



## Geocronologia U-Pb (LA-ICPMS) de zircões dos distritos pegmatíticos de Santa Maria de Itabira e São José da Safira (Minas Gerais): populações contrastantes na região da Província Pegmatítica Oriental do Brasil?

*U-Pb (LA-ICPMS) ages in zircons from the Santa Maria de Itabira and São José da Safira pegmatite districts (Minas Gerais: contrasting populations in the Eastern Brazilian Pegmatite Province?)*

Mario Luiz de Sá Carneiro Chaves<sup>1</sup> , Antônio Carlos Pedrosa-Soares<sup>2</sup> , Ivo Antônio Dussin<sup>1</sup> , Luiz Alberto Dias Menezes Filho<sup>3†</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Rua São Francisco Xavier, 524, CEP: 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, BR (sacarneiro.70@gmail.com; ivodusin@yahoo.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, BR. (pedrosasoares@gmail.com)

<sup>3</sup> Belo Horizonte, MG, BR. (In Memoriam)

Recebido em 2 de junho de 2023; aceito em 18 de julho de 2024.

### RESUMO

Os distritos pegmatíticos de Santa Maria de Itabira (DPSM) e de São José da Safira (DPSJ) são classicamente integrantes da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB), embora até então com carência de dados geocronológicos em termos regionais. Neste estudo apresentam-se novas datações U-Pb (LA-ICPMS) de zircões extraídos de três pegmatitos desses distritos (Ponte da Raiz, Jaguarapu e Ipê). Os zircões do Pegmatito Ponte da Raiz (DPSM), considerados magmáticos, fornecem uma robusta idade-concordância em  $1675 \pm 5$  Ma, indicando sua cristalização compatível com o magmatismo anorogênico da Suíte Granítica Borrachudos (~1,7 Ga). Os zircões do Pegmatito Jaguarapu, do mesmo distrito, são metamórficos, fornecendo uma média de idades mais jovens de  $508 \pm 19$  Ma que podem representar manifestações hidrotermais pós-colisionais no Orógeno Araçuai. Os zircões do Pegmatito Ipê (DPSJ) apresentam idade-concordância em  $467 \pm 5$  Ma, interpretada como a da cristalização do corpo, valor similar à larga maioria das outras datações de pegmatitos do orógeno. Estes dados, aliados aos atributos mineralógicos dos pegmatitos/distritos estudados, evidenciam que o DPSM se caracteriza por pegmatitos berilíferos ricos em fluorita, amazonita e topázio, pertencendo à família NYF (nióbio-ítrio-flúor); possuem idade estateriana e representam magmas residuais de granitos da Suíte Borrachudos. Em contraste, o DPSJ constitui um distrito pegmatítico da família LCT (lítio-césio-tântalo), cujos pegmatitos são provenientes de magmas residuais de granitos tardi-orogênicos (pós-colisionais) do Orógeno Araçuai. Em sentido mais amplo, a serem confirmados tais dados, o DPSM deve ser separado da PPOB, embora os depósitos quartzo-feldspáticos hidrotermais ricos em esmeralda/alexandrita que ocorrem em sua área geográfica estejam relacionados a um episódio hidrotermal tardio do Brasileiro.

**Palavras-chave:** Datações U-Pb; Zircões Mágmatícos; Pegmatitos tipo-NYF; Pegmatitos tipo-LCT.

### ABSTRACT

The Santa Maria de Itabira (DPSM) and São José da Safira (DPSJ) pegmatite districts are classically part of the Eastern Brazil Pegmatitic Province (PPOB), although lacking geochronological data in regional terms. This study presents new U-Pb dating (LA-ICPMS) of zircons extracted in three pegmatites from these districts (Ponte da

Raiz, Jaguaráçu, Ipê). Zircons from the Ponte da Raiz Pegmatite (DPSM), considered magmatic, provide a robust concordia-age at  $1675 \pm 5$  Ma, indicating crystallization compatible with the anorogenic magmatism of the Borrachudos Granitic Suite ( $\sim 1.7$  Ga). Zircons from the Jaguaráçu Pegmatite in the same district, are metamictic, providing a younger age at  $508 \pm 19$  Ma, which may represent post-collisional hydrothermal manifestations in the Araçuaí Orogen. Zircons of the Ipê Pegmatite (DPSJ) show a concordia-age at  $467 \pm 5$  Ma, interpreted as the age of the body, a similar age to the large majority of other pegmatites from the orogen. These data, combined with the mineralogical attributes of the studied pegmatites/districts, show that the DPSM is characterized by berylliferous pegmatites rich in fluorite, amazonite and topaz, belonging to the NYF (niobium-yttrium-fluorine) family; they are of Statherian-age and represent residual magmas from granites of the Borrachudos Suite. In contrast, the DPSJ constitutes a pegmatite district of the LCT (lithium-cesium-tantalum) family, whose pegmatites come from residual magmas of late-orogenic (post-collisional) granites of the orogen. In a broader sense, such data to be confirmed, the DPSM should be separated from the PPOB, although the quartz-feldspathic hydrothermal deposits rich in emerald/alexandrite that occur in its geographic area are related to a late-hydrothermal episode of Brasileiro age.

**Keywords:** U-Pb Dating; Magmatic Zircons; NYF-Pegmatites; LCT-Pegmatites.

## INTRODUÇÃO

A Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB) (Paiva, 1946; Correia-Neves et al., 1986) é mundialmente famosa pela produção de minerais industriais, de coleção e gemológicos, além de minerais raros, abrangendo diversos distritos pegmatíticos individualizados em termos geográficos, geológicos e mineralógicos. Essa província mineral constitui a mais extensa e de maior potencial econômico do país para minerais de pegmatitos.

Embora carentes de dados geocronológicos robustos, os distritos pegmatíticos de Santa Maria de Itabira (DPSM) e São José da Safira (DPSJ) têm sido incluídos na PPOB, a qual engloba uma numerosa população de pegmatitos anatóticos e residuais, relacionados ao metamorfismo e plutonismo orogênicos do Ediacarano-Ordoviciano no Orógeno Araçuaí (Figura 1). No DPSM têm sido considerados pegmatitos *s.s.* produtores de berilo industrial, água marinha e amazonita, especialmente relacionados ao magmatismo anorogênico da Suíte Granítica Borrachudos (1,75 – 1,65 Ga, conforme Dussin, T. M., 1994; Chemale Jr. et al., 1997), e ainda depósitos hidrotermais quartzo-feldspáticos, ricos em esmeralda e/ou alexandrita, datados no Neoproterozoico tardio.

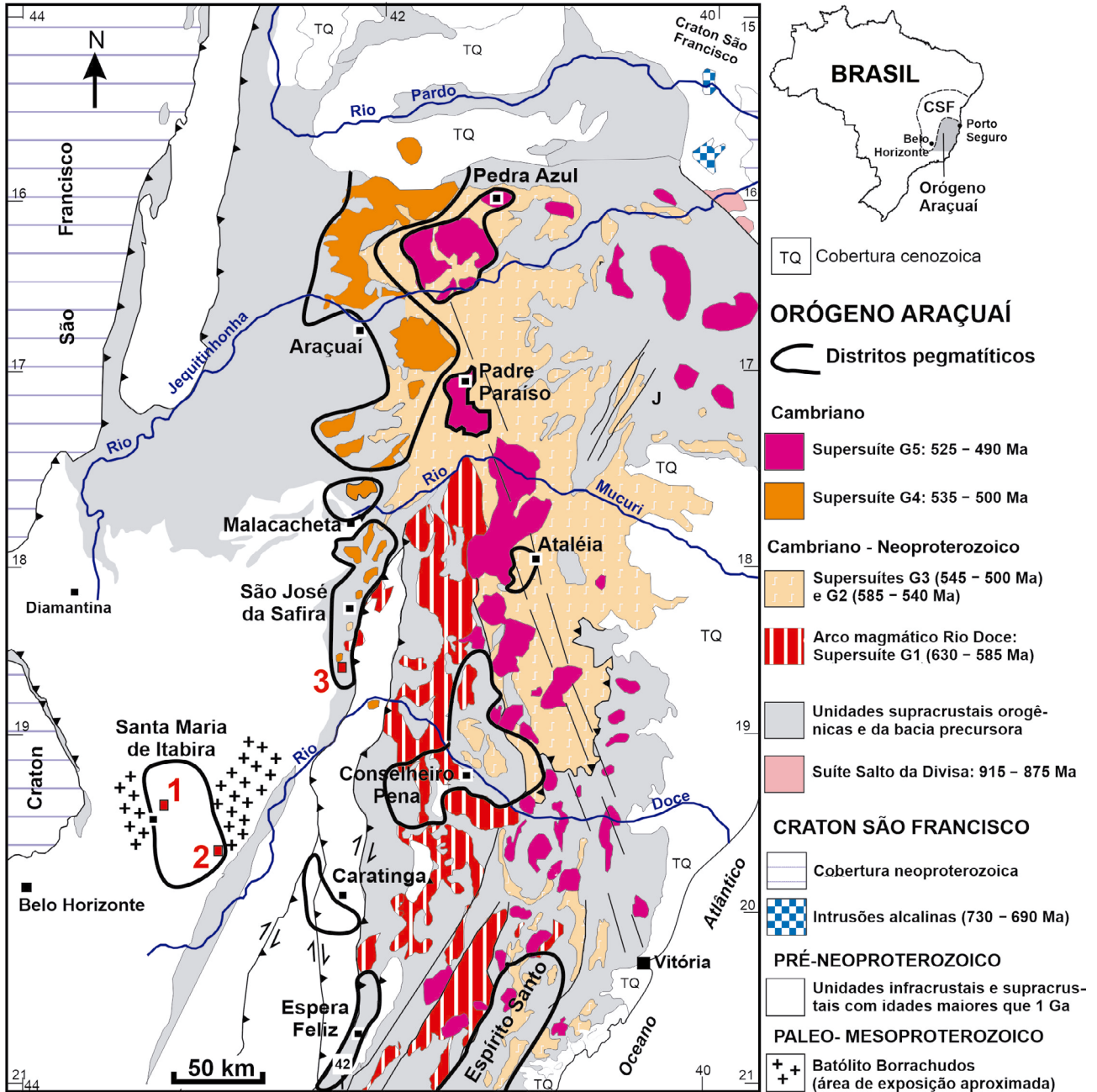
No presente artigo, se apresentam idades U-Pb LA-ICPMS obtidas de zircões coletados em dois pegmatitos do DPSM (Ponte da Raiz e Jaguaráçu), ambos aparentemente e associados à Suíte Borrachudos, e de um pegmatito do DPSJ (Ipê – Campo da Golconda). O reconhecimento de idades mais antigas, mesoproterozoicas, nos pegmatitos do DPSM, remetem ao principal problema geológico da região. Como essa suíte granítica ocorre preferencialmente na porção sul da PPOB, seriam os pegmatitos também ligados a ela em termos genéticos? Ou seriam mais novos,

gerados por fluidos derivados de magmas da orogenia Araçuaí, com idades Brasileiras (630 – 490 Ma, conforme Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011), como em geral admitido para a maior parte da província? As datações fornecidas no presente trabalho foram obtidas de zircões pegmatíticos do DPSM, e pretendem contribuir para a evolução do conhecimento sobre essa questão.

