

OCORRÊNCIAS DE CASSITERITA E DE MINERAIS DO SUBGRUPO DA COLUMBITA NOS MUNICÍPIOS DE CONSELHEIRO LAFAIETE, CARANAÍBA E CRISTIANO OTONI, SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS

OCCURRENCES OF CASSITERITE AND MINERALS OF THE COLUMBITE SUBGROUP IN THE MUNICIPALITIES OF CONSELHEIRO LAFAIETE, CARANAÍBA AND CRISTIANO OTONI, SOUTH OF THE STATE OF MINAS GERAIS

Wagner Travassos LEMOS¹, Marcelo dos Santos SALOMÃO¹, Luiz Carlos BERTOLINO², Francisco José da SILVA³

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. Rua São Francisco Xavier, 524. Bloco A. Maracanã - Rio de Janeiro - RJ. E-mail: wagner.geologo@gmail.com; salomao.mss@gmail.com

²Centro de Tecnologia Mineral. Av. Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro. E-mail: lcbertolino@cetem.gov.br

³Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Departamento de Petrologia e Geotectônica. Km 07, Zona Rural, BR-465, Seropédica - RJ. E-mail: fjosilva@ufrj.br

Introdução
Localização da área de estudo
Contexto geológico regional
Cinturão Mineiro
Pegmatitos
Geologia local
Metodologia
Resultados
Litogeoquímica
Mineralogia dos concentrados de minerais pesados
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-EDS)
Aerogeofísica
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Os municípios de Conselheiro Lafaiete, Caranaíba e Cristiano Ottoni, no estado de Minas Gerais, estão inseridos na compartimentação tectônica denominada de Cinturão Mineiro. Esta região é considerada como uma extensão da Província Pegmatítica de São João del Rei, conhecida pelas suas mineralizações de Sn, Nb, Ta e Li. As principais unidades presentes correspondem ao Granito Cupim e o Gnaiss Caatinga. O mapa aerogeofísico da Amplitude do Sinal Analítico exibe uma assinatura diferenciada para o granito Cupim, e sugere uma área não cartografada associada a essa unidade. O mapa Gamaespectrométrico do elemento urânio exibe valores superiores a 3 ppm para o Granito Cupim e parte do Gnaiss Caatinga. As análises litogeoquímicas demonstraram que o Granito Cupim é resultado de um magmatismo intraplaca. O Gnaiss Caatinga exibe resultado compatível a ambiente de arcos magmáticos acrescionários. O pegmatito foi classificado como sendo do tipo LCT de acordo com Cerný & Ercit (2005), e está associado ao Granito Cupim. Foram identificados 15 pontos mineralizados com cassiterita e minerais do subgrupo da columbita em drenagens, placeres, pegmatito e garimpos abandonados. As análises no MEV-EDS em grãos de cassiterita indicaram a presença de inclusões de tantalita e nióbio, e alto teor de estanho.

Palavras-chave: Cassiterita. Columbita. Cinturão Mineiro. Conselheiro Lafaiete. Caranaíba. Cristiano Ottoni.

ABSTRACT - The municipalities of Conselheiro Lafaiete, Caranaíba and Cristiano Ottoni, in the state of Minas Gerais, are inserted in the tectonic compartmentation called Cinturão Mineiro. This region is considered as an extension of the São João del Rei Pegmatite Province, known for its Sn, Nb, Ta and Li mineralizations. The principal units present are Cupim Granite and Caatinga Gneiss. The aerogeophysical map of the Analytical Signal Amplitude displays a different signature for the Cupim granite, and suggests an uncharted area associated with this unit. The Gamaspectrometric map of the element uranium shows values above 3 ppm for the Cupim Granite and part of the Caatinga Gneiss. Lithogeochemical analyses demonstrated that the Cupim Granite is the result of intraplate magmatism. The Caatinga Gneiss displays results compatible with an accretionary magmatic arc environment. The pegmatite was classified as being of the LCT type according to Cerný & Ercit (2005), and is associated with the Cupim Granite. Fifteen mineralized samples with cassiterite and minerals from the columbite subgroup were identified in creeks, placers, pegmatite and abandoned mines. SEM-EDS analyses of cassiterite grains indicated the presence of tantalite and niobium inclusions, and a high tin content.

Palavras-chave: Cassiterite. Columbite. Mineiro Belt. Conselheiro Lafaiete. Caranaíba. Cristiano Ottoni.

INTRODUÇÃO

Os municípios de Conselheiro Lafaiete, Caranaíba e Cristiano Ottoni, situados na porção sul do estado de Minas Gerais, vivenciaram, a partir do final do século XVII, os ciclos de exploração de cassiterita, ouro, ferro, manganês e nióbio.

No século XX, novas descobertas de cassiterita nos arredores da cidade de São João del Rei motivaram a instalação de pequenas metalúrgicas de estanho na região, tornando-a um centro minerador de quase a totalidade de estanho produzido

no Brasil (Francesconi, 1972). Com o objetivo de suprir a demanda dessas metalúrgicas, garimpeiros realizaram buscas por novos alvos com cassiterita em depósitos do tipo *placer* nas áreas rurais dos municípios de Carandaí, Cristiano Ottoni, Caranaíba, Santana dos Montes e Capela Nova. Antigas lavras de ouro também foram retrabalhadas com aproveitamento da cassiterita a partir do rejeito. O declínio da exploração de cassiterita na região ocorreu na década de 1970 com a descoberta da Província Estanífera de Rondônia.

A região de estudo está inserida no Cinturão Mineiro, que diz respeito a um orógeno constituído por granitóides e sequências supracrustais arqueanas a paleoproterozoicas (Teixeira & Figueiredo, 1991), situada a nordeste da Província Pegmatítica de São João del Rei e a sul do Quadrilátero Ferrífero. Análises de ocorrências pegmatíticas na porção ocidental do Cinturão Mineiro, próximo à São João del Rei, indicaram que essas rochas foram formadas posteriormente às unidades supracrustais da região (Francesconi, 1972). Além disso, o autor supra identificou que os pegmatitos com maiores teores de minerais acessórios/econômicos estão encaixados em anfibólio xistos (supracrustais) e mais distantes das rochas intrusivas ácidas. Como exemplos citados por aquele autor, são identificadas as ocorrências pegmatíticas de Volta Grande, Mato Virgem, Minas Brasil e da Serra, todas mineralizadas com espodumênio.

Diversas ocorrências de estanho foram estudadas nos antigos garimpos das imediações da Vila Buarque de Macêdo (atual distrito do município de Conselheiro Lafaiete) e nos córregos Cachoeira e Bernardes, no município de Caranaíba, definindo que a gênese da cassiterita está associada a pequenos corpos pegmatíticos similares às ocorrências na Província Pegmatítica de São João del Rei (Machado Filho et al., 1983).

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton do São Francisco (CSF) é definido por Almeida (1977; 1981) e Alkmim (2004) como um bloco continental de rochas arqueanas a neoproterozoicas, de evolução complexa, limitado pelos sistemas orogênicos brasileiros Mantiqueira, Tocantins e Borborema. A parte meridional do CSF, denominado de Cinturão Mineiro engloba um complexo metamórfico basal, representado pelas unidades supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, do Supergrupo Minas, do Grupo Itacolomi, além de um volume substancial de granitóides arqueanos e paleopro-

Análises geocronológicas e geoquímicas de rocha total realizadas por Ávila (2000), Noce et al. (2000) e Ávila et al. (2010), mostraram que os pegmatitos foram gerados no Paleoproterozoico, e que muitos deles possuem mineralizações de cassiterita, minerais do subgrupo da columbita, elementos terras raras e xenotímio. Faulstich (2017) e Cidade (2019), realizando estudos em pegmatitos da Província de São João del Rei e utilizando a classificação de Cerný & Ercit (2005), identificaram ocorrências como sendo dos tipos LCT e NYF, respectivamente. Pegmatitos LCT estão associados com suítes orogênicas em ambientes compressoriais, enquanto os pegmatitos NYF com suítes anorogênicas em ambientes extensionais (Martin & De Vito, 2005).

No presente trabalho foram realizadas análises geoquímicas de rocha total nas principais unidades associadas à presença de cassiterita e de minerais do subgrupo da columbita na região dos municípios de Conselheiro Lafaiete, Caranaíba e Cristiano Ottoni. Os resultados visam a contribuir com a identificação do ambiente tectônico destas rochas e a classificar os pegmatitos de acordo com Cerný & Ercit (2005). Também foram processados dados aerogeofísicos Gamaespectrométrico (Elemento Urânio) e Magnetométrico (Amplitude do Sinal Analítico), identificando os padrões de assinaturas geofísicas das principais unidades litológicas da região, com destaque para as áreas com as ocorrências minerais.

