



UFRJ

ALINE ROSE LOPES SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS
METASSEDIMENTARES DO DEPÓSITO SÃO SEBASTIÃO,
GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2021



UFRJ

Aline Rose Lopes Sousa

**CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METASSEDIMENTARES
DO DEPÓSITO SÃO SEBASTIÃO, GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS
GERAIS, BRASIL**

Trabalho Final do Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto

Rio de Janeiro

Agosto 2021

Lopes Sousa, Aline Rose

CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METASSEDIMENTARES DO DEPÓSITO SÃO SEBASTIÃO, GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL/ Aline Rose Lopes Sousa- - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2021.

81 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2021.

Orientador: Atlas Vasconcelos Corrêa Neto

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Aline Rose Lopes Sousa

**CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METASSEDIMENTARES
DO DEPÓSITO SÃO SEBASTIÃO, GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS
GERAIS, BRASIL**

Trabalho Final do Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto

Aprovada em: _____

Por:

Orientador: Atlas Vasconcelos Corrêa Neto (UFRJ)

Nome (Instituição)

Nome (Instituição)

UFRJ
Rio de Janeiro
2021

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo incondicional que sempre tiveram para com meus sonhos, e infelizmente não puderam estar presentes em vida na concretização dos mesmos. E aos meus filhos, Lorenzo e Joaquim, que são minha maior fonte de amor, força e inspiração.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr Atlas Vasconcelos Corrêa Neto, pelo incentivo, ensinamentos, paciência, empatia, atenção e suporte dado, não somente durante o desenvolvimento deste trabalho como também por todos os anos de graduação.

À Dra. Mariana Brando Soares e à empresa IAMGOLD Ltda por permitirem o acesso aos dados utilizados neste trabalho.

Ao meu noivo, Carlos, pela compreensão, paciência, por sempre ter sido meu maior incentivador e nunca ter deixado de me apoiar, motivar e proporcionar oportunidades para que eu pudesse completar minha formação.

Aos meus sogros, Maria Yolanda e Luís, e minha cunhada, Annie Lucia, que romperam barreiras geográficas e linguísticas, e fizeram tudo ao seu alcance para apoiar na conclusão do meu curso e deste trabalho.

A todos os meus amigos, especialmente os com quem tive o prazer de compartilhar repúblicas, por terem sido minha família no Rio, meu apoio nos melhores e piores momentos durante toda essa trajetória.

À minha irmã Gabriela, tias, Nilza, Nilta, Neide e Marta, amigas, Roberta e Amanda, por, mesmo longe, sempre acreditarem em mim, respeitarem minhas decisões e serem minha base.

Por fim, agradeço a toda a equipe docente, técnica e administrativa do IGEO/UFRJ por tudo que aprendi dentro da instituição, tanto em sala de aula quanto em campo; em especial a Anadja Pacheco, pela torcida, carinho e dedicação para com os alunos.

Resumo

LOPES SOUSA, Aline Rose. **CARACTERIZAÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE ROCHAS METASSEDIMENTARES DO DEPÓSITO SÃO SEBASTIÃO, GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL, MG.** 2021, 81 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O Depósito aurífero São Sebastião está localizado no *Greenstone Belt* Pitangui, a noroeste do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton São Francisco, Minas Gerais. Este cinturão compreende três unidades: uma unidade inferior, formada por rochas metavulcânicas ultramáficas e máficas, intercaladas com intervalos metassedimentares de formações ferríferas bandadas (BIFs), metarenitos turbidíticos e metapelitos; intermediária, composta por rochas metassedimentares areníticas e pelíticas, intercaladas com rochas metavulcânicas intermediárias e BIFs; e superior, composta de quartzitos e metaconglomerados polimíticos. O metamorfismo atingiu fácies xisto verde superior a anfibolito. A região do Depósito São Sebastião corresponde a unidade inferior do *Greenstone Belt* Pitangui e sua estratigrafia está dividida em 5 intervalos. Os intervalos I, III e V são compostos predominantemente por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas, e os intervalos II e IV por rochas metassedimentares (metarenitos, BIFs, metapelitos carbonosos e metacherts). As rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião foram identificadas como quartzarenitos, areias ferruginosas e uma amostra de subarcóseo. A composição dos elementos maiores desses metarenitos é homogênea e consistente com a composição média da Crosta Continental Superior e dos folhelhos pós-arqueanos da Austrália. Análises geoquímicas e interpretações de diagramas de classificação destas rochas indicam que sofreram baixo intemperismo na fonte e imaturidade composicional, portanto, ambiente de deposição proximal. Estas análises também sugerem uma origem bimodal para o grupo de amostras, com predominância de fonte félsica para as amostras de quartzarenitos, e máfica para as amostras de areias ferruginosas e subarcóseo. As características geoquímicas das rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião também apontam origem tectônica relacionada a ambiente de margem continental ativa para amostras de quartzarenitos e de arcos de ilha oceânico para areias ferruginosas e subarcóseo. Isso pode ser explicado por uma transição dos tipos litológicos dos metassedimentos correspondentes a uma mudança na natureza do vulcanismo e configuração tectônica. Portanto, corroboram com a proposta de que o *Greenstone Belt* Pitangui se desenvolveu em um regime tectônico de back-arc convergindo para um ambiente de subducção de arco de ilha. Os dados litoestratigráficos e geoquímicos do Depósito São Sebastião e do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui foram comparados e somente as amostras de areias ferruginosas possuem semelhança.

Palavras-chave: geoquímica; *Greenstone Belt* Pitangui, rochas metassedimentares; Depósito São Sebastião, Ambiente tectônica.

Abstract

LOPES SOUSA, Aline Rose. LITOGEOCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF METASEDIMENTARY ROCKS OF THE SÃO SEBASTIÃO DEPOSIT, GREENSTONE BELT PITANGUI, MINAS GERAIS, BRASIL. 2020. 81 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The São Sebastião gold deposit is located in the Greenstone Belt Pitangui, northwest of the Quadrilátero Ferrífero, south of the São Francisco Craton, Minas Gerais. This belt comprises three units: A Lower unit formed by ultramafic and mafic metavolcanic rocks interbedded with metasedimentary intervals of banded iron formations (BIFs), turbiditic metasediments and metapelites; a Middle Unit composed of sandstone and pelite metasedimentary rocks interbedded with intermediate metavolcanic rocks and BIFs; and Upper composed of quartzites and polymictic metaconglomerates. Metamorphism reached upper greenschist facies to lower amphibolite facies conditions. The region of the São Sebastião Deposit corresponds to the lower unit of the Pitangui Greenstone belt and its stratigraphy is divided into 5 intervals. Intervals I, III and V are predominantly composed of mafic and ultramafic metavolcanic rocks and intervals II and IV by metasedimentary rocks (metasandstone, BIFs, carbonaceous metapelites and metacherts). The metasedimentary rocks of the São Sebastião Deposit were identified as quartz arenite, Fe-sand and a sample of subarkose. The composition of the larger elements of these metasandstones is homogeneous and consistent with the average composition of Upper Continental Crust and post-Archaean Australian shales. Geochemical analyzes and interpretations of classification diagrams for these rocks indicate that they suffered low weathering at the source and compositional immaturity, therefore an environment of proximal deposition. These analyzes also suggest a bimodal origin for the group of samples, with a predominance of felsic source for the quartz arenite samples, and mafic for the samples of Fe-sand and subarkose. The characteristics of the metasedimentary rocks of the São Sebastião Deposit also point to a tectonic origin related to an active continental margin environment for samples of quartz arenite and oceanic island arcs for Fe-sand and subarkose. This can be explained by a transition from the lithological types of the metasediments corresponding to a change in the nature of volcanism and tectonic configuration. Therefore, they corroborate the proposal that the Greenstone Belt Pitangui developed in a tectonic back-arc regime converging to an island arc subduction environment. The lithostratigraphic and geochemical data of the São Sebastião Deposit and the southwest sector of the Greenstone Belt Pitangui were compared and only the samples of Fe-sand are similar.

Key-Words: geochemistry; Greenstone Belt Pitangui, metasedimentary rocks; São Sebastião Deposit, Tectonic environment.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - a) Localização geral do Projeto Pitangui, localizado no município de Onça do Pitangui– MG. b) Imagem retirada do Google Earth, mostrando a área do Depósito São Sebastião 3
- Figura 2** - Configuração geológica regional do Quadrilátero Ferrífero no setor sul do Cráton São Francisco. O mapa também mostra a localização do Depósito São Sebastião, na *Greenstone Belt* Pitangui, entre as cidades de Pitangui e Pará de Minas.....6
- Figura 3** – Coluna estratigráfica do Greenstone Belt Rio das Velhas para o Quadrilátero Ferrífero8
- Figura 4** - Correlações litoestratigráficas e cronoestratigráficas entre os *Greenstone Belts* Pitangui e Rio das Velhas.....11
- Figura 5** - (a) Esboço geológico do Greenstone Belt Pitangui e área circundante, com localização do Depósito São Sebastião. (b) Secção geológica A - B ao longo do *Greenstone Belt* Pitangui.....12
- Figura 6** - (a) Coluna estratigráfica esquemática do *Greenstone Belt* Pitangui. (b) Estratigrafia do depósito São Sebastião 16
- Figura 7** - Diagrama de classificação química para amostras de rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião Diagrama de classificação química para amostras de rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião.....22
- Figura 8** - Diagrama Harker para os elementos maiores (Al_2O_3 , CaO, K_2O , MgO, Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 e FeOt).....25
- Figura 9** - Diagramas de correlação com a SiO_2 para os elementos traços (Ba, Ce, Cr, La, Rb, Sr, Y, Ni, #mg, A/CNK e K_2O/Na_2O).....26
- Figura 10** - Diagramas de correlação com o Al_2O_3 (a) para os elementos maiores (b) para elementos traços27
- Figura 11** - Diagramas de correlação com o TiO_2 (a) para os elementos maiores (b) para elementos traços27
- Figura 12** - *Spider diagram* – normalização em relação ao condrito.....30
- Figura 13** - *Spider diagram* – normalização em relação a Crosta Continental Superior...30
- Figura 14** - *Spider diagram* – normalização para PAAS.....32
- Figura 15** - Diagrama ternário de proporção molecular Al_2O_3 (A)-CaO* + Na_2O (CN)- K_2O (K) para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião, com escala do Índice Químico de Alteração (CIA).....35
- Figura 16** - Diagrama de razões Th / U versus abundância de Th.....35

Figura 17 - Valores do Índice de variabilidade composicional para minerais formadores de rochas selecionados.....	36
Figura 18 - Diagramas bivariantes em relação ao índice empírico de maturidade mineral.....	37
Figura 19 - Diagrama de Th / Sc versus Zr/Sc.....	38
Figura 20 - Frequência do índice químico de alteração) e margem de valores de produtos de intemperismo.....	45
Figura 21 - Diagrama Ternário $Al_2O_3 - (CaO+Na_2O) - K_2O$ para tendências de intemperismo para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião.....	46
Figura 22 – Coluna estratigráfica esquemática do Greenstone Belt Pitangui e Estratigrafia do depósito São Sebastião mostrando os intervalos de I a V e posição das amostras deste estudo.....	48
Figura 23 - Diagrama de La/Th vs. Hf.....	49
Figura 24 -Diagrama de distribuição de K e Rb para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião, em relação a uma razão de K/Rb de 230.....	50
Figura 25 - Diagrama de classificação tectônica para as amostras do Depósito São Sebastião. (a)Diagrama $Fe_2O_3 +MgO$ vs. Al_2O_3/ SiO_2 (b) Diagrama Fe_2O_3+MgO v.s. TiO_2	51
Figura 26 - Diagrama de classificação tectônica para as amostras do Deposito São Sebastião. (a)Diagrama Th-Sc-Zr/10; (b) Diagrama Ti/Zr vs. La/Sc.....	52
Figura 27 - Diagrama de classificação tectônica para as amostras do Depósito São Sebastião.....	53
Figura 28 - Diagrama de classificação química, mostrando campo ocupado pelas amostras do setor sudoeste do <i>Greenstone Belt</i> Pitangui comparadas as amostras do Depósito São Sebastião.....	54
Figura 29 - Diagrama ternário de proporção molecular $Al_2O_3 (A)-CaO^* + Na_2O (CN)-K_2O (K)$, mostrando os campos sobrepostos dos <i>Greenstone Belt</i> Pitangui (Depósito São Sebastião e setor sudoeste), com escala do Índice Químico de Alteração.....	54
Figura 30 - Diagrama ternário Th-Sc-Zr/10 de classificação tectônica, mostrando campo ocupado pelas amostras do setor sudoeste do <i>Greenstone Belt</i> Pitangui comparadas as amostras do Depósito São Sebastião e a pequena sobreposição entre eles.....	56
Figura 31 - Diagrama de classificação tectônica, mostrando os campos sobrepostos dos <i>Greenstone Belt</i> Pitangui (Depósito São Sebastião e setor sudoeste).....	56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** -Máximos, mínimos e valores médios percentuais dos elementos maiores e menores das análises químicas realizadas em rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião.....22
- Tabela 2**- Valores médios dos elementos traços das análises químicas realizadas em rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião.....23
- Tabela 3** - Valores médios percentuais dos elementos maiores das análises químicas realizadas para areias ferruginosas, quartzarenitos e subarcóseo do Depósito São Sebastião.....24
- Tabela 4** - Comparação entre as relações elementares médias das amostras de metarenitos do Depósito São Sebastião e os intervalos conhecidos para arenitos de diferentes fontes de proveniência.....43
- Tabela 5** - Índice de maturidade sedimentar empregando dados de análise química de tipos comuns de produtos sedimentares.....47

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Tabela de resultados de análises químicas do Depósito São Sebastião.....	64
Anexo B – Valores calculados de ICV, CIA e IMAT para as amostras do Depósito São Sebastião.....	68

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	vii
<i>Abstract</i>	viii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xi
Lista de anexos	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Localização.....	2
1.3 Aspectos Fisiográficos.....	2
2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	4
2.1 Greenstone Belt Rio das Velhas.....	7
2.2 Greenstone Belt Pitangui.....	9
2.2.1 Metamorfismo.....	13
2.2.2 Geologia Estrutural.....	13
2.2.3 Estratigrafia.....	14
2.3 Depósito São Sebastião.....	17
3 METODOLOGIA.....	19
4 RESULTADOS.....	21
4.1 Caracterização litogeoquímica.....	21
4.1.1 Classificação.....	21
4.2 <i>Spider diagrams</i>	28
4.3 Área fonte.....	33
4.3.1 Intemperismo.....	33
4.3.2 Origem.....	38
5 DISCUSSOES.....	39
5.1 Intemperismo e maturação da área fonte.....	44
5.2 Estratigrafia.....	47
5.2 Proveniência.....	48
5.3 Ambiente tectônico	50

5.4	Comparações litogeoquímicas com rochas metassedimentares de outras áreas do Greenstone Belt Pitangui.....	53
6	CONCLUSÕES.....	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
8	ANEXOS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Localizado na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, correspondendo à parte sul do Setor Ocidental do Cráton São Francisco, o Depósito São Sebastião é formado por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas e rochas metassedimentares (metarenitos turbidíticos, BIFs, metapelitos carbonosos e metacherts) inseridas na unidade inferior do *Greenstone Belt* Pitangui.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos na região do *Greenstone Belt* Pitangui são voltados para exploração mineral, enfocados nos complexos TTGs e seus plútons granitoides, assim como nas rochas máficas e ultramáficas (Brando Soares et al. 2017, Melo Silva 2016, Santos 2017, Romano 2007, Romano et al. 2013).

Apesar de fazer-se uso da correlação entre as unidades definidas para o *Greenstone Belt* Pitangui (Brando Soares et al. 2017, Romano 2007) e os ciclos tectono-sedimentares do *Greenstone Belt* Rio das Velhas (Noce et al. 2005, Baltazar e Zucchetti 2007, Silva 2006, Teixeira et al. 1996, Machado et al. 1996, Lana et al. 2013), utilizando dados petrogenéticos e geocronológicos, ainda são escassos na literatura trabalhos sobre as rochas metassedimentares da área e a correlação destas com as rochas metaígneas das sequências *Greenstone Belts*. Por isso, este trabalho é pioneiro em caracterização de rochas metassedimentares do *Greenstone Belt* Pitangui.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo a caracterização litogeoquímica de rochas metassedimentares do *Greenstone Belt* Pitangui, a fim de se obter mais informações acerca do ambiente de deposição e configuração tectônica das rochas do Depósito São Sebastião, através de dados químicos de rocha total.

Os resultados foram comparados aos dados já existentes para a área do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui, para averiguar possível correlação.

1.2 Localização

O Depósito São Sebastião está localizado a aproximadamente 110 km noroeste da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, em um distrito do município de Onça do Pitangui (Figura 1).

1.3 Aspectos Fisiográficos

A área do Depósito São Sebastião está localizada em uma região de baixo relevo topográfico e forma suaves colinas com altitude máxima de 1060m e média de 700 a 800m, com predomínio de campos de pastagens (SRK consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014).

A vegetação característica e localmente preservada é uma transição entre Cerrado e Mata Atlântica, apresentando forte influência antrópica e de maneira subordinada matas de encosta e matas ciliares (Romano, 2007).

O clima da região é o temperado, com duas estações características: um verão chuvoso, (outubro a março) com variação térmica de 20 a 35 °C e um inverno (abril a setembro) seco, com temperaturas médias entre 13 e 28 °C (SRK Consulting & IAMGOLD Brasil, 2014).

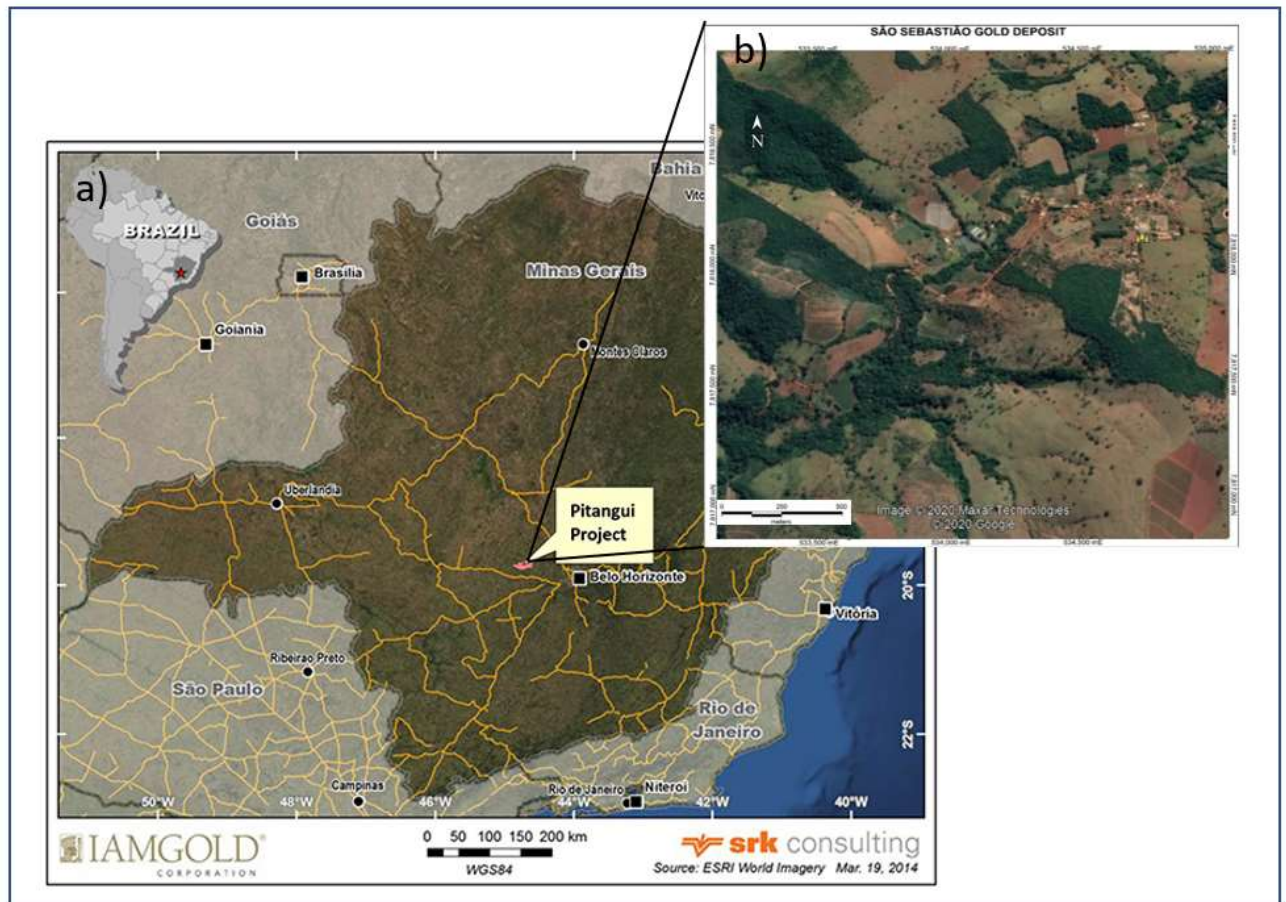


Figura 1- a) Localização geral do Projeto Pitangui, localizado no município de Onça do Pitangui– MG. (extraído de SRK Consulting & IAMGOLD Brasil, 2014). b) Imagem retirada do Google Earth, mostrando a área do Depósito São Sebastião (acesso em 05 de dezembro de 2020).

O índice pluviométrico anual varia de 1300 mm a 2100 mm por ano e a umidade do ar oscila em torno de 75 e 85%. (Silva, 2007). Por isso os afloramentos são escassos, devido a ação intempérica e geralmente limitados aos cortes de estradas.

O Depósito São Sebastião está localizado na bacia hidrográfica do rio São João, entre os municípios de Onça de Pitangui e São José da Varginha. O local fica dentro do projeto Pitangui que compreende uma área total de 18.033,79 hectares.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Cráton São Francisco consiste em uma unidade exposta do embasamento da plataforma sul-americana, e se apresenta como um complexo mosaico de pequenos núcleos pré-brasilianos circundados pelas faixas móveis: Brasília, ao sul e oeste; Rio Preto, a noroeste; Riacho do Pontal e Sergipana, ao norte e Araçuaí a sudeste, que se originaram no Ciclo Geotectônico Brasileiro (Almeida, 1977; Bizzi *et al.*, 2003).

Sinteticamente, a porção sul é formada por:

I) Complexos granito-gnáissicos arqueanos, compostos por TTG (trondjemito-tonalito-granodioritos) e plutonismo de granitoides rico em K (ex: Complexos Santa Barbara, Belo Horizonte e Bonfim), associados a *Greenstone Belts* (ex: Rio das Velhas), datados entre 3,5-2,5 Ga. (Teixeira *et al.*, 2015; Romano *et al.*, 2013).

II) Sequências metassedimentares proterozóicas, com sedimentação entre 2,58 Ga. -2,05 Ga. (Super Grupo Minas) e 1,7 Ga - 0,9 Ga (Super Grupo Espinhaço, em discordância sobre o embasamento) (Renger *et al.*, 2013; Chemale Jr. *et al.*, 2011).

III) *Greenstone Belts* paleoproterozoicos com idades entre 2,26 Ga. e 2,20 Ga. (ex: *Greenstone Belts* Rio das Mortes e Nazareno) (Zalán e Silva, 2012).

IIIV) Cobertura sedimentar do proterozóico superior com idades entre 0,75 Ga. e 0,6 Ga. (ex: Grupo Bambuí) (Iglesias e Uhlein, 2009).