## CONTEXTO GEOLÓGICO E PEGMATITOS

Mais de 90% da PPOB é localizada no Orógeno Araçuaí, que se estende da borda leste do Cráton São Francisco até a margem atlântica, ocupando uma superfície de cerca de 400.000 km<sup>2</sup> no sudeste do Brasil; os outros  $\sim 10\%$  situam-se na zona cratônica (Pedrosa-Soares et al., 2011) (Figura 1). As rochas mais antigas dessa região constituem gnaisses e migmatitos, com enclaves de rochas básicas e ultrabásicas de possíveis idades arqueanas, as quais são designadas de Complexo Mantiqueira no setor leste da região (*e.g.* Netto et al., 1998; Silva, 2002). No setor oeste, o embasamento é representado pelo Grupo ou Complexo Guanhões, datado (Rb-Sr em rocha total) em  $2652 \pm 199$  Ma (Teixeira et al., 1990).

De grande importância geológica na porção ao sul província, a Suíte Borrachudos compreende um magmatismo anorogênico rico em flúor (tipo A) desenvolvido por volta de 1,7 Ga (Dussin, I. A., 1994; Dussin, T. M., 1994), intrusivo no complexo granito-gnáissico arqueano. Segundo esses autores, tal magmatismo formou-se pela fusão crustal induzida por ascensão mantélica e/ou a partir de magmas derivados do manto, os quais se relacionam à tectônica extensional ocorrida ao final do Paleoproterozoico, em estreita associação à abertura do Rifte Espinhaço.



**Figura 1.** Contexto geológico dos distritos pegmatíticos da PPOB no Orógeno Araçuaí. Pegmatitos estudados: 1 - Ponte da Raiz (Santa Maria de Itabira); 2 - Jaguarauçu (Jaguarauçu); 3 - Ipê (Governador Valadares).

Durante o Neoproterozoico tardio e início do Paleozoico, no Ciclo Brasileiro (630 – 490 Ma), desenvolveu-se a orogenia Araçuaí, que controla a estruturação das unidades geológicas pré-existentes (Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011). As rochas graníticas intrusivas presentes, incluindo pegmatitos, são agrupadas em cinco “supersuítas”, com base em características geoquímicas e petrológicas, bem como em dados geocronológicos U-Pb, designadas G1, G2, G3, G4 e G5. Tais conjuntos se associam a diferentes estágios na evolução do orógeno: G1 é pré-colisional (630 – 595 Ma), G2 é sin-colisional (585 – 560 Ma), G3 é colisional tardio a pós-colisional (545 – 520 Ma), e G4/G5 são pós-colisionais (535 – 490 Ma).

Os pegmatitos na PPOB compreendem dois grupos genéticos: (1) anatéticos, formados pela fusão parcial das rochas regionais, e (2) residuais, formados a partir de fusões silicatadas resultantes da cristalização fracionada dos granitos geradores. A distribuição desses tipos de pegmatitos, bem como suas idades e características mineralógicas, levaram ao estabelecimento de diversos distritos pegmatíticos ao longo do Orógeno Araçuaí. Os pegmatitos nos distritos ao norte da província formaram-se como fusões

residuais de granitos, principalmente dos tipos G2, G4 e G5. De outro modo, pegmatitos anatóticos, originados da fusão parcial de gnaisses, predominam nos distritos a leste da província (e.g. Correia-Neves et al., 1986; Netto et al., 1998; Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011).

Enquanto a pegmatogênese nos outros distritos é evidente, por se associar a granitos intrusivos cujas idades brasileiras são incontestáveis, os corpos encontrados no DPSM ainda constituíam objeto de discussões quanto às suas idades de alojamento, e possível associação aos granitoides da Suíte Borrachudos. Além de pegmatitos graníticos *s.s.*, no DPSM, ocorrem depósitos hidrotermais de esmeralda e/ou alexandrita, os quais são também chamados de "pegmatitos" em alguns trabalhos, devido suas composições à base de quartzo-feldspato de granulação grossa (e.g. Ribeiro-Althoff et al., 1997; Gandini et al., 2001; Preinfalk et al., 2002). Tais depósitos, que constituem uma faixa mineralizada entre as cidades de Itabira e Nova Era (esmeralda), bem como depósitos isolados entre Esmeraldas de Ferros e Hematita (alexandrita), originam-se do processo metamórfico regional relacionado ao Ciclo Brasileiro (Ribeiro-Althoff et al., 1997; Jordt-Evangelista et al., 2016).

Existem numerosos estudos sobre datações isotópicas em pegmatitos da PPOB em Minas Gerais. Dirac e Ebert (1967) primeiramente obtiveram pelo método K-Ar em muscovita os seguintes resultados sobre dois corpos em Manhuaçu e Bicas:  $511 \pm 14$  Ma e  $483 \pm 12$  Ma, respectivamente. Idades semelhantes foram obtidas por Herz (1970), datando um pegmatito de Rio Piracicaba (Rb-Sr em feldspato) com 545 Ma. Delhal et al. (1969) e Cordani et al. (1973) dataram um pegmatito situado em Caiena (K-Ar e Rb-Sr em muscovita) obtendo resultados similares,  $454 \pm 23$  Ma e  $452 \pm 15$  Ma. Microclínio do mesmo local forneceu uma idade Rb-Sr de  $476 \pm 15$  Ma, que foi considerada a idade de cristalização do pegmatito.

Sá (1977) estudou os pegmatitos do extremo norte da província, na região de Araçuaí, obtendo pelo método K-Ar em muscovita em dois corpos as idades de  $467 \pm 18$  Ma e  $490 \pm 12$  Ma. Marciano (1985), Correia Neves et al. (1986) e Marciano et al. (1993) enfocaram diversos pegmatitos dos arredores de Governador Valadares, com idades Rb-Sr (em muscovita e feldspato) variáveis entre  $497 \pm 13$  Ma e  $529 \pm 10$  Ma. De acordo com Preinfalk et al. (2002), dados isotópicos Rb-Sr sobre K-feldspato em pegmatitos da região de Santa Maria de Itabira definiram uma idade de  $477 \pm 14$  Ma. Esse conjunto de idades anteriormente relacionados determinaram uma idade Neoproterozoica tardia até Cambro-Ordoviciano para os pegmatitos da província.

## PRINCIPAIS ASPECTOS DOS PEGMATITOS ESTUDADOS

Descrevem-se aqui sucintamente a geologia e mineralogia dos três pegmatitos onde foram amostrados os zircões magmáticos para as análises U-Pb LA-ICPMS.

### Pegmatito Ponte da Raiz

Situa-se cerca de 12 km a nordeste da sede municipal de Santa Maria de Itabira (Figura 1), sendo o depósito também conhecido como Fazenda do Funil (coordenadas UTM 701195E/7854045N). Embora minerado desde a década de 1930 para caulim, cristais gemológicos de água marinha, de coloração muito intensa, tornaram esse pegmatito mundialmente famoso na década de 1960. As atividades de lavra do corpo, ora paralisadas, bem como a de outros próximos, vêm ocorrendo com períodos de interrupção desde aquela época.

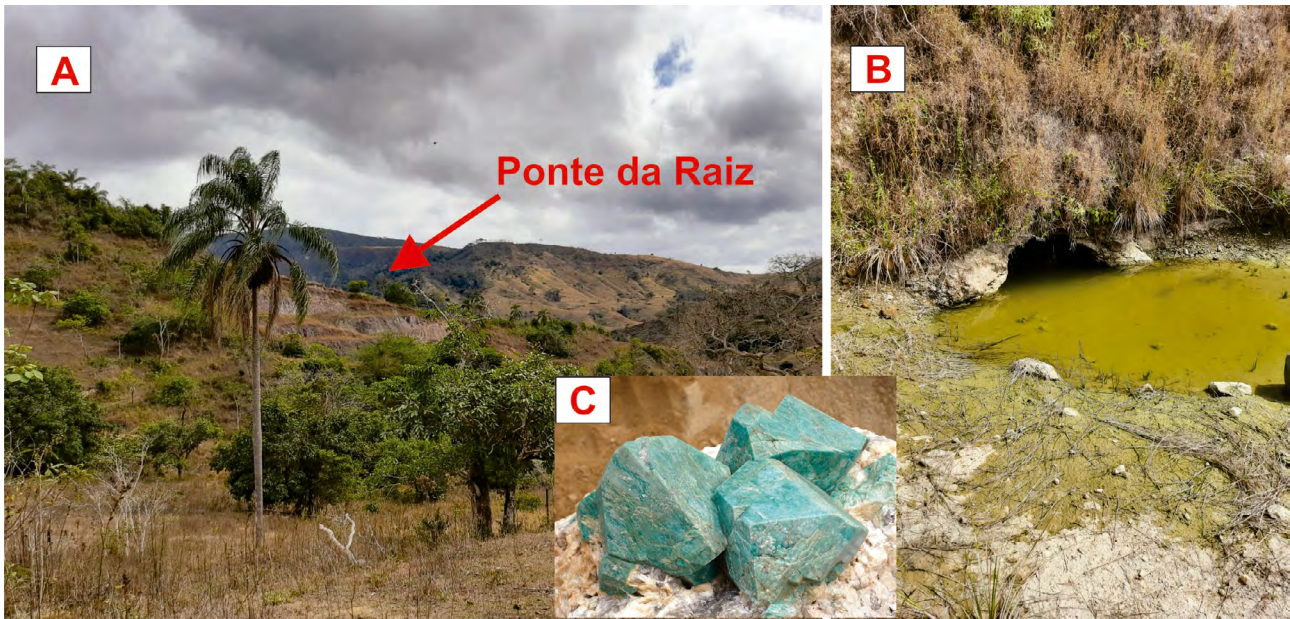
A geologia da área foi levantada pelo "Projeto Espinhaço" (Guimarães et al., 1996). As rochas mais antigas foram atribuídas ao Grupo Guanhões, compreendendo gnaisses foliados muito erodidos e de possível idade arqueana (Teixeira et al., 1990). Aproximadamente a 3 km a leste do depósito, aflora parte de um grande batólito de rochas granitoides pertencentes à Suíte Borrachudos, ali representada pelo "Pluton Itauninha" (Dussin, T. M., 1994).