Localização da área de estudo

A região está localizada na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, a 133 km da cidade de Belo Horizonte, capital do estado. O principal acesso é pela rodovia BR-040, e estradas secundárias de terra, com tráfego intermitente, complementam o deslocamento na área do presente trabalho (Figura 1).

terozoicos, afetados por episódios tectonotermiais ocorridos durante o Evento Transamazônico (Alkmim, 2004; Figura 2). O Supergrupo Rio das Velhas compreende sucessões de rochas do tipo *greenstone belt* de 2,77 Ga, composto também por rochas metavulcânicas, metassedimentos terrígenos, carbonatos e formações ferríferas bandadas (Machado et al., 1992).

O Supergrupo Minas é constituído por uma unidade basal de sedimentação clástica (Grupo Caraça), sobreposta por rochas de deposição química (Grupo Itabira), clástica e química (Grupo

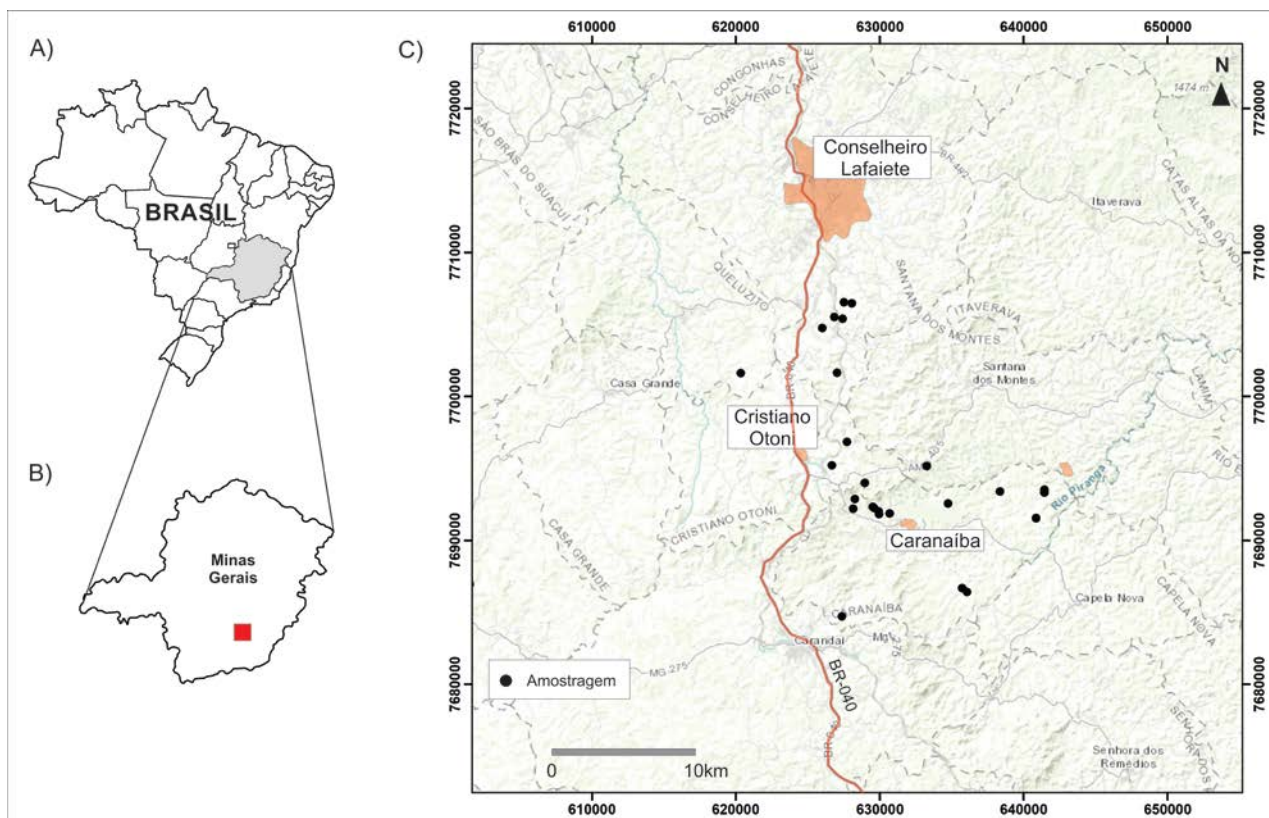


Figura 1 – A) e B) Localização da área do presente trabalho no Brasil e no estado de Minas Gerais; C) Área de estudo com localização dos pontos de amostragem.

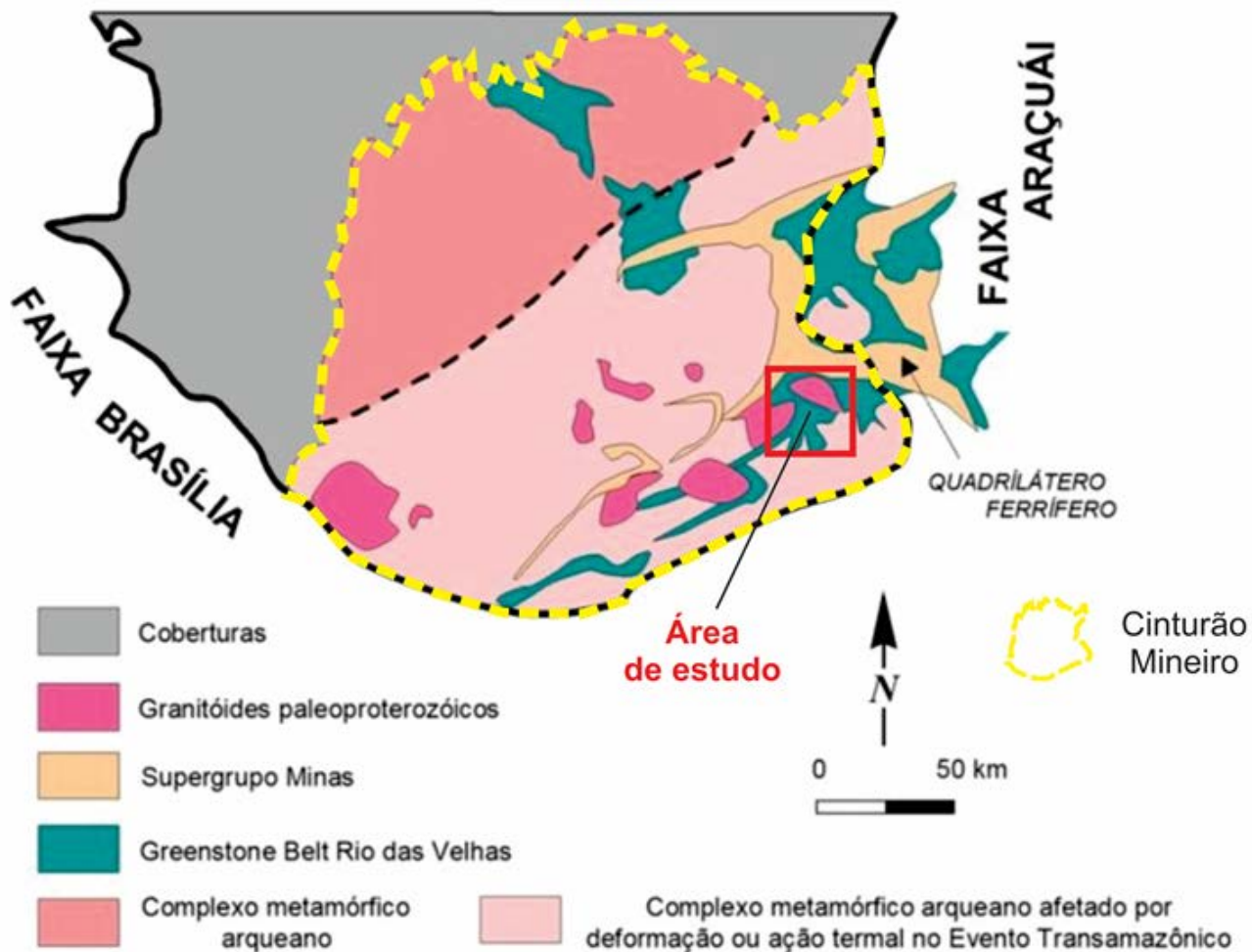


Figura 2 – Geologia do Cinturão Mineiro, segmento meridional do Cráton São Francisco. Fonte: Adaptado de Alkmim (2004).