No limite sudeste deste setor do Cráton, está localizado o Quadrilátero Ferrífero (Figura 2), um distrito metalogênico (Fe, Au, Mn), que é reconhecido mundialmente pelas

mineralizações de ouro em rochas arqueanas do tipo *Greenstone Belt* e de ferro em rochas supracrustais (BIFs) associadas temporalmente ao limiar do Paleoproterozoico.

Com uma área de 7000 km² (Dorr, 1969), esta região é formada por quatro unidades litoestratigráficas principais: um embasamento cristalino que inclui um complexo gnáissico /migmatítico de 3,2 a 2,9 Ga e plútons neoarqueanos (cálcio-alcálicos e granitos anorogênicos), Super Grupo Rio das Velhas (2,9 a 2,67 Ga), e três séries de rochas metassedimentares do Paleoproterozoico e Mesoproterozoico, Super Grupo Minas (2,65 a 2,09 Ga), Grupo Itacolomi (2,1 Ga) (Alkmim e Marshak, 1998) e Supergrupo Espinhaço (1,19 a 0,9 Ga) (Brando Soares *et al.*, 2017).

A maior parte dos terrenos granito-gnaisses arqueanos, são constituídos por ortognaisses TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito) bandados exibindo características de migmatização (Noce *et al.*, 2007) e intrusões granitoides na forma de veios ou corpos circundados (Noce *et al.*, 1998; Noce *et al.*, 2007). Essa crosta TTG / cálcio-alcálica foi formada durante três períodos principais de atividade magmática e acréscimo tectônico (Lana *et al.*, 2013). O primeiro período, chamado de evento Santa Bárbara (3,22 Ga), deu origem ao núcleo paleoarqueano do Cráton São Francisco. Posteriormente, ocorre o evento Rio das Velhas I (RDI 2,93-2,90 Ga.), que é marcado pelas instruções e acreção de arcos de ilhas. E por último, o Rio das Velhas II (2,80-2,77 Ga.) ocorreu em torno das margens da crosta continental do RD I (Moreira *et al.*, 2016). Após estes eventos, a crosta foi injetada por granitoides potássicos volumoso, denominado evento Mamona (2,75 a 2,58 Ga.).

O Super Grupo Rio das Velhas representa um clássico terreno granito-*Greenstone* arqueano e é dividido em duas unidades: Grupo Nova Lima e Maquiné, formadas por sequências metavulcanossedimentares e quartzitos, respectivamente (Noce *et al.*, 2007).

O Super Grupo Minas é uma unidade metassedimentar do Paleoproterozoico, formada predominantemente por quartzitos, carbonatos e Formação Ferrífera Bandada (BIF).

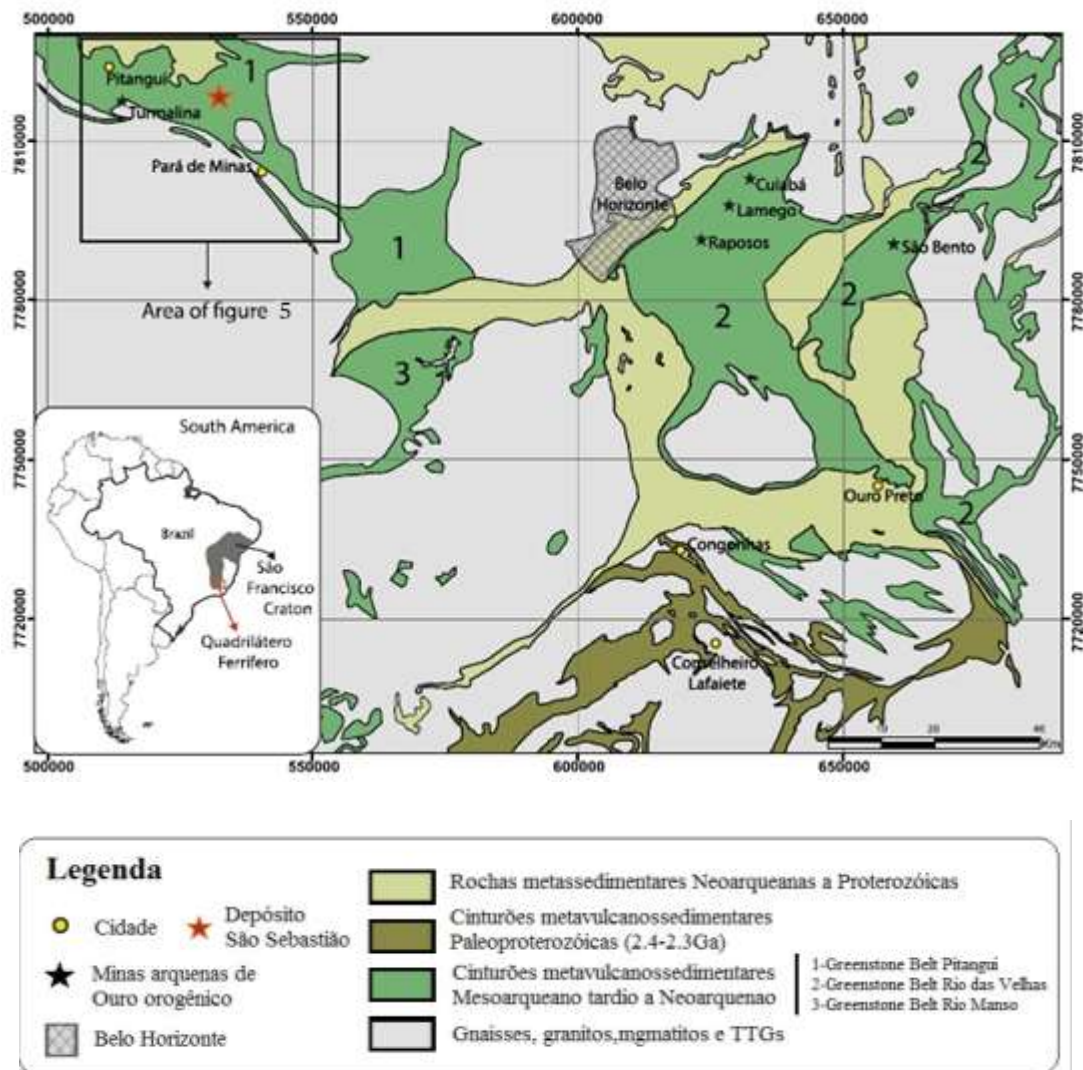


Figura 2 - Configuração geológica regional do Quadrilátero Ferrífero no setor sul do Cráton São Francisco. O mapa também mostra a localização do Depósito São Sebastião, no *Greenstone Belt* Pitangui, entre as cidades de Pitangui e Pará de Minas. Modificado de Brando Soares *et al.*, (2017).

Compreende os grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará. Esta unidade é recoberta pelos conglomerados polimiticos, quartzitos e pelitos do Grupo Itacolomi, estes que são interpretados como detritos acumulados durante a fase de colapso que segue a orogenia paleoproterozoica Transamazônica.

O Supergrupo Espinhaço é formado por meta-sequências siliciclasticas, principalmente arenitos associados a pefitos e pelitos, e ocorre apenas em uma pequena parte ao norte do quadrilátero. O Ediacarano Grupo Bambuí (0,68–0,60 Ga), apresenta associação de litofácies

siliciclasticas e bioquímicas, na forma de sedimentos plataformais depositados em uma bacia intracratônica que evoluiu para uma bacia *Foreland* (Brando Soares *et al.*, 2017).

A evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero ocorreu através de três eventos orogênicos de escala regional principais: Rio das Velhas (entre 2,8 e 2,67 Ga); Minas (~ 2.1 Ga) e Brasileiro (entre 0,65 e 0,50 Ga). O ciclo orogênico neoarqueano Rio das Velhas, corresponde as fases compressivas D1 e D2 de deformação do Quadrilátero Ferrífero, ou seja, a deformação do *Greenstone Belt* Rio das Velhas. A orogenia Minas do Riaciano-Orosiriano está relacionada as fase compressional D3 e a fase extensiva DE, e a deformação do Supergrupo Minas, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi (Baltazar e Lobato, 2020). E por último, o ciclo neoproterozoico Brasileiro, que se relaciona a fase compressional D4 e que foi responsável por um sistema de cavalgamento e dobramento com transporte para NW, com deformações no Supergrupo Espinhaço e novamente no Grupo Itacolomi (Baltazar e Lobato, 2020, Baltazar e Zucchetti, 2007; Chemale *et al.*, 1994; Alkmim e Marshak, 1998; Lobato *et al.*, 2001; Noce *et al.*, 2007; Endo, 1997).

2.1 *Greenstone Belt* Rio das Velhas

Litoestratigraficamente, o GBRV é composto pelo Supergrupo Rio das Velhas, formado pelos Grupos Nova Lima, de maior área aflorante e hospedando os principais depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero; e Maquiné (Figura 3). As rochas metavulcânicas e metassedimentares que formam a sequência *Greenstone Belt* são caracterizadas por uma associação entre rochas máficas e ultramáficas, na maior parte komatitos e basaltos, lava riolítica e intercalação de rochas sedimentares. As unidades metassedimentares são compostas de filitos carbonosos, rochas metassedimentares vulcanoclásticas e sedimentos clásticos imaturos

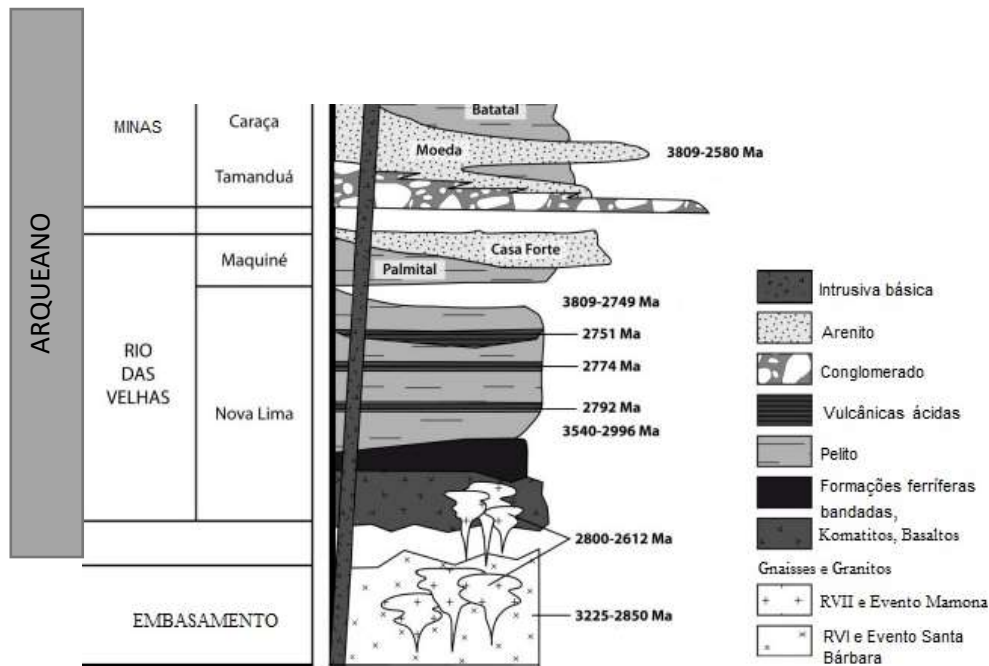


Figura 3: Coluna estratigráfica do Greenstone Belt Rio das Velhas para o Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Albert, 2017.

BIF (Formação Ferrífera Bandada) do tipo Algoma, (Dorr II, 1969; Alkmim e Marshak, 1998; Albert, 2017).

O metamorfismo presente nas rochas deste *Greenstone Belt*, é principalmente na fácies xisto verde. Herz (1978) indica que o grau metamórfico regional aumenta para leste do quadrilátero de xisto verdes de baixo grau para facies anfibolito de baixo grau e são comumente afetadas por alteração hidrotermal. (Lobato *et al.*, 2001; Albert, 2017).

O Grupo Nova Lima compreende metabasaltos toleíticos e komatiíticos basais, rochas vulcânicas félsicas subordinadas, unidades vulcânicas associadas a rochas sedimentares químicas, clásticas e vulcanoelásticas, que incluem turbiditos e Grauvacas. Possui período máximo de deposição de 2,74 a 2,71 Ga e é contemporâneo aos eventos magmáticos Rio das Velhas II e Mamona (<2,8 Ga.) (Lana *et al.*, 2013; Farina *et al.*, 2016), onde houve deposição

de produto químico vulcânico re-sedimentado contendo ouro e associações komatiíticas máfico-ultramáficas e representam um ciclo de subducção-colisão (Dopico *et al.* 2017).

O grupo Maquiné se sobrepõe ao Nova Lima sobre uma discordância angular e é subdividido em duas formações: Palmital, formada por sericita quartzo xistos, filitos e quartzo filitos, que são interpretados com turbiditos distais; e Casa Forte, que é formada por metaconglomerados polimiticos, quartzo xisto e grauvacas, interpretado como um depósito fluvial de leques aluviais não marinhos (Romano *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2016; Dorr II, 1969).

2.2 Greenstone Belt Pitangui

Localizado a noroeste do Quadrilátero Ferrífero, o *Greenstone Belt* Pitangui se apresenta como um estreito cinturão vulcano sedimentar, que é tradicionalmente correlacionado ao Greenstone Belt Rio das Velhas (Figura 4), devido as suas equivalências litológicas, estruturais e cronológicas. (Romano, 2007; Romano *et al.*, 2013; Brando Soares *et al.*, 2017).

O *Greenstone Belt* Pitangui é formado por rochas metavulcânicas máficas (clorita xisto) e ultramáficas (talco xistos), com BIFs (formações ferríferas bandadas), metapelitos, metarenitos e filitos carbonosos intercalados (Brando Soares *et al.*, 2017). Ele é limitado ao norte, leste e sul por terrenos gnáissicos migmatíticos e TTGs do meso ao neo arqueano, e ao norte e noroeste por rochas sedimentares clásticas e químicas neoproterozoicas do grupo Bambuí, que se sobrepõem ao cinturão (SRK consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014) e intrudido por granitoides arqueanos (Figura 5).

Tradicionalmente, os dados geocronológicos disponíveis reafirmavam a possível correlação entre a Unidade Inferior do *Greenstone Belt* Pitangui e a unidade basal do Grupo

Nova Lima (2,90–2,78 Ga) no *Greenstone Belt* Rio das Velhas (RVGB). De acordo com Romano *et al.* (2013), as intrusões graníticas do embasamento teriam idades entre 2,75 e 2,69 Ga., e segundo Brando Soares *et al.* (2017), grãos detríticos de zircão extraídos de amostras de metarenitos intercalados dentro do BIF revelam uma idade máxima deposicional de $2,8 \pm 0,11$ Ga.

Porém, recentemente, Brando Soares *et al.* (2020) obtiveram novos dados geoquímicos e de U-Pb-Hf, a partir de testemunhos de sondagem, onde foi possível concluir que as rochas do *Greenstone Belt* Pitangui foram depositadas em uma bacia com áreas-fontes diferentes daquela registrada no RVGB. Sugerem um intervalo de tempo de $\sim 0,30$ Ga. na deposição entre os dois segmentos da principal associação vulcanossedimentar, relacionada a formação de arcos magmáticos diacrônicos emparelhados.

Brando Soares *et al.* (2020), sugerem ainda, que a geoquímica das rochas vulcânicas do *Greenstone Belt* Pitangui registra o início de uma bacia de *back-arc* (em 2,86 Ga) que se desenvolveu sobre a crosta espessa e evoluiu para uma configuração de arco de ilhas oceânico com produção de andesito (2.76 Ga), diferentemente do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, que registra contribuições de uma crosta juvenil mais jovem.

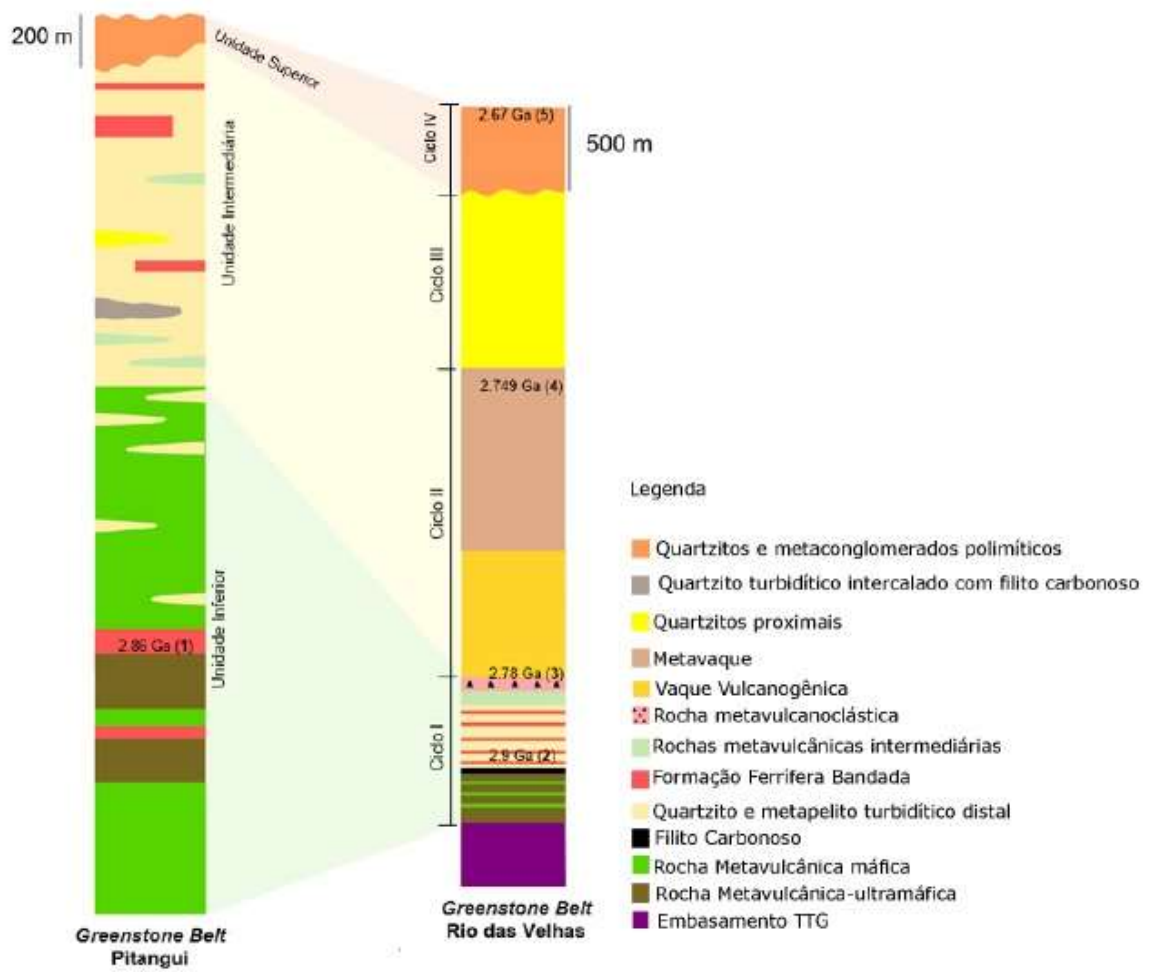


Figura 4: Correlações litoestratigráficas e cronoestratigráficas entre os *Greenstone Belts* Pitangui e Rio das Velhas (extraído de Faria, 2018).

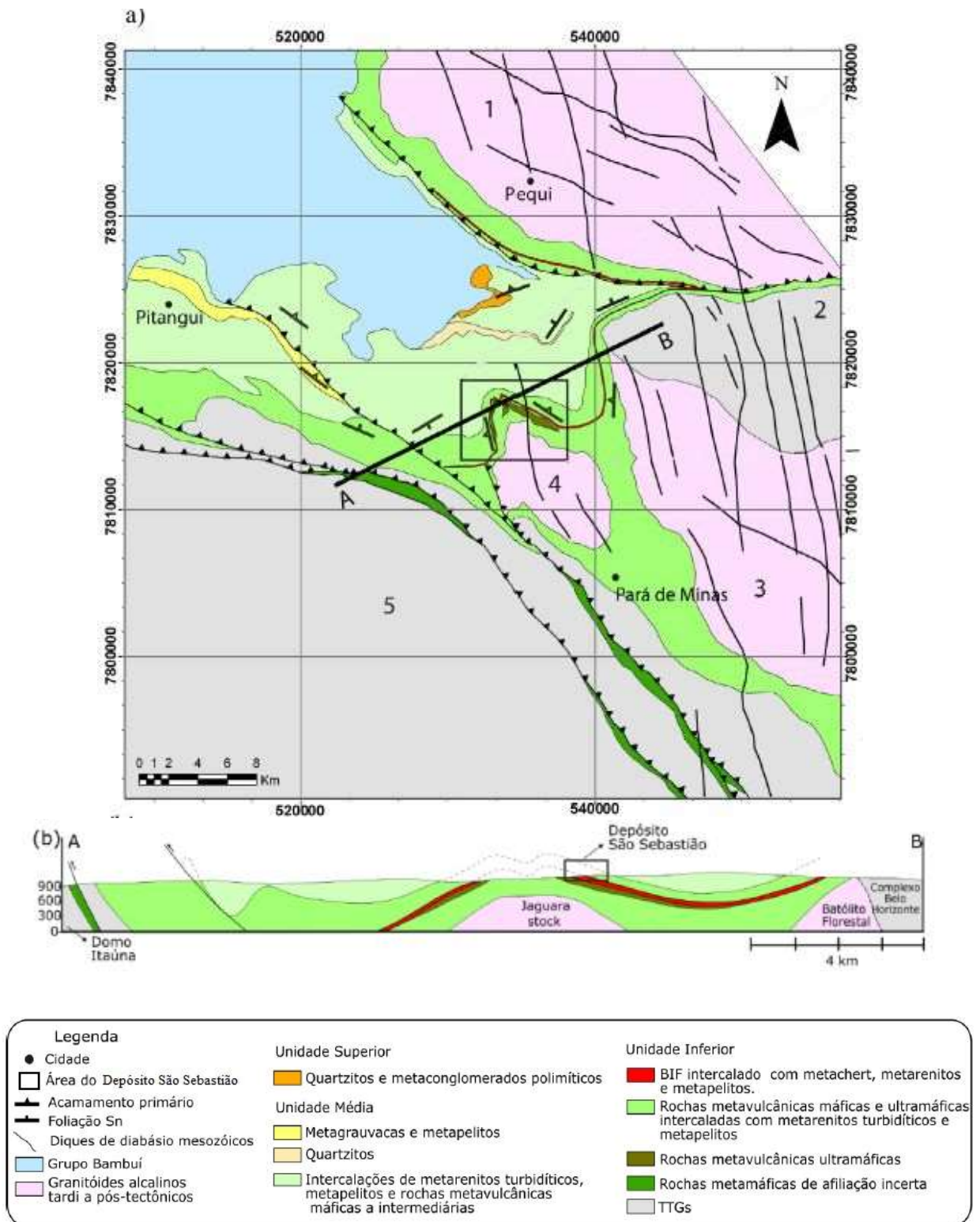


Figura 5: (a) Esboço geológico do Greenstone Belt Pitangui e área circundante, com localização do Depósito São Sebastião. 1 - Batólito de Pequim; 2 - complexo de Belo Horizonte; 3 - Batólito Florestal; 4 - Jaguara stock; 5 - Domo de Itaúna. (b) Secção geológica A - B ao longo do Greenstone Belt Pitangui. Adaptado de Brando Soares *et al.*, (2017).