O pegmatito (Figuras 2A – 2B) corresponde a dois veios distintos, inferior e superior, subverticais e discordantes (Cassedanne et al., 1995). O inferior tem direção NE e mergulho forte para SE, com espessuras de 5 – 10 m. O superior possui direção ~NS e mergulho forte para W, com espessura de ~10 m. Ambos são zonados, pouco diferenciados e mostram núcleo de quartzo circundado por microclínio com pequenas cavidades albiticas de substituição. Além de berilo industrial e água marinha, o corpo inferior tem produzido cristais de topázio cujos pesos ultrapassaram 100 kg, juntamente com amazonita (Figura 2C), monazita-(Ce), apatita, fluorita e columbita (Cassedanne et al., 1995).

### Pegmatito Jaguarauçu

Esse corpo está localizado a sudeste do primeiro, na periferia ao sul da cidade homônima (Figura 1), adjacente ao campo de futebol municipal (coordenadas UTM 736260E/7825665N). O pegmatito foi descoberto durante a II Guerra Mundial, sendo depois explotado intermitentemente por cerca de 25 anos para berilo industrial e mica (Cassedanne e Alves, 1994). Na década de 1980, foi minerado visando minerais de coleção, particularmente cristais de quartzo com inclusões finas de turmalina negra, drusas de albita variedade cleavelandita, encontrando-se ainda excelentes cristais do mineral de berílio raro, a milarita ( $\text{KCaAlBe}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), considerados os melhores espécimes já produzidos mundialmente.

Conforme Silva (2002), o pegmatito ocorre isolado, hospedado em biotita gnaisses do Complexo Mantiqueira, de possível idade arqueana, também situando-se nas proximidades do "Pluton Itauninha" da Suíte Borrachudos (Dussin, T.M., 1994), do mesmo modo que o Ponte



Fontes: (A e B) Fotos - C. H. Dias; (C) Coleção Assad Marto, Foto - Carlos Cornejo, em Cornejo e Bartorelli, 2010.

**Figura 2.** (A) Visão geral da Fazenda do Funil, destacando a Lavra Ponte da Raiz. (B) Detalhe local do corte da antiga cava da mina, inteiramente alagada na atualidade. (C) Grandes cristais de amazonita explotados na área para peças de coleção, o maior à esquerda com ~12 x 10 cm.

da Raiz. As galerias dos serviços antigos encontram-se desmornadas e o pegmatito na atualidade está abandonado e parcialmente coberto por vegetação, aflorando sob uma encosta íngreme (Figura 3A). Segundo Cassedanne e Alves (1994), os trabalhos na mina foram desenvolvidos sobre o corpo de direção W-NW ao longo de mais de 100 m de comprimento, mergulhando fortemente para S-SW e com larguras variando entre 5 m em seu segmento oeste e cerca de 20 m a leste.

Em associação ao espessamento do pegmatito para leste, observa-se também uma mudança mineralógica, de homogênea a mais diferenciada, onde os corpos de substituição são mais comuns (Figura 3B). Neste setor ocorre zonamento com a presença de cristais gigantes de microclínio, quartzo, muscovita, e corpos de substituição de albita, zona em que aparecem as fases acessórias mais raras, incluindo amazonita abundante, localmente substituída por adularia; cristais de almandina-espessartita, monazita-(Ce), zircão, magnetita, churchita, euxenita, além de turmalina azul escura em massas anédricas irregulares (Cassedanne e Alves, 1994).

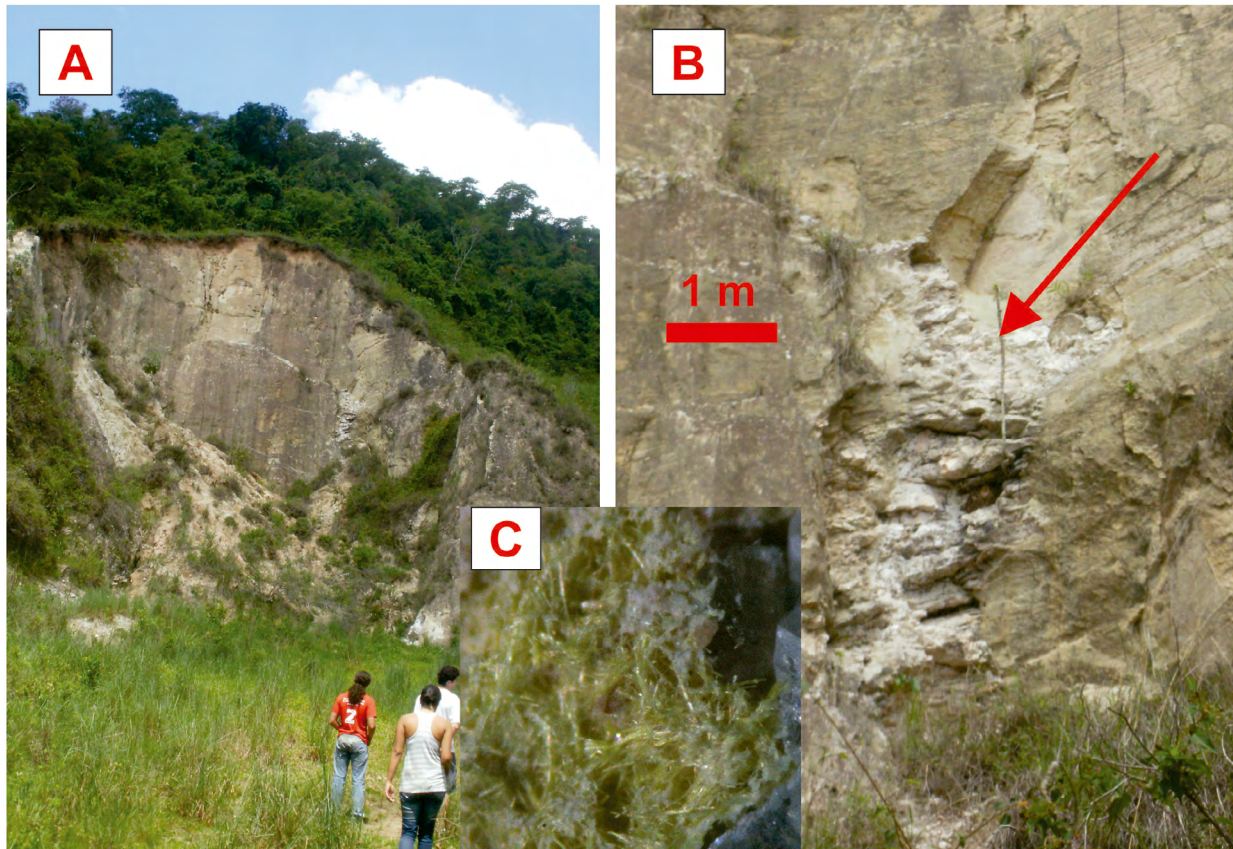
Esse pegmatito é mineralogicamente conhecido, em termos mundiais, por ter sido a localidade-tipo de dois novos minerais brasileiros, a minasgeraisita-(Y) —  $(\text{Bi,Ca})(\text{Y,L a})_2(\text{Mn})_2(\text{Be,B,Si})_4\text{Si}_4\text{O}_{16}[(\text{OH},\text{O})]_4$  (Foord et al., 1986) e a carlosbarbosaíta —  $(\text{UO}_2)_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Atencio et al., 2012). Este último mineral foi descrito contando com a participação de um dos autores do presente artigo (M. Chaves – Figura 3C), que previamente conduziu os trabalhos de campo e a coleta de zircões para as análises U-Pb ora efetuadas.

## Pegmatito Ipê

O Pegmatito Ipê está situado cerca de 16 km a NW da cidade de Governador Valadares, ao sul de São José da Safira (Figura 1), pertencendo ao distrito homônimo (coordenadas UTM 8051118E/7925056N), no afamado “Campo Pegmatítico da Golconda” (Netto et al., 1998). Desde a II Guerra Mundial tal região vem sendo minerada para berilo industrial, muscovita, feldspatos e minerais de coleção. Este pegmatito se relaciona à da granitogênese do Orógeno Araçuai, estando hospedado em micaxistos da porção distal do Grupo Macaúbas (Netto et al., 1998; Pedrosa-Soares et al., 2011). O corpo tem forma tabular (Figura 4A), direção NNE, e mais de 100 m ao longo dessa direção, com mergulhos suaves para ESE e espessura mínima de 20 m.

Apresenta estrutura zonada bem desenvolvida, com inúmeros corpos de substituição além de xenólitos da rocha encaixante (Figura 4B). Turmalinização, com cristais de schorl de até 3 cm, ocorre no xisto próximo aos contatos e no entorno dos xenólitos. A zona marginal superior possui espessura de 20 – 30 cm, composta de quartzo, biotita, muscovita e albita, enquanto a zona mural, variando em espessura de vários decímetros a poucos metros, consiste no intercrescimento de feldspato potássico perítico e quartzo formando uma textura gráfica, com cristais médios a grossos. A zona intermediária consiste de feldspato potássico perítico de granulação grossa e menor quantidade de quartzo incolor a rosado, muscovita e berilo (incluindo água-marinha).

A zona primária mais interna é representada por núcleos de quartzo maciço, compostos de quartzo rosa, leito-



Fotos: (A e B) M. L. S. C. Chaves; (C) L. A. D. Menezes Filho.

**Figura 3.** (A) Visão geral do Pegmatito Jaguaraguá, atualmente com atividades de lavra paralisadas. (B) Detalhe de um corpo de substituição (mostrado com a seta vermelha), de onde foram extraídos minerais raros e de coleção. (C) Detalhe do novo mineral, carlosbarbosita, encontrado neste mesmo pegmatito.

so e incolor. Fraturas preenchidas cortam as zonas primárias e mostram um bandamento simétrico dado por faixas alternadas de albíta e muscovita com granada. Os corpos de substituição consistem de albíta var. cleavelandita, muscovita zonada (cinza esverdeada a amarelada), água-marinha, biotita, microlita e zircão. Amostras de coleção excelentes de bertrandita, um silicato de berílio raro, também foram encontradas nesse pegmatito.