Piracicaba) e de ambiente marinho (Grupo Sabará) (Renger et al., 1995; Alkmim & Marshak, 2001; Farina et al., 2015). O Grupo Itacolomi corresponde a metarenitos e metaconglomerados aluviais, discordante às demais unidades, interpretado como depósito sin e pós-tectônico em relação ao Evento Transamazônico (Dorr, 1969).

Cinturão Mineiro

O Cinturão Mineiro é caracterizado por diversos corpos paleoproterozoicos (Ávila et al., 2010) alojados em sequências supracrustais do tipo *greenstone belt*, denominadas de unidades Rio das Velhas, Rio das Mortes, Nazareno e Dores de Campos. O Cinturão Mineiro registra cinco grandes pulsos plutônicos, intrudidos nas rochas do tipo *greenstone belt*, e são representados por granitos-gnaisses do tipo TTG, além de gabros, dioritos, quartzo-dioritos e granitos (Ávila, 1992; 2000, Ávila et al., 2003; 2006; 2010; 2012; 2014; Noce, 2000; Cherman, 2004).

Esses corpos foram gerados em ambiente vulcânico e subvulcânico, com caráter peraluminoso a metaluminoso, cálcio-alcalino a toleítico e cálcio-alcalino de alto K (Ávila, 2000; Ávila et al., 2010), cuja evolução está associada à fusão parcial de material paleoproterozoico com características mantélicas, compatíveis quimicamente com crosta oceânica distal em relação à margem continental arqueana. Dentre esses corpos destacam-se, na área do presente trabalho, o Granito Cupim, Tonalito Chuí, Granodiorito Senhora dos Remédios, Granito Campinho, Gnaiss Caatinga e Suíte Alto Maranhão.

No final do Paleoproterozoico e, em parte do Mesoproterozoico, as bacias de São João Del Rei e Carandaí foram desenvolvidas sobre o embasamento do Cráton do São Francisco. Uma expressiva estrutura presente na região é a Zona de Cisalhamento de Lenheiros, de idade 1,7 Ga (Ribeiro et al., 2013), com aproximadamente 120

km de extensão, direção NE/SW, cinemática dextral, com milonitização e controlada por falhas transcorrentes que truncam as rochas supracrustais (*greenstones belts*) Rio das Mortes e Nazareno (Ávila et al., 2010).

Pegmatitos

De acordo com Pires & Pires (1992) há, na Província Pegmatítica de São João del Rei, aproximadamente 250 corpos pegmatíticos identificados, com o registro de cassiterita e de minerais do subgrupo da columbita. Pires & Porto Junior (1986) identificaram que esses pegmatitos são controlados pela foliação principal E-NE, que corresponde ao *trend* regional das faixas de associações de rocha do tipo *greenstone belt*, e estão intrudidos nos corpos plutônicos citados anteriormente.

Estudos mineralógicos realizados por Francesconi (1972) em noventa pegmatitos mineralizados em cassiterita na região de São João del Rei, indicaram que os corpos se dispunham sob a forma de diques, discordantes das rochas encaixantes e com atitudes verticais a subverticais. Os diques contêm domínios de plagioclásio albita (An 40 – 50), cristais de quartzo entre 0,1 – 1,0 cm, além de microclínio e muscovita. A cassiterita e os minerais do subgrupo da columbita ocorrem como acessórios, juntamente com granada, ilmenita e magnetita.

Faulstich (2016) identificou que os principais minerais acessórios dos pegmatitos são columbita-tantalita, granada, ilmenita, magnetita e zircão, cassiterita, gahnita, microlita, monazita e xenotímio, sugerindo, junto com análises geocronológicas, dois grupos de pegmatitos.

Cidade (2019) analisou os minerais pesados presentes nos pegmatitos intrusivos no Ortognaisse Resende Costa, na Província Pegmatítica de São João Del Rei, identificando quatro gerações de corpos intrusivos, listados na tabela 1.

Tabela 1 – Características minerais dos pegmatitos da Província de São João del Rei. Fonte: Cidade (2019).

Idade (Ma)	Características minerais	Referência
Entre 2.472 e 2.424	Sem mineralizações de cassiterita e de minerais do subgrupo da columbita.	Barbosa et al., 2018
Entre 2.291 e 2.367	Com cassiterita, minerais do subgrupo da columbita, gahnita, bismutita, galena e intercrescimento Nb-Ta-Ti; classificados como sendo do tipo NYF.	Cidade, 2019
2.207	Empobrecidos em fosfatos de ETR (monazita e xenotímio); classificados como LCT.	Diniz & Hofmeister, 2004; Assumpção, 2015; Alves et al., 2019
Entre 2.149 e 2.121	Com cassiterita e minerais do subgrupo da columbita e gahnita; classificados como LCT.	Ávila, 2000; Barbosa et al., 2018; Faulstich, 2017

GEOLOGIA LOCAL

As principais unidades presentes na região estão identificadas na Figura 3. O Gnaiss Caatinga e o Granito Cupim correspondem aos litotipos associados às ocorrências de cassiterita e de minerais do subgrupo da columbita e, por isso, foram detalhados no presente trabalho. O primeiro constitui, espacialmente, a principal unidade do presente trabalho, e corresponde à rocha encai-

xante dos pegmatitos encontrados na região.

O Gnaiss Caatinga é representado por uma rocha mesocrática, holocristalina, hipidiomórfica, inequigranular, com foliação pouco marcante, com granulometria variando de fina a média, e com xenólitos e lentes de metaultramáficas quando próximo a Zona de Cisalhamento de Lenheiros (Figura 4-A).

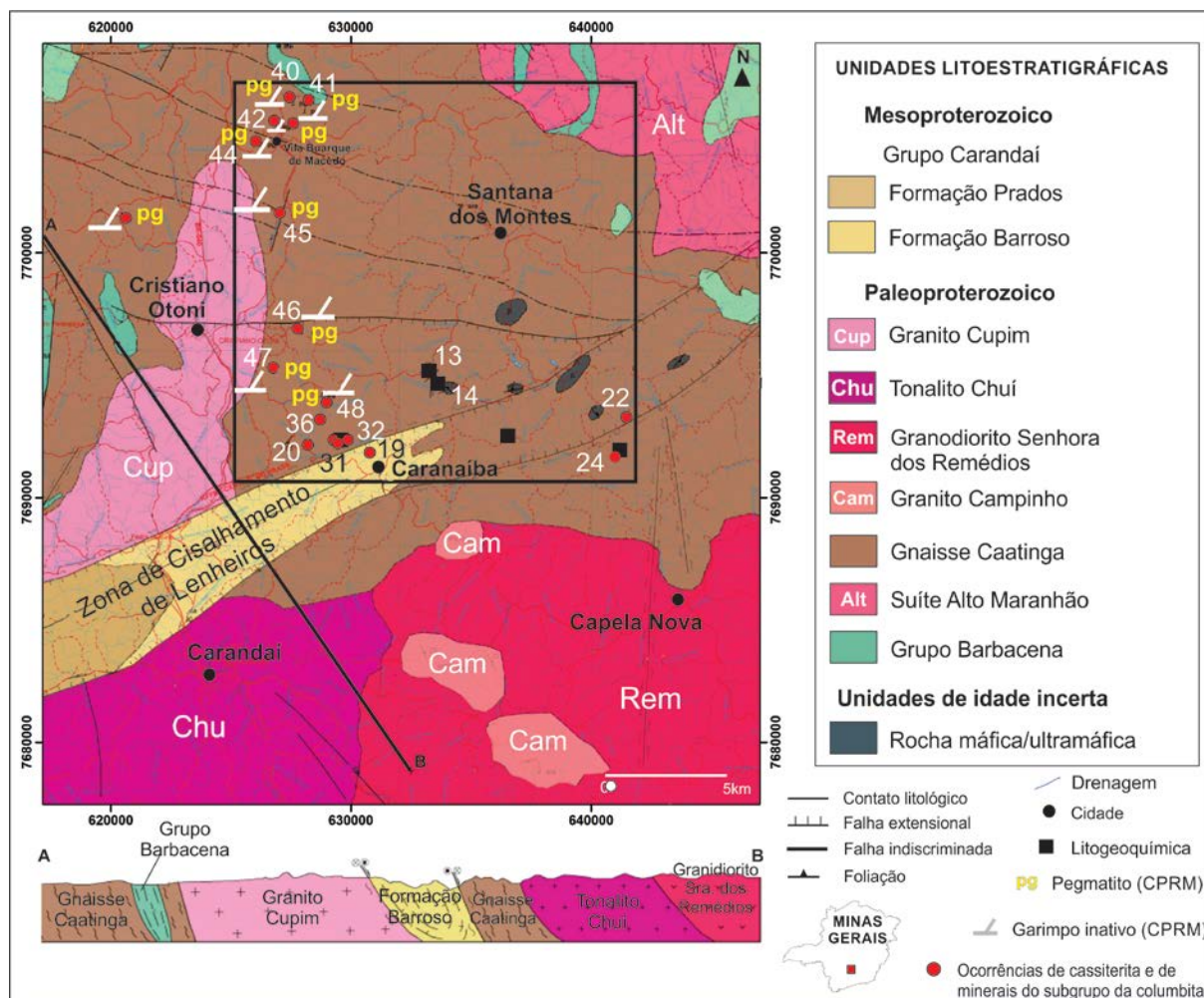


Figura 3 – Mapa geológico da área do presente trabalho. O polígono com contorno preto delimita a área de estudo. Fonte: modificado de Santos & Baltazar, 2013.