2.2.1 Metamorfismo

De acordo com Romano *et al.* (2013), as rochas do *Greenstone Belt* Pitangui apresentam dois tipos de metamorfismo: isoquímico e metassomático, o primeiro de caráter regional e o segundo como hidrotermalismo ao longo das zonas de cisalhamento. No metamorfismo regional, as associações minerais sugerem fácies anfíbolito de baixo a médio grau, e as associações retrometamórficas apresentam uma generalizada cloritização e processos de saussuritização.

Para a assembleia mineral, Brando Soares *et al.* (2017) considera a mesma que Romano *et al.* (2013) (clorita, talco, biotita, actinolita e sericita), porém as considera características de fácies xisto-verde alto gradando para fácies anfíbolito baixo onde há presença de grunerita-cummingtonita e hornblenda em menor volume, nas BIFs.

2.2.2 Geologia Estrutural

O *Greenstone Belt* Pitangui é descrito por Brando Soares *et al.* (2017) como um sinclínório de trend NW, cercado por domos gnáissicos e intrusões de granitoides.

Para Romano *et al.* (2013), sua estruturação seria o fruto de quatro eventos deformacionais; no qual o primeiro (D_n) possui caráter tectônico dúctil e estaria relacionado à orogenia Rio das Velhas, o segundo (D_{n+1}), de caráter dúctil-rúptil, estaria relacionado ao Evento Transamazônico, o terceiro evento estaria associado a uma tectônica distensiva brasileira e por último, ele não desconsidera a importância de uma reativação cenozoica.

As características mais marcantes para este autor são: na tectônica dúctil se observa uma direção NW-SE e falhas direcionais configurando mega-sigmóides. Destaca ainda que as zonas de cisalhamento configuram uma grande estrutura do tipo S-C e não se nota rampas frontais de falhas transcorrentes, de modo que não são cartografadas estruturas compressivas. E por último, ainda que pouco, se pode ver uma foliação S_n preservada nas grandes dobras de fase D_n .

Para a tectônica dúctil o autor ressalta como evidência uma generalizada foliação de transposição milonítica, que se apresenta como estrutura planar mais bem desenvolvida de toda a região. E para a tectônica distensiva, o mais visível seria um generalizado basculamento de camadas por gravidade, sendo resultado de um pulso de relaxamento provocado pela frente de empurrão da Serra do Espinhaço e não tendo relação com nenhum movimento de compressão.

Ainda segundo Romano et al. (2013), a reativação cenozoica teria elevado terraços aluvionares e gerado falhas recentes que deslocaram depósitos de superfície.

Brando Soares *et al.* (2017) distinguem três eventos deformacionais regionais. O primeiro (D_n) e o segundo (D_{n+1}) estariam relacionados a Orogenia Rio das Velhas (2.75–2.67 Ga), associados a único evento de deformação progressiva.

Segundo a mesma autora, as características mais evidentes são: D_n , que gerou uma foliação tectônica principal (S_n), tangencial ao acamamento sedimentar relictado (S_o). Estão presentes dobras isoclinais recumbentes (D_n), observadas em camadas de rochas metassedimentares intercaladas com rochas metavulcânicas maciças, assim como também em zonas de cisalhamento. D_{n+1} , que está associada a dobras plúgneantes (D_{n+1}), com mergulho suave de direção NW, que se associam a foliação S_{n+1} (axial planar e foliação cisalhante) com dobras assimétricas similares a D_n . Ambas deformações possuem indicadores cinemáticos que apontam sentido tectônico de transporte de NE para SW. D_{n+2} , que reorienta para N-S as foliações S_o e S_n , e também estão localmente presentes dobras plúgneantes de direção Ne.

2.2.3 Estratigrafia

Devido as semelhanças litológicas, Romano *et al.* (2013) adotou para o *Greenstone Belt* Pitangui a mesma divisão litoestratigráficas clássica do Quadrilátero Ferrífero formalmente utilizada para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Desta forma, ele dividiu o *Greenstone Belt* em dois Grupos: Nova Lima e Maquiné, sendo o primeiro subdividido em duas sequencias: Sequência superior (Metassedimentar e Metavulcano-sedimentar) e Sequência inferior (Metaígnea e Metassedimentar).

O Grupo Nova Lima compreende, na unidade inferior, rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas intercaladas por rochas metassedimentares, tais como: xistos com muscovita, filito carbonosos, Formação Ferrífera Bandada e metagrauvasas turbidíticas. E na unidade superior compreende rochas metapiroclásticas, lapilli tufos, metapelitos, metacherts, quartzitos e rochas peraluminosas. O Grupo Maquiné recobre ambas as unidades e compreende quartzitos diversos, lentes de conglomerados oligo a polimiticos e filitos.

Brando Soares *et al.* (2017) revisaram a estratigrafia do *Greenstone Belt* Pitangui e o dividiram em três unidades informais: Unidade Inferior, Unidade Intermediária e Unidade Superior (Figura 6a).

A unidade Inferior é composta de rochas metavulcânicas máficas (clorito xisto e talco xisto) e ultramáficas (também com afinidade komatiíticos porem em menor volume), com intercalação de rochas metassedimentares, dentre elas: BIFs, metarenitos, metacherts e metapelitos carbonosos. Esta unidade possui uma seção estratigráfica muito bem representada na área do Deposito São Sebastião que pode ser seguido por cerca de 20km ao longo do strike.

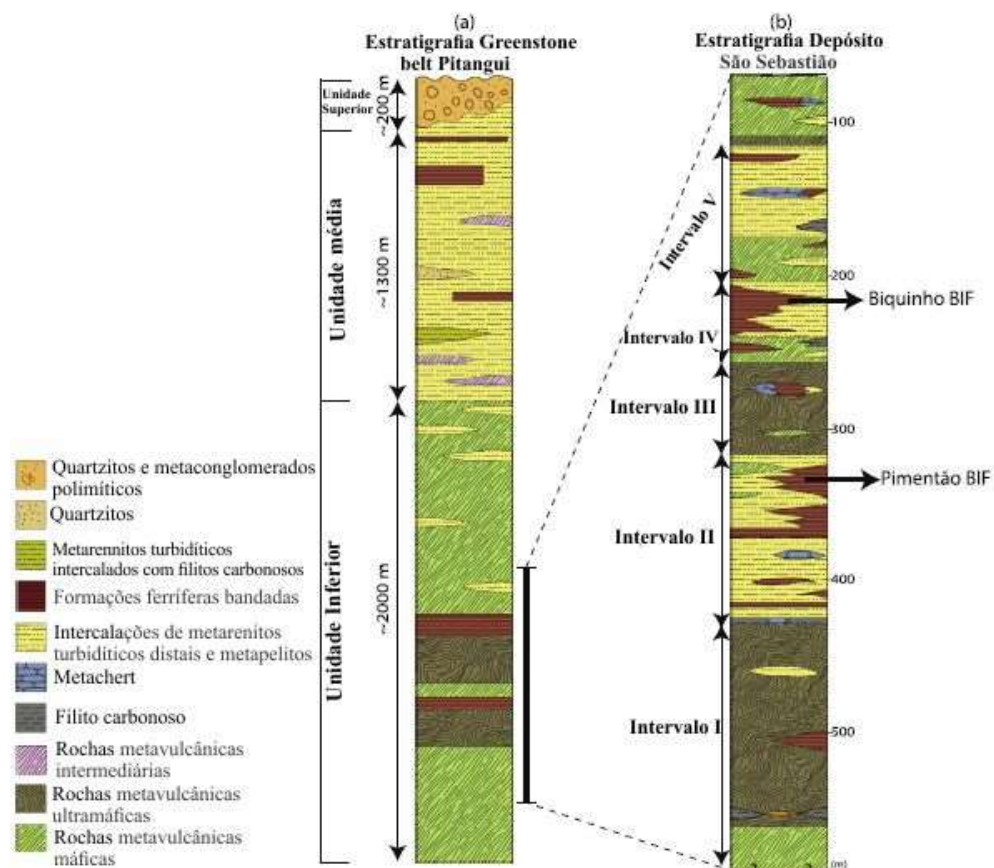


Figura 6: (a) Coluna estratigráfica esquemática do *Greenstone Belt* Pitangui. (b) Estratigrafia do depósito São Sebastião. Adaptado de Brando Soares *et al.*, (2017).

A Unidade Intermediária é marcada pelo acréscimo gradual de rochas metassedimentares (metarennitos e metapelitos) e pela dominância de rochas metavulcânicas intermediárias (metadacitos e metandesitos) sobre os metabasaltos também presentes na unidade inferior. Estas duas tipologias de rochas predominantes aparecem de maneira intercalada entre elas e também com BIFs, porém, a presença destes de modo mais descontínuo que na unidade inferior.

A Unidade superior é formada por metaconglomerados polimíticos, com clastos de rochas presentes nas unidades inferiores, como metavulcânicas, BIFs, metacherts e quartzitos, e por metarennitos imaturos.

2.3 Depósito São Sebastião

São Sebastião é um depósito aurífero cuja descoberta foi anunciada em 2014, fruto de trabalhos de pesquisa mineral que se iniciaram em 2008 (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014). É classificado como um depósito de ouro orogênico arqueano por ter as seguintes características: 1) Possui forte controle estrutural: está associado a uma área de grande mudança de trends estruturais e localizado no flanco nordeste de uma dobra aberta assimétrica DN+1 com vergência para sudoeste e cujo eixo tem caimento para noroeste, também conhecido como Anticlinal do Jaguará; 2) Controle Litológico: estão hospedados nos dois mais expressivos pacotes de formações ferríferas bandadas da Unidade Inferior do *Greenstone Belt* Pitangui; 3) Mineralização associada a um estágio de deformação crustal e 4) Natureza epigenética da mineralização: a mineralização do ouro está associada a sulfetos disseminados onde a principal fase mineral é a pirrotita.

O depósito São Sebastião está localizado próximo a uma intrusão granitoide (Granito Jaguará) e uma zona de cisalhamento, que é localmente chamada de zona de cisalhamento Pitangui. As zonas mineralizadas possuem, de maneira geral, direção noroeste com mergulho nordeste, localmente com variações que estão relacionadas a dobras parasíticas ao longo dos flancos das dobras DN+1 e DN+2.

A estratigrafia do Depósito São Sebastião pode ser dividida (SRK Consultoria e IAMGOLD Corporation, 2014; Brando Soares *et al.*, 2017) em cinco intervalos, nomeados de I a V, da base para o topo (Figura 6b). Os intervalos I, III e V são compostos predominantemente por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas, e os intervalos II e IV por rochas metassedimentares (metarenitos, BIFs, metapelitos carbonosos e metacherts). O nível de rochas

metassedimentares que contém os BIFs mineralizados pode ser seguido por aproximadamente 20Km ao longo do strike.

Os maiores corpos mineralizados se encontram hospedados nos dois pacotes de BIF mais contínuos da Unidade Inferior do *Greenstone Belt* Pitangui, presentes nos intervalos II e IV, denominados Pimentão e Biquinho, respectivamente (Brando Soares *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas amostras coletadas através de testemunhos de sondagem rotativa diamantada realizados entre 2014 e 2015 pela empresa IAMGOLD Brasil durante campanhas de pesquisa mineral na região.

Vinte e cinco amostras de rocha metassedimentares (anexo A) foram enviadas ao laboratório *Bureau Veritas Mineral Laboratories* (ACME laboratórios) em Vancouver, Canadá, para análises (elementos maiores, menores e ETR+Y). O método utilizado foi espectrometria de emissão ICP seguida de fusão de metaborato / tetraborato de lítio e digestão nítrica diluída.

Depois dos resultados, os dados foram trabalhados utilizando os Microsoft Office Excel e o GCDkit (GeoChemical Data ToolKIT versão 4.1; Janousek, *et al.*, 2006), para a confecção de tabelas comparativas, gráficos elementares e em normalizações para o PAAS (*post-Archaean average Australian shale*; McLennan, 1989), Condrito (REE chondrite, Boynton, 1984) e Crosta Continental Superior (UCC; Rudnick e Gao, 2003).

Resultados são relatados em base anidra recalculada para 100 peso por cento. Para os gráficos que fazem uso de elementos que estão em forma de óxidos nas análises, foi utilizado o site marscigrp.org/oxtoel para converter os valores em porcentagem dos óxidos em ppm dos elementos.

Atualmente o software GCDkit não possui gráficos de classificação litogeoquímica para rochas metassedimentares, somente para rochas ígneas. Por isso para a confecção dos gráficos de caracterização e classificação se fez uso do Microsoft Office Power Point, com ajuda de bibliografia de caracterização de rochas metassedimentares com gráficos adaptados para as mesmas.

Ao final da caracterização das rochas deste trabalho, estas foram comparadas em diagramas de discriminação tectônica com amostras metassedimentares do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui de Melo Silva (2016). Para melhor visualização da sobreposição ou não sobreposição entre as áreas, foram feitos polígonos que englobam as amostras do setor sudoeste.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização litogeoquímica

4.1.1 Classificação

No diagrama de classificação geoquímica de Herron (1988) (Figura 7), quatorze amostras analisadas de rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião foram classificadas como areias ferruginosas e dez como quartzarenitos. Uma amostra teve comportamento distinto plotando no campo do subarcóseo.

Os valores máximos, mínimos e médios dos elementos maiores e médios dos elementos traços para as amostras totais encontram-se listados nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Em comparação com o valor médio para arenito proposto por Turekian and Wedepohl (1961), as amostras são empobrecidas em CaO e enriquecidas em todos os demais elementos maiores listados na tabela 1, com exceção de SiO₂, que apresenta valor menor que a média, porém próximo a ela. As médias das concentrações de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O apresentadas pelas amostras de rochas de quartzarenitos e areias ferruginosas separadas por grupos de rochas, estão dispostas na tabela 3, assim como as concentrações correspondentes dos mesmos para a amostra de subarcóseo.

Comparando os três grupos de amostras de rochas, as amostras de areias ferruginosas são enriquecidas na maior parte dos elementos maiores (Fe₂O₃, MgO, Na₂O e CaO), enquanto a de subarcóseo é enriquecida em Al₂O₃, K₂O e TiO₂. As amostras de quartzarenitos são enriquecidas somente em SiO₂ e empobrecidas em todos os demais (MgO, Na₂O, CaO, Al₂O₃, K₂O, TiO₂), com exceção do Fe₂O₃, que possui valor intermediário dentre os três grupos.

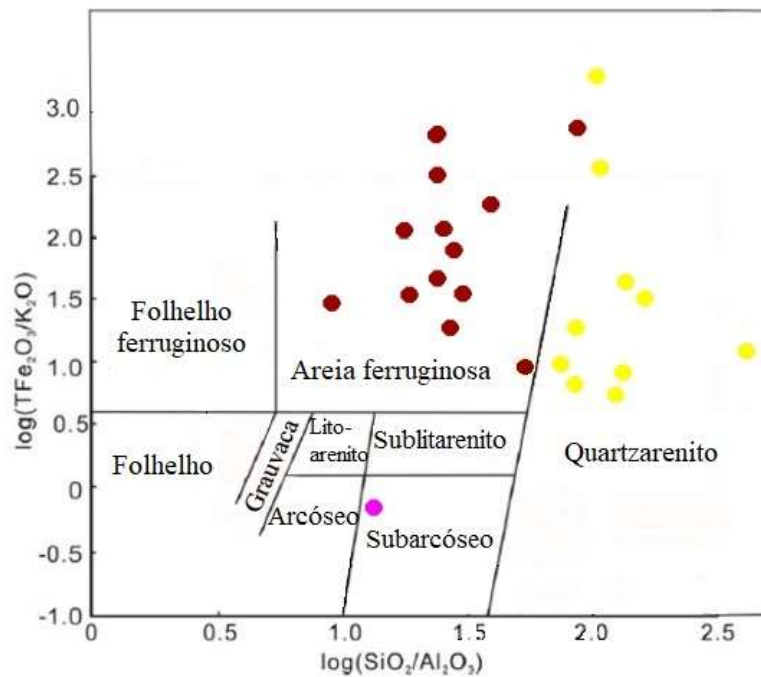


Figura 7: Diagrama de classificação química para amostras de rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião adaptado de Herron (1988).

Tabela 1- Máximos, mínimos e valores médios percentuais dos elementos maiores e menores das análises químicas realizadas em rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião.

Elemento	Mínimo (%)	Máximo (%)	Média (%)
SiO ₂	52.40	83.33	66.72
TiO ₂	0.27	1.38	0.66
Al ₂ O ₃	6.18	19.50	12.60
Fe ₂ O ₃	3.99	13.04	7.03
MnO	0.03	0.17	0.08
MgO	1.92	6.94	3.83
CaO	0.32	7.32	2.41
Cr ₂ O ₃	< 0,1	0.07	* todos os valores abaixo do limite de detecção < (0,1)
Na ₂ O	0.27	6.10	2.51
K ₂ O	0.27	4.32	1.52
P ₂ O ₅	0.05	0.22	0.11

Tabela 2-Valores médios dos elementos traços das análises químicas realizadas em rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião.

Elemento	Média (ppm)	Elemento	Média (ppm)
Sc	17,68	La	25,32
V	134,6	Ce	48,80
Co	26,04	Pr	5,27
Ni	82,84	Nd	19,27
Nb	7,29	Sm	3,67
Ga	14,88	Eu	0,94
Rb	49,70	Gd	3,72
Sr	100,45	Tb	0,58
Y	18,70	Dy	3,45
Zr	145,37	Ho	0,71
Cs	3,50	Er	2,12
Hf	3,93	Tm	0,30
Ta	0,69	Yb	1,98
Th	9,87	Ba	269,04
U	3,17	Lu	0,30

Os valores de perda ao fogo (% LOI) variaram entre 0.72 e 5.35%, com valor médio de 2.46%.

Tabela 3: Valores médios percentuais dos elementos maiores das análises químicas realizadas para areias ferruginosas, quartzarenitos e subarcóseo do Depósito São Sebastião.

Elemento	areias ferruginosas (%)	quartzarenitos (%)	subarcóseo (%)
SiO ₂	61,13	75,05	61,65
TiO ₂	0,82	0,38	1,2
Al ₂ O ₃	14,47	9,30	19,45
Fe ₂ O ₃	8,31	5,52	4,03
MgO	4,43	2,94	4,4
CaO	3,36	1,28	0,32
Na ₂ O	3,33	1,58	0,27
K ₂ O	1,33	1,51	4,32

A relação linear de TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO e Na₂O e CaO com SiO₂ para as amostras de rochas do Depósito São Sebastião podem ser observadas através do diagrama de variação de Harker (Figura 8) para ambos os grupos de rocha (areias ferruginosas e quartzarenitos) mostrando tendência similar entre elas e a amostra de subarcóseo. Todas correlacionam-se em *trends* negativos e formam dois grupos delimitados de modo bastante consistente, mesmo em diagramas que não mostram tendências (K₂O e P₂O₅).

Para os diagramas *multiplots* dos elementos traços de correlação com a SiO₂, (Figura 9), as amostras de rochas não se organizaram em *trends* tão consistentes quanto para os elementos maiores, porém observa-se uma tendência negativa para o Ba, Ce, La, Sr, Y e Zr. Os diagramas para o Ni e #mg, apresentam dois *trends* distintos para o quartzarenitos e areias ferruginosas, negativo e positivo, respectivamente, para o primeiro elemento, e ambos negativos para o segundo elemento. A amostra de rocha de subarcóseo geralmente está mais próxima das areias ferruginosas.

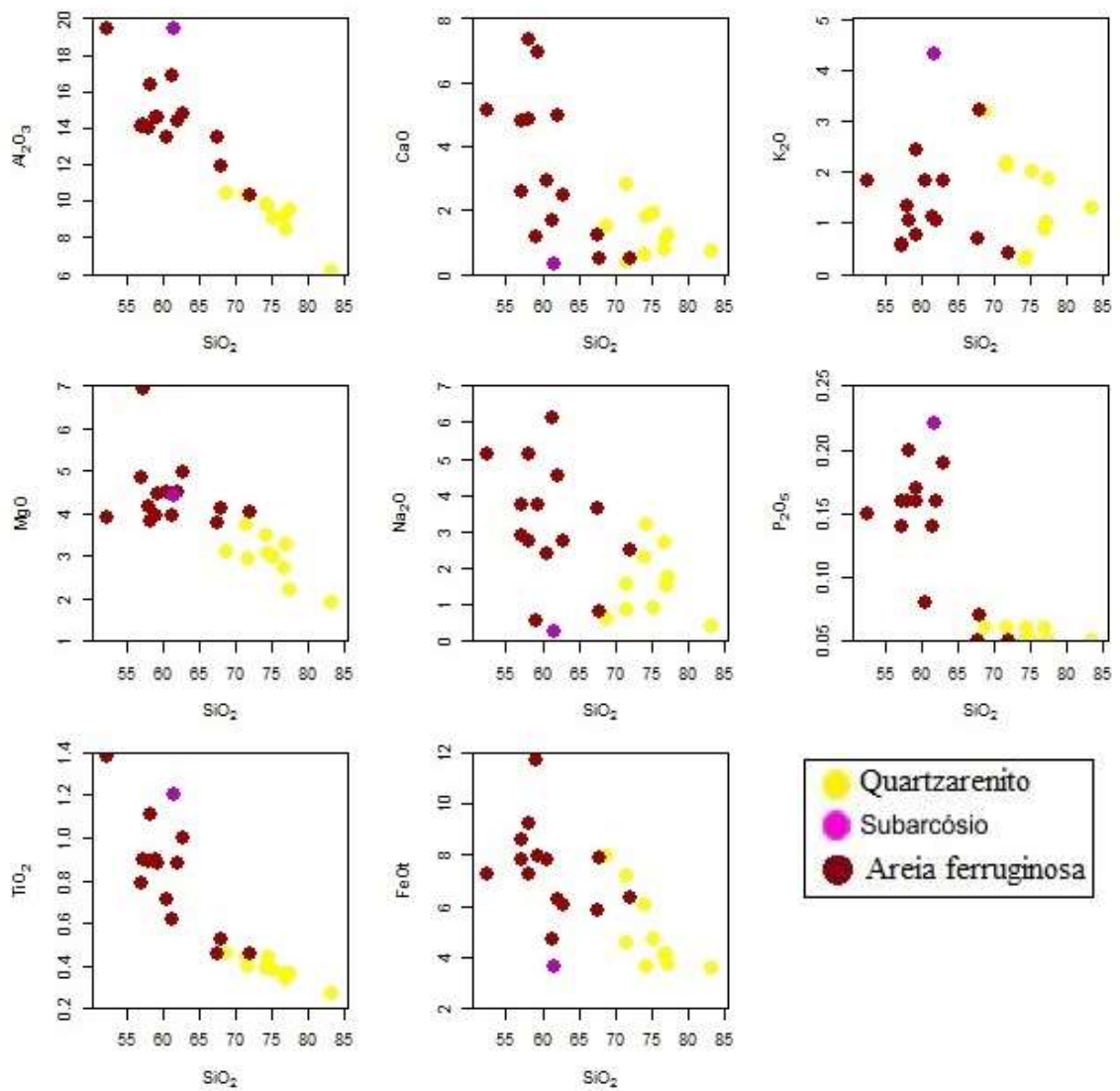


Figura 8: Diagrama Harker para os elementos maiores (Al₂O₃, CaO, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂ e FeOt).

