em ambientes pós colisionais. Adicionalmente, o enriquecimento em Rb, K e Ce destas rochas sugere uma contribuição crustal na sua geração. Os valores elevados da razão FeOt/(FeOt+MgO) também sugerem fontes heterogêneas na geração destas rochas: rochas ígneas quartzo-feldspáticas com caráter reduzido (Anderson and Morrison, 2005), contribuição de rochas metassedimentares (Dall'Agnol *et al.*, 2005), ou ainda rochas toleíticas fracionadas (Frost and

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Frost, 1997; Frost *et al.*, 1999). No âmbito das rochas máficas estudadas, a presença de dois grupos distintos de gabronoritos também corrobora com a presença de fontes heterogêneas na geração do magmatismo Serra da Providência.

Finalmente, os dados geoquímicos apresentados neste trabalho sugerem uma complexa interação entre processos de fusão crustal, cristalização fracionada, mistura de magmas e assimilação crustal, durante a geração do magmatismo Serra da Providência. Esta complexidade de processos magmáticos reforça a necessidade de estudos mais detalhados e específicos para cada batólito rapakivi que compõe uma suíte, como foi sugerido por Vormo (1976). Sendo assim, este trabalho procurou contribuir para o avanço dos estudos nesta direção, apresentando dados detalhados dos diversos pulsos que compõem o batólito Serra da Providência, dentre os inúmeros corpos e batólitos que compõem esta suíte no SW do Cráton Amazônico.



## Referências Bibliográficas

---

- Adamy, A., Sousa, R. Da S., Oliveira, S. A. M. de, 1984. Projeto Centro-Leste de Rondônia. Folha SC.20-Z-B Rio Branco: nota explicativa da 2ª fase. Porto Velho: CPRM, 1 v.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* 17, 1–29.
- Amaral, G., 1974. Geologia pré-cambriana da Região Amazônica. Unpublished MSc, USP-Instituto de Geociências, São Paulo, 212 pp. (in Portuguese).
- Anderson, J.L., Morrison, J., 2005. Ilmenite, magnetite, and peraluminous Mesoproterozoic anorogenic granites of Laurentia and Baltica. *Lithos* 80, 45–60.
- Bahia, R. B. C., 1997. A Formação Palmeiral (Proterozóico Superior) na Serra dos Pacaás Novos, oeste de Rondônia. 1997. 88 p. il. Tese (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém.
- Batchelor, R.A., Bowden, P., 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology* 48, 43-55.
- Batista, I. H., 1985. Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais. Folha SC.20-Z-A Rondônia. Porto Velho: CPRM, 2 v.
- Bettencourt, J.S., Tosdal, R.M., Leite Jr., W.B., Payolla, B.L., 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of Rondonia tin province, southwestern border of the Amazonian Craton, Brazil: reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research* 95, 41-67.
- Bettencourt, J. S., Leite Júnior, W. B., Payolla, B. L., Wooden, J. L., Tosdal, R. M., 2014. 1.48 – 1.32 Ga Buritis Paragneiss protolith, Rondônia, Brazil: Additional evidence of passive continental margin sedimentation during Calymmian – Ectasian period in the SW Amazonian Craton. In: South American Symposium on Isotope Geology, 9, São Paulo. Program and Abstracts. São Paulo: CPGeo.
- Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H., 2004. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília. Brasil (in Portuguese).
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, pp. 63-114.
- Bühn, B., Pimentel, M.M., Matteini, M., Dantas, E.L., 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-IC-MS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1):1-16.

- Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.
- Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J., Chappell, B.W., 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 80, 189-200.
- Cordani, U. G., Brito Neves, B. B., 1982. The geologic evolution of south America during the Archean and early preterozoic. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 12, n. 1/3, p. 78-88.
- Costa, M. A. C., Figueiredo, E. R. H., 2011. Dados preliminares sobre provável zona de cúpula granítica na Suíte Serra da Providência, folha Ji-Paraná-RO, SW do Cráton Amazônico. In: XII Simpósio de Geologia da Amazônia, Boa Vista, RR. (in Portuguese).
- Costa, M.A.C., Rodrigues, J.B., Quadros, M.L.E.S., Scandolara, J.E., Figueiredo, E.R.H.I., 2014. New detrital zircon U-Pb ages on Igarapé Lourdes Formation, southwest of the Amazonian Craton, Ji-Paraná, Rondônia, Brazil. *South American Symposium on Isotope Geology*, 9. Short Papers. São Paulo, Brazil.
- CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2009. Projeto Aerogeofísico Rio Machado: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Engenharia e Prospecções, 15 v. il. Programa Geologia do Brasil.
- Dall'Agnol, R., Teixeira, N.P., Magalhães, M.S., 1993. Diagnostic features of the tin-specialized anorogenic granites of the Eastern Amazonian region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 65 (Supl. 1), 33–50.
- Dall'Agnol, R., Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology* 50, 113-138.
- Dall'Agnol, R., Costi, H.T., Leite, A.A., Magalhaes, M.S., Teixeira, N.P., 1999. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research* 95, 9– 39.
- Dall'Agnol, R., Teixeira, N.P., Ramo, T.O., Moura, C.A.V., Macambira, M.J.B., Oliveira, D.C., 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archaean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos* 80, 101-129.
- Dall'Agnol, R., 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.
- Debon, F., Le Fort, P., 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bulletin of Mineralogy* 111, 493-510.

- Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.
- Eby, G.N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications. *Geology* 20, 641-644.
- Figueiredo, E.R.H.I., Costa, M.A.C., Castro, C.C., 2014. Geologia e recursos minerais das folhas Ji-Paraná e Serra da Providência, 1:100.000, Rondônia-RO. In: 47º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, BA. (in Portuguese).
- Frost, C.D., Frost, B.R., 1997. Reduced rapakivi type granites: the tholeiitic connection. *Geology* 25, 647-650.
- Frost, C.D., Frost, B.R., Chamberlain, K.R., Edwards, B., 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *Journal of Petrology* 40, 1771-1802.
- 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.
- Haapala, I., Rämö, O.T., 1990. Petrogenesis of the rapakivi granites of Finland. In: Stein, H.J., Hannah, J.L. (Eds.), *Ore bearing Granite Systems: Petrogenesis and Mineralizing Processes*. Special Paper-Geological Society of America, vol. 246, pp. 275-286.
- Hasui, Y., Haralyi, N.L.E., Schobbenhaus, C., 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônica: subsídios para o modelo geodinâmico. In: *Anais 2nd Symp. Amaz.*, Departamento Nacional da Produção Mineral, Manaus, pp. 129-147.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R., 1971. A guide to chemical classification of common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8, 523-548.
- Isotta, C.A.L., Carneiro, J.M., Kato, H.T., Barros, R.J.L., 1978. Projeto Província Estanífera de Rondônia. Relatório Final. Porto Velho: DNPN/CPRM, 16v., il. (in Portuguese).
- Janousek, V., Farrow, C.M., Erban, V., 2003. GCDkit: New PC Software for Interpretation of Whole-rock Geochemical Data from Igneous Rocks. *Godschmidt Conference Abstracts*, A186.
- Jensen, L.S., Pykes, D.R., 1982. In: Arndt, N.T., Nisbet, E.G. (Eds.), *Komatiites in the Ontario Portion of the Abitibi Belt*. Komatiites, Allen & Unwin, London, pp. 147-157.
- Kato, H. T., Costa, E. G. Da, Sousa, R. da S., 1983. Projeto Centro - Leste de Rondônia. Folha SC.20-Z-A Rondônia: nota explicativa da 1ª fase. Porto Velho: CPRM, 1 v.
- Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68, 277-279.

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Lacerda Filho, J.V., Abreu Filho, W., Valente, C.R., Oliveira, C.C., Albuquerque, M.C., 2004. Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso. Programa integração, atualização e difusão de dados da geologia. CPRM, p. 200 (in Portuguese).

La Roche, H., 1980. La chimie des roches présentée et interprétée d'après la structure de leur faciés mineral dans l'espace des variables chimiques: fonctions spécifiques et diagrammes qui s'en déduisent-application aux roches ignées. *Chemical Geology* 21, 63-87.