## IDADES U-Pb

### Metodologia

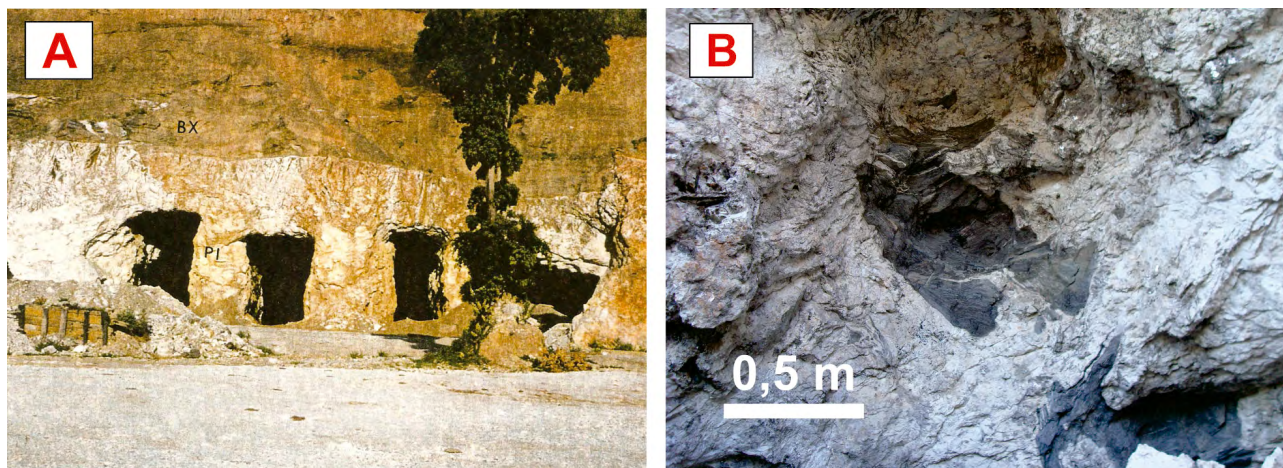
Para os estudos geocronológicos efetuados pela metodologia U-Pb (MC-LA-ICPMS), foram coletadas amostras com cerca de 5 kg cada, submetidas aos procedimentos convencionais de separação dos minerais pesados adequados a determinações U-Pb no Laboratório de Preparação de Amostras da Universidade de São Paulo (CPGeo-USP). Estes procedimentos incluíram britagem e moagem; concentração de minerais pesados em mesa vibratória; separação magnética com imã de mão; separação magnética utilizando separador eletromagnético Frantz; concentração final com utilização de líquidos densos; análise e seleção

ótica dos grãos; e confecção dos *mounts*.

O imageamento de catodoluminescência (CL) e microscopia eletrônica de varredura foi obtido através do aparelho Quanta-250-FEI, com detector de CL da Oxford Instruments Co., também no CPGeo-USP. As análises isotópicas foram executadas a partir da metodologia U-Pb em grãos detriticos de zircão utilizando o Espectrômetro de Massa (*Laser Ablation Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, LA-MC-ICPMS) Neptune da Thermo-Fisher, acoplado à Microsonda Laser (*Excimer 193 nm da Photon – Machines Inc. Modelo ATLEX SI*), pulsado com ArF - ELAM-MC-ICPMS.

A ablação dos grãos, com *spot sizes* de 30  $\mu$ , foi realizada com 80% da energia, 8 Hz de frequência e 8.6 J/cm<sup>2</sup> de fluência. O material atomizado foi carregado com um fluxo de He (0,75 l/min) somado ao Ar (0,85 l/min) e inserido no ionizador de plasma. A aquisição dos dados com o LA-MC-ICPMS – Neptune, utilizou configuração mista envolvendo coletores Faraday: <sup>206</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb, <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U e *MIC*'s: <sup>202</sup>Hg, <sup>204</sup>Hg+<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb, para as medidas simultâneas de isótopos de Hg, Pb, Th e U.

A sistemática adotada para a leitura das razões levou em conta a leitura de 50 medidas sucessivas para cada grão analisado, com a seguinte sequência: leitura



Fotos: A. C. Pedrosa-Soares

**Figura 4.** (A) Vista geral do Pegmatito Ipê em lavra nos anos 1990, mostrando sua forma tabular horizontal. (B) Detalhe de um xenólito de biotita xisto proveniente da rocha encaixante, na zona mural do corpo.

do branco após o padrão externo GJ-1, seguida de dez grãos de zircão, e ao final novamente a leitura do padrão GJ-1, seguida de novo branco. O zircão GJ-1 (35) utilizado foi o padrão de referência internacional de acordo com o GEMOC ARC National Key Center, da Austrália (Jackson et al., 2004).

O fracionamento de elementos pela indução do laser e a discriminação de massa instrumental foi corrigido com a utilização do zircão GJ-1. Erros externos foram calculados com a propagação do erro das medidas individuais do padrão GJ-1 e das medidas individuais de cada amostra de zircão (*spot*). Chemale Jr. et al. (2012) descrevem com detalhe o método utilizado para o tratamento dos dados. As razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  e os erros estimados foram obtidos neste padrão, via TIMS, e são:  $0,06014 \pm 0,000010$  (0,017%) e  $0,0975 \pm 0,00041$  (0,42%), respectivamente (Jackson et al., 2004).

Após o tratamento dos dados adquiridos e passar pela redução, tomando como referência Chemale Jr. et al. (2012), os resultados geocronológicos oriundos do LA-MC-ICPMS (Tabelas 1, 2 e 3) foram tratados utilizando o suplemento Isoplot/Ex 3.7 (Ludwig, 2008) no *software* Microsoft Excel, quando foram gerados os diagramas de concórdia e/ou das médias das idades. Nessas tabelas a discordância utilizada corresponde à divisão da média das razões  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  pela média das razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , em percentagem.

## Resultados Obtidos

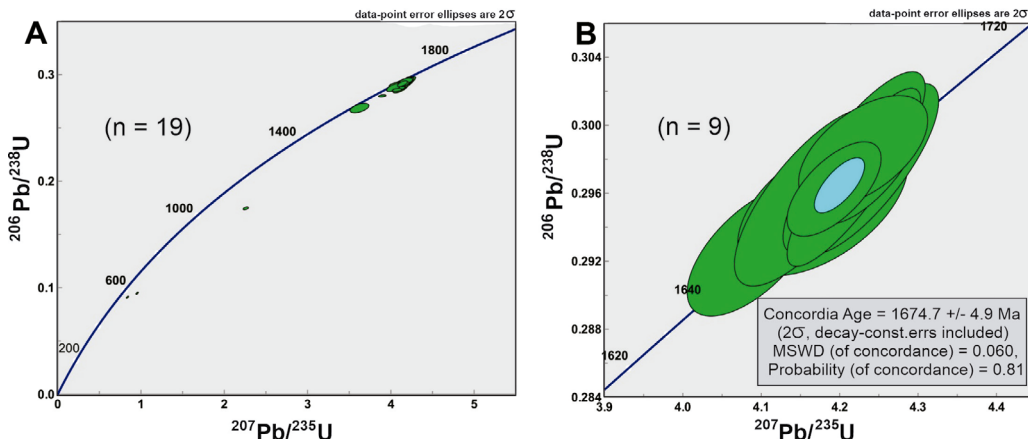
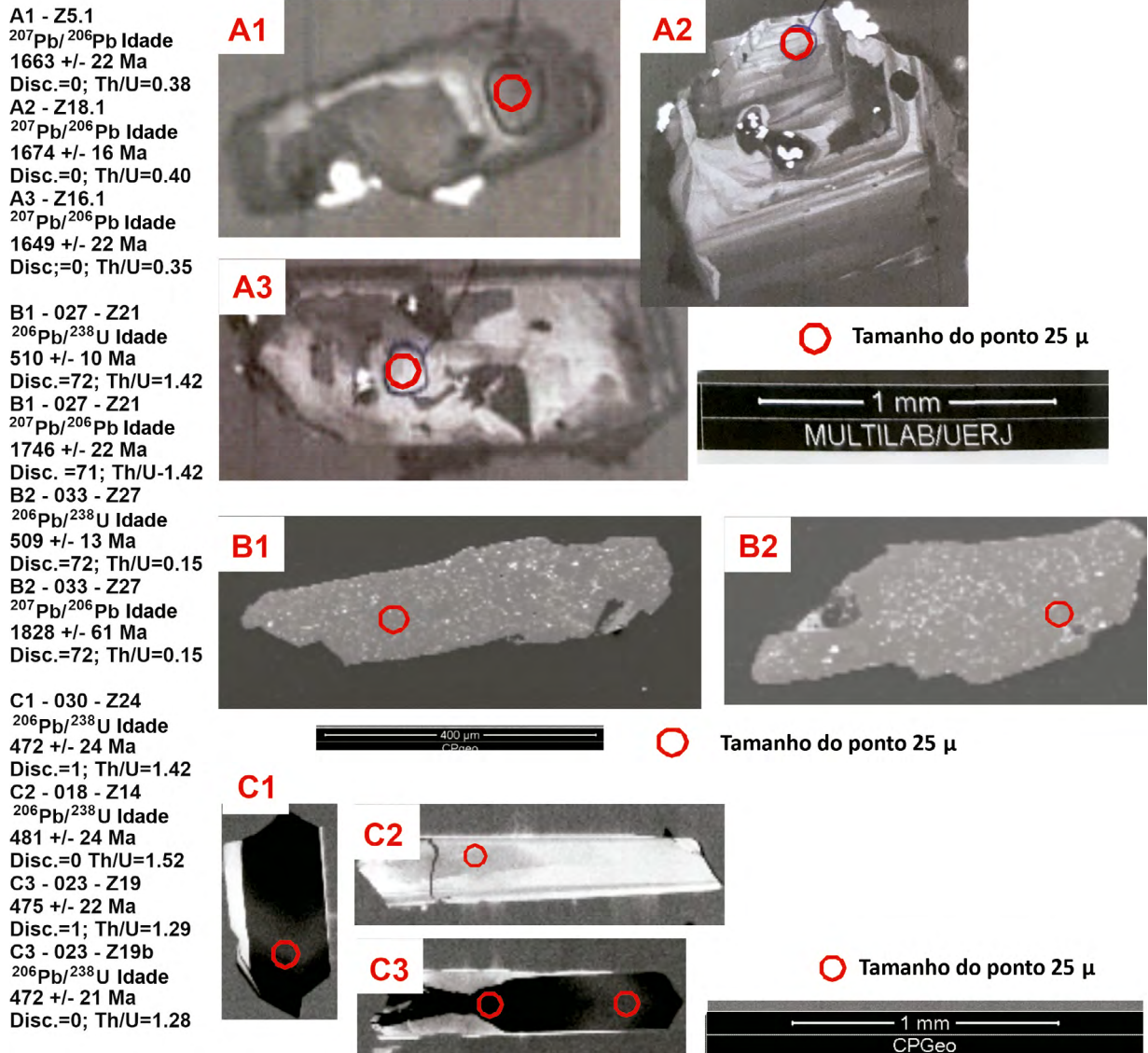
Os erros para os três corpos estudados são reportados no intervalo de confiança de 2 sigma e as imagens de catodoluminescência de zircões representativos com suas respectivas idades são apresentadas na figura 5.

Foram analisados neste corpo 20 grãos de zircão, subédricos e medindo entre 0,6 e 1,0 mm, que são mostrados no diagrama de Wetherill (Figura 6A). Embora zircões de pegmatitos possam ser herdados, os grãos ana-

lisados mostraram feições diagnósticas de magmatismo (Figura 5 – A1, A2 e A3). Os dados obtidos nas análises dos zircões do Pegmatito Ponte da Raiz são considerados consistentes. Inicialmente, três deles foram retirados na filtragem, uma vez que se dispunha de dados representativos sob o ponto de vista analítico e, dos 17 restantes, preferiu-se selecionar somente os nove grãos com idades 100% concordantes. Estes, produziram o índice de 81% de probabilidade, definindo uma idade concórdia Wetherill de  $1674,7 \pm 4,9$  Ma (Figura 6B). Tal idade constitui a primeira datada no Mesoproterozoico obtida sobre um pegmatito em toda PPOB. A relação completa dos dados adquiridos consta na tabela 1.