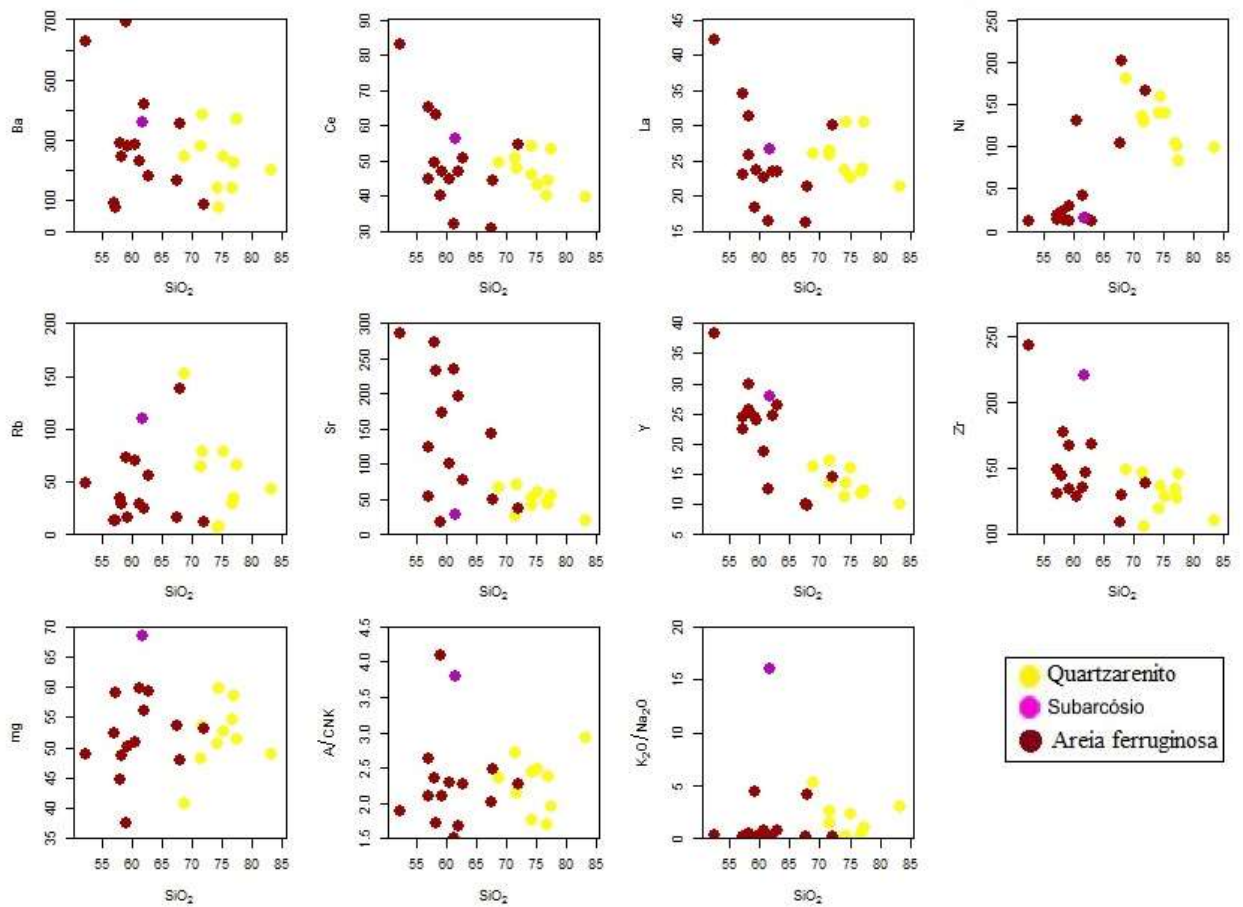


Figura 9: Diagramas de correlação com a SiO₂ para os elementos traços (Ba, Ce, Cr, La, Rb, Sr, Y, Ni, #mg, A/CNK e K₂O/Na₂O).

Nas **Fig. 10 e 11** foram, respectivamente, correlacionados os óxidos Al₂O₃ e TiO₂ das amostras com os demais elementos maiores e traços. Para o Al₂O₃ observa-se *trends* positivos para todos os gráficos com exceção para a SiO₂ e Ni (amostras de areias ferruginosas), que apresentaram *trends* negativos e para Ba, Ce, Rb, Mg, A/CNK, K₂O, CaO e FeOt (também para as amostras de areias ferruginosas), onde houve dispersão dos resultados, não apresentando tendências. A amostra de subarcóseo não acompanha os *trends* e tampouco se posiciona perto das demais amostras. Os dois grupos (areias ferruginosas e quartzarenitos) estão bem delimitados.

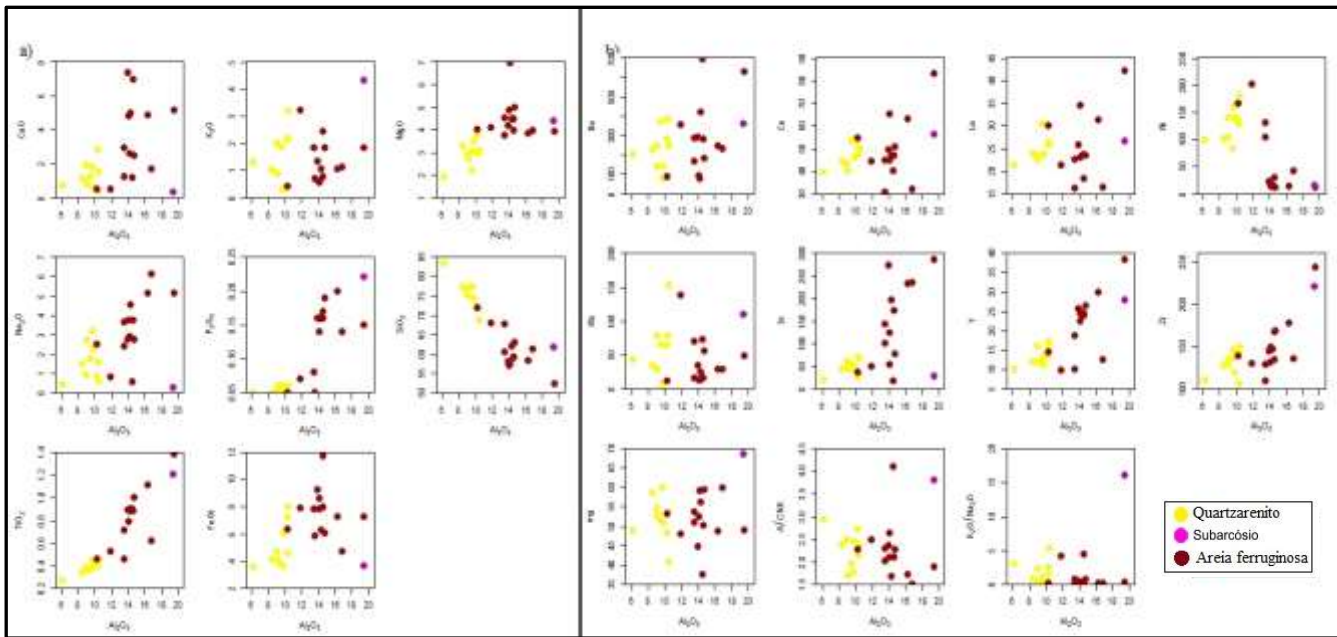


Figura 10: Diagramas de correlação com o Al_2O_3 para os elementos maiores (a) e traços (b)

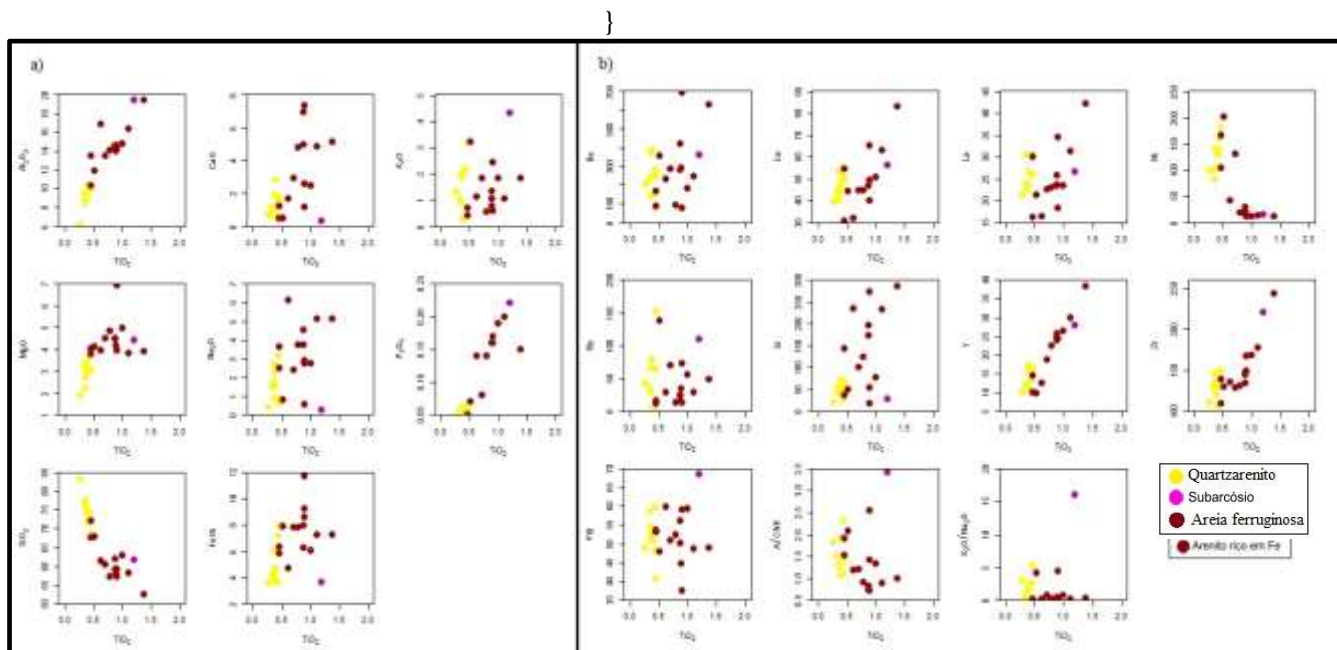


Figura 11: Diagramas de correlação com o TiO_2 para os elementos maiores (a) e traços (b)

Para os diagramas de correlação com o TiO_2 , as amostras de rochas (os dois grupos) exibem *trends* positivos para os óxidos Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , P_2O_3 e os elementos Ce e La. Somente na correlação com a SiO_2 observa-se *trend* negativo, como já visto no diagrama da **Fig. 8**. Para estes diagramas a amostra de subarcóseo acompanha os *trends*, próximo as amostras de areias ferruginosas.

Através dos diagramas de correlação com a SiO_2 , TiO_2 e Al_2O_3 , nota-se o menor percentual de sílica das amostras de areias ferruginosas comparados as amostras de quartzarenitos, onde exibem menores valores de SiO_2 e maiores valores dos demais elementos maiores e traços. Vale ressaltar, que é evidente o indicio de que um conteúdo acima de 72% de SiO_2 apresentam-se como quartzarenitos, valores entre 11% e 18% de Al_2O_3 , assim também como maiores que 0,4% de TiO_2 são areias ferruginosas e maiores que 18 % de de Al_2O_3 são subarcóseo.

Para todos os diagramas de correlação, três amostras não acompanham os *trends* principais.

4.2 Spider diagrams

Os resultados das análises químicas das amostras foram normalizados com relação ao condrito (REE chondrite, Boynton, 1984), Crosta Continental Superior (UCC; Rudnick e Gao, 2003) e PAAS (McLennan, 1989). Os padrões observados não definem claramente os três tipos de rochas agrupados anteriormente, pois as curvas apresentadas pelos elementos nas presentes amostras são muito semelhantes entre si; porém, pode-se caracterizar os três grupos de forma

independente, visto que as amostras de quartzarenitos possuem concentrações menores de elementos terras raras e exibem perfis mais retilíneos comparados as areias ferruginosas.

A normalização para o condrito é ilustrada na Figura 12 e é caracterizada de um modo geral por: (a) fracionamento moderado de ETRL (Elementos terras raras leves) / ETRP (Elementos terras raras pesados) (areias ferruginosas: $La_N / Yb_N = 4,68-13,85$; quartzarenitos: $La_N / Yb_N = 8,65- 14,48$ e subarcóseo: $La_N / Yb_N = 5,67$), (b) perfis planos de ETRP (areias ferruginosas: $Gd_N / Yb_N = 1,05-1,86$, quartzarenitos: $Gd_N / Yb_N = 1,10- 1,76$ e subarcóseo: $Gd_N / Yb_N = 1,33$), exibindo em relação ao condrito, um leve enriquecimento das amostras de areias ferruginosas e da única amostra de subarcóseo, e depleção das amostras de quartzarenitos; (c) enriquecimento dos ETRL em relação ao condrito (para La esse valor excede 100 vezes) e perfis íngremes com moderada inclinação negativa (areias ferruginosas: $La_N/Sm_N = 3,02- 5,61$, quartzarenitos: $La_N/Sm_N = 4,75-6,17$ e subarcóseo: 3,75); (d) anomalias negativas de Eu de pequenas a moderadas amplitudes (areias ferruginosas: $Eu / Eu^* = 0,72-0,94$, quartzarenitos: $Eu / Eu^* = 0,59- 0,96$ e subarcóseo: $Eu / Eu^* = 0,52$).

Com relação ao diagrama normalizado para Crosta Continental Superior (Figura 13), os três grupos possuem uma mesma tendência geral e com valores próximos aos da UCC de Rudnick e Gao (2003), porém apresentam fortes anomalias para alguns elementos. Para os elementos litófilos de alto raio iônico (LILE- *large-ion-lithophile elements*), a maioria das amostras são depletadas em Ba (areias ferruginosas: média de 288,71ppm, quartzarenitos: média de 232,20 ppm e subarcóseo: 362 ppm), K para areias ferruginosas (média de 11053,07 ppm) e quartzarenitos (média de 14037,80 ppm), e Sr (areias ferruginosas: média de 142,87, quartzarenitos: média de 48,19 ppm e subarcóseo: 29,2ppm); sendo este último elemento citado, com forte anomalia negativa. Para o Rb, as amostras de areias ferruginosas (média de 40,91 ppm) e quartzarenitos (média de 56,02 ppm), mostram tanto anomalias negativas quanto

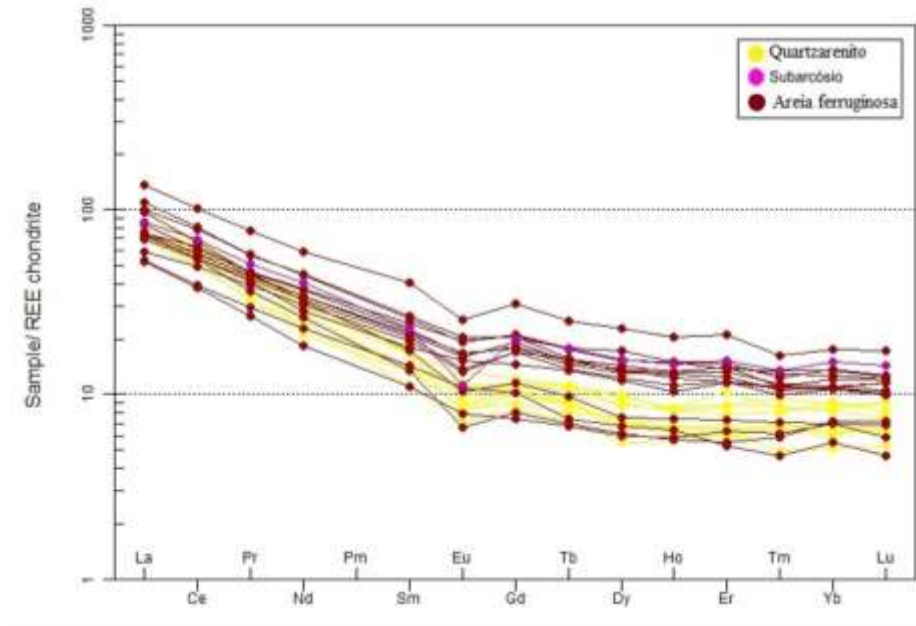


Figura 12: *Spider diagram* – normalização em relação ao condrito (REE chondrite, Boynton, 1984).

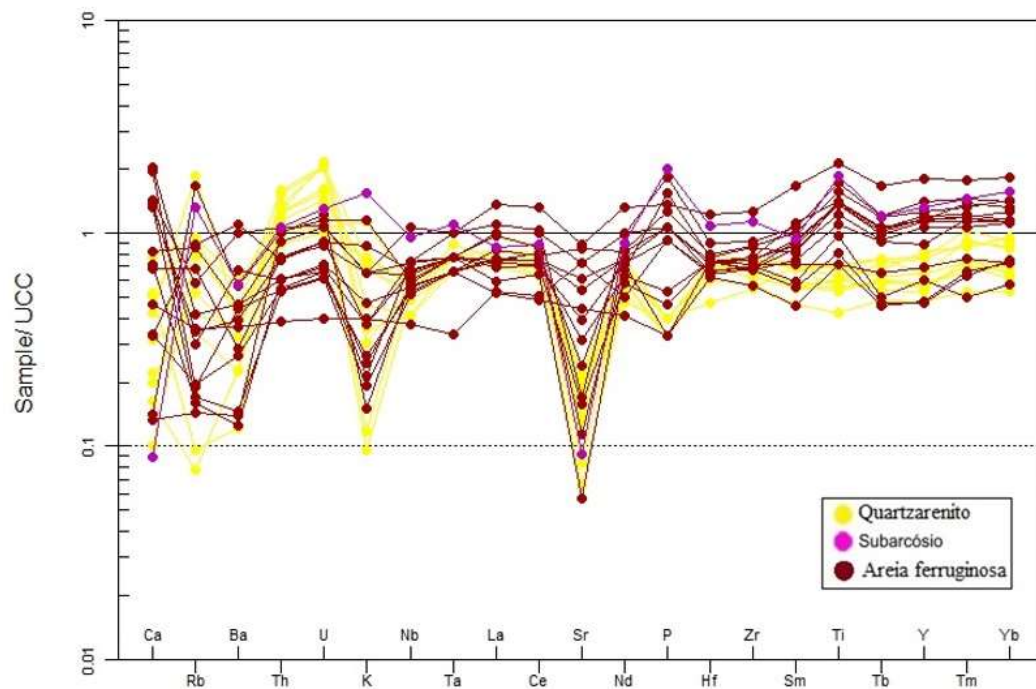


Figura 13: *Spider diagram* – normalização em relação a Crosta Continental Superior (UCC; Rudnick e Gao, 2003).

positivas, e enriquecimento para a amostra de subarcócio (109,5 ppm). Valores acima da norma se nota para a amostra de subarcócio para o elemento K (média de 35862 ppm).

Para os elementos com elevada força de campo (HFSE- high-field-strength elements), os padrões são caracterizados por linhas mais planas quando comparados aos LILEs, e concentrações mais próximas a norma. Th e U apresentam comportamento semelhante, com enriquecimento para os quartzarenitos (média de Th= 12,91 ppm e média de U= 4,43 ppm) e empobrecimento para as areias ferruginosas (média de Th= 7,60 ppm e média de U= 2,24 ppm); para Nb e Ta quase todas as amostras possuem valores próximos umas das outras e abaixo da norma (areias ferruginosas: média Nb= 7,71 ppm e média Ta= 0,67 ppm, quartzarenitos: média Nb= 6,27 ppm e média Ta= 0,68 ppm); as amostras de areias ferruginosas são mais enriquecidas em Zr (média de 150,43 ppm) e Hf (média de 4,05 ppm) em relação as de quartzarenitos (média de Zr= 130,21 ppm, média de Hf= 3,57 ppm), e observa-se anomalia positiva em Ti para as amostras de areias ferruginosas (média de 4924,5 ppm) e depleção para as amostras de quartzarenitos em relação ao UCC (média de 2302,1). A amostra de subarcóseo apresentou concentrações levemente enriquecidas para todos os elementos, com teores se espalhando ao redor dos valores da norma.

A Figura 14 mostra os valores dos elementos terras raras normalizados para PAAS (McLennan, 1989). Ambos os grupos (areias ferruginosas e quartzarenitos), assim também como a amostra de subarcóseo, apresentaram padrões planos, mostrando um equilíbrio entre os terras raras leves e pesados, com razões de ETRP/ETRL próximas a 1 (variando entre 0,87 a 1,31 para quartzarenitos e 0,93 a 1,66 para areias ferruginosas, subarcóseo=1,57 ppm), porem nota-se um leve enriquecimento de ETRP em relação aos ETRL. Anomalias positivas de Eu / Eu^* estão presentes em todas as amostras de areias ferruginosas ($Eu / Eu^* = 1,10 - 1,43$), e para quase todas de quartzarenitos ($Eu / Eu^* = 0,92 - 1,47$), com exceção de duas cujos valores estão abaixo, porém próximos a norma. Para a amostra de subarcóseo observa-se significativa anomalia negativa ($Eu / Eu^* = 0,78$).

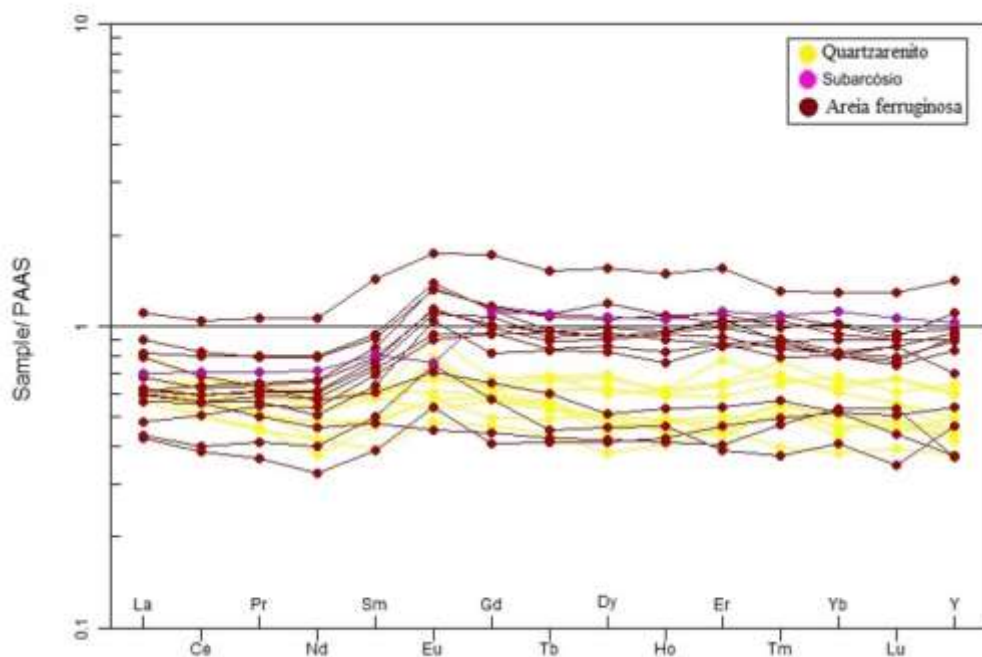


Figura 14: *Spider diagram* – normalização para PAAS (*post-Archaean average Australian shale*; McLennan, 1989).

A respeito dos ETRP, estes exibem padrões mais retilíneos (areias ferruginosas: $Gd_N / Y_N = 1,04-1,25$, quartzarenitos: $Gd_N / Y_N = 0,98- 1,31$ e subarcóseo: $Gd_N / Y_N = 1,08$), sendo a maioria das amostras depletadas em relação ao PAAS, com exceção de três amostras de areias ferruginosas e a amostra de subarcóseo, que apresentam valores pouco acima da norma. Também se observa um maior enriquecimento das amostras de areias ferruginosas em relação as de quartzarenitos.