Leal, J.W.L., Silva, G.H., Abreu, A.S., Lima, M.I.C. de., 1976. Granito Serra da Providência. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto. Anais. Ouro Preto: SBG, v. 4, p. 59-74.

Leal, J. W. L., Silva, G. H., Santos, D. B., Teixeira, W., Lima, M. I. C., Fernandes, C. A. C., Pinto, A. C., 1978. Folha SC.20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: DNPM p. 17-184. (Levantamento de Recursos Naturais, 16).

Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B.A., 1986. Chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27:745-750.

Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dubek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell, Oxford.

Lobato, F.P.N.S., Appel, L.E., Godoy, M.C.F.T., Ritter, J.E., 1966. Pesquisa de cassiterita no Território Federal de Rondônia. Relatório Final. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM. 209p. (Boletim, 125; in Portuguese).

Ludwig, K.R., 2003. User's Manual for Isoplot/Ex v. 3.00. In: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. BGC Special Publication 4, Berkeley, 71 pp.

Maniar, P.D., Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 101:635-643.

Nascimento M.A.L., Souza Z.S., Galindo A.C., 2002. Textura granofírica nas rochas do Granito do Cabo de Santo Agostinho, Província Magmática do Cabo, Bacia de Pernambuco (Nordeste do Brasil): implicações geodinâmicas. *Revista de Geologia da UFC*. 15: 101-107. (in Portuguese).

- Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.
- Neder, R. D., Figueiredo, B. R., Beaudry, C., Collins, C., Leite, J. A. D., 2000. The Expedito massive sulphide deposit, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 222-225.
- Payolla, B.L., Bettencourt, J.S., Kozuch, M., Leite Jr., W.B., Fetter, A.H., Van Schmus, W.R., 2002. Geological evolution of the basement rocks in the eastcentral part of the Rondonia tin province, SW Amazonian craton, Brazil: U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. *Precambrian Research* 119, 141-169.
- Payolla, B. L., Bettencourt, J. S., Tosdal, R. M., Wooden, J. L., Leite Júnior, W. B., 2003. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of high-grade paragneiss from NE Rondônia, SW Amazonian Craton, Brazil: constraints of provenance and metamorphism. In: *South American Symposium on Isotope Geology*, 4, Salvador. Short Papers. Salvador: CBPM,IRD, 2003a. v. 1, p. 248-251.
- Pearce, J. A., Norry, M. J., 1979, Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69:33-47.
- Peccerillo, A., Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 58, 63-81.
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20(4), 375-379.
- Pinto Filho F.P., Freitas A.F. de, Melo C.F. de, Romanini S.J., 1977. Projeto Sudeste de Rondônia. DNPM/CPRM, Porto Velho, Relatório final, 4 v.
- Pokki, J., Kohonen, J., Lahtinen, R., Rämö, O. T., & Andersen, T., 2013. Petrology and provenance of the Mesoproterozoic Satakunta sandstone, SW Finland. Geological Survey of Finland, Report of Investigation.
- Quadros, M.L. do E. S., Rizzotto, G.J., 2007. Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia. Escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM, 116p. il. Programa Geologia do Brasil. (in Portuguese).
- Quadros, M.L. do E.S., Palmeira, L. C. M., Castro, C. C., 2011. Geologia e recursos minerais da folha Rio Machadinho (SC.20-X-C): Sistema de Informações Geográficas-SIG: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais da folha Rio Machadinho, escala 1:250.000. Porto Velho: CPRM, 160 p. il., color. (in Portuguese).
- Rämö, O.T., Haapala, I., 1995. One hundred years of rapakivi granite. *Mineral. Petrol.* 52, 129–185.

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Rämö, O.T., Mänttari, I., Huhma, H., Niin, M., Pokki, J., 2007. 1635 Ma Bimodal volcanism associated with the Wiborg rapakivi batholith (Suursaari, Gulf of Finland, Russia). In: Miller, J.A., Kisters, A.F.M. (Eds.), 6th International Hutton Symposium Abstract Volume & Program Guide. Stellenbosch University, Stellenbosch, pp. 174–175.