Em relação ao Pegmatito Jaguarauçu, os 23 zircões analisados são menores (entre 0,3 e 0,7 mm) e quase anédricos, mostrando as superfícies corroídas. Embora não tenham apresentado dados plenamente satisfatórios, devido ao grau de metamictização dos grãos (Figura 5 – B1 e B2) provavelmente devido a manifestações hidrotermais pós-orogênicas, mesmo assim são aqui discutidos pois permitiram indicar uma importante contribuição ao conhecimento geológico da pegmatogênese a nível regional. Sete dos grãos foram eliminados pelos critérios adotados para a filtragem.

Em função dos altos valores de  $^{204}\text{Pb}$  comum, apontados pela *f*-206, altas discordâncias e os erros individuais do cálculo das razões isotópicas, não se oferecem condições mínimas para o cálculo de idades através do diagrama concórdia. Assim, preferiu-se somente mostrar os diagramas com 15 zircões com suas médias de idades  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  (Tabela 2). Quanto aos teores negativos de urânio presentes, esse fato também influenciou na eliminação dos dados, no entanto não ficou esclarecida a razão de tais valores. A média de idades  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  (Figura 7) foi considerada mais confiável, em torno  $508 \pm 19$  Ma, caracterizando a idade aproximada do evento pós-tumo, que é ainda mais jovem que o metamorfismo atuante sobre a região, em  $576 \pm 7$  Ma (Jordt-Evangelista et al., 2016).



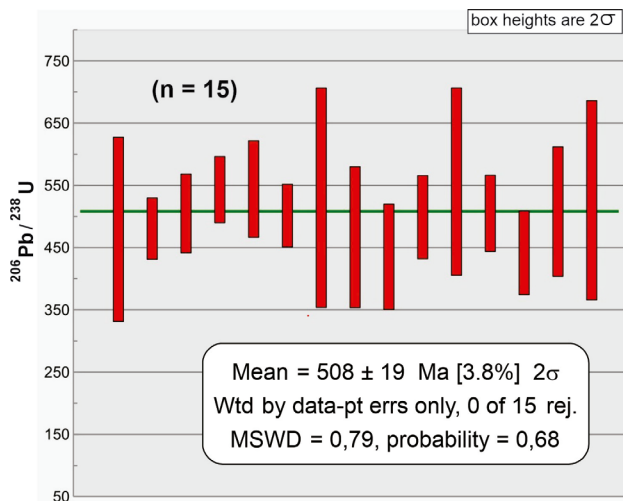
**Figura 6.** (A) Diagrama concórdia de Wetherill com todos os zircões analisados do Pegmatito Ponte da Raiz. (B) Idade concórdia obtida para os nove grãos selecionados do mesmo pegmatito (n = número de zircões).

**Tabela 1.** Zircões analisados no Pegmatito Ponte da Raiz (Santa Maria de Itabira – DPSM). Os grãos assinalados em vermelho foram retirados pelos critérios usados na redução e em amarelo os grãos com alguma discordância retirados em seguida.

| Número dos pontos | Proporções                                 |       |  |       | Idade (Ma) |         |   |       | f-206                                    |       |  | Th    |   | U     |        | Pb    |       | $\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$ |      |
|-------------------|--|-------|--|-------|------------|---------|---|-------|--|-------|--|-------|---|-------|--------|-------|-------|--|------|
|                   | $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$ | $\pm$ | $\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$ | $\pm$ | Rho 1      | $\pm$   | $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$ | $\pm$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | $\pm$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | $\pm$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | $\pm$ | % Disc | f-206 | ppm   |  | ppm  |
| 1,1               | 4,17285                                    | 1,92  | 0,29208                                    | 1,33  | 0,69       | 0,10362 | 1,38  | 1652  | 22                                       | 1669  | 32                                       | 1690  | 23  | 2     | 0,0008 | 205,8 | 360,6 | 124,8                                    | 0,57 |
| 2,1               | 0,74890                                    | 1,58  | 0,08817                                    | 1,08  | 0,68       | 0,06160 | 1,15  | 545   | 6  | 568   | 9  | 660   | 8   | 18    | 0,0008 | 20,1  | 111,4 | 30,2                                     | 0,18 |
| 3,1               | 4,18199                                    | 2,24  | 0,29538                                    | 1,20  | 0,54       | 0,10268 | 1,89  | 1668  | 20                                       | 1670  | 37                                       | 1673  | 32  | 0     | 0,0005 | 63,2  | 161,4 | 56,0                                     | 0,39 |
| 4,1               | 3,65760                                    | 2,64  | 0,27251                                    | 1,37  | 0,52       | 0,09734 | 2,25  | 1554  | 21                                       | 1562  | 41                                       | 1574  | 35  | 1     | 0,0013 | 31,6  | 74,1  | 18,5                                     | 0,43 |
| 5,1               | 4,16424                                    | 1,99  | 0,29582                                    | 1,50  | 0,75       | 0,10210 | 1,31  | 1671  | 25                                       | 1667  | 33                                       | 1663  | 22  | 0     | 0,0009 | 181,5 | 486,0 | 156,8                                    | 0,38 |
| 6,1               | 4,25301                                    | 2,09  | 0,29656                                    | 1,84  | 0,88       | 0,10401 | 1,00  | 1674  | 31                                       | 1684  | 35                                       | 1697  | 17  | 1     | 0,0009 | 94,5  | 99,2  | 37,5                                     | 0,96 |
| 7,1               | 4,24422                                    | 1,81  | 0,29755                                    | 1,44  | 0,79       | 0,10345 | 1,10  | 1679  | 24                                       | 1683  | 30                                       | 1687  | 19  | 0     | 0,0012 | 52,1  | 63,9  | 24,5                                     | 0,82 |
| 8,1               | 4,22421                                    | 1,85  | 0,29794                                    | 1,52  | 0,82       | 0,10283 | 1,06  | 1681  | 26                                       | 1679  | 31                                       | 1676  | 18  | 0     | 0,0003 | 165,3 | 313,4 | 108,6                                    | 0,53 |
| 9,1               | 4,22406                                    | 1,74  | 0,29703                                    | 1,50  | 0,86       | 0,10314 | 0,89  | 1677  | 25                                       | 1679  | 29                                       | 1681  | 15  | 0     | 0,0003 | 517,4 | 481,8 | 189,8                                    | 1,08 |
| 10,1              | 4,17726                                    | 0,98  | 0,29205                                    | 0,51  | 0,52       | 0,10374 | 0,84  | 1652  | 8  | 1670  | 16                                       | 1692  | 14  | 2     | 0,0003 | 198,3 | 272,5 | 104,6                                    | 0,73 |
| 11,1              | 4,24274                                    | 1,37  | 0,29774                                    | 0,98  | 0,71       | 0,10335 | 0,96  | 1680  | 16                                       | 1682  | 23                                       | 1685  | 16  | 0     | 0,0004 | 200,0 | 305,9 | 118,1                                    | 0,66 |
| 12,1              | 0,87055                                    | 1,46  | 0,09208                                    | 0,93  | 0,63       | 0,06857 | 1,13  | 568   | 5  | 636   | 9  | 886   | 10  | 36    | 0,0005 | 54,4  | 515,4 | 69,2                                     | 0,11 |
| 13,1              | 4,10293                                    | 1,49  | 0,29504                                    | 0,71  | 0,47       | 0,10086 | 1,31  | 1667  | 12                                       | 1655  | 25                                       | 1640  | 22  | -2    | 0,0012 | 103,7 | 181,8 | 61,4                                     | 0,57 |
| 14,1              | 4,23646                                    | 1,68  | 0,29863                                    | 0,93  | 0,55       | 0,10289 | 1,40  | 1685  | 16                                       | 1681  | 28                                       | 1677  | 23  | 0     | 0,0008 | 113,2 | 254,6 | 95,8                                     | 0,45 |
| 15,1              | 4,22065                                    | 1,12  | 0,29585                                    | 0,67  | 0,60       | 0,10347 | 0,90  | 1671  | 11                                       | 1678  | 19                                       | 1687  | 15  | 1     | 0,0006 | 224,2 | 340,2 | 129,2                                    | 0,66 |
| 16,1              | 4,08668                                    | 1,75  | 0,29251                                    | 1,11  | 0,63       | 0,10133 | 1,36  | 1654  | 18                                       | 1652  | 29                                       | 1649  | 22  | 0     | 0,0011 | 71,0  | 205,4 | 62,6                                     | 0,35 |
| 17,1              | 3,94337                                    | 1,00  | 0,28438                                    | 0,33  | 0,33       | 0,10057 | 0,94  | 1613  | 5  | 1623  | 16                                       | 1635  | 15  | 1     | 0,0004 | 120,9 | 314,9 | 104,0                                    | 0,39 |
| 18,1              | 4,19719                                    | 1,24  | 0,29631                                    | 0,80  | 0,64       | 0,10273 | 0,94  | 1673  | 13                                       | 1673  | 21                                       | 1674  | 16  | 0     | 0,0010 | 87,2  | 218,9 | 77,6                                     | 0,40 |
| 19,1              | 2,23232                                    | 1,24  | 0,17485                                    | 0,65  | 0,52       | 0,09260 | 1,06  | 1039  | 7  | 1191  | 15                                       | 1480  | 16  | 30    | 0,0068 | 727,2 | 1062  | 161,0                                    | 0,69 |
| 20,1              | 4,12690                                    | 1,15  | 0,29023                                    | 0,46  | 0,40       | 0,10313 | 1,06  | 1643  | 7  | 1660  | 19                                       | 1681  | 18  | 2     | 0,0009 | 107,8 | 173,7 | 65,3                                     | 0,63 |