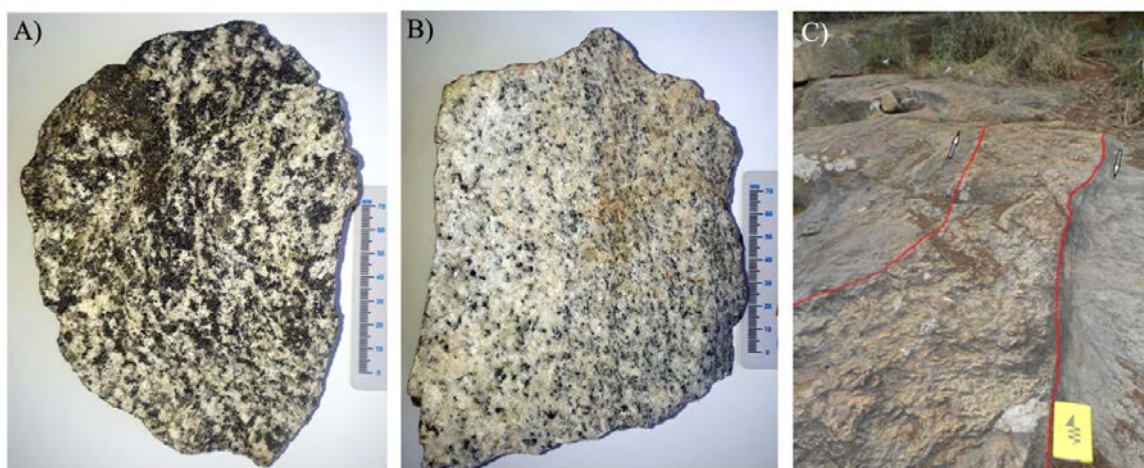


Figura 4 – Unidades presentes na área do trabalho: A) Gnaiss Caatinga; B) Granito Cupim; C) Pegmatito.

Exibe migmatização com leucossomas de composição quartzo-feldspática, de granulometria grossa a muito grossa e concordante com o bandamento, definido pela orientação da biotita.

O Granito Cupim varia de um sienogranito a monzogranito, leucocrático, holocristalino, hipidiomórfico, com plagioclásio, quartzo e biotita; os minerais acessórios são apatita, zircão, pirita e magnetita (Figura 4-B). Próximo à Zona de Cisalhamento de Lenheiros são observados xenólitos de rochas metaultramáficas.

O pegmatito mineralizado (Figura 4-C) está intrusivo subverticalmente no Gnaiss Caatinga, possui 1 metro de espessura aparente e direção NE/SW. Corresponde a uma rocha holocristalina, inequigranular, leucocrática, composto por quartzo

leitoso, plagioclásio, muscovita e ilmenita.

Microscopicamente, os níveis félsicos do Gnaiss Caatinga são constituídos por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. pirita, magnetita, apatita e zircão são os minerais acessórios (Figuras 5-A e 5-B). O Granito Cupim exibe plagioclásio com inclusões de biotita, e o zircão, euédrico, possui inclusões de magnetita (Figura 5-C e 5-D).

No pegmatito mineralizado os minerais acessórios são granada, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita, zircão e sulfetos. Em lâmina observa-se a presença de apatita, sulfetos, granada e ilmenita como minerais acessórios, além de inclusões de muscovita e de quartzo na granada.

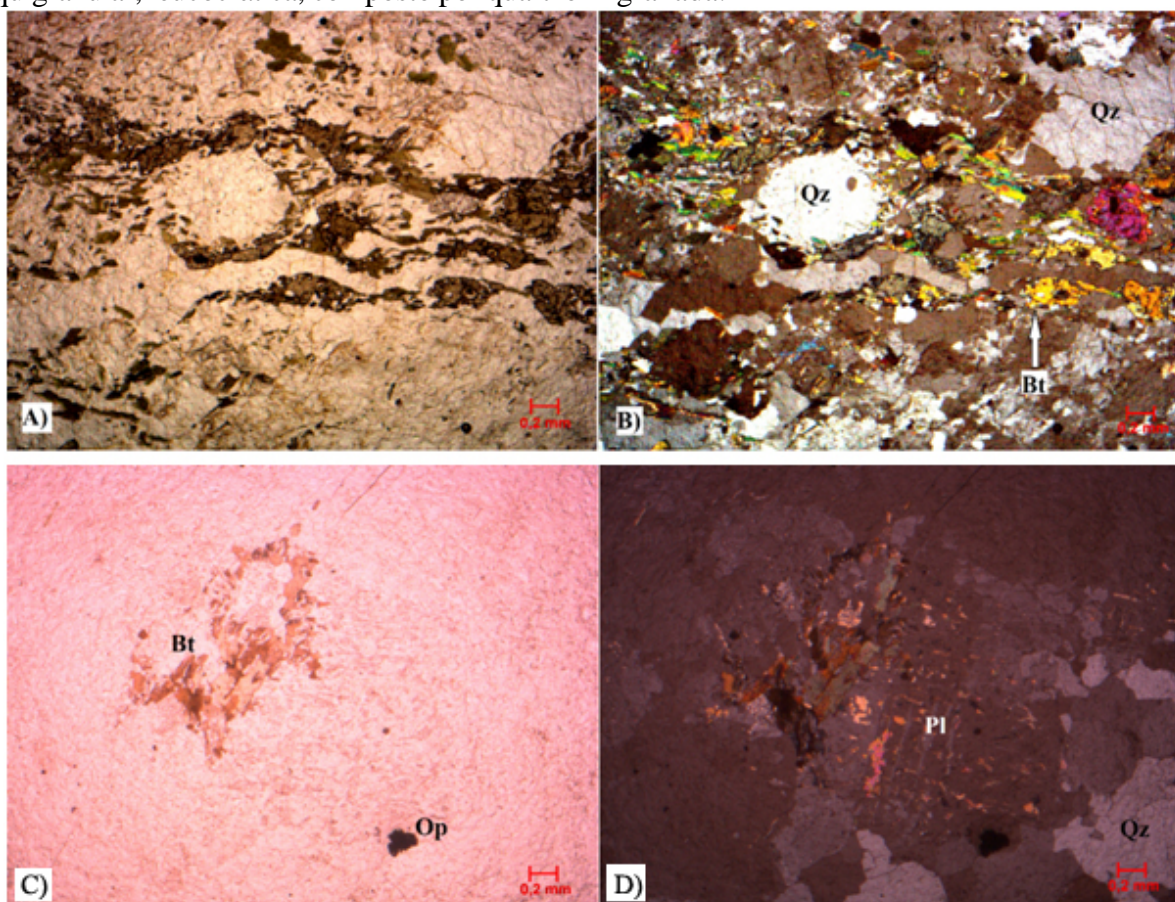


Figura 5 – Microfotografias das unidades presentes na área do trabalho: A e B) Gnaiss Caatinga; C e D) Granito Cupim. A e C: nicóis paralelos. B e C: nicóis cruzados. Bt – biotita; Pl – plagioclásio; Op – opaco; Qz – quartzo.

METODOLOGIA

Os estudos foram realizados em três etapas: i) levantamento bibliográfico; ii) prospecção de campo e; iii) análise laboratorial e integração das informações.

Na primeira etapa foram reunidas e organizadas as informações relevantes da área de estudo, incluindo os dados aerogeofísicos dos Projetos Áreas 2 e 15 (Magnetométrico e Gamaespectrométrico, produzidos em 2011), contratados

pela Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE) em parceria com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, atualmente denominado Serviço Geológico do Brasil). Os dados foram utilizados visando a caracterização das assinaturas geofísicas (intervalos de valores da Amplitude do Sinal Analítico, em nT/m, e do elemento Urânio, em ppm) dos litotipos da área de estudo e das rochas

hospedeiras das mineralizações. Foram produzidos os mapas do radioelemento U e da Amplitude do Sinal Analítico.