Para os ETRL, os padrões gerados mostram uma maior homogeneidade entre os três tipos de amostras, e com um grau de fracionamento maior em relação ao ETRP, porem mantendo um perfil mais plano, ainda que apresente uma pequena inclinação negativa (areias ferruginosas $La/Sm = 0,69 - 1,29$, quartzarenitos $La/Sm = 1,09 - 1,42$ e subarcóseo $La/Sm = 0,86$). Quase todas as amostras, com exceção de uma amostra de areias ferruginosas, são depletadas em relação a norma.

4.3 Área fonte

4.3.1 Intemperismo

Nesbitt e Young (1982) propuseram o Índice Químico de alteração (CIA-*The Chemical Index of Alteration*) no qual é possível estimar o grau de intemperismo na área de origem, uma vez que o CIA fornece um número adimensional que estima a proporção de minerais aluminosos secundários (minerais de argila) aos feldspatos. É calculado usando a equação $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] * 100$, onde as abundâncias elementares são expressas em proporções molares, e CaO^* representa a quantidade de CaO incorporada nas fases de silicato. Para as amostras do Depósito São Sebastião os valores foram de 64-76 com média de 70 para os quartzarenitos, 58-80 com média de 67 para as areias ferruginosas e de 79 para a amostra de subarcóseo. Valores de CIA para as amostras do Depósito São Sebastião encontram-se no anexo B.

Na Figura 15, os valores de CIA das amostras foram plotados no diagrama ternário $A(Al_2O_3) - CN(CaO^* + Na_2O) - K(K_2O)$ de Nesbitt e Young (1984). As amostras de areias ferruginosas são plotadas formando *trends* ao longo das linhas de tendência Basalto-Andesito e paralelas ao eixo A-CN e a amostra de subarcóseo plota próxima ao eixo A-K e da formação de Ilita e Muscovita. Todas as amostras se posicionaram um pouco longe da linha de junção plagioclásio-K-feldspato, indicando intemperismo químico moderado da fonte

. O diagrama Th/U vs. U de McLennan et al. (1993), Figura 16, mostra as amostras separadas em dois grupos distintos, porém com valores aproximados. Nele é possível perceber que ambos os grupos de amostras seguem um moderado *trend* negativo, não acompanhando o *trend* de intemperismo de McLennan et al. (1993). Segundo ele, a relação Th/U na maioria das

rochas da Crosta superior variam entre 3,5 e 4,0, e para rochas sedimentares, os valores acima de 4 podem indicar intenso intemperismo ou reciclagem de sedimentos. As rochas das amostras do Depósito São Sebastião apresentaram valores menores que a média da Crosta Superior, variando entre 2,27-3,66 e média de 2,99 para os quartzarenitos, 3,18-3,81 e média de 3,40 para as areias ferruginosas, sendo estes com os valores mais próximos da Crosta Superior e 3,19 para a amostra de subarcóseo.

Como uma medida da maturidade composicional, foi aplicado o Índice de variabilidade composicional (ICV; $ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3]$; Cox *et al.*, 1995) para todas as amostras (unidades expressas em proporções moleculares e resultado adimensional). As areias ferruginosas apresentaram média de 1,5, os quartzarenitos média de 1,41 e a amostra de subarcóseo o valor de 0,74. De acordo com os valores de ICV estimados por Deer *et al.* (1966) (Figura 17) para minerais formadores de rocha, ambos os grupos de amostras, (areias ferruginosas e quartzarenitos) encontram-se em intervalos maiores que os intervalos para minerais comuns argilosos (0.03-0.78) e do Feldspato (0.54-0.87); isto indica que elas contêm abundantes minerais silicatos não argilosos e tendem a ser encontradas em ambientes tectonicamente ativos, sendo estas características típicas do primeiro ciclo de sedimentação (Van de Kamp e Leake, 1985). A amostra de subarcóseo por outro lado, possui valor dentro do intervalo de minerais argilosos.

Adicionalmente, para destacar as semelhanças entre os três tipos de amostras de rochas e relacioná-las com o índice empírico de maturidade mineral ($IMAT = \{SiO_2 / (SiO_2 + Al_2O_3) \times 100\}$ (unidades expressas em proporções moleculares e resultado adimensional), proposto por Jost *et al.* (1996), foram feitos diagramas bivariantes de elementos maiores vs. IMAT (Figura 18).

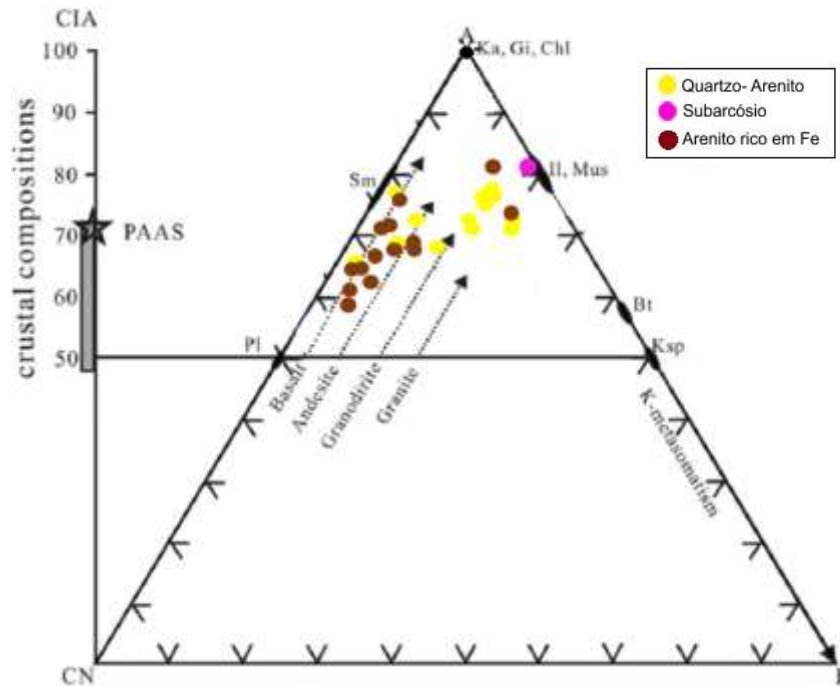


Figura 15: Diagrama ternário de proporção molecular Al_2O_3 (A)- $\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}$ (CN)- K_2O (K) para as rochas metassedimentares do Deposito São Sebastião, com escala do Índice Químico de Alteração (CIA). As linhas tracejadas representam os trends de intemperismo de diferentes rochas ígneas. Legenda para a composição ideal dos minerais: Ka = kaolinite, Gi = gibbsite, Chl = chlorite, Il = illite, Mus = muscovite, Bt = biotite, Ksp = K-feldspar, Sm = smectite, Pl = plagioclase. (Nesbitt e Young, 1984).

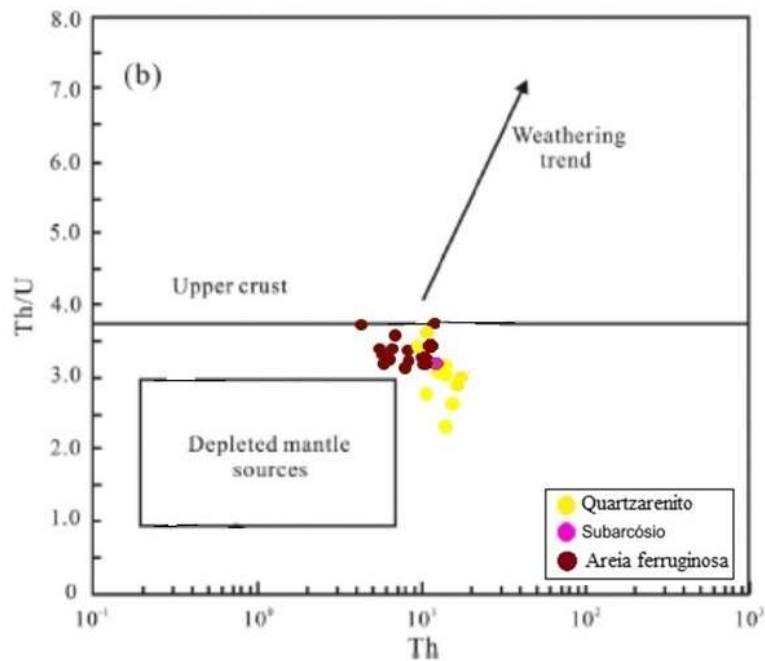


Figura 16: Diagrama de razões Th / U versus abundância de Th (McLennan *et al.*, 1993).

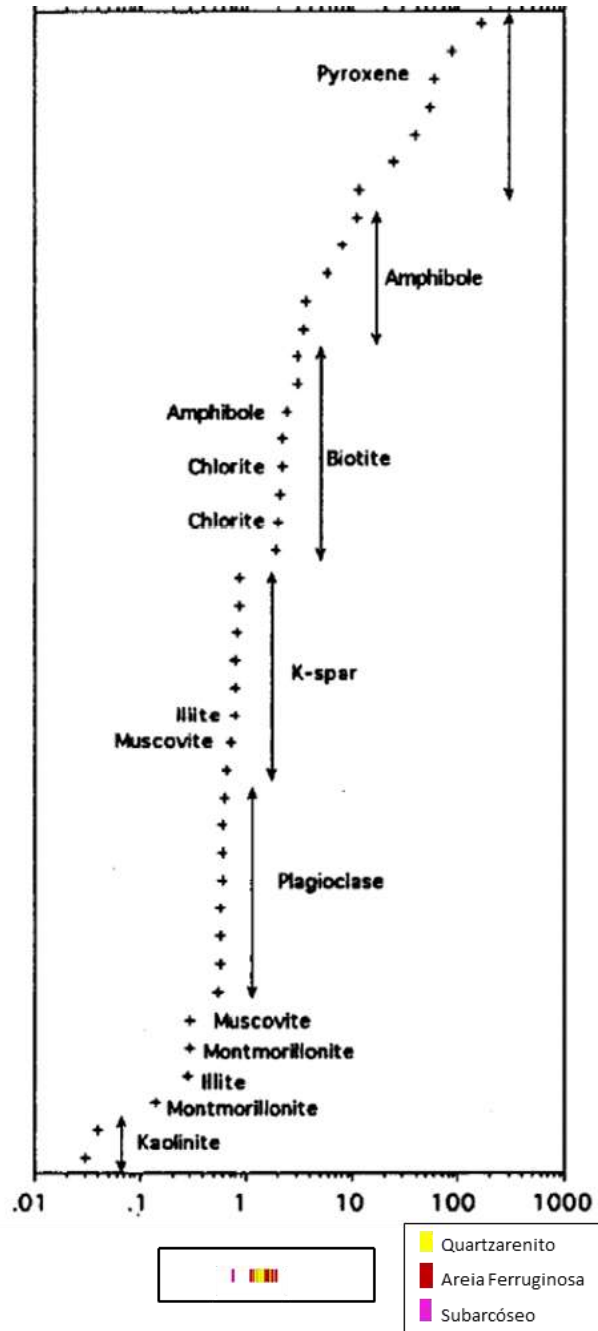


Figura 17: Valores do Índice de variabilidade composicional para minerais formadores de rochas selecionados. $ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3]$ (Cox *et al.*, 1995). Cruzes representam valores de dados individuais. Onde um nome mineral aparece ao lado de um ponto de dados, o valor refere-se a esse mineral. As setas mostram a faixa de valores para certos grupos minerais; valores específicos desses grupos são dados pelo cruzes que não são acompanhadas por um nome mineral. Dados de Deer *et al.* (1966 apud Cox *et al.*, 1995).

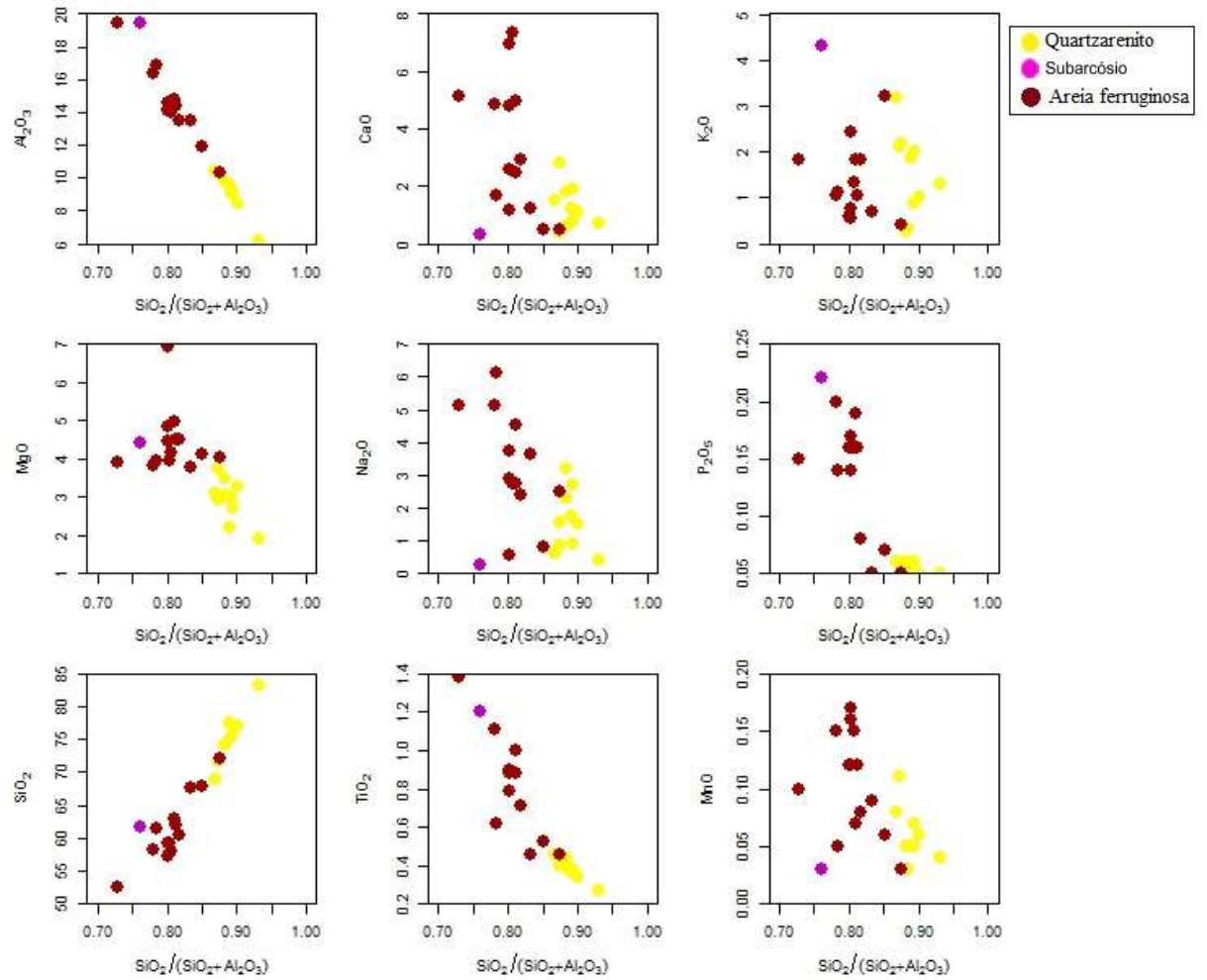


Figura 18: Diagramas bivariantes em relação ao índice empírico de maturidade mineral (Jost *et al.*, 1996). $IMAT = SiO_2 / (SiO_2 + Al_2O_3)$.

De modo geral, as amostras apresentaram espalhamento semelhante, exibindo correlação negativa para os diagramas correspondentes a CaO, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂ e MnO. As correlações positivas com SiO₂ e negativas com Al₂O₃ são compatíveis com o aumento da quantidade de quartzo na medida que decresce o conteúdo de mica. Ambas as amostras (areias ferruginosas e quartzarenitos) e a amostra de subarcóseo, possuem valores intermediários a altos de IMAT, condizentes aos valores de ICV citados anteriormente.

Os valores de ICV e IMAT para todas as amostras estão dispostos no anexo B.

4.3.2 Origem

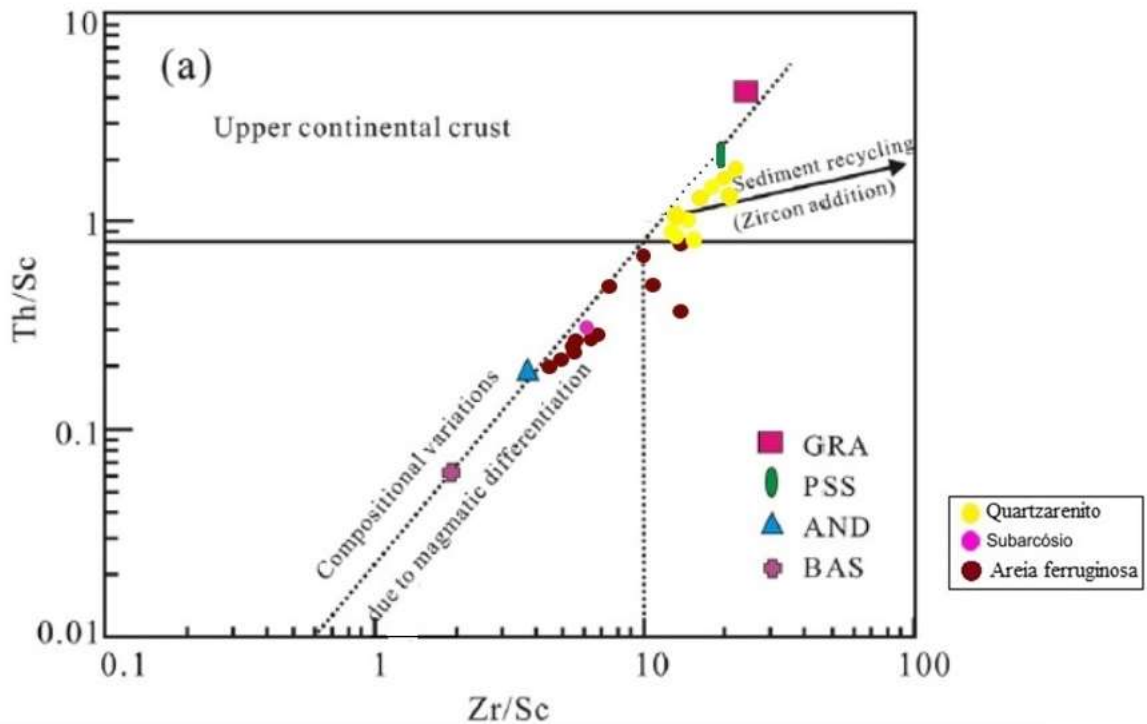


Figura 19: Diagrama de Th / Sc versus Zr/Sc (McLennan *et al.*, 1993). Composições médias das rochas origem são de idade Proterozóica (Condie, 1993). BAS, basalto; AND, andesito; GRA, granito; e PSS, arenito Proterozóico.

Para o diagrama Th / Sc vs. Zr / Sc de McLennan *et al.* (1993) (Figura 19) no qual é possível monitorar classificação e reciclagem sedimentar, além da origem félsica ou máfica dos materiais, a maioria das amostras do Depósito São Sebastião seguem o *trend* de variação composicional de rochas magmáticas. As amostras de areias ferruginosas e a amostra de subarcóseo são distribuídas principalmente próximo a composição do Andesito, enquanto as amostras de quartzarenitos possuem maiores razões Zr / Sc e estão mais próximas da composição da Crosta Continental Superior.

5 DISCUSSÕES

De acordo com o diagrama de Herron (1988) (Figura 7), as amostras de metarenitos do Depósito São Sebastião foram discriminadas como quartzarenitos, areias ferruginosas e uma amostra de subarcóseo; resultados condizentes com os valores de ICV (Índice de variabilidade composicional) e IMAT (Índice empírico de maturidade mineral) apresentados pelas amostras, os quais indicam que elas contêm abundantes minerais silicatos não argilosos e imaturidade composicional.

Resultados concordáveis são obtidos usando os diagramas A-CN-K (Nesbitt e Young, 1984) e Th/U vs. U (McLennan *et al.*, 1993) (Figs. 15-16). Para o primeiro, é possível juntamente ao CIA obter interpretações relevantes acerca da evolução do arcabouço sedimentar (Nesbitt, 2003); as amostras do Depósito São Sebastião exibiram em ambos os grupos de amostras (areias ferruginosas e quartzarenitos) um alinhamento segundo uma direção que vai desde o ponto de composição final do plagioclásio ao segmento da Ilita, porém não se posicionam próximo a linha de junção plagioclásio-K-feldspato, isso indica que as rochas geradoras dos metassedimentos sofreram intemperismo fraco a moderado. Para o segundo diagrama, os valores apresentados pelas amostras em relação à média da Crosta Superior e a plotagem seguindo o *trend* de intemperismo proposto por McLennan *et al.* (1993), também sugerem que as rochas das áreas-fontes sofreram intemperismo moderado ou um grau relativamente grande de reciclagem.

As distribuições dos elementos maiores refletem a mineralogia das amostras estudadas. Ainda que as amostras não apresentem diferenças marcantes na composição principal, os quartzarenitos são os mais ricos em SiO₂, com índice marcante sílica acima de 72% , da mesma

forma que as areias ferruginosas possuem moderados a altos teores de Sílica, porém apresentam os teores mais altos em Fe_2O_3 e índices de teores entre 11% e 18% de Al_2O_3 e acima de 0,4% de TiO_2 ; e a amostra de subarcóseo possui maior conteúdo de Al_2O_3 , com valores de acima de 18% e K_2O , o qual reflete a composição com grande participação de Feldspato. As amostras de areias ferruginosas também exibem maior conteúdo de CaO e MgO que as amostras de quartzarenitos e subarcóseo. Desta forma, a composição química permite inferir que as amostras de quartzarenitos e subarcóseo são enriquecidas em minerais félsicos e as amostras de areias ferruginosas em minerais ferromagnesianos, quando comparada às demais.

Nos diagramas de variação de Harker (Figura 8), os três tipos de rochas das amostras dispõem-se de forma contínua sobre um mesmo *trend* para a maioria dos elementos correlacionados, isso pode ser interpretado como evidência de mesma fonte. Os *trends* negativos da SiO_2 com os elementos maiores para todos os diagramas, pode ser atribuída a maior parte da sílica sendo sequestrada em quartzo, como indicado por Osman (1996). Segundo Bathia e Crook (1986), essa correlação inversa da SiO_2 com MgO , Fe_2O_3 , TiO_2 e CaO , podem significar diminuição de componentes instáveis como plagioclásio, fragmentos líticos/vulcânicos, óxidos e sulfetos durante o intemperismo e o transporte das partículas sedimentares.

As abundâncias de Al_2O_3 foram usadas como um fator de normalização para fazer comparações entre as diferentes litologias, devido à sua natureza imóvel durante o intemperismo, diagênese e metamorfismo (Bauluz *et al.*, 2000). Nas figuras 10 (a) e (b), elementos maiores e traços foram plotados vs. Al_2O_3 , mostrando forte correlação positiva com os principais óxidos, isso indica que eles estão associados com minerais micáceos / argilosos (Das *et al.*, 2006). A correlação particular de Fe_2O_3 e MgO e o aumento da concentração de TiO_2 com o aumento de Al_2O_3 , implicam que estes óxidos estavam originalmente associados

em tempos anteriores ao metamorfismo com filossilicatos, especificamente Ilita, no caso do TiO_2 .

Vale ressaltar que a correlação negativa de SiO_2 com Al_2O_3 , confirma que a grande parte da sílica está presente como grão de Quartzo e enfatiza a relação mutualmente exclusiva entre as duas principais litologias. E a correlação positiva entre Al_2O_3 e K_2O sugere que as concentrações dos minerais contendo K tem forte influência na distribuição de Al.