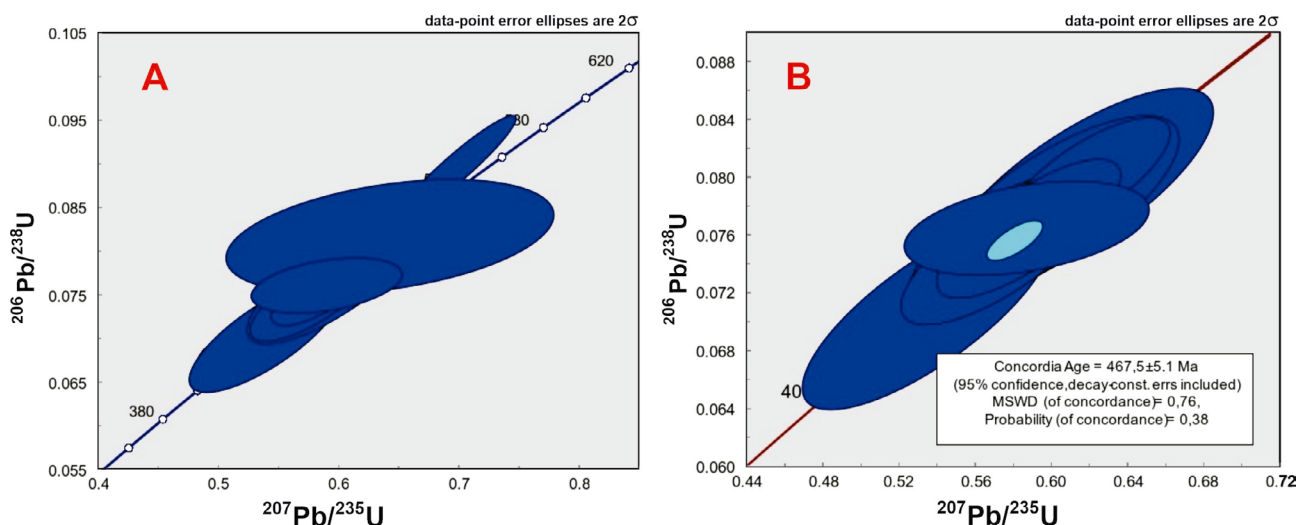
**Tabela 2.** Zircões analisados no Pegmatito Jaguaraçu (Jaguaraçu – DPSM). Os grãos assinalados em vermelho foram retirados pelos critérios usados na filtragem.

| Número dos pontos | Proporções                              |       |   |      |       |   |      |  |    |  | Idade (Ma) |   |     |        | f-206  |        | Th       |        | U     |     | Pb  |  | <sup>232</sup> Th/<br><sup>238</sup> U |
|-------------------|---|-------|---|------|-------|---|------|--|----|--|------------|---|-----|--------|--------|--------|----------|--------|-------|-----|-----|--|--|
|                   | <sup>207</sup> Pb*/<br><sup>235</sup> U | ±     | <sup>206</sup> Pb*/<br><sup>238</sup> U | ±    | Rho 1 | <sup>207</sup> Pb*/<br><sup>206</sup> Pb* | ±    | <sup>206</sup> Pb/<br><sup>238</sup> U | ±  | <sup>207</sup> Pb/<br><sup>235</sup> U | ±          | <sup>207</sup> Pb/<br><sup>206</sup> Pb | ±   | % Disc | f-206  | ppm    | ppm      | ppm    | ppm   | ppm | ppm |  |  |
| 03-Z1             | 0,86647                                 | 8,91  | 0,07874                                 | 6,32 | 0,71  | 0,07981                                   | 6,28 | 489                                    | 31 | 634                                    | 56         | 1192                                    | 75  | 59     | 0,0556 | 15,0   | 279,7    | 43,9   | 0,05  |     |     |  |  |
| 04-Z2             | 0,90281                                 | 3,73  | 0,07882                                 | 2,10 | 0,56  | 0,08307                                   | 3,09 | 489                                    | 10 | 653                                    | 24         | 1271                                    | 39  | 62     | 0,0585 | 250,7  | 4408,0   | 795,2  | 0,06  |     |     |  |  |
| 06-Z4             | 0,95918                                 | 4,78  | 0,08315                                 | 2,44 | 0,51  | 0,08703                                   | 4,11 | 515                                    | 13 | 683                                    | 33         | 1285                                    | 53  | 60     | 0,0388 | 201,5  | 6903,4   | 1072,2 | 0,03  |     |     |  |  |
| 09-Z7             | 1,07474                                 | 2,10  | 0,08956                                 | 1,77 | 0,85  | 0,09609                                   | 1,12 | 553                                    | 10 | 741                                    | 16         | 1361                                    | 15  | 59     | 0,0352 | 517,1  | 1365,9   | 257,0  | 0,38  |     |     |  |  |
| 10-Z8             | 1,18861                                 | 3,48  | 0,08972                                 | 2,58 | 0,74  | 0,07028                                   | 2,34 | 554                                    | 14 | 795                                    | 28         | 1549                                    | 36  | 64     | 0,0442 | 583,6  | 1361,5   | 254,3  | 0,43  |     |     |  |  |
| 15-Z11            | 0,83097                                 | 1,83  | 0,08575                                 | 1,55 | 0,84  | 0,06654                                   | 0,98 | 530                                    | 8  | 614                                    | 11         | 937                                     | 9   | 43     | 0,0122 | 1915,2 | -1436,5  | 468,9  | -0,13 |     |     |  |  |
| 18-Z14            | 0,74175                                 | 2,71  | 0,08085                                 | 1,71 | 0,63  | 0,10335                                   | 2,10 | 501                                    | 9  | 563                                    | 15         | 823                                     | 17  | 39     | 0,0363 | 3231,3 | -12002,7 | 602,6  | -0,27 |     |     |  |  |
| 19-Z15            | 1,22777                                 | 4,07  | 0,08616                                 | 2,38 | 0,59  | 0,05872                                   | 3,30 | 533                                    | 13 | 813                                    | 33         | 1685                                    | 56  | 68     | 0,0423 | 7017,6 | -14113,9 | 669,6  | -0,50 |     |     |  |  |
| 20-Z16            | 0,64106                                 | 2,08  | 0,07917                                 | 1,70 | 0,82  | 0,09729                                   | 1,19 | 491                                    | 8  | 503                                    | 10         | 557                                     | 7   | 12     | 0,0035 | 150,7  | -6357,5  | 201,2  | -0,02 |     |     |  |  |
| 22-018            | 1,01282                                 | 10,58 | 0,07550                                 | 3,64 | 0,34  | 0,14888                                   | 9,94 | 469                                    | 17 | 710                                    | 75         | 1573                                    | 156 | 70     | 0,0401 | 1782,8 | -4383,6  | 188,0  | -0,38 |     |     |  |  |
| 23-Z19            | 1,70536                                 | 5,98  | 0,08308                                 | 3,67 | 0,61  | 0,13487                                   | 4,73 | 514                                    | 19 | 1011                                   | 60         | 2333                                    | 110 | 78     | 0,0871 | 6609,1 | -8457,3  | 511,0  | -0,82 |     |     |  |  |
| 24-Z20            | 1,65275                                 | 5,61  | 0,08888                                 | 3,34 | 0,60  | 0,10686                                   | 4,50 | 549                                    | 18 | 991                                    | 56         | 2161                                    | 97  | 75     | 0,0710 | 3412,7 | -10933,2 | 551,6  | -0,31 |     |     |  |  |
| 27-Z21            | 1,21419                                 | 3,21  | 0,08241                                 | 1,96 | 0,61  | 0,08779                                   | 2,54 | 510                                    | 10 | 807                                    | 26         | 1747                                    | 44  | 71     | 0,0439 | 806,8  | 1139,1   | 190,6  | 0,71  |     |     |  |  |
| 29-Z23            | 1,05843                                 | 11,22 | 0,08744                                 | 6,16 | 0,55  | 0,08483                                   | 9,37 | 540                                    | 33 | 733                                    | 82         | 1378                                    | 129 | 61     | 0,0338 | 882,5  | 2949,5   | 429,9  | 0,30  |     |     |  |  |
| 30-Z24            | 0,89587                                 | 7,03  | 0,07659                                 | 5,11 | 0,73  | 0,1980                                    | 4,83 | 476                                    | 24 | 650                                    | 46         | 1312                                    | 63  | 64     | 0,0316 | 1545,3 | 37127,0  | 451,5  | 0,42  |     |     |  |  |
| 32-Z26            | 1,07695                                 | 8,28  | 0,07114                                 | 4,40 | 0,53  | 0,10980                                   | 7,01 | 443                                    | 19 | 742                                    | 61         | 1796                                    | 126 | 75     | 0,0487 | 613,7  | 3749,0   | 479,2  | 0,16  |     |     |  |  |
| 33-Z27            | 1,26544                                 | 13,69 | 0,08213                                 | 2,63 | 0,19  | 0,11175                                   | 13,4 | 509                                    | 13 | 830                                    | 114        | 1828                                    | 246 | 72     | 0,0540 | 316,9  | 4149,3   | 547,5  | 0,08  |     |     |  |  |
| 39-Z31            | 1,75142                                 | 12,43 | 0,07529                                 | 8,33 | 0,67  | 0,16870                                   | 9,23 | 468                                    | 39 | 1028                                   | 128        | 2545                                    | 235 | 82     | 0,0945 | 565,2  | 5129,1   | 745,2  | 0,11  |     |     |  |  |
| 40-Z32            | 1,67459                                 | 8,57  | 0,09192                                 | 4,78 | 0,56  | 0,13213                                   | 7,11 | 567                                    | 27 | 999                                    | 86         | 2126                                    | 151 | 73     | 0,0733 | 7383,1 | 3456,7   | 626,3  | 2,15  |     |     |  |  |
| 44-Z36            | 0,87710                                 | 5,51  | 0,08316                                 | 2,36 | 0,43  | 0,07475                                   | 4,98 | 515                                    | 12 | 629                                    | 35         | 1062                                    | 53  | 51     | 0,0314 | 2852,0 | 2577,4   | 287,4  | 1,11  |     |     |  |  |
| 46-Z38            | 1,31195                                 | 8,27  | 0,07236                                 | 3,39 | 0,41  | 0,13149                                   | 7,54 | 450                                    | 15 | 851                                    | 70         | 2118                                    | 160 | 79     | 0,0718 | 839,1  | 5995,6   | 878,6  | 0,14  |     |     |  |  |
| 47-Z39            | 1,36174                                 | 9,39  | 0,08364                                 | 3,95 | 0,42  | 0,11808                                   | 8,51 | 518                                    | 20 | 873                                    | 82         | 1927                                    | 164 | 73     | 0,0606 | 1862,5 | 3933,2   | 646,5  | 0,48  |     |     |  |  |
| 48-Z40            | 1,69358                                 | 16,39 | 0,08675                                 | 5,68 | 0,35  | 0,14159                                   | 15,2 | 537                                    | 30 | 1006                                   | 163        | 2247                                    | 341 | 76     | 0,0820 | 327,9  | 3128,9   | 416,1  | 0,11  |     |     |  |  |



**Figura 7.** Média das idades mais jovens  $^{206}\text{Pb}$ - $^{238}\text{U}$  obtidas para os 15 grãos selecionados do Pegmatito Jaguarapu ( $n$  = número de zircões).