Ray, J., Saha, A., Koeberl, C., Thoni, M., Ganguly, S., 2013. Geochemistry and petrogenesis of Proterozoic mafic rocks from East Khasi Hills, Shillong Plateau, Northeastern India. *Precambrian Res.* 230, 119-137.

Rizzotto, G.J., Scandola, J.E., Silva, C.R. Da, Dall'agnol, R., Bettencourt, J.S., Morais, P.R.C., 1995. 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. Abstracts Volume. Belém: Center for Geosciences. University Federal of Para, p. 67-68.

Rizzotto, G.J., Scandola, J.E., Quadros, M.L.E.S., 1996. Aspectos gerais da associação mangerito–charnockito–granito (MCG) da porção oriental do Estado de Rondônia. 39th Congr. Bras. Geol., Salvador, Brasil, 1996. Resumos Expandidos, SBG 1, 35–37.

Rizzotto, G. J., Oliveira, J. G. F. de, Quadros, M. L. do E. S., Castro, J. M. R. de, Cordeiro, A., Adamy, A., Dantas, M. E., Melo Junior, H. R. de., 2005a. Projeto Rio Madeira: levantamento de informações para subsidiar estudo de viabilidade do aproveitamento hidrelétrico (AHE) do rio Madeira. AHE Santo Antonio: relatório final. Porto Velho: CPRM, 233 p.

Rizzotto, G. J., Oliveira, J. G. F. de, Quadros, M. L. do E. S., Castro, J. M. R. de, Cordeiro, A., Adamy, A., Dantas, M. E., Melo Junior, H. R., 2005b. Relatório sobre os estudos de viabilidade para aproveitamentos hidrelétricos no rio Madeira: relatório de progresso: aproveitamento hidrelétrico do Jirau e Santo Antônio. Porto Velho: CPRM.

Romanini, S. J., 2000. Geologia e resultados prospectivos das áreas serra dos Pacaás Novos e rio Cautário-Rondônia. Porto Alegre: CPRM. (Informe de Recursos Minerais. Série Metais do Grupo da Platina e Associados, 20).

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J., Fletcher, I., 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research* 3, 453-488.

Santos, J. O. S., Rizzotto, G. J., Hartmann, L. A., Mcnaughton, N. L., Fletcher, I. R., 2001. Ages sedimentary basins related to the Sunsás and Juruena orogenies, southwest Amazon Craton established by zircon U-Pb geochronology. In: Workshop on Geology of the SW Amazonian Craton: state-of-the-

Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

art, 2001, São Paulo. Extended Abstracts. São Paulo: Institute of Geosciences, University of São Paulo. p. 114-118.

Santos, J. O. S.; Rizzotto, G. J.; Potter, P. E.; Hartmann, L. A.; Easton, R. M.; McNaughton, N. J., 2002. The Sunsas Orogenic cycle in western Amazon Craton, South America and correlation to the Grenville cycle of Laurentia, based on U-Pb isotopic study of detrital and igneous zircons. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41., 2002, João Pessoa. Anais. João Pessoa: SBG-Núcleo Nordeste, p. 335.

Santos, J.O.S., Rizzotto, G.J., Chemale Júnior, F., Hartmann, L.A., Quadros, M.L. do E.S., McNaughton, N.J., 2003. Three distinctive collisional orogenies in the Southwestern Amazon Craton: constraints from U-Pb geochronology. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. Short Papers. Salvador: CBPM;IRD. p. 282-285.

Santos, J.O.S., 2004. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H. (Eds.), Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília (in Portuguese).

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* 165, 120-152.

Scandolara, J.E., Rizzotto, G.J., Bahia, R.B.C., Quadros, M.L.E.S., Amorim, J.L., Dall'Igna, L.G., 1999. Geologia e Recursos Minerais 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 (in Portuguese).

Scandolara, J.E., 2006. Geologia e Evolução do terreno Jamari, embasamento da faixa Sunsas/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. Unpublished PhD. Thesis, Universidade de Brasília, Brasil, 462 pp. (in Portuguese).