Como complemento aos elementos maiores acerca da litologia da fonte, são usados preferencialmente os elementos terras raras (REE), elementos de alta força de campo (Zr, Hf, Y e Nb), alguns elementos de transição (TTE), como por exemplo Sc, Co, Cr e Ni, juntamente com Al, Ti e Th; pois estes são considerados relativamente imóveis durante os processos sedimentares, de forma que apenas um pequeno enriquecimento ou perda são esperados; sendo assim são úteis para discriminar composição da área de origem das rochas sedimentares clásticas (Taylor e McLennan,1985; Wronkiewicz e Condie,1987).

As razões Th / Cr, Th / Co, Th / Sc e La / Sc são significativamente diferentes para rochas fontes máficas e félsicas, por isso são essencialmente usadas para inferir proveniência em rochas sedimentares (Cullers *et al.*, 1988, Condie e Wronkiewicz,1990). Na tabela 4 estão dispostos os valores destas relações para as amostras destes estudos, comparadas com os sedimentos derivados de rochas félsicas e básicas, bem como os valores para UCC.

Neste estudo, os valores de La / Sc, Th / Sc, La / Co e Th / Sc das amostras de metarenitos do Depósito São Sebastião, são mais semelhantes aos valores para sedimentos derivados de rochas de origem félsica para os quartzarenitos e a amostra de subarcóseo, e rochas de origem máfica para os Arenitos ricos em Fe, sugerindo que estas rochas possuem proveniência bimodal máficas/ félsicas. A relação Cr / Th é semelhante aos valores das rochas de origem félsica para todas as amostras devido ao empobrecimento de Cr.

Em relação ao diagrama *spider* normalizado para condrito (fig. 12), o enriquecimento relativo de elementos terras raras leves quando comparado às terras raras pesadas (ETRL/ETRP) e as anomalias negativas de Eu podem indicar rochas fontes intermediárias a félsicas.

As normalizações em relação ao UCC de Rudnick e Gao (2003) (fig. 13), apresentaram HSFE (por exemplo, Zr, Nb, Hf, Y) e LILEs (Rb, Ba e Sr) com inter-relações consistentes, o que ilustram coerência química e uniformidade dos sedimentos; porém nota-se distinções em relação aos três grupos de rochas.

Todas as amostras mostram forte depleção para os LILEs em relação a Crosta Continental, podendo refletir intenso intemperismo e reciclagem. À exceção da amostra de subarcóseo, que é enriquecida em Sr, o empobrecimento deste elemento para as demais amostras, pode ser resultado do intemperismo de feldspatos, particularmente plagioclásio. Para os HSFE, as amostras de quartzarenitos e areias ferruginosas mostraram valores levemente abaixo do UCC, que é característica de rochas fontes máficas, indicando que teve contribuição de rochas mais básicas; e a amostra de subarcóseo exibe enriquecimento, reafirmando sua provável proveniência félsica. Além disso, as concentrações mais baixas ou comparáveis de Zr e Hf às do UCC, sugere fracionamento mínimo do UCC, e provavelmente indica que nenhuma acumulação preferencial de zircão detrítico ocorre nestes metassedimentos.

Os elementos de transição concentram-se principalmente nas argilas e óxidos metálicos; as amostras do Depósito São Sebastião mostraram enriquecimento nos mesmos, com exceção da amostra de subarcóseo. As amostras de quartzarenitos são depletadas somente para o V, que é menos mobilizado durante o intemperismo (cf., Middleburget *et al.*, 1988). Do mesmo modo, verificou-se que as amostras de areias ferruginosas e subarcóseo são enriquecidas em Ti,

Tabela 4: Comparação entre as relações elementares médias das amostras de metarenitos do Depósito São Sebastião e os intervalos conhecidos para arenitos de diferentes fontes de proveniência. Valores para UCC de McLennan (2001); Taylor e McLennan (1985). Valores para os intervalos de rochas félsicas e máficas de Cullers *et al.* (1988); Cullers (1994); Cullers e Podkovyrov (2000).

Relação elementar	UCC	Rochas de origem félsica	Rochas de origem máfica	Amostras deste estudo		
				Arenito rico em Fe	Quartzo-arenito	Subarcóseo
Eu/Eu*	0,63	0,40 - 0,94	0,71 - 0,95	0,72 - 0,94	0,59 - 0,96	0,52
La/Sc	2,21	2,5 - 16,30	0,4 - 0,86	0,7 - 3	2,51 - 4,35	0,76
Th/Co	0,63	0,67 - 19,40	0,04 - 1,4	0,14 - 0,4	0,4 - 0,98	0,29
La/Co	1,76	1,8 - 13,8	0,14 - 0,38	0,58 - 1,25	0,99 - 2,21	0,7
Th/Sc	0,79	0,84 - 20,50	0,05 - 0,22	0,19 - 1,05	1,06 - 2,68	0,32
Cr/Th	7,76	4,0 - 15	25 - 500	1,55 - 20,93	8,31 - 23,11	3,12

sugerindo que o elemento pode ser controlado por minerais de óxido de ferro (por exemplo, magnetita) que não a titanita.

Conjuntamente, as amostras de subarcóseo e quartzarenitos apresentaram forte anomalia positiva em Th, elemento típico de origem félsica, isso corrobora com as normalizações para o condrito, discutidas anteriormente. Além disso, a abundância deste elemento pode estar associada ao acúmulo de monazita (que ocorre com frequência como importante mineral acessório), apatita, zircão ou titanita.

O fracionamento dos elementos Rb (areias ferruginosas e quartzarenitos) e P (quartzarenitos), podem ser justificados pelo intemperismo na área fonte para o primeiro, ademais de alteração de micas e feldspatos para ambos.

Para o diagrama normalizado para o PASS (McLennan, 1989) da figura 14, nota-se padrões uniformes e retilíneos, que não diferenciam substancialmente da norma, característica comum às rochas sedimentares terrígenas, especialmente arenitos. Segundo McLennan (1989), a uniformidade de distribuições REE em rochas sedimentares terrígenas têm sido atribuídas a mistura eficiente de origens litológicas durante os processos sedimentares, com uma história

significativa de reciclagem sedimentar, o que facilita a mistura e homogeneização de REE. Também se observa um leve enriquecimento de Eu em relação a norma, que para Wildeman e Haskin (1973) e Wildeman e Condie (1973), condiz com rochas sedimentares arqueanas e pode ser interpretado como o resultado de enriquecimento local de plagioclásio durante classificação sedimentar.

5.1 Intemperismo e maturação da área fonte

O grau de intemperismo das áreas-fonte dos metassedimentos do Depósito São Sebastião foi avaliado utilizando-se o Índice químico de alteração (CIA) proposto por Nesbitt e Young (1982). Segundo os resultados, houve uma dispersão nos valores apresentados, que podem refletir uma grande heterogeneidade na fonte destes metassedimentos ou modificações localizadas produzidas por alterações hidrotermais.

A Figura 20 mostra alguns produtos de intemperismo segundo Jost *et al.* (1996), juntamente com um histograma de frequência do CIA das amostras analisadas.

Aproximadamente 64% das amostras estudadas possuem um CIA entre 55 e 70, onde se situam produtos sedimentares resultantes do intemperismo físico dominante e formação de minerais secundários (Jost *et al.*, 1996). Dentre estes, a maior frequência de amostras encontra-se entre os valores de CIA 60-70, intervalo esse que inclui a variação observada para as argilas residuais pleistocênicas e para o limite superior dos depósitos de Loess, compatível com intemperismo moderado a intenso e essencialmente físico.

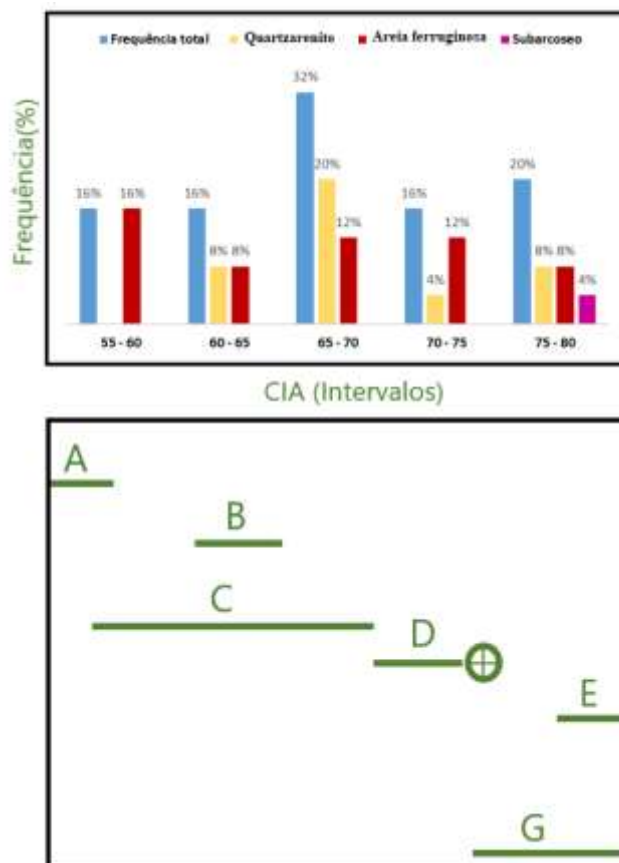


Figura 20: Frequência do índice químico de alteração ($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)] \times 100$) e margem de valores de produtos de intemperismo (adaptado de Jost *et al.*, 1996). A- matriz de tilitos pleistocênicos. B- argilas glaciais pleistocênicas. C- loess. D- Folhelho pós-arqueano. E- lamas do delta do Rio Amazonas. G- illita, montmorilonita e beidelita.

Além disso, no diagrama ternário da Figura 15 (Nesbitt e Young, 1984), o alinhamento das amostras segundo uma direção que vai do ponto da composição final do plagioclásio ao segmento da illita, sugere um *trend* de alteração no qual a maior parte das rochas é caracterizada por um modesto grau de intemperismo químico. Segundo Nesbitt e Young (1984), CaO e Na₂O no plagioclásio são lixiviados primeiramente, resultando em amostras mais próximas da linha A-K (como se observa para a amostra de subarcóseo) para este diagrama ternário de proporção molecular Al₂O₃ (A)-CaO* + Na₂O (CN)-K₂O (K).

No entanto, para as amostras de areias ferruginosas e quartzarenitos, o posicionamento paralelo à linha A-CN, reforça o início de intemperismo químico em estágio inicial e segue a

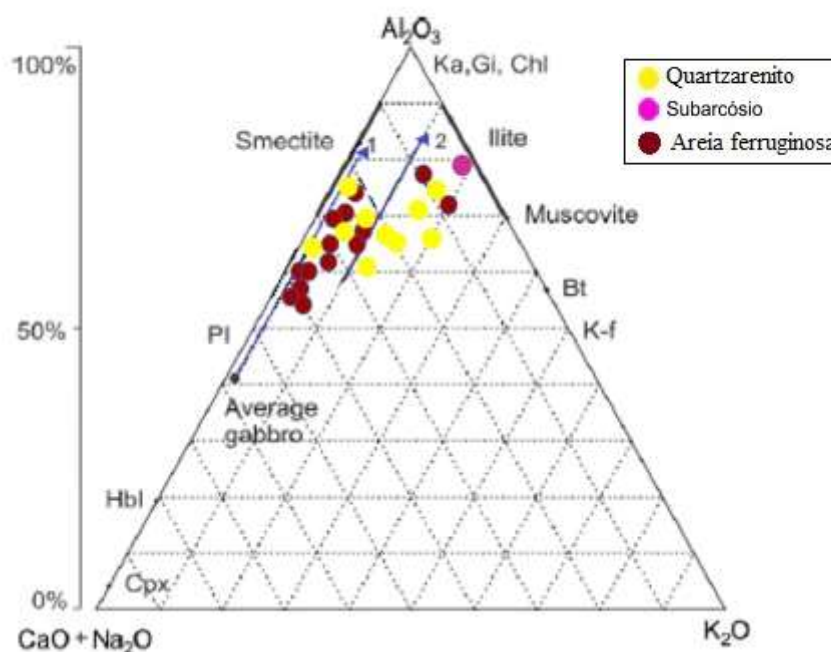


Figura 21: Diagrama Ternário Al_2O_3 – $(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$ – K_2O para tendências de intemperismo para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião. Valores da linha a esquerda representam o CIA. *Trends*: 1) Linha de intemperismo prevista para composição média de gabros, 2) Intemperismo previsto para crosta arqueana (Nesbitt & Young, 1984, 1992, Fedo et al. 1995).

linha de intemperismo prevista para rochas de composição gabróica (Figura 21, linha 1) para areias ferruginosas.

Constatou-se também, através dos IMAT (Jost *et al.*, 1996), ICV (Cox *et al.*, 1995) e dos diagramas bivariantes da Figura 18, que ambas as amostras (areias ferruginosas e quartzarenitos) possuem maturidade mineral intermediária. Isso significa que antes do metamorfismo possuíam maior quantidade de minerais silicatos não argilosos e pouca participação de minerais argilosos nos protólitos. Além disso, as amostras apresentaram média de valores para IMAT situados entre grauvacas e areia fina segundo a tabela 5 de referência para alguns produtos sedimentares (Pettijohn; 1975), e somente a amostra de subarcóseo possui valores entre argilas residuais e folhelhos, exibindo maior quantidade de argilominerais.

Tabela 5. Índice de maturidade sedimentar (IMAT) empregando dados de análise química de tipos comuns de produtos sedimentares (Pettijohn; 1975).

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	IMAT	Pettijohn *
Argila residual (basalto)	40.70	30.90	56.84	280/8-8/A
Argila fina	40.61	18.97	68.16	270/8-4
Argila grossa	48.07	18.83	71.85	270/8-4
Argila residual (granito)	66.01	21.21	75.68	280/88-D
Média de folhelhos	58.10	15.40	79.04	274/8-7/A
Folhelho carbonoso	51.03	13.47	79.11	283/8-9/A
Grauvaca	60.51	15.36	79.75	228/7-9/A
Silte	61.29	13.30	82.16	270/8-4
Arcócio	76.60	12.40	86.06	216/7-5/K
Arcia fina	71.15	10.16	87.50	270/8-4
Subarcócio	92.13	4.42	95.42	216/7-5/K
Arenito proquartzítico	92.91	3.78	96.09	223/7-7/E
Arenito ortoquartzítico	98.87	0.41	99.58	233/7-10/A

5.2 Estratigrafia

Com a finalidade de se obter uma melhor correlação entre as amostras deste estudo e os intervalos definidos por Brando Soares *et al* (2017) para o Depósito São Sebastião e sua respectiva estratigrafia, as amostras foram posicionadas na Fig. 22 segundo sua metragem e a correspondência na coluna estratigráfica das sequências do Depósito.

Nela é possível ver que as amostras se posicionam correlacionando-se em sua maioria com os intervalos metassedimentares II e IV de Brando Soares *et al* (2020), reafirmando a proposta de que podem pertencer aos intervalos de metassedimentos turbidíticos do Depósito São Sebastião.

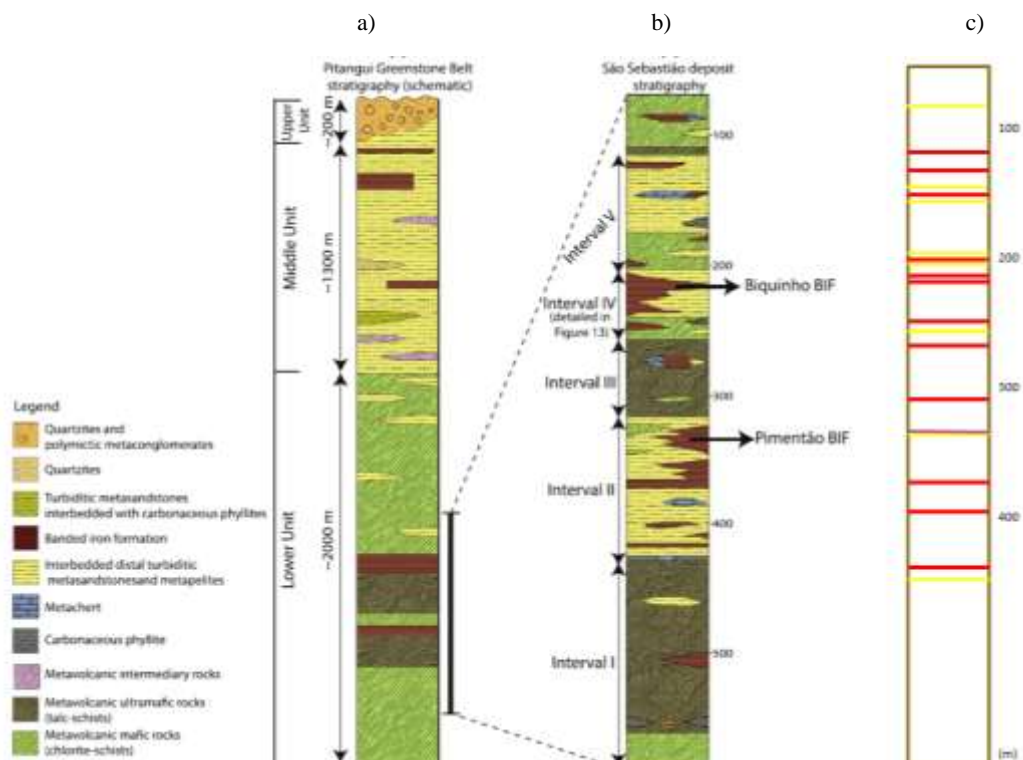


Figura 22: (a) Coluna estratigráfica esquemática do *Greenstone Belt* Pitangui e (b) Estratigrafia do depósito São Sebastião mostrando os intervalos de I a V de Brando Soares *et al* (2017) (c) Posição das amostras deste estudo. Linhas vermelhas representam as amostras de areias ferruginosas, linhas amarelas quartzarenitos e lilás subarcóseo.

5.3 Proveniência

Na Figura 16 é possível ver que as amostras provavelmente possuem derivação de fonte ígnea intermediária a félsica, plotando entre o manto depletado e a Crosta Continental Superior, que é condizente com a posição delas nos *trends* composicionais do diagrama triangular A-CN-K da Figura 15, mostrando uma variação média Andesítica a Granítica.

Fazendo uso das razões de elementos incompatíveis e compatíveis para diferenciar entre materiais de origem félsicos e máficos (Cullers, 1994; McLennan *et al.*, 1993), os diagramas da Figura 19 e La/Th vs. Hf (Floyd e Leveridge, 1987) da Figura 23, reafirmam a composição félsica/Andesítica para as amostras de areias ferruginosas e subarcóseo, e próxima à da Crosta superior para as amostras de quartzarenitos; além de sugerir algum grau de retrabalhamento em razão da plotagem rente a Crosta Superior.

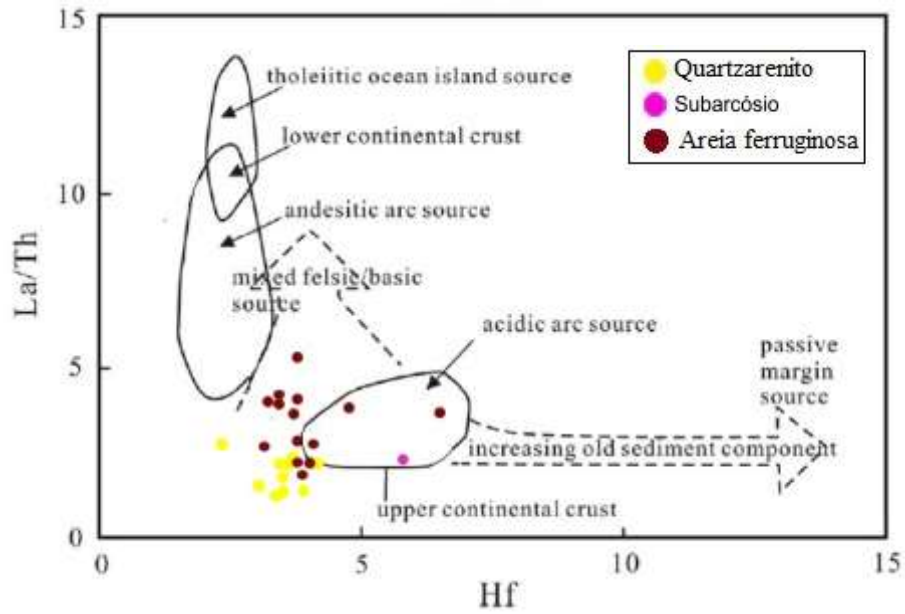


Figura 23: Diagrama de La/Th vs. Hf (Floyd e Leveridge, 1987).

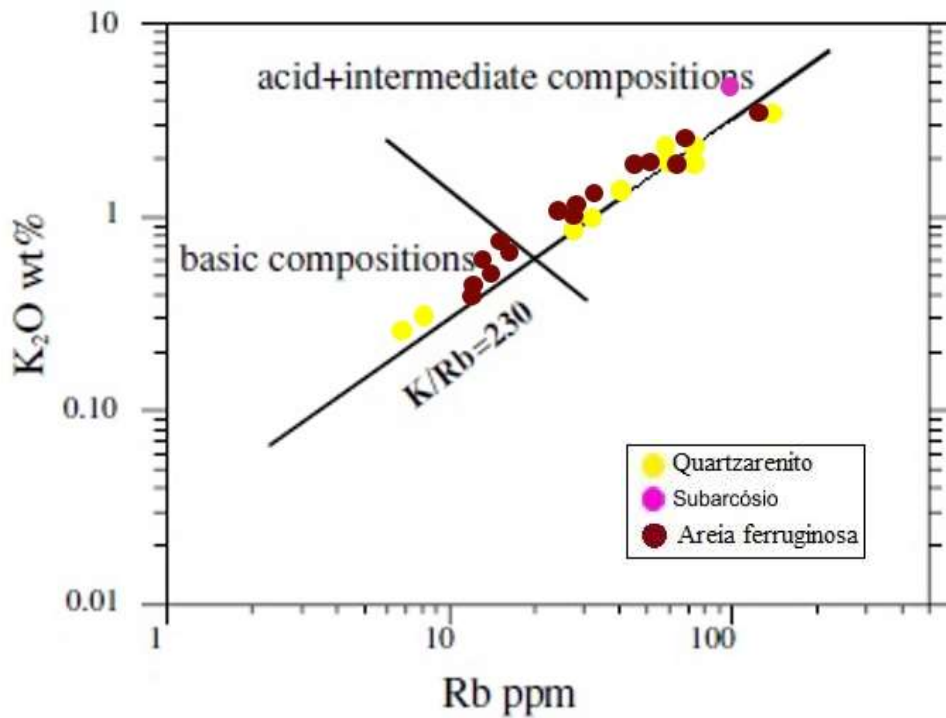


Figura 24: Diagrama de distribuição de K e Rb para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião, em relação a uma razão de K/Rb de 230 (Shaw, 1968).

Outra forma funcional utilizada para indicar fonte é a razão $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (Hayashi *et al.*, 1997). Para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião, os valores médios são de 23,8 para as amostras de quartzarenitos, 16,2 subarcóseo e 18,7 areias ferruginosas; correspondente a razão $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ para rochas ígneas félsicas (> 20) e máficas e ultramáficas (< 20) respectivamente (Taylor & McLennan, 1985; Condie, 1993).

Na Figura 24 (Shaw, 1968), as amostras do Depósito São Sebastião exibem razões k/Rb uniformes e que acompanham o *trend* principal de razão 230, ou linha típica de diferenciação de suíte magmática. Quanto a composição, as amostras se posicionaram ao longo de toda a linha, mas com predominância de composição mostrada nos gráficos anteriores.