Para o Pegmatito Ipê (DPSJ), as idades dos 14 grãos selecionados são representativas e características para a pegmatogênese regional, conforme discussões em Pedrosa-Soares et al. (2001, 2011). Foram analisados 28 grãos com 30 *spots* (Figura 8A), que são euédricos e mais compridos no eixo “c”, variando entre 0,8 e 1,4 mm (Figura 5 – C1, C2 e C3). Inicialmente nove destes grãos foram eliminados pelos critérios adotados na filtragem e, numa segunda etapa, visando a seleção de dados ainda mais consistentes, foram também eliminadas as discordâncias maiores que 3%. Tais procedimentos permitiram a obtenção de uma idade concórdia excelente, que é apresentada no diagrama de Wetherill em  $467,5 \pm 5,1$  Ma (Figura 8B). Assim, mesmo se considerando a taxa de erro, corresponde a uma idade inteiramente associada ao Ordoviciano. A relação completa dos dados adquiridos consta na tabela 3.



**Figura 8.** (A) Diagrama concórdia de Wetherill com todos os zircões selecionados do Pegmatito Ipê. (B) Idade concórdia obtida para os zircões do mesmo pegmatito ( $n$  = número de zircões).

## Idades obtidas e relações com a pegmatogênese regional

A associação espacial dos depósitos pegmatíticos mineralizados com as intrusões de granitos do tipo Borrachudos (~1,7 Ga) no DPSM é incontestada e já ressaltada por muitos autores (e.g. Souza, 1990; Marciano et al., 1993; Marciano, 1995; Guimarães et al., 1996; Chemale Jr. et al., 1997; Silva, 2002). A raridade ou mesmo inexistência de intrusões graníticas geradas durante o desenvolvimento do Orógeno Araçuai nessa região faz com que tal relacionamento seja reforçado em termos geológicos.

As idades U-Pb LA-ICPMS em zircão obtidas confirmam geocronologicamente uma proximidade também temporal no Pegmatito Ponte da Raiz ( $1677 \pm 5$  Ma) e, embora com uma forte limitação quanto à precisão, no Pegmatito Jaguarapu ( $1835 \pm 280$  Ma ou  $1947 \pm 420$  Ma), ainda afetado pelo evento que alterou os zircões em *ca.* de 500 Ma. As idades mais antigas são as primeiras mesoproterozoicas obtidas para pegmatitos de toda PPOB.

A idade U-Pb do Pegmatito Ipê ( $467 \pm 5$  Ma) situado no DPSJ, de outro modo, é plenamente concordante com as inúmeras idades determinadas para granitos pós-colisionais na evolução do orógeno, pertencentes às supersuítas graníticas G4 e G5 (e.g. Sá, 1977; Correia-Neves et al., 1986; Pedrosa-Soares et al., 2001, 2011; Costa, 2018). Esse e outros pegmatitos da região são litíferos e ricos em turmalinas coloridas (elbaítas), além de minerais de lítio. As três maiores minas de turmalinas gemológicas e de peças de coleção do país na atualidade situam-se nesse distrito: Cruzeiro, Pederneira e Aricanga.

De outro modo, granitos anorogênicos ocorrem normalmente relacionados a zonas de rifteamento ou soerguimentos regionais (Stel et al., 1993; Rogers e Satterfield, 1994), ficando assim evidenciada a ocorrência de duas gerações de pegmatitos. A mais antiga, associada ao evento

**Tabela 3.** Zircões analisados no Pegmatito Ipê (Governador Valadares – DPSU). Os grãos assinalados em vermelho foram retirados pelos critérios usados na filtragem e em amarelo os grãos com discordâncias maiores que 3%, com <sup>204</sup>Pb comum maior que 0,5%, e erros individuais no cálculo das razões abaixo de 9.

| Número dos pontos | Proportões                              |   |         |       |   |         |  |      |  |      | Idade (Ma)                              |      |        | f-206 |        |       | Th   |      | U     |     | Pb |  | <sup>232</sup> Th/<br><sup>238</sup> U |
|-------------------|---|---|---------|-------|---|---------|--|------|--|------|---|------|--------|-------|--------|-------|------|------|-------|-----|----|--|--|
|                   | <sup>207</sup> Pb*/<br><sup>235</sup> U | <sup>206</sup> Pb*/<br><sup>238</sup> U | ±       | Rho 1 | <sup>207</sup> Pb*/<br><sup>206</sup> Pb* | ±       | <sup>206</sup> Pb/<br><sup>238</sup> U | ±    | <sup>207</sup> Pb/<br><sup>235</sup> U | ±    | <sup>207</sup> Pb/<br><sup>206</sup> Pb | ±    | % Disc | ppm   | ppm    | ppm   | ppm  | ppm  | ppm   | ppm |    |  |  |
| 03-Z1             | 0,60896                                 | 4,81                                    | 0,07736 | 3,93  | 0,82                                      | 0,05709 | 2,77                                   | 480  | 19                                     | 483  | 23                                      | 495  | 14     | 3     | 0,0036 | 115,5 | 46,3 | 8,0  | 2,51  |     |    |  |  |
| 04-Z2             | 0,61586                                 | 4,77                                    | 0,07792 | 2,66  | 0,66                                      | 0,05732 | 3,96                                   | 484  | 13                                     | 487  | 23                                      | 504  | 20     | 4     | 0,0038 | 617,3 | 56,2 | 20,9 | 11,06 |     |    |  |  |
| 05-Z3             | 0,66507                                 | 4,34                                    | 0,07495 | 3,21  | 0,74                                      | 0,06436 | 2,92                                   | 466  | 15                                     | 518  | 22                                      | 753  | 22     | 38    | 0,0056 | 245,8 | 58,8 | 13,0 | 4,21  |     |    |  |  |
| 06-Z4             | 0,59619                                 | 5,60                                    | 0,07637 | 4,85  | 0,85                                      | 0,05662 | 2,98                                   | 474  | 23                                     | 475  | 27                                      | 477  | 14     | 1     | 0,0031 | 148,3 | 45,5 | 8,6  | 3,28  |     |    |  |  |
| 07-Z5             | 0,55520                                 | 4,57                                    | 0,07143 | 2,73  | 0,60                                      | 0,05638 | 3,67                                   | 445  | 12                                     | 448  | 21                                      | 467  | 17     | 5     | 0,0022 | 101,9 | 34,7 | 6,0  | 2,95  |     |    |  |  |
| 08-Z6             | 0,73345                                 | 17,50                                   | 0,08273 | 13,24 | 0,76                                      | 0,06605 | 11,44                                  | 512  | 68                                     | 570  | 100                                     | 808  | 92     | 37    | 0,0238 | 161,3 | 15,2 | 6,2  | 10,71 |     |    |  |  |
| 09-Z7             | 0,70200                                 | 5,83                                    | 0,08961 | 5,99  | 0,44                                      | 0,05681 | 1,96                                   | 553  | 30                                     | 540  | 31                                      | 484  | 10     | -14   | 0,0139 | 104,0 | 32,3 | 7,1  | 3,25  |     |    |  |  |
| 10-Z8             | 0,56481                                 | 5,58                                    | 0,07260 | 4,02  | 0,72                                      | 0,05642 | 3,87                                   | 452  | 18                                     | 455  | 25                                      | 469  | 18     | 4     | 0,0015 | 82,8  | 25,0 | 5,0  | 3,33  |     |    |  |  |
| 11-Z9             | 0,56494                                 | 7,10                                    | 0,07224 | 6,15  | 0,87                                      | 0,05672 | 3,56                                   | 450  | 28                                     | 455  | 32                                      | 481  | 17     | 6     | 0,0045 | 96,2  | 28,8 | 5,4  | 3,36  |     |    |  |  |
| 12-Z10            | 0,53627                                 | 5,87                                    | 0,07002 | 3,91  | 0,65                                      | 0,05555 | 4,51                                   | 436  | 17                                     | 436  | 26                                      | 434  | 20     | 0     | 0,0039 | 207,0 | 46,5 | 11,6 | 4,48  |     |    |  |  |
| 15-Z11            | 0,54104                                 | 9,80                                    | 0,07027 | 7,58  | 0,77                                      | 0,05585 | 6,21                                   | 438  | 33                                     | 439  | 43                                      | 446  | 28     | 2     | 0,0016 | 110,3 | 31,3 | 5,6  | 3,55  |     |    |  |  |
| 16-Z12            | 0,61980                                 | 9,20                                    | 0,07887 | 6,92  | 0,95                                      | 0,05700 | 6,06                                   | 489  | 34                                     | 490  | 45                                      | 491  | 30     | 0     | 0,0074 | 86,6  | 30,3 | 5,2  | 2,95  |     |    |  |  |
| 17-Z13            | 0,60719                                 | 8,72                                    | 0,07754 | 6,43  | 0,74                                      | 0,05679 | 5,89                                   | 481  | 31                                     | 482  | 42                                      | 484  | 28     | 0     | 0,0016 | 96,7  | 39,0 | 6,0  | 2,49  |     |    |  |  |
| 18-Z14            | 0,58122                                 | 7,08                                    | 0,07487 | 5,08  | 0,72                                      | 0,05630 | 4,93                                   | 465  | 24                                     | 465  | 33                                      | 464  | 23     | 0     | 0,0021 | 107,4 | 35,4 | 6,1  | 3,06  |     |    |  |  |
| 19-Z15            | 10,3423                                 | 56,27                                   | 0,37220 | 55,91 | 0,99                                      | 0,20153 | 7,93                                   | 2040 | 1136                                   | 2466 | 1388                                    | 2839 | 266    | 28    | 0,2565 | 0,0   | -0,1 | 0,8  | 0,24  |     |    |  |  |
| 20-Z16            | 9,35840                                 | 51,78                                   | 0,40395 | 46,00 | 0,89                                      | 0,16903 | 23,73                                  | 2187 | 26                                     | 2374 | 1229                                    | 2538 | 603    | 14    | 0,4570 | 0,1   | 0,3  | 1,5  | 0,51  |     |    |  |  |
| 21-Z17            | 0,58728                                 | 7,41                                    | 0,07550 | 4,94  | 0,67                                      | 0,05642 | 5,53                                   | 469  | 23                                     | 469  | 35                                      | 469  | 26     | 0     | 0,0099 | 92,7  | 28,1 | 4,9  | 3,33  |     |    |  |  |
| 22-Z18a           | 0,60125                                 | 10,29                                   | 0,07697 | 8,11  | 0,79                                      | 0,05665 | 6,34                                   | 478  | 39                                     | 478  | 49                                      | 478  | 30     | 0     | 0,0069 | 93,2  | 26,8 | 4,9  | 3,51  |     |    |  |  |
| 23-Z19b           | 0,59184                                 | 6,02                                    | 0,07593 | 4,49  | 0,75                                      | 0,05653 | 4,01                                   | 472  | 21                                     | 472  | 28                                      | 473  | 19     | 0     | 0,0016 | 101,2 | 39,5 | 5,9  | 2,58  |     |    |  |  |
| 23-Z19            | 0,59770                                 | 6,28                                    | 0,07653 | 4,55  | 0,72                                      | 0,05665 | 4,33                                   | 475  | 22                                     | 476  | 30                                      | 478  | 21     | 1     | 0,0015 | 96,3  | 37,3 | 6,2  | 2,61  |     |    |  |  |
| 24-Z20a           | 0,59950                                 | 7,30                                    | 0,07452 | 5,46  | 0,75                                      | 0,05640 | 4,85                                   | 463  | 25                                     | 464  | 34                                      | 468  | 23     | 1     | 0,0014 | 104,0 | 36,7 | 6,0  | 2,85  |     |    |  |  |
| 24-Z20b           | 0,59860                                 | 5,37                                    | 0,07674 | 3,82  | 0,71                                      | 0,05657 | 3,78                                   | 477  | 18                                     | 476  | 26                                      | 475  | 18     | 0     | 0,0031 | 100,6 | 35,8 | 6,4  | 2,83  |     |    |  |  |
| 27-Z21            | 0,59778                                 | 5,96                                    | 0,07646 | 4,49  | 0,75                                      | 0,05670 | 3,92                                   | 475  | 21                                     | 476  | 28                                      | 480  | 19     | 1     | 0,0026 | 118,1 | 43,1 | 7,4  | 2,76  |     |    |  |  |
| 28-Z22            | 0,62484                                 | 5,60                                    | 0,07943 | 4,17  | 0,74                                      | 0,05705 | 3,74                                   | 493  | 21                                     | 493  | 28                                      | 493  | 18     | 0     | 0,0021 | 164,0 | 52,1 | 10,0 | 3,17  |     |    |  |  |
| 29-Z23            | 0,59318                                 | 5,90                                    | 0,07616 | 4,59  | 0,78                                      | 0,05649 | 3,72                                   | 473  | 22                                     | 473  | 28                                      | 472  | 18     | 0     | 0,0049 | 121,8 | 47,6 | 8,0  | 2,58  |     |    |  |  |
| 30-Z24            | 0,59355                                 | 6,57                                    | 0,07602 | 5,04  | 0,77                                      | 0,05662 | 4,21                                   | 472  | 24                                     | 473  | 31                                      | 477  | 20     | 1     | 0,0021 | 114,6 | 40,4 | 6,9  | 2,86  |     |    |  |  |
| 31-Z25            | 0,49846                                 | 15,10                                   | 0,05812 | 12,34 | 0,82                                      | 0,06221 | 8,70                                   | 364  | 45                                     | 411  | 62                                      | 681  | 59     | 47    | 0,0403 | 50,8  | 18,0 | 3,5  | 2,85  |     |    |  |  |
| 32-Z26            | 0,64633                                 | 17,53                                   | 0,08169 | 6,59  | 0,38                                      | 0,05739 | 16,24                                  | 506  | 33                                     | 506  | 89                                      | 506  | 82     | 0     | 0,0018 | 95,6  | 27,8 | 5,4  | 3,47  |     |    |  |  |
| 33-Z27            | 0,72761                                 | 5,65                                    | 0,07396 | 5,45  | 0,97                                      | 0,07223 | 1,47                                   | 455  | 25                                     | 555  | 31                                      | 992  | 15     | 54    | 0,0277 | 104,9 | 44,7 | 7,8  | 2,37  |     |    |  |  |
| 34-Z28            | 0,59270                                 | 8,79                                    | 0,07600 | 3,42  | 0,49                                      | 0,05656 | 8,10                                   | 472  | 16                                     | 473  | 42                                      | 474  | 38     | 0     | 0,0047 | 202,6 | 30,8 | 8,6  | 6,63  |     |    |  |  |