Scandolara, J.E., Ribeiro, P.S.E., Quadros, M.E.S., Duarte, T.B., Frasca, A.S., 2011. O arco magmático Juruena-Jamari: uma entidade geotectônica Paleoproterozoica única no SW do Cráton Amazônico? In: Simpósio de Geologia da Amazônia, Boa Vista, RR. (in Portuguese).

Scandolara, J.E., Fuck, R. A., Dall'Agnol, R., Dantas, E.L., 2013. Geochemistry and origin of the early Mesoproterozoic mangerite–charnockite–rapakivi granite association of the Serra da Providência suite and associated gabbros, central–eastern Rondônia, SW Amazonian Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 45, August 2013, Pages 166-193.

- Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.
- Shand, S.J., 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification e their relation to ore deposit, fourth ed. London, 488pp.
- Silva, C. R. da, Bahia, R. B. C., Silva, L. C. da., 1992. Geologia da região de Rolim de Moura-sudeste de Rondônia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo: SBG-Núcleo São Paulo. v. 2, p. 152-154.
- Soeiro, R. S., Martins, E. G., Torres, L. C. A., 1977. Projeto Manganês na Serra da Providência: relatório final. Porto Velho: CPRM, 5 v., il.
- Souza, E. C. de, Melo, A. F. F. de, Adamy, A., Soeiro, R. S., Daleiro, V., 1975. Projeto Noroeste de Rondônia: relatório final. Porto Velho: CPRM. 12 v. il.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society London Special Publication, vol. 42, pp. 313-345.
- Tassinari, C.C.G., 1984. A porcao ocidental do Craton Amazonico: evidencias isotopicas de acrecao continental no Proterozoico Medio. In: SYMPOSIUM AMAZONICO, 2, Manaus. Atas. Manaus: DNPM, p.439-446.
- Tassinari, C. C. G., Cordani, U. G., Nutman, A. P., Van Schmus, W. R., Bettencourt, J. S., Taylor, P. N., 1996. Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro-Juruena Province (Amazonian Craton) and tectonic implications. International Geology Review, v. 38, p. 161-175.
- Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological provinces of the Amazonian craton. Episodes 22, 174-182.
- Teixeira, W., Tassinari, C. C. G., 1984. Caracterização geocronológica da Província Rondoniana e suas implicações geotectônicas. In: Symposium Amazonico, 2, Manaus. Anais. Manaus: DNPM. p. 89-101.
- Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G., Kawshita, K, 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. Precambrian Research 42, 213-227.
- Thorpe, R.S., Brown, G.C, 1999. The field description of igneous rocks. John Wiley & Sons, 154p.
- Tohver, E., van der Pluijm, B.A., van der Voo, R., Rizzotto, G.A., Scandolara, J.E., 2002. Paleogeography of the Amazon Craton at 1.2 Ga: early Grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia. Earth and Planetary Science Letters 199, 185-200.



Costa, M.A.C. 2015. Geoquímica e geocronologia dos granitos rapakivi e rochas associadas da porção centro oeste do batólito Serra da Providência, SW do Cráton Amazônico, Rondônia, Brasil.

Tohver, E., van der Pluijm, B.A., Scandolaro, J.E., Essene, E.J., 2005a. Late Mesoproterozoic deformation of SW Amazonia (Rondônia, Brazil): geochronological and structural evidence for collision with Southern Laurentia. *Journal of Geology* 113, 309-323.

Tohver, E., Van der Pluijm, B.A., Mezger, K., Scandolaro, J.E., Essene, E.J., 2005b. Two stage tectonic history of the SW Amazon craton in the late Mesoproterozoic: identifying a cryptic suture zone. *Precambrian Research* 137, 35-59.

Vorma, A., 1976. On the petrochemistry of rapakivi granites with special reference to the Laitila massif, southwestern Finland. *Geol. Surv. Finland Bull.* 272.

Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W., 1987. A-type granite: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95, 407-419.

Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.* 20, 325-344.