A segunda etapa envolveu a execução de atividades de campo, com coleta de amostras de rocha (sã e saprólito) para a confecção de lâminas petrográficas e a análise geoquímica de rocha total, além da obtenção de concentrado de minerais pesados em bateia a partir de leito ativo de drenagem, de forma não sistemática, visando a identificar a mineralogia presente.

Na terceira etapa, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório Geológico de Processamento de Amostras – LGPA, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, para a confecção de lâminas petrográficas, caracterização dos minerais obtidos em concentrado de bateia, análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-EDS) e preparação das amostras para análise litogeoquímica de rocha total por ICP-OES. Os resultados foram integrados às demais informações obtidas nas etapas anteriores.

RESULTADOS

Litogeoquímica

De acordo com o diagrama de Cox et al. (1979), o Gnaise Caatinga foi classificado como quartzo diorito e granito (Figura 6-A) e, segundo o diagrama de ambiência tectônica (Pearce et al., 1984), foi gerado em ambiente de arco vulcânico (Figura 6-B).

O Granito Cupim corresponde a um granito

intraplaca (Figuras 6-B e 6-B). No diagrama de Shand (1943; Figura 6-C) as duas unidades pertencem ao grupo das rochas metaluminosas. Ainda, segundo os diagramas AFM (Figura 6-D) e $K_2O \times SiO_2$ (Figura 6-E), ambas as unidades são classificadas como pertencentes à série calcioalcalina, sendo o Granito Cupim representado no campo de alto K.

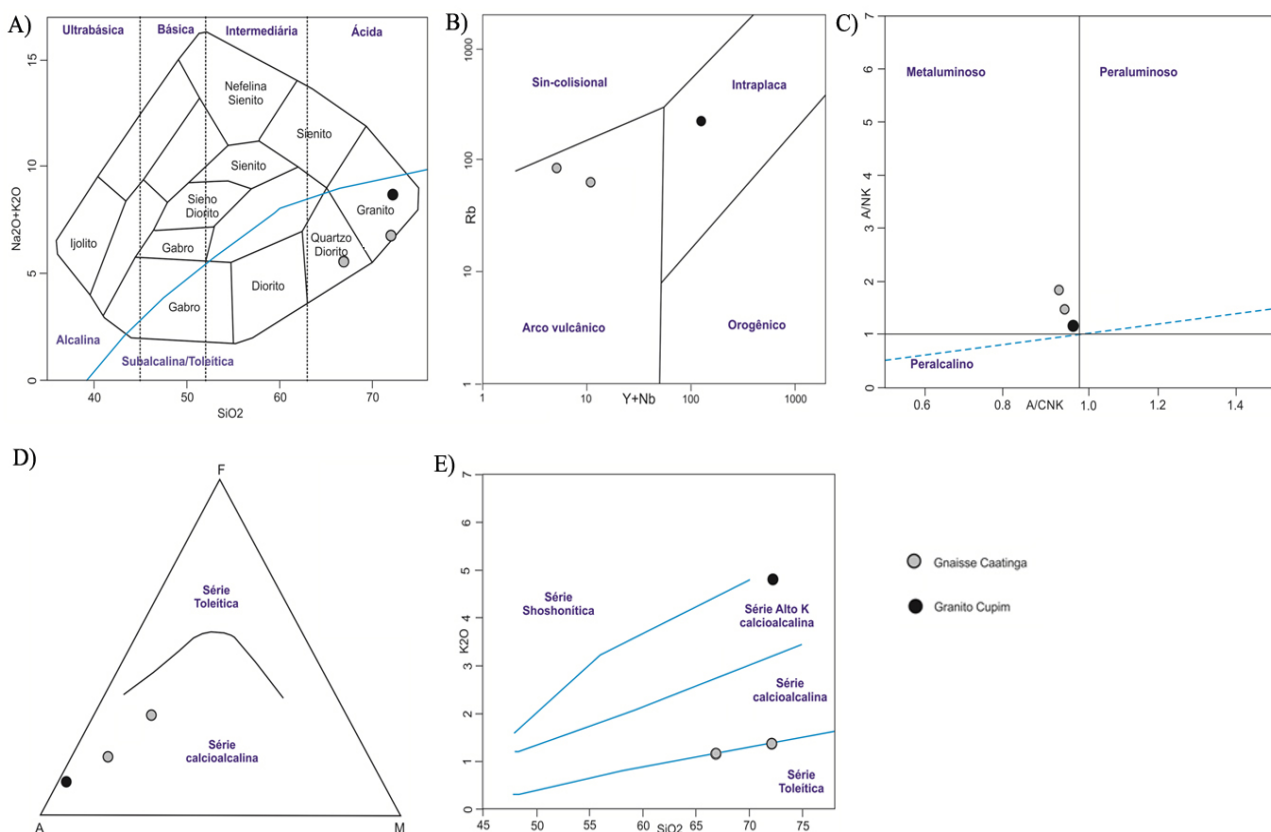


Figura 6 – Diagramas geoquímicos: A) $Na_2O+K_2O \times SiO_2$ (Cox et al., 1979); B) $Rb \times Y+Nb$ (Pearce et al., 1984); C) $ANK \times A/CNK$ (Shand, 1943); D) AFM; E) $K_2O \times SiO_2$.

No diagrama de distribuição de elementos terras raras normalizados pelo condrito (Sun & McDonough, 1989), o Granito Cupim apresenta enriquecimento de ETR leves (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm) e de ETR pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), compatível com a geoquímica de

um granito intraplaca. O Gnaise Caatinga apresentou um enriquecimento de ETR leves e um empobrecimento de ETR pesados, assinatura típica de arcos-vulcânicos.

O pegmatito analisado e o Granito Cupim mostraram anomalia negativa para Eu, podendo

refletir um processo de magmatismo por fusão parcial, onde o Eu é retido no plagioclásio (Figura 7).

A tabela 2 reúne os resultados das análises geoquímicas para os elementos estanho, nióbio e tântalo.

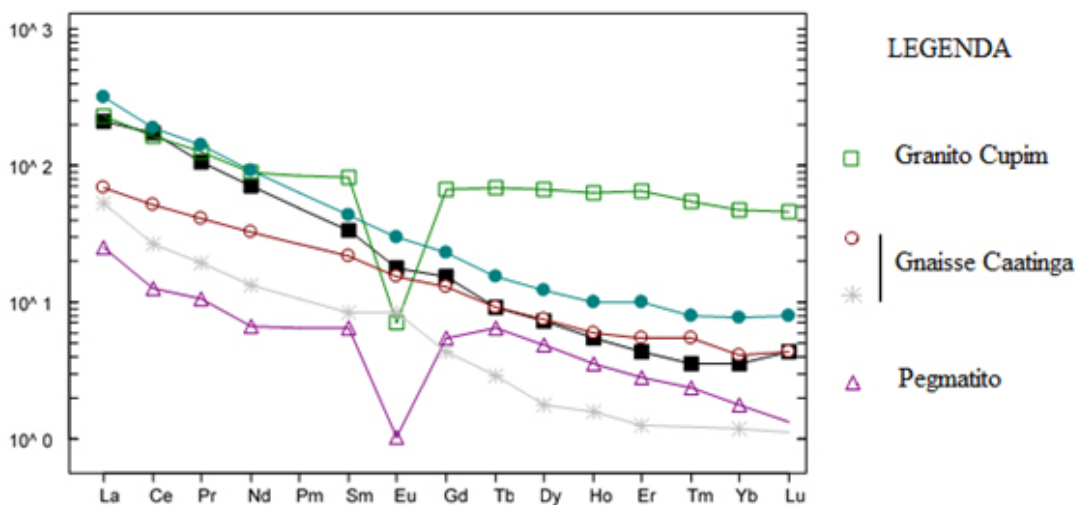


Figura 7 - Diagrama de distribuição dos elementos terras raras normalizados pelo condrito (Sun & McDonough, 1989).

Tabela 2 – Análise geoquímica (Sn, Nb e Ta) das unidades presentes na área do trabalho.

Unidade	Sn (ppm)	Nb (ppm)	Ta (ppm)
Granito Cupim	1,80	15,12	0,31
Gnaiss Caatinga	2,90	2,06	--
Pegmatito	12,90	51,08	11,54

Mineralogia dos concentrados de minerais pesados

Foram coletadas quinze amostras de concentrado de minerais pesados de leito ativo de drenagem/sapólito, incluindo antigos garimpos, com a presença de cassiterita e/ou minerais do subgrupo da columbita (Figura 3). A Tabela 3 reúne a mineralogia encontrada em cada ponto de amostragem.