5.3 Ambiente tectônico

Bhatia (1983), atesta que diagramas utilizando elementos maiores são eficientes para correlacionar composição geoquímica de arenitos e o ambiente tectônico da bacia sedimentar na qual estão inseridos, uma vez que estes elementos tendem a indicar a composição química da rocha fonte. Segundo os diagramas das figuras 25(a) e 25(b), que faz uso das razões $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ vs. TiO_2 e $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_3$, propostas por Bhatia (1983), as amostras de areias ferruginosas do Depósito São Sebastião, assim como a amostra de Subarcóseo, apresentam predominantemente similaridades geoquímicas com sedimentos de ambientes de arcos de ilha oceânicos; e as amostras de quartzarenitos com sedimentos de Margem Continental ativa e Arco Continental.

Entretanto, devido à complexidade dos processos que envolvem origem, transporte, sedimentação e diagênese de sedimentos, diagramas que empregam elementos maiores para indicar proveniência são mais eficientes para estimar grau de intemperismo que ambiente de

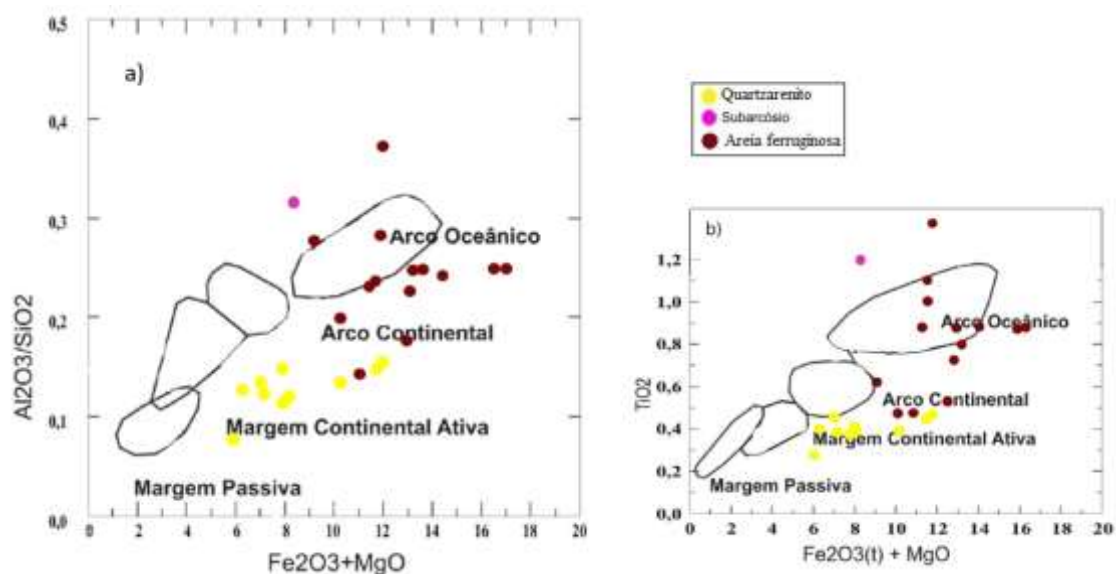


Figura 25: Diagrama de classificação tectônica para as amostras do Depósito São Sebastião. (a) Diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ (Bhatia e Crook, 1983); (b) Diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ v.s. TiO_2 (Bhatia, 1983).

sedimentação. Por isso, alguns autores têm questionado a eficiência desses diagramas (por exemplo, Armstrong-Altrin e Verma, 2005; Floyd *et al.*, 1991; Mccann, 1991, etc.) e dessa forma também foram propostos diagramas para proveniência e ambientes tectônicos, que utilizam elementos traços pouco móveis em bacias sedimentares (Bathia e Crook, 1986). Nestes diagramas de discriminação tectônica utilizando elementos imóveis ($\text{Th-Sc-Zr} / 10$ e Ti / Zr vs. La / Sc), das Figuras 26(a) e 26(b) de Bhatia e Crook (1986), a maioria das amostras de areias ferruginosas do Depósito São Sebastião ficaram inseridas nos campos das rochas de arcos de ilhas continental, as amostras de quartzarenitos no campo das rochas de margem continental ativa e a amostra de subarcóseo no campo de arco de ilha continental.

No entanto, Roser e Korsch (1986) atestam que, assim como arenitos provenientes de diferentes ambientes tectônicos de sedimentação possuem assinaturas geoquímicas características, estas características podem ser extrapoladas para sedimentos com tamanhos de grãos menores em diagramas de classificação tectônica. Sendo assim, no diagrama $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$

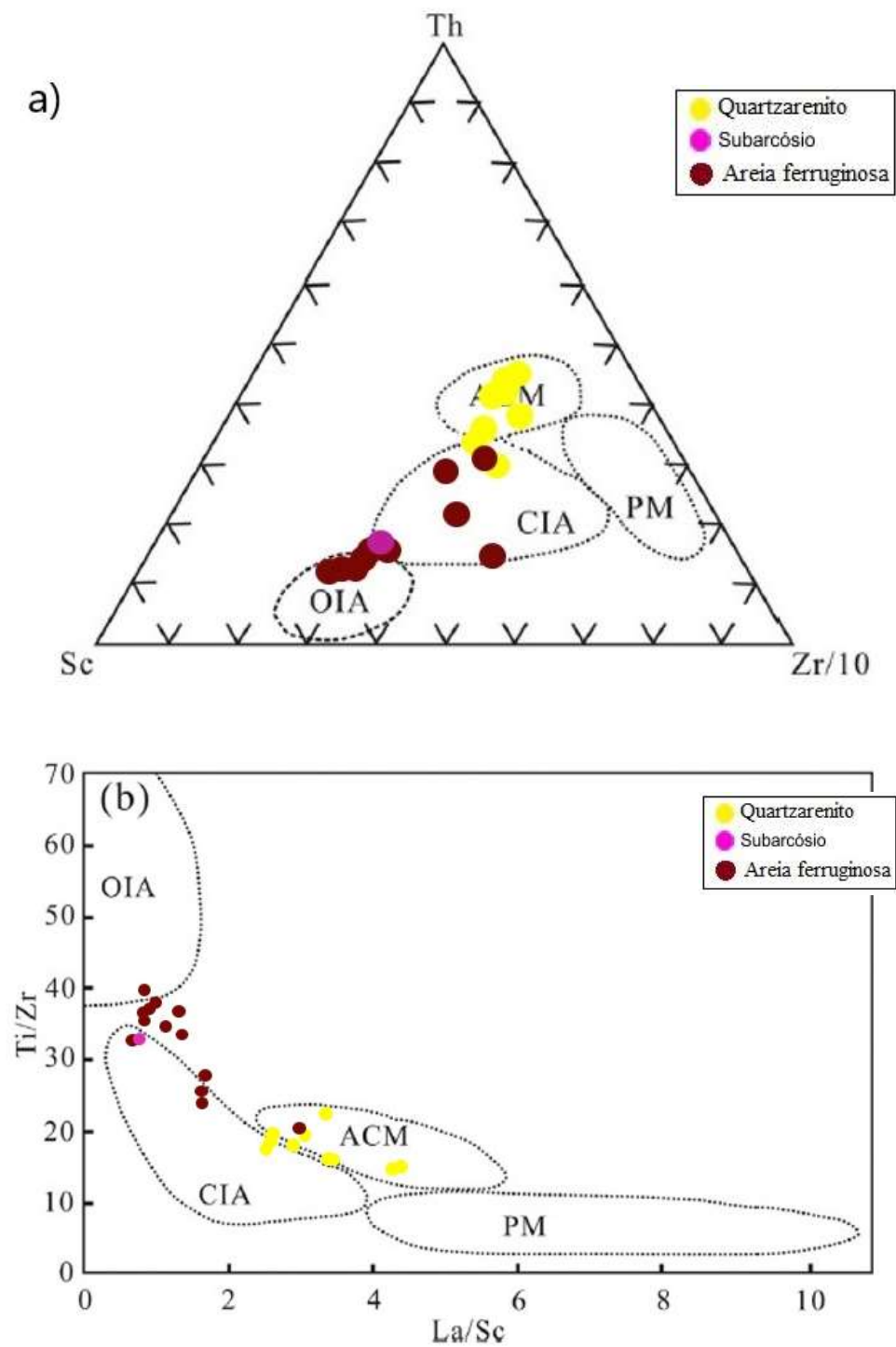


Figura 26: Diagrama de classificação tectônica para as amostras do Deposito São Sebastião. (a) Diagrama Th-Sc-Zr/10 (Bhatia e Crook, 1986); (b) Diagrama Ti/Zr vs. La/Sc (Bhatia and Crook, 1986). OIA-Arcos de Ilha Oceânica; CIA-Arcos de Ilha Continental; ACM-Margem continental ativa; PM-Margem continental passiva.

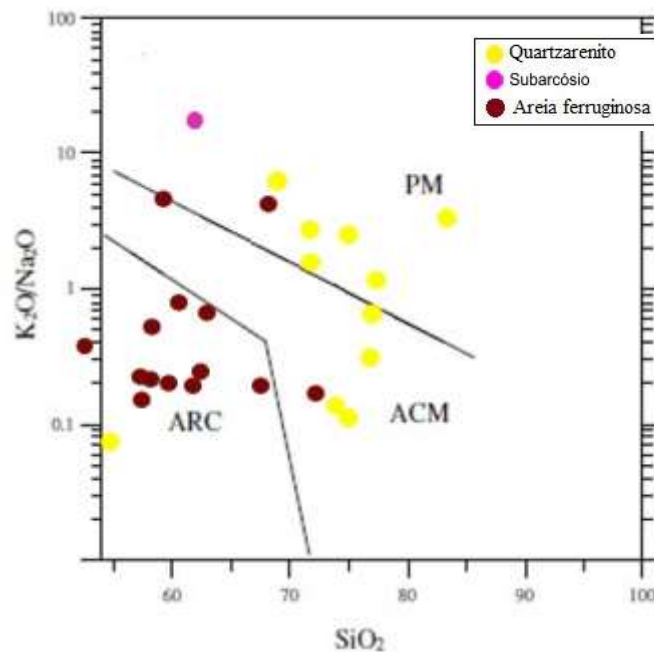


Figura 27: Diagrama de classificação tectônica para as amostras do Depósito São Sebastião (Roser e Korsch, 1986). ARC-Margem de arco de Ilha Oceânica; ACM-Margem continental ativa; PM-Margem continental passiva.

versus SiO₂ (Figura 27), para rochas terrígenas sedimentares (originalmente propostos para siltitos e argilitos, mas que segundo os autores pode ser adaptado para grãos maiores), as amostras possuem respostas semelhantes aos diagramas anteriores (margem de arcos de ilha oceânica para as areias ferruginosas e margem continental ativa para os quartzarenitos), porém as amostras de quartzarenitos também plotaram no campo de margem passiva e o mesmo para a amostra de subarcóseo.

5.4 Comparações litogeoquímicas com rochas metassedimentares de outras áreas do *Greenstone Belt* Pitangui

A fim de obter uma melhor interpretação de proveniência e tectônica, as rochas do Depósito São Sebastião deste trabalho foram comparadas com rochas metassedimentares do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui; (dados de Melo Silva, 2016).

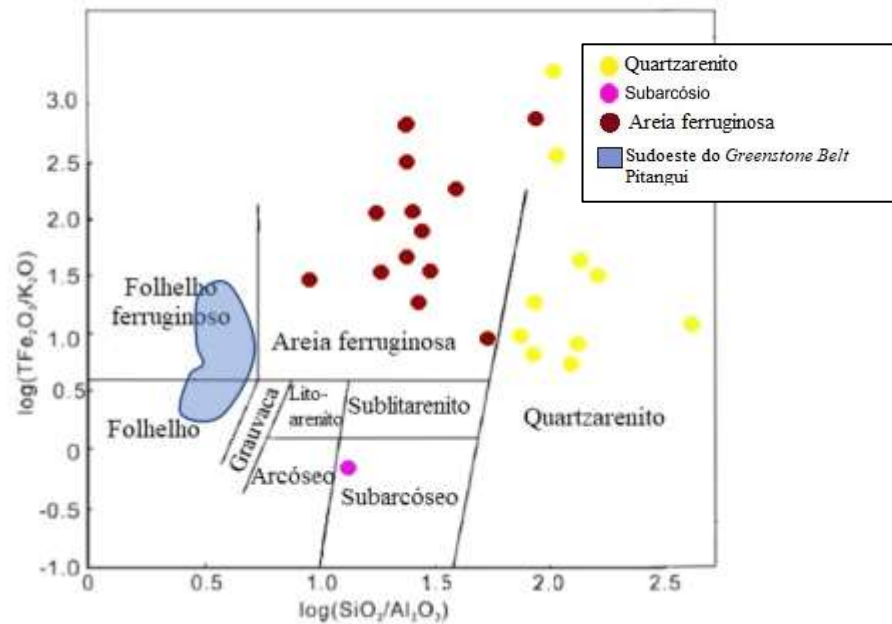


Figura 28: Diagrama de classificação química adaptado de Herron (1988), mostrando campo ocupado pelas amostras do setor sudoeste (dados de Melo Silva, 2016). do Greenstone Belt Pitangui comparadas as amostras do Depósito São Sebastião.

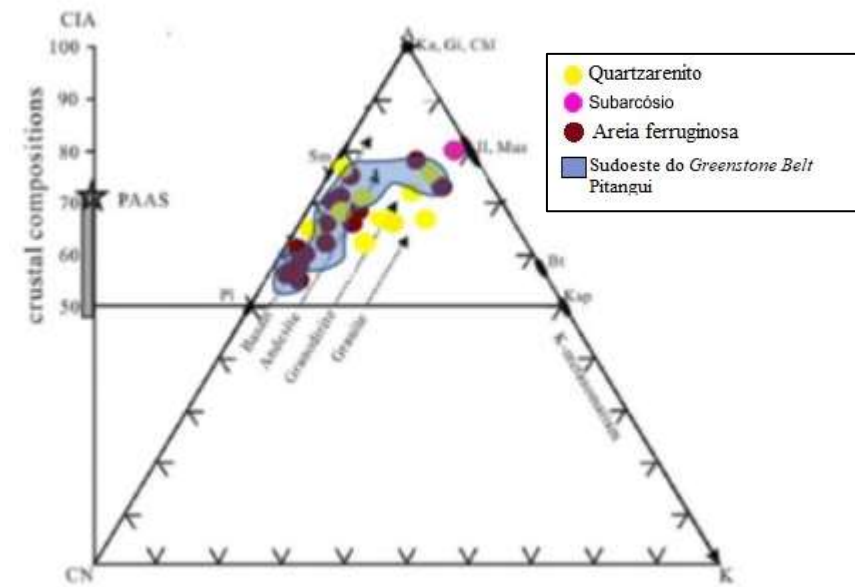


Figura 29: Diagrama ternário de proporção molecular Al_2O_3 (A)- $\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}$ (CN)- K_2O (K), mostrando os campos sobrepostos do depósito São Sebastião e setor sudoeste (dados de Melo Silva, 2016), com escala do Índice Químico de Alteração (CIA). As linhas tracejadas representam os trends de intemperismo de diferentes rochas ígneas. Legenda para a composição ideal dos minerais: Ka = kaolinite, Gi = gibbsite, Chl = chlorite, Il = illite, Mus = muscovite, Bt = biotite, Ksp = K-feldspar, Sm = smectite, Pl = plagioclase. (Nesbitt e Young, 1984)

No diagrama de classificação geoquímica de Herron (1988) para rochas sedimentares (Figura 28), apesar da similaridade composicional com considerável quantidade de minerais ferruginosos, as amostras do Depósito São Sebastião não estão contidas no mesmo campo das amostras de rochas metassedimentares de Melo Silva (2016), sendo estas últimas classificadas como folhelhos ferruginosos e folhelhos.

No diagrama ternário A(Al_2O_3) -CN ($CaO^* + Na_2O$) -K (K_2O) de Nesbitt e Young (1984) da Figura 29, é possível observar a semelhança nos *trends* formados pelas amostras de areias ferruginosas do Depósito São Sebastião e as amostras do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui. Ambos os grupos de amostras formam *trends* paralelas ao eixo A-CN, que indica intemperismo em estágio inicial e ao longo das linhas de tendência Basalto-Andesito.

Para o diagrama ternário de discriminação tectônica de Bhatia e Crook (1986), novamente as amostras de areias ferruginosas do Depósito São Sebastião exibem semelhança com o campo ocupado pelas amostras de Melo Silva (2016), do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui, plotando preferencialmente no ambiente de arco de ilha oceânico, enquanto as amostras de quartzarenitos do Depósito São Sebastião estão dispostas no campo de Margem continental ativa (Fig. 30).

Seguindo para o diagrama de classificação de Roser e Korsch (1986), da figura 31 os resultados apresentados mostram a mesma equivalência de ambiente tectônico entre as amostras de areias ferruginosas do Depósito São Sebastião e as amostras do setor sudoeste do *Greenstone Belt* Pitangui, onde mais uma vez se sobrepõem no campo de arco de ilha oceânico.

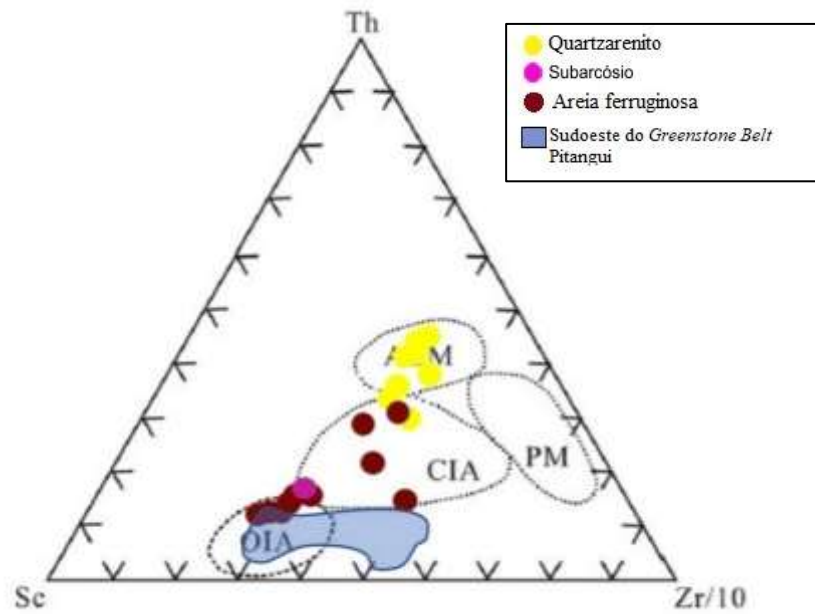


Figura 30: Diagrama ternário Th-Sc-Zr/10 de classificação tectônica (Bhatia e Crook, 1986), mostrando campo ocupado pelas amostras do setor sudoeste (dados de Melo Silva, 2016). do Greenstone Belt Pitangui comparadas as amostras do Depósito São Sebastião e a pequena sobreposição entre eles. OIA-Arcos de Ilha Oceânica; CIA-Arcos de Ilha Continental; ACM-Margem continental ativa; PM-Margem continental passiva

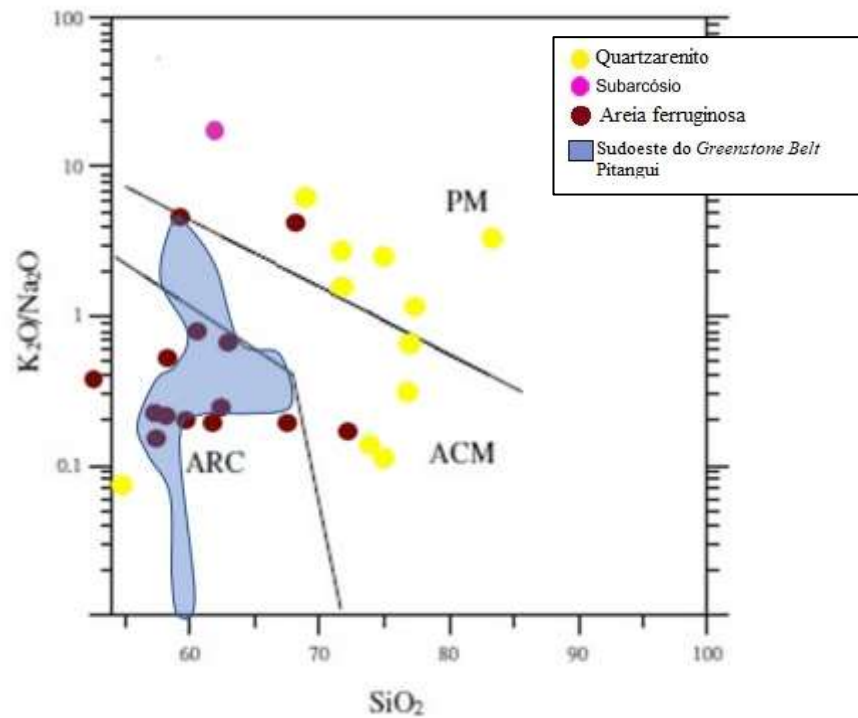


Figura 31: Diagrama de classificação tectônica, mostrando os campos sobrepostos do depósito São Sebastião e setor sudoeste (dados de Melo Silva, 2016)., (Roser e Korsch, 1986). ARC-Margem de arco de Ilha Oceânica; ACM-Margem continental ativa; PM-Margem continental passiva.

6 CONCLUSÕES

O Depósito aurífero São Sebastião está incluso no intervalo da unidade inferior do *Greenstone Belt* Pitangui, que se constitui predominantemente por rochas metavulcânicas ultramáficas e máficas, ao qual se intercalam intervalos dominados por rochas metassedimentares com formações ferríferas bandadas (BIFs), metarenitos turbidíticos e metapelitos.

As amostras metassedimentares do Depósito São Sebastião são classificadas como quartzarenitos, areias ferruginosas e 1 amostra de subarcóseo. Todos os conjuntos apresentam índice de intemperismo baixo a moderado e imaturidade composicional, com abundância em minerais silicatos não argilosos, estando próximas a área fonte. Como também se correlacionam com os intervalos metassedimentares II e IV definidos por Brando Soares et al (2017). Portanto, corroboram com a premissa de que provavelmente pertencem aos metarenitos turbidíticos da unidade inferior.

Os elementos maiores, traços, de alta força e de transição, e seus respectivos diagramas de classificação (figuras 15, 16, 19, 21, 23 e 24), sugerem uma proveniência bimodal para as rochas metassedimentares do Depósito São Sebastião, com predominância de fonte félsica/intermediária para as amostras de quartzarenitos e máficas para as amostras de areias ferruginosas e subarcóseo.

As amostras de quartzarenitos e areias ferruginosas foram geradas em ambientes de margem continental ativa e arcos de ilha oceânicos, respectivamente, e a amostra de subarcóseo se assemelha as areias ferruginosas. Essa diferença na origem entre os diferentes grupos pode ser explicada por uma transição dos tipos litológicos dos metassedimentos correspondentes a

uma grande mudança nas assinaturas de proveniência, que parecem ser controladas por mudanças na natureza dos vulcanismos.

Sendo assim, reforçam a ideia de que o *Greenstone Belt* Pitangui se desenvolveu em um regime tectônico de *back-arc* convergindo para um ambiente de subducção de arco de ilha propostos por Brando-Soares *et al.* (2020).