No concentrado de minerais gerado a partir do pegmatito analisado foram identificados pequenos grãos (<1mm) de cassiterita e de minerais do subgrupo da columbita. A cassiterita apresenta coloração castanha, mostrando-se translúcida e com brilho vítreo. Os minerais do subgrupo da columbita são euédricos, de cor preta e brilho resinoso.

Tabela 3 – Mineralogia presente nos concentrados de minerais pesados a partir de drenagem de leito ativo.

Ponto	Mineralogia
19	Quartzo hialino e fumê, apatita, magnetita, ilmenita, zircão, anfibólio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita, xenotímio e pirita.
20	Quartzo, apatita, magnetita, ilmenita, zircão, sulfetos, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita e xenotímio.
22	Quartzo, apatita, magnetita, ilmenita, zircão, anfibólio, rutilo, cassiterita, columbita, tantalita.
24	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, anfibólio, mica verde, rutilo, titanita, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita, xenotímio.
31	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, anfibólio, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
32	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, anfibólio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
36	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, anfibólio, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
39	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
40	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
41	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
42	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
44	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
45	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
47	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.
48	Quartzo, apatita, zircão, magnetita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, minerais do subgrupo da columbita.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-EDS)

Os grãos de cassiterita analisados registraram 95,9 a 100% em massa de SnO₂, além da presença de inclusões de columbita e tantalita. Os menores valores obtidos para SnO₂ (<75% em

massa) refletem análises realizadas nas bordas ou fraturas dos grãos de cassiterita (Figura 8).

A tantalita, presente como inclusões na cassiterita, apresentou uma variação de 6,69% a 17,00%. A columbita apresentou valores entre 59,04% e 93,17% (Figura 9).

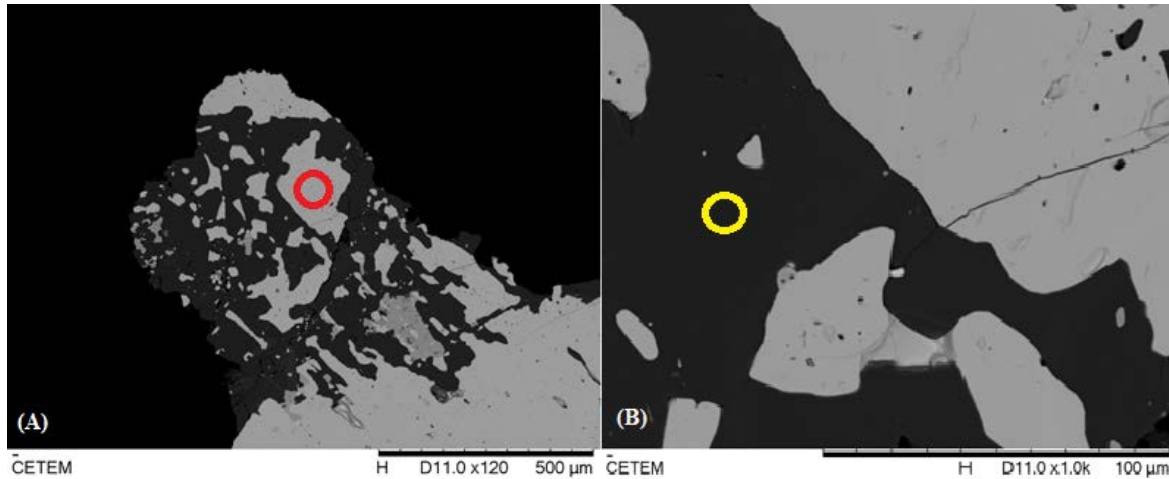


Figura 8 - Imagens de MEV-EDS realizadas em grãos de cassiterita, nas áreas contendo alto teor de Sn. A) teor de SnO₂; B) teor de Ta₂O₅. Os círculos correspondem ao local da análise.

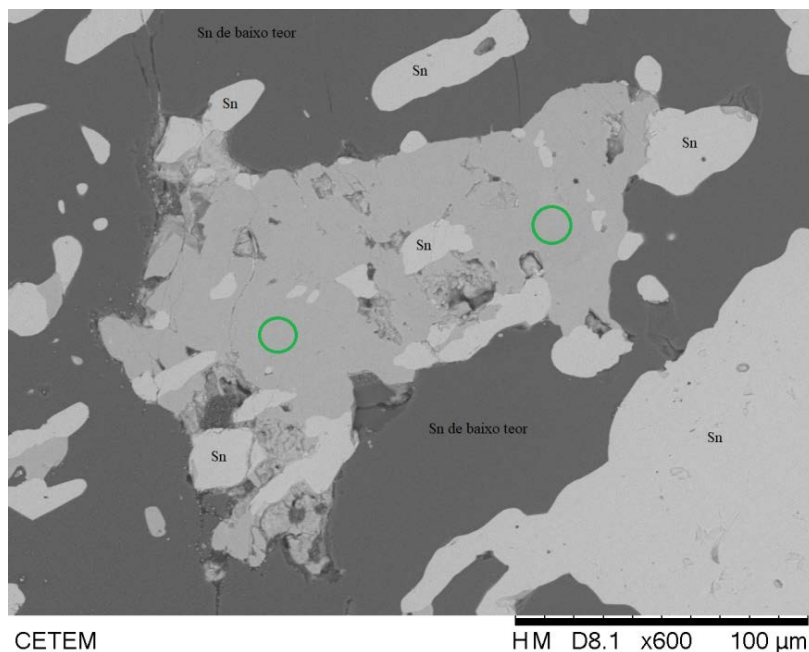


Figura 9 – Imagem EDS de grão de cassiterita com inclusões de columbita e tantalita. O círculo verde indica o local da análise.

Aerogeofísica

A partir dos dados XYZ do levantamento aerogeofísico, foram selecionados os pontos de aquisição situados dentro da área do trabalho, a fim de possibilitar o processamento e integrá-los aos dados geológicos. Os mapas da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e do radioelemento Urânio foram elaborados visando à identificação dos padrões de anomalias dos litotipos e de possíveis continuidades dos corpos em subsuperfície.

A cartografia geológica, integrada aos mapas

aerogeofísicos, permitiu definir intervalos de valor da ASA e do elemento U para cada unidade litológica.

O mapa da Amplitude do Sinal Analítico (Figura 10) exibiu uma assinatura diferenciada para o granito Cupim, com predomínio de valores inferiores a 0,040 nT/m. Porém, tanto na parte leste do granito Cupim como no gnaiss Caatinga próximo a este, a intensidade do sinal analítico exibe valores acima de 0,080 nT/m. Tal fato pode refletir uma continuidade do granito Cupim.

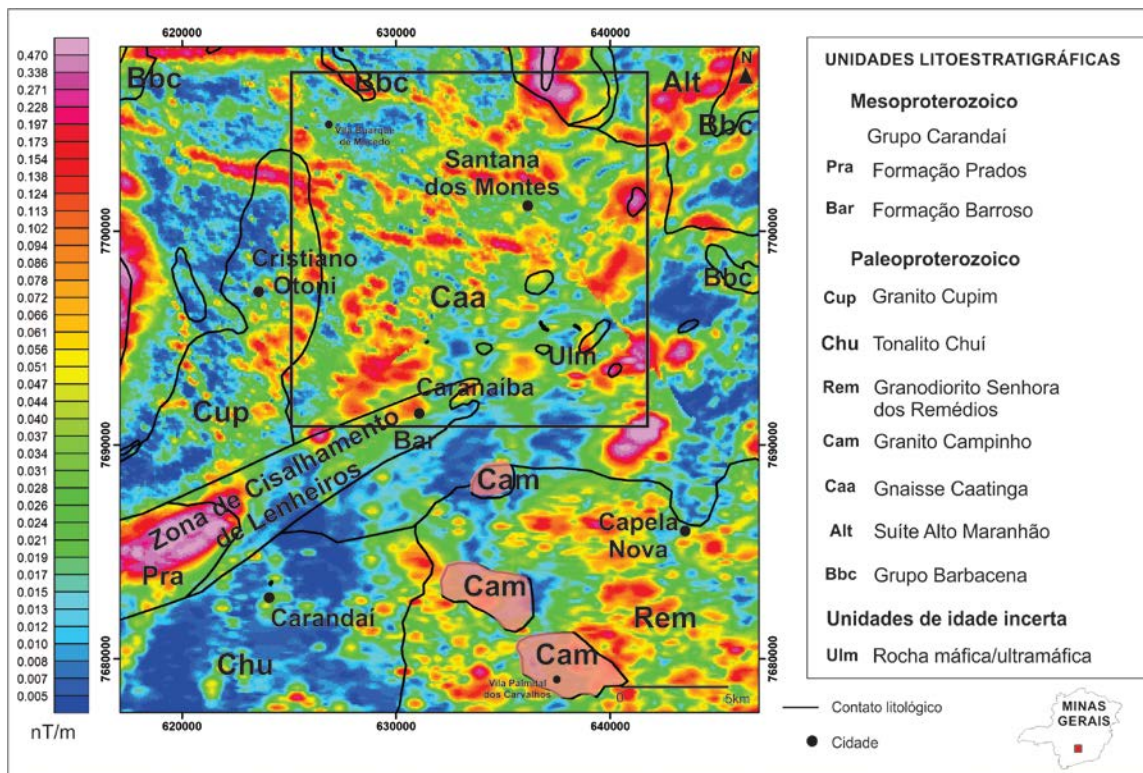


Figura 10 - Mapa aerogeofísico da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) com as unidades litológicas. O polígono com contorno preto delimita a área de estudo.