A comparação dos dados litogeoquímicos com o setor sudoeste do Pitangui (Melo Silva, 2016) exibe similaridade apenas com as amostras de areias ferruginosas do Depósito São Sebastião. Propõe-se aqui que a região centro-leste do *Greenstone Belt* Pitangui, onde localizam-se o Depósito São Sebastião pode ser diferente do setor sudoeste, gerados posteriormente as amostras deste estudo. Ressalta-se, porém, que esta é uma conclusão cuidadosa e necessita de mais estudos, visto que as amostras do setor sudoeste estudadas por Melo Silva (2016) possuem granulação mais fina que a deste estudo.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Albert, C., 2017. Archean evolution of the southern São Francisco craton (SE Brazil). *Contribuições às Ciências da Terra*. 349, 247p.
- Alkmim, F.F., Marshak, S., 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*. 90, 29–58.
- Almeida, F. F. M., 1977. O Cráton de São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-36.
- Armstrong-Altrin, J. S. & Verma, S. P., 2005. Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings. *Sedimentary Geology*. 177, 115-129.
- Baltazar, O.F., Zucchetti, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the regional setting of gold deposits. *Ore Geology*, 32, 471–499.
- Baltazar, O. F., Lobato, L. M., 2020. Structural Evolution of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Influence of Proterozoic Orogenies on Its Western Archean Gold Deposits. *Minerals* 10, 983.
- Bauluz, B.; Mayayo, M. J.; Fernandez-Nieto, C., Lopez, J. M. G., 2000. Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting. *Chemical Geology*. 168, 135–150.
- Bhatia, M. R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*. 91, 611–627.
- Bhatia, M.R., Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. to Mineral. Petrol.* 92, 181–193.
- Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Goncalves J.H.; Baars F. J., Delgado I. de M.; Abram M. B.; Neto R. L.; Matos G. M. M.; Santos J. O. S., 2003. *Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas na escala 1:2 500 000*, Brasília: CPRM, 4CD-Ro.
- Boynton, W.V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: *Meteorite Studies. Developments in Geochemistry*, 2, 63–114.
- Brando Soares, M., Corrêa Neto, A.V., Zeh, A., Cabral, A.R., Pereira, L.F., Prado, M.G.B., Almeida, A.M., Manduca, L.G., da Silva, P.H.M., Mabub, R.O.A., Schlichta, T.M. 2017. Geology of the Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, Brazil: Stratigraphy, geochronology and BIF geochemistry, *Precambrian Research*, 291, 17-41.
- Brando Soares, M., Neto, A. V. C., Fabricio-Silva W., 2020. The development of a Meso- to Neoproterozoic rifting-convergence collision-collapse cycle over an ancient thickened protocontinent in the south São Francisco craton, Brazil. *Gondwana Research*, 77, 40-66.
- Chemale, F., Rosière, C.A., Endo, I., 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Res.* 65, 25–54.

- Chemale JR., F.; Dusssin I. A.; Martins M.; Santos, M. M., 2011. Nova abordagem tectono-estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em sua porção meridional (MG). *Geonomos*, 19, 173-41.
- Condie, K. C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1–37.
- Condie, K.C.; Wronkiewicz, D.J., 1990. A new look at the Archean-Proterozoic boundary: Sediments and tectonic setting constraint. In: NAQVI, S.M. (Ed). *Precambrian Continental Crust and its economic resources*. Amsterdam. Elsevier. 61-84.
- Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 2919–2940.
- Cullers, R. L. & Podkouvryov, V. N., 2000. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control, and recycling. *Precambrian Research*. 104, 77-93.
- Cullers, R. L., 1994. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, USA. *Chemical Geology*. 113, 327–343.
- Cullers, R. L.; Basu, A.; Suttner, L. J., 1988. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, U.S.A., *Chemical Geology*. 70, 335-348.
- Das, B. K.; Al-Mikhlafile, A. S.; Kaur P., May 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*. 26, 649-668.
- Deer, W. A., Howie, R. A. Zussman J., 1966. *An Introduction to the Rock Forming Minerals*. Harlo; Essex, England; New York, NY. Longman Scientific & Technical. 2. Ed, 696 p.
- Dorr, J. V. N., 1969. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. US Government Printing Office, 110p.
- Dopico C. I M., C. I. M., Lana, C., Moreira, H. S., Cassino, L. F., Alkmim, F. F., 2017. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*. 291, 143–161.
- Endo, I., 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 237p.
- Farina, F., Albert, C., Dopico, C. I. M., Aguilar Gil, C., Moreira, H., Hippertt, J.P., Cutts, K., Alkmim, F.F., Lana, C., 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Basil): Current models and open questions . *Precambrian Research*. 291, 143–161.
- Fedo, C. M.; Nesbitt, H. M.; Young, G. M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*. 23, 921–924.

- Floyd, P. A.; Leveridge, B. E., 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society of London*. 144, 531–542.
- Floyd, P. A.; Shail R.; Leveridge B. E. e W. Franke B. E., January 1991. Geochemistry and provenance of Rhenohercynian synorogenic sandstones: implications for tectonic environment discrimination. *Geological Society of London*. 57, 173-188.
- Hayashi, K., Hiroyki, F., Hernrich, H. D. e Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica*.
- Herron, M. M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58, 820–829.
- Herz, N., 1978. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 641-C. 81 pp.
- Iglesias, M. & Uhlein, A., 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*. 39, 256-266.
- Janousek, V.; Farrow, C. M.; Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47, 6, 1255-1259.
- Jost, H., Theodoro, S. M. C. H., Figueiredo, A. M. G., Boaventura, G. R., 1996. Propriedades geoquímicas e proveniência de rochas metassedimentares detríticas arqueanas dos greystone belts de Crixás e Guarinos, Goiás. *Rev. Bras. Geoc.* 26, 151-166.
- Lana, C., Alkmim, F.F., Armstrong, R., Scholz, R., Romano, R., Nalini, H.A., 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Res.* 231, 157–173.
- Lobato, L.M., Ribeiro-Rodrigues, L.C., Zucchetti, M., Noce, C.M., Baltazar, O.F., Silva, L. C., Pinto, C.P., 2001. Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic and structural setting of Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita*, 36, 228–248
- Machado, N., Schrank, A., Noce, C.M., Gauthier, G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth Planet Science Letters*, 141, 259–276.
- Mccann T., 1991. Petrological and geochemical determination of provenance in the southern Welsh Basin. *Geological Society of London*. 57, 215-230..
- McLennan, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. *Reviews in Mineralogy* 21, pp. 169–200.
- McLennan, S. M., April 2001. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *AGU and the Geochemical Societ.* 2, 24 p.

- McLennan, S. M.; Hemming, S.; Mcdaniel, D. K.; Hanson, G. N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. Geological Society of America Special Paper. 284, 21–40.
- Melo Silva, P. 2016. Evolução meso e neoarqueana do Greenstone belt de Pitangui e seu embasamento, sul do Cráton do São Francisco (MG): petrografia, geoquímica e geocronologia. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação de Mestrado, 94p
- Middelburg, J. J., 1988. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks. *Chemical Geology*, 68, 253-273.
- Moreira, H., Lana, C., Nalini, H.A., 2016. The detrital zircon record of an Archaean convergent basin in the Southern São Francisco Craton. Brazil. *Precambrian Res.* 275, 84–99.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 299, 715–717.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochimica et Cosmochimica*. 48, 1523–1534.
- Nesbitt, H. W., 2003. Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lentz, D.R. (ed.) *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*. Geological Association of Canada. 4, 39- 51.
- Noce, C. M.; Machado, N.; Teixeira W., 1998. U–Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Revista Brasileira de Geociências*. 28, 95–102.
- Noce, C.M., Zucchetti, M., Baltazar, O.F., Armstrong, R., Dantas, E., Renger, F. 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas Greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U–Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes *Precambrian Research*, 141, 67–82.
- Noce, C.M., Tassinari, C., Lobato, L.M. 2007. Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belts *Ore Geology*, 32, 500–510.
- Osman, A. F. S., January 1, 1996. Structural geological and geochemical studies on the Pan-African basement rocks, Wadi Zeidun, Central Eastern Desert, Egypt. *Forschungszentrum Julich*, p. 262.
- Pettijohn, F. J., 1975. *Sedimentary rock*. New York, Evanston, San Francisco, and London, Happer & Row, Publishers, 3 ed.
- Renger, F. E., Noce, C. M., 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*. 2, 1-11.
- Romano, A., 2007. Programa Geologia do Brasil. Folha Pará de Minas, SE- 23-Z-CI. Escala 1:100.000, relatório final. UFMG - CPRM, Belo Horizonte. 72p.

- Romano, R., Lana, C., Alkmim, F.F., Stevens, G., Armstrong, R. 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian*, 224, 143–159.
- Faria, L. R., 2018. Litogeoquímica de rochas metavulcânicas e estratigrafia do alvo exploratório São Francisco (Au), Greenstone Belt Pitangui, Minas Gerais, Brasil, MG / Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho Final de Curso. 102 p.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1986. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*.67, 119-139.
- Rudnick, R. L., Gao, S., 2003. Composition of the continental crust. In: Rudnick, R.L. (Ed.), *Treatise on Geochemistry. The Crust 3*. Elsevier, Amsterdam, p. 64.
- Santos, K. N. D. S., 2017. Caracterização estratigráfica e geoquímica das rochas metavulcânicas do alvo Aparição, Onça do Pitangui - Mg / Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho Final de Curso. 71 p.
- Shaw, D. M., June 1968. A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 32, 573-601.
- Silva, C.M.G., 2006. Aplicação de isótopos radiogênicos na mineralização de ouro da mina Cuiabá, Greenstone Belt Rio das Velhas (MG). Universidade de São Paulo (PhD thesis, 175p).
- Silva, F. R. 2007. A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia. Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, 144p .
- SRK consulting and IAMGOLD Corporation, 2014. Independent Technical Report for the São Sebastião Gold Deposit, Pitangui Project, Brazil
- Taylor, S.R., McLennan, S., 1985. *Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Blackwell Sci, Oxford.
- Teixeira, W., Ávila, C., Dussin, I., Neto, A.C., Bongioiolo, E., Santos, J. 2015. A juvenile accretion episode (2.35–2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: zircon U–Pb–Hf and geochemical evidences *Precambrian Research*. 256, 148–169
- Teixeira, W., Carneiro, M.A., Noce, C.M., Machado, N., Sato, K., Taylor, P.N., 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton. Brazil. *Precambrian Res*. 78, 151–164.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H., February 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72, 175-192.
- Van de Kamp, P. C.; Leake, B. E., 1985. Petrography and geochemistry of feldspathic and mafic sediments of the northeastern Pacific margin. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 76, 411–499.

- Wildeman T. E. & Condie K. C., Mach 1973. Rare earths in Archean graywackes from Wyoming and from the Fig Tree Group, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica*, 37, 439-453.
- Wildeman, T. R. & Haskin, L. A., Mach 1973. Rare earths in Precambrian sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 37, 419-438.
- Wronkiewicz D. J & Condie K. C., 1987. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source-area weathering and provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 51, 2401-2416.
- Zalán, P.V., Silva, P.C.R., 2012. Bacia do São Francisco. In: Y. Hasui, C.D.R. Carneiro, F. F.M. de Almeida, A. Bartorelli, *Geologia do Brasil*. Beca-BALL Edições Ltda, p. 245–247.

8 ANEXOS

Anexo A- Depósito São Sebastião- Resultado de análises químicas

(continua)

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8
Furo	FJG02	FJG08	FJG08	FSF006	FSF003	FJG21	FJG08	FJG20
Profundidade(m)	47.35	53.00	71.70	111.36	121.31	140.96	144.30	148.19
(%)								
SiO ₂	60.55	77.06	83.33	59.14	61.37	74.38	74.18	77.43
FeO ₂	8.65	4.60	3.99	13.04	5.26	4.08	6.74	4.15
Al ₃ O ₃	13.53	8.49	6.18	14.56	16.88	9.75	9.83	9.55
MgO	4.52	3.29	1.92	3.97	3.95	3.06	3.48	2.21
CaO	2.94	1.13	0.71	1.18	1.66	1.82	0.58	1.21
K ₂ O	1.82	1.00	1.30	2.44	1.11	0.33	0.27	1.87
Na ₂ O	2.40	1.51	0.43	0.56	6.10	3.17	2.28	1.76
MnO	0.08	0.06	0.04	0.12	0.05	0.03	0.05	0.05
TiO ₂	0.71	0.34	0.27	0.90	0.62	0.44	0.39	0.36
P ₂ O ₃	0.08	0.05	0.05	0.17	0.14	0.06	0.05	0.05
Cr ₂ O ₃	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03
Total	95.32	97.57	98.26	96.09	97.15	97.17	97.89	98.67
ppm								
Ba	287.00	227.00	204.00	695.00	229.00	76.00	144.00	368.00
Ce	44.80	44.50	39.70	40.20	31.90	54.10	45.80	53.10
Cs	7.70	2.60	1.50	1.77	1.46		0.50	3.30
Er	2.43	1.28	1.29	2.98	1.11	1.37	1.30	1.43
Eu	1.12	0.62	0.52	0.97	0.80	0.65	0.62	0.57
Ga	15.20	8.30	5.60	22.10	18.70	10.10	11.00	9.70
Gd	3.78	2.69	2.17	4.39	2.66	2.79	2.31	2.63
Ge	3.90	4.00	3.20	4.10	3.50	3.60	3.70	4.20
Hf	3.90	4.00	3.20	4.10	3.50	3.60	3.70	4.20
Ho	0.75	0.49	0.40	0.95	0.46	0.47	0.44	0.48
Lu	0.37	0.24	0.17	0.39	0.15	0.19	0.21	0.21
Nb	7.70	4.90	4.90	8.10	4.50	7.50	6.00	6.50
Nd	17.10	14.20	14.30	18.30	13.60	20.70	16.40	19.60
Pr	4.98	4.60	4.00	4.81	3.63	5.65	4.45	5.50
Rb	70.50	34.00	42.80	72.70	29.20	7.90	6.40	66.00
Sm	3.51	2.67	2.18	3.83	2.79	3.34	2.64	3.22
Sn	1.00	<1	2.00	2.00	1.00	<1	1.00	1.00
Sr	101.00	43.70	20.90	18.30	234.00	51.60	41.30	56.40
Ta	0.70	0.60	0.70	0.70	0.30	0.70	0.70	0.70
Tb	0.64	0.43	0.34	0.74	0.35	0.44	0.38	0.41
Th	9.60	14.30	13.40	7.82	4.04	13.30	10.20	13.20
Tm	0.35	0.21	0.16	0.42	0.15	0.22	0.23	0.20
U	2.90	5.50	5.90	2.46	1.07	4.40	3.70	4.20
V	113.00	45.00	26.00	203.00	71.00	65.00	51.00	50.00
U	2.90	5.50	5.90	2.46	1.07	4.40	3.70	4.20
Y	18.80	12.10	10.10	24.40	12.60	13.50	11.20	12.20
Yb	2.27	1.23	1.07	2.65	1.15	1.44	1.29	1.42
Zr	128.90	127.50	110.60	167.00	136.00	136.80	120.10	145.60
Sc	26.40	15.50	14.70	30.00	17.00	13.80	17.70	16.50

Anexo A- Depósito São Sebastião- Resultado de análises químicas

(continua)

Amostra	9	10	11	12	13	14	15	16
Furo	FJG07	191.11	191.21	FSF005	FSF006	FSF005	FJG21	FJG02
Profundidade(m)	186.70	191.11	191.21	204.85	208.47	214.93	243.11	251.20
(%)								
SiO ₂	75.21	52.40	71.71	57.18	58.22	62.03	72.00	71.56
FeO ₂	5.26	8.05	5.06	9.55	8.02	6.97	7.04	7.99
Al ₃ O ₃	9.02	19.50	10.36	14.17	16.35	14.36	10.29	10.28
MgO	2.95	3.90	2.94	6.94	3.84	4.49	4.02	3.75
CaO	1.90	5.11	2.79	2.56	4.85	4.96	0.48	0.36
K ₂ O	2.00	1.82	2.12	0.60	1.04	1.05	0.42	2.18
Na ₂ O	0.90	5.11	1.54	2.88	5.13	4.54	2.49	0.87
MnO	0.07	0.10	0.11	0.12	0.15	0.12	0.03	0.03
TiO ₂	0.38	1.38	0.40	0.90	1.11	0.88	0.46	0.44
P ₂ O ₃	0.05	0.15	0.06	0.16	0.20	0.16	0.05	0.06
Cr ₂ O ₃	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.06	0.06
Total	97.79	97.53	97.13	95.07	98.92	99.57	97.34	97.58
ppm								
Ba	248.00	629.00	385.00	78.20	245.00	422.00	87.00	282.00
Ce	43.10	83.10	47.60	65.10	63.20	47.00	54.40	50.80
Cs	6.20	2.04	4.50	0.22	0.76	0.78	0.40	6.00
Er	2.19	4.43	1.66	2.99	2.90	2.48	1.54	1.81
Eu	0.85	1.88	0.74	1.50	1.42	1.18	0.76	0.72
Ga	9.50	24.90	11.00	17.70	19.20	19.00	11.30	11.30
Gd	2.84	8.01	2.93	5.28	5.45	5.02	3.02	2.96
Ge	3.60	6.50	2.50	3.90	4.80	3.80	3.90	3.60
Hf	3.60	6.50	2.50	3.90	4.80	3.80	3.90	3.60
Ho	0.61	1.48	0.58	0.95	1.08	0.89	0.53	0.59
Lu	0.29	0.56	0.26	0.39	0.40	0.33	0.22	0.24
Nb	5.80	12.90	6.80	8.80	8.90	7.90	7.00	7.00
Nd	15.50	35.90	19.20	27.00	26.80	20.50	19.20	17.70
Pr	4.50	9.40	5.06	6.97	7.05	5.30	5.56	5.48
Rb	79.10	48.00	78.50	13.10	28.40	24.90	11.80	64.80
Sm	2.75	7.91	3.32	5.23	5.03	4.11	3.36	3.41
Sn	1.00	2.00	<1	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00
Sr	59.80	286.00	70.00	54.80	233.00	196.50	36.30	26.80
Ta	0.60	0.90	0.60	0.90	0.70	0.70	0.70	0.70
Tb	0.51	1.18	0.47	0.75	0.85	0.71	0.46	0.53
Th	12.10	11.25	9.30	6.45	8.11	6.37	10.50	16.70
Tm	0.27	0.53	0.26	0.36	0.44	0.36	0.23	0.28
U	3.90	2.95	2.70	1.79	2.49	1.86	3.30	5.60
V	57.00	342.00	59.00	206.00	276.00	210.00	65.00	58.00
U	4.20	3.90	2.95	2.70	1.79	2.49	1.86	3.30
Y	12.20	15.90	38.20	17.30	24.40	29.80	24.80	14.50
Yb	1.42	1.76	3.65	1.92	2.53	2.83	2.24	1.46
Zr	145.60	129.30	243.00	106.30	149.00	177.00	147.00	139.10
Sc	16.50	21.90	35.00	18.50	32.00	39.00	40.00	24.00

Anexo A- Depósito São Sebastião- Resultado de análises químicas

(conclusão)

Amostra	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Furo									
Profundidade(m)	260.15	273.20	303.66	331.03	332.00	364.22	389.64	434.42	446.37
(%)									
SiO ₂	62.89	57.14	67.63	61.65	76.80	58.06	59.30	67.90	68.79
FeO ₂	6.74	8.70	6.47	4.03	4.50	10.26	8.82	8.79	8.87
Al ₃ O ₃	14.75	14.11	13.54	19.45	9.10	13.96	14.62	11.89	10.47
MgO	4.97	4.84	3.76	4.40	2.73	4.18	4.47	4.10	3.08
CaO	2.47	4.79	1.20	0.32	0.80	7.32	6.96	0.51	1.52
K ₂ O	1.83	0.54	0.69	4.32	0.86	1.32	0.75	3.21	3.19
Na ₂ O	2.76	3.72	3.64	0.27	2.71	2.75	3.74	0.79	0.61
MnO	0.07	0.16	0.09	0.03	0.05	0.15	0.17	0.06	0.08
TiO ₂	1.00	0.79	0.46	1.20	0.36	0.89	0.88	0.52	0.46
P ₂ O ₃	0.19	0.14	0.05	0.22	0.06	0.16	0.16	0.07	0.06
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.06	0.07
0.00	97.68	94.94	97.56	95.90	98.01	99.06	99.88	97.90	97.20
ppm									
Ba	182.00	91.70	168.00	362.00	142.00	292.00	279.00	357.00	246.00
Ce	50.80	44.60	30.50	56.00	40.00	49.30	46.90	44.10	49.40
Cs	1.12	0.38	0.60	1.81	1.80	1.01	0.31	24.10	13.20
Er	3.12	2.48	1.33	3.19	1.24	2.81	2.61	1.15	1.84
Eu	1.44	1.01	0.58	0.82	0.83	1.22	1.23	0.49	1.00
Ga	18.10	15.80	15.80	24.60	9.70	19.50	19.10	13.60	11.10
Gd	5.37	4.40	1.91	5.22	2.68	4.71	4.62	2.06	3.14
Ge	4.20	3.40	3.30	5.80	3.50	3.90	3.50	4.00	3.80
Hf	4.20	3.40	3.30	5.80	3.50	3.90	3.50	4.00	3.80
Ho	1.08	0.81	0.42	1.04	0.45	0.95	0.93	0.41	0.61
Lu	0.41	0.32	0.19	0.46	0.20	0.37	0.34	0.23	0.29
Nb	8.70	6.20	6.80	11.60	6.70	6.70	6.40	7.30	6.60
Nd	22.50	19.60	11.00	24.20	12.70	22.20	20.60	15.70	17.30
Pr	5.70	5.17	3.23	6.22	4.06	5.61	5.39	4.43	4.92
Rb	56.40	13.90	16.10	109.50	28.20	34.30	15.50	137.90	152.50
Sm	4.71	3.97	2.14	4.46	2.60	4.36	4.28	2.64	3.22
Sn	2.00	1.00	1.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	1.00
Sr	76.60	124.50	142.70	29.20	44.80	273.00	173.00	50.50	66.60
Ta	0.70	0.60	0.60	1.00	0.80	0.60	0.60	0.70	0.70
Tb	0.83	0.65	0.32	0.85	0.42	0.74	0.69	0.33	0.53
Th	8.07	5.63	5.80	11.20	16.00	6.33	5.66	10.70	10.60
Tm	0.40	0.32	0.20	0.44	0.21	0.37	0.34	0.19	0.31
U	2.37	1.66	1.80	3.51	5.50	1.94	1.69	3.10	2.90
V	236.00	194.00	70.00	301.00	52.00	231.00	220.00	93.00	71.00
5.60	2.37	1.66	1.80	3.51	5.50	1.94	1.69	3.10	2.90
13.40	26.50	22.50	10.00	27.80	11.80	25.60	24.00	9.90	16.30
1.70	2.88	2.25	1.46	3.16	1.32	2.32	2.29	1.51	1.82
147.40	169.00	131.00	109.90	221.00	134.70	145.00	134.00	130.10	149.00
17.00	33.00	37.00	19.30	38.00	18.80	33.00	38.00	28.70	26.20

Anexo B- Depósito São Sebastião- Valores de ICV, CIA e IMAT

Amostra	ICV	CIA	IMAT
1	1.52	75	87
2	1.40	76	88
3	1.21	67	89
4	1.30	62	73
5	1.65	71	80
6	1.31	68	89
7	1.39	74	93
8	1.43	67	87
9	1.40	70	90
10	1.47	60	78
11	1.32	65	88
12	1.59	59	81
13	1.51	73	85
14	1.20	71	83
14	1.34	68	81
15	1.69	70	87
16	1.48	70	89
17	1.66	64	80
18	1.91	67	81
19	1.56	67	82
20	0.75	81	76
21	1.45	75	87
22	1.75	64	80
23	1.52	80	80
25	1.11	66	78