O gnaiss Caatinga possui uma assinatura heterogênea, com valores entre 0,020 e 0,17 nT/m. Alguns valores registrados no gnaiss são superiores a 0,270 nT/m, e correspondem à presença de rochas máficas/ultramáficas. O tonalito Chuí possui valores menores do que 0,020 nT/m, e o Granodiorito Senhora dos

Remédios registra assinatura entre 0,030 e 0,150 nT/m. Os metassedimentos do Grupo Carandaí exibem valores inferiores a 0,30 nT/m.

O mapa do elemento químico urânio (Figura 11) exibe os maiores valores (> 3 ppm) no granito Cupim, no tonalito Chuí e em parte do gnaiss Caatinga. .

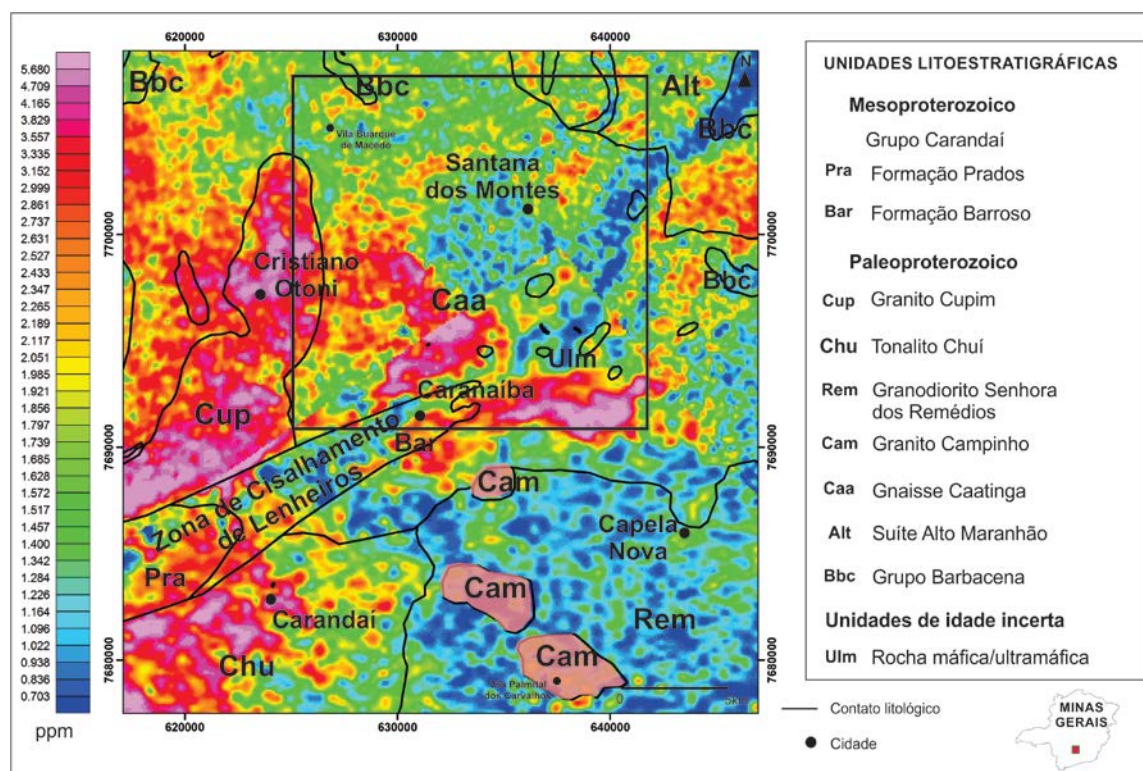


Figura 11 - Mapa aerogeofísico do elemento urânio, com as unidades litológicas. O polígono com contorno preto delimita a área de estudo.

O Granodiorito Senhora dos Remédios possui valores inferiores a 1,40 ppm em urânio. A Formação Prados registra valores elevados (entre 2,30 a 4,70 ppm) possivelmente relacionados à lixiviação e ao transporte fluvial do urânio do granito Cupim.

A Suíte Alto Maranhão possui valores entre 2,30 e 2,80 ppm. Nota-se, na região, um baixo valor de urânio (<1,00 ppm) coincidente com litotipos de direção NE-SW, decorrente da lixiviação do urânio do granito Cupim, no tonalito Chuí e no gnaiss Caatinga.

CONCLUSÕES

O presente estudo verificou que as mineralizações de cassiterita e do subgrupo da columbita registradas por Machado Filho et al. (1983) correspondem, principalmente, a garimpos em aluviões e colúvios. Algumas ocorrências são relacionadas com os pegmatitos. As análises litogeoquímicas do granito Cupim apresentaram valores de 1,80 ppm de Sn, 15,12 ppm de Nb e 0,31 ppm de Ta. O gnaiss Caatinga registrou 2,90 ppm Sn, 2,06 ppm Nb e Ta não detectável. O pegmatito apresentou 12,90 ppm Sn, 51,08 ppm Nb e 11,54 ppm Ta.

As análises químicas de MEV-EDS realizadas em grãos de cassiterita registraram 95,90 a 100% em massa de SnO₂, além da presença de inclusões de columbita e tantalita. Os menores valores obtidos para SnO₂ (<75% em massa) refletem análises realizadas nas bordas ou fraturas dos grãos de cassiterita. O tântalo apresentou uma variação de 6,69% a 17,00%, enquanto o nióbio variou entre 59,04% e 93,17%.

O mapa da Amplitude do Sinal Analítico exibiu um padrão de assinatura para cada litotipo da área. O granito Cupim registra anomalias inferiores a 0,040 nT/m. O gnaiss Caatinga exibe predominantemente valores entre 0,020 e 0,17 nT/m. Alguns são superiores a 0,270 nT/m e correspondem à presença de rochas máficas/ultramáficas. O tonalito Chuí possui valores menores do que 0,020 nT/m, e o Granodiorito

Senhora dos Remédios registra assinatura entre 0,030 e 0,150 nT/m. Os metassedimentos do Grupo Carandaí exibem valores inferiores a 0,30 nT/m. Em relação ao mapa do elemento químico urânio, as mais expressivas anomalias estão associadas ao granito Cupim, ao tonalito Chuí e parte do gnaiss Caatinga.

A análise integrada das informações petrográficas, geoquímicas aerogeofísicas indicou que o gnaiss Caatinga, classificado como quartzodiorito, corresponde ao principal litotipo a hospedar os corpos pegmatíticos com cassiterita e minerais do subgrupo da columbita. Portanto, os pegmatitos alojados nesse gnaiss correspondem ao alvo prospectivo para estanho e nióbio.

Em função das pequenas dimensões dos corpos pegmatitos (menos de dois metros de espessura), a viabilidade econômica da área dependerá da quantidade de ocorrências na região.

Visando a identificar pegmatitos não cartografados presentes no gnaiss Caatinga, recomenda-se o adensamento da amostragem de minerais pesados ao longo das drenagens, um mapeamento geológico em escala de semi-detalle (1:25.000). Nos novos prospectos podem ser realizadas campanhas de sondagens e aplicação de métodos geofísicos terrestres (Gamaespectrometria e Magnetometria), visando a delimitar a geometria do pegmatito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio nas atividades de campo, de análise mineral e processamento geofísico. Agradecemos também ao Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA/UERJ), pela elaboração das lâminas petrográficas. Ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), pelas análises químicas minerais. À FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pela bolsa de pesquisa concedida ao autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F.F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO-NETO V.; BARTORELLI A.; CARNEIRO C.D.R.; BRITO-NEVES B.B. (eds.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, 2004. p. 17-35.

ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S.; FONSECA, M.A. Assembling West Gondwana in the Neoproterozoic: Clues from São Francisco cráton region, Brasil. **Geology**, v. 29, p. 319-322, 2001.

ALMEIDA, F.F.M. O cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO

- SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, I. Salvador. 1981. **Atas...** Salvador: Sociedade Brasileira de geologia, 1981, p. 1-10.
- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977
- ALVES, F.E.A.; NEUMANN, R.; ÁVILA, C.A.; FAULSTICH, F.R.L. Monazite-(Ce) and xenotime-(Y) microinclusions in fluorapatite of the pegmatites from the Volta Grande mine, Minas Gerais state, southeast Brazil, as witnesses of dissolution-reprecipitation process. **Mineralogical Magazine**, n. 83, p. 595-606, 2019.
- ASSUMPCÃO, C.S. **Caracterização Mineralógica e Geoquímica do Pegmatito da Mina Volta Grande, Província Pegmatítica de São João del Rei, Nazareno, Minas Gerais**. Ouro Preto, 2015. 114 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Geologia.
- ÁVILA, C.A. **Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos Paleoproterozoicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João del Rei, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 2000. 401 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ÁVILA, C.A. **Geologia, Petrografia e Geoquímica das Rochas Plutônicas pré-cambrianas (Unidade metadiorítica Ibitutinga e Unidade Metatromhjemítica, Caburu) intrusivas nas rochas do Greenstone belt Barbacena, São João del Rei, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 1992. 295 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ÁVILA, C.A., TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; MOURA, C.A.V.; PEREIRA, R.M. Rhyacian (2.23 e 2.20 Ga) juvenile accretion in the southern São Francisco Craton, Brazil: geochemical and isotopic evidence from the Serrinha magmatic suite, mineiro belt. **J. S. Am. Earth Sci.**, v. 29, p. 464-482, 2010.
- ÁVILA, C.A.; BEZERRA FILHO, A.P.; OLIVEIRA, N.D.B.; CHERMAN, A.F.; TEIXEIRA, W.; NUNES, L.C.; PEREIRA, R.M. Resultados preliminares da geologia do Quartzo Diorito Dores do Campo, região de Tiradentes – Dores do Campo, Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XLIII, Aracaju, 2006. **Anais...**Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006, v. 1.
- ÁVILA, C.A.; TEIXEIRA, W.; MARQUES, E.; BONGIOLO, E.M.; DUSSIN, I.A.; VIEIRA, T.A.T. Rhyacian evolution of subvolcanic and metasedimentary rocks of the southern segment of the mineiro belt, São Francisco Craton, Brazil. **Precambrian Res.**, v. 243, p. 221-251, 2014.
- ÁVILA, C.A.; TEIXEIRA, W.; VASQUES, F.S.G.; DUSSIN, I.A.; MENDES, J.C. Geoquímica e idade U-Pb (LA-ICPMS) da crosta oceânica anfibolíticas riaciana do cinturão Mineiro, borda meridional do cráton São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46^o, Santos. **Anais...** Santos: Sociedade Brasileira de Geologia, 2012.
- ÁVILA, C.A.; VALENÇA, J.G.; MOURA, C.A.V.; Klein, V.C.; PEREIRA, R.M. Geoquímica e idade do Tonalito/trondhjemito Cassiterita, borda meridional do Cráton São Francisco, Minas Gerais. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 61, p. 267-284, 2003.
- BARBOSA, N.; TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C.A.; MONTECINOS, P.M.; BONGIOLO, E.M.; VASCONCELOS, F.F. U-Pb geochronology and coupled Hf-Nd-Sr isotopic-chemical constraints of the Cassiterita Orthogneiss (2.47-2.41-Ga) in the Mineiro belt, São Francisco Craton: geodynamic fingerprints beyond the Archean-Paleoproterozoic transition. **Precambrian Research**, v. 326, p. 399-416, 2018.
- ČERNÝ, P. & ERCIT, T.S. The classification of granitic pegmatites revisited. **Can. Miner.**, v. 43, p. 2005-2026, 2005.
- CHERMAN, A.F. **Geologia, Petrologia e Geocronologia de Ortognaisses Paleoproterozoicos da borda meridional do Cráton do São Francisco, na região entre Itumirim e Nazareno, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 2004. 259 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências.
- CIDADE, T.P. **Mineralogia e Idade dos Pegmatitos Intrusivos no Ortognaisse Resende Costa, Província Pegmatítica de São João del Rei**, Rio de Janeiro 2019. 251 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências.
- COX, K.G.; BELL, J.D.; PANKHURST, R.J. **The interpretation of igneous rocks**. London: G. Allen & Unwin. 1979
- DINIZ, H.S. & HOFMEISTER, W. Aspectos texturais de microlitos dos pegmatitos de Volta Grande, Nazareno, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, Araxá. 2004. **Anais...**Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004, p. 620-621.
- DORR II, J.V.N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. USGS. Prof. Paper, 641-A, Washington, 1969. 110 p.
- FARINA, F.; ALBERT, C.; DOPICO, C.M.; GIL, C.A.; MOREIRA, H.; HIPPERTT, J.P.; LANA, C. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 68, p. 4-21, 2016.
- FARINA, F.; ALBERT, C.; MARTÍNEZ DOPICO, C.; AGUILAR GIL, C.; MOREIRA, H.; HIPPERTT, J.; CUTTS, K.; ALKMIM, F.; LANA, C. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 68, p. 4-21, 2015.
- FAULSTICH, F.E.L. **Estudo de minerais pesados dos pegmatitos da Província Pegmatítica de São João del Rei, Minas Gerais**. Rio de Janeiro, 2016. 275 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FAULSTICH, F.R.L.; ÁVILA, C.A.; NEUMANN, R. Idade dos Pegmatitos da Província Pegmatítica de São João del Rei, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. XVI, 2017, Búzios. **Anais...**Búzios: Sociedade Brasileira de Geologia, 2017.
- FRANCESCONI, R. **Pegmatitos da Região de São João del Rei – MG**. São Paulo. 1972. 110 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALES, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F. **Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL (ed) folhas SF 23/24 Rio de Janeiro e Vitória**. MME-SG, RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, v. 32, 1983. p. 27-304.
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; LADEIRA, E.A.; DE OLIVEIRA, O.A.B. U-Pb geochronology of the Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v. 104, p. 1221-1227, 1992.
- MARTIN, R.F. & VITO, C.D. The Patterns of Enrichment in Felsic Pegmatites Ultimately Depend on Tectonic Setting. **The Canadian Mineralogist**, v. 43, p. 2027-2048, 2005.
- NOCE, C.M.; TEIXEIRA, W.; QUÉMÉNEUR, J.J.G.; MARTINS, V.T.S.; BOLZACHINI, E. Isotopic signatures of Paleoproterozoic granitoids from southern São Francisco Craton, NE Brazil, and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny. **J. S. Am. Earth Sci.** v. 13, p. 225-239, 2000.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **J. Petrol.** v. 25, p. 956-983, 1984.
- PIRES, F.R.M. & PIRES, H.L. Regional zoning in the São João del Rei Pegmatite District and its relation with the collisional Santa Rita Granite, Minas Gerais, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. **Boletim Resumos Expandidos...**São Paulo Sociedade Brasileiro de Geologia, 1992, v. 1, p. 269-272.
- PIRES, F.R.M. & PORTO JÚNIOR, R. A mineralização de Sn-

- Ta-Nb-Li e o Granito Santo Rita, São João Del Rey, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. 1986. **Anais...**Goiânia: Sociedade Brasileiro de Geologia, 1986, v. 5, p. 2023-2034, 1986.
- RENGER, F.E.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 1995.
- RIBEIRO, A.; TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C. A.; NASCIMENTO, D. U-Pb LA-ICP-MS detrital zircon ages of the São João del Rei and Carandaí basins: New evidence of intermitente Proterozoic rifting in the São Francisco paleocontinent. **Gondwana Research**, v. 24, p. 713-726, 2013.
- SANTOS, L.D. & BALTAZAR, O.F. **Carta geológica: folha Conselheiro Lafaiete, SF.23-X-A-VI**. CPRM, Rio de Janeiro, 2013.
- SHAND, S. Eruptive rocks: **Their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits**. 3rd Ed., John Willey and Sons (New York), 488 p, 1947.
- SUN, S.S. & MCDONOUGH, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, **Special Publications**, v. 42, n. 1, p. 313-345, 1989
- TEIXEIRA, W. & FIGUEIREDO, M.C.H. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco craton, Brazil: a review. **Precambrian Research**, v. 53, n. 1-2, p. 1-22, 1991.

Submetido em 7 de novembro de 2023

Aceito para publicação em 4 de dezembro de 2023