extensional do Rifte Espinhaço foi desenvolvido no Estateriano (Dussin, I.A., 1994; Chemale Jr. et al., 1997). No entanto, os pegmatitos regionalmente mais abundantes são ligados aos estágios tardi- a pós-orogênicos da Faixa Araçuai. Esses pegmatitos, bem estudados nos distritos de São José da Safira, Conselheiro Pena e Araçuai, são do tipo, ou “família” LCT (*lithium-cesium-tantalum*), conforme a classificação proposta em Cerný (1991) e London (2008).

Conforme a mesma classificação, os pegmatitos originados da Suíte Borrachudos são do tipo NYF (*niobium-yttrium-fluorine*), caracterizados por serem ricos em topázio, amazonita e fluorita. Granitos anorogênicos produzem tipicamente pegmatitos residuais preferencialmente encaixados no interior dos granitos fonte, como no DPSM. Por outro lado, os pegmatitos NYF, em contraste com os LCT, são pobres em lítio (sem minerais associados na região enfocada) e boro (com pouca ou nenhuma turmalina), além de conterem ainda fases ricas em bismuto e ETRs, o que foi verificado nos corpos Ponte da Raiz e Jaguarauçu, com minerais de ítrio e nióbio (Cassedanne e Alves, 1994; Cassedanne et al., 1995), e onde também foram descritos os novos minerais desses elementos, minasgeraisita-(Y) e carlosbarbosaíta (Foord et al., 1986; Atencio et al., 2012).

Em suma, granitos anorogênicos, especialmente aqueles associados a ambiente de rifte continental, por serem granitos do tipo-A, de assinatura ferroana (i.e., mais ricos em ferro do que em magnésio), são relativamente pobres em fluidos aquosos, embora enriquecidos em flúor e ferro (Eby, 1990), originando pegmatitos residuais do tipo NYF. Estes últimos são mineralizados em amazonita e variedades verdes de berilo (cujo cromóforo é o ferro, em ambos os casos), fluorita e/ou columbita, os quais geralmente formam populações relativamente menos numerosas do que aquelas de pegmatitos LCT, associadas a granitos orogênicos (cf. Cerný, 1991; Cerný and Ercit, 2005; Cerný et al., 2005, 2012; London, 2008), como acontece no DPSM (Netto et al., 1998).

A existência dos pegmatitos NYF associados a granitos anorogênicos não tem sido bem discutida na literatura e precisa ser melhor caracterizada (cf. Cerný, 1991; London, 2008). Outro tema digno de discussões é o fato dos granitos estaterianos do tipo-Borrachudos, como anorogênicos, estarem deformados e/ou foliados. Existe a argumentação de que isso poderia ter relação com a atuação mais severa do Ciclo Brasileiro ao sul da PPOB, nas proximidades do Quadrilátero Ferrífero (Chemale Jr. et al., 1997). No entanto, se tal fato é correto, os pegmatitos derivados deveriam também estar deformados, o que não se observou no presente estudo ou outros trabalhos detalhados a respeito (Cassedanne e Alves, 1994; Cassedanne et al., 1995).

## CONCLUSÕES

O DPSM certamente constituía, no âmbito da PPOB, o menos estudado dos distritos em termos geológicos e geocronológicos. O maior número das pesquisas foi direta-

mente focado nos depósitos hidrotermais de esmeralda e alexandrita, pouco contribuindo para o entendimento dos processos de formação dos depósitos pegmatíticos. Os dados obtidos com a geocronologia U-Pb em zircão permitiram definir duas idades distintas de geração de pegmatitos no âmbito da província, as mais antigas (~1,68 Ga) muito anteriores às até então preconcebidas, e comprovam uma ligação geológica direta com a granitogênese Borrachudos, de idade estateriana (~1,7 Ga).

Foi demonstrado que os pegmatitos do DPSM apresentam mineralogia da família NYF (de acordo com Cerný, 1991; London, 2001), os quais são extremamente ricos em berílio, de modo diferente dos pegmatitos do tipo LCT. Estes ocorrem na maior parte da província, onde os granitos fonte dos fluidos residuais são relacionados à geração de magmas sin- (G2) ou pós-tectônicos (G4 e G5) na evolução do Orógeno Araçuai durante o Ciclo Brasileiro. A idade do Pegmatito Ipê (467 Ma), inclusive, vem confirmar que tal orogenia Araçuai esteve ainda ativa até o Ordoviciano.

A questão principal ainda a ser plenamente discutida diz respeito aos conceitos metalogenéticos sobre uma província mineral (e.g. Petraschek, 1965; Guild, 1983). Nesses termos, com a confirmação dos dados ora obtidos, o DPSM deve permanecer no âmbito da PPOB? Como tal distrito possui uma delimitação geográfica particular, e um contexto genético peculiar e de idade diferente, sobre essa visão ele deveria constituir uma unidade independente. Contudo, como o Ciclo Brasileiro, ou seja, a evolução do orógeno certamente afetou tais depósitos, conforme aqui demonstrado nas análises do Pegmatito Jaguarauçu, as quais provavelmente detectaram a última “abertura” do sistema, tal vinculação poderia ser mantida.

## REFERÊNCIAS

- Atencio, D., Roberts, A. C., Menezes Filho, L. A. D., Coutinho, J. M. V., Stirling, J. A. R., Venance, K. E., Ball, N. A., Chaves, M. L. S. C., Brandão, P. R. G., Romano, A. W. (2012). Carlosbarbosaite, ideally  $(\text{UO}_2)_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , a new hydrated uranyl niobate mineral with tunnels from Jaguarauçu, Minas Gerais, Brazil: description and crystal structure. *Mineralogical Magazine*, 76(1), 75-90. <https://doi.org/10.1180/minmag.2012.076.1.75>
- Cassedanne, J. P., Alves, J. N. (1994). The Jaguarauçu Pegmatite, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Record*, 25(2), 165-170.
- Cassedanne, J. P., Cassedanne, J. O., Alves, J. N., Carvalho, H. F. (1995). Le pegmatite à aigue-marine de Ponte da Raiz et a paragênese Bi-Pb-(As) (município de Santa Maria de Itabira - Minas Gerais). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67(2), 183-197.
- Černý, P. (1991). Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies? *Precambrian Research*, 51(1-4), 429-468.

- Cerný, P., Ercit, T. S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist*, 43(6), 2005-2026. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.43.6.2005>
- Černý, P., Blevin, P. L., Cuney, M., London, D. (2005). Granite-related ore deposits. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 337-370.
- Cerný, P., London, D., Novác, M. (2012). Granitic pegmatites as reflections of their sources. *Elements*, 8(4), 289-294. <https://doi.org/10.2113/gselements.8.4.289>
- Chemale Jr., F., Quade, H., Van Schumus, W. R. (1997). Petrography, geochemistry and geochronology of the Borrachudos and Santa Bárbara metagranites, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I*, H3-6, 739-750.
- Chemale Jr., F., Kawashita, K., Dossin, I. A., Ávila, J. N., Justino, D., Bertotti, A. L. (2012). U-Pb zircon in situ dating with LA-MC-ICP-MS using a mixed detector configuration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(2), 275-295. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000032>
- Cordani, U. G., Delhal, J., Ledent, D. (1973). Orogenèses superposées dans le Précambrien du Brésil Sud-Oriental (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geociências*, 3(1), 1-22.
- Cornejo, C., Bartorelli, A. (2010). *Minerais e Pedras Preciosas do Brasil*. São Paulo: Solaris Edições Culturais.
- Correia-Neves, J. M., Pedrosa-Soares, A. C., Marciano, V. R. (1986). A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(1), 106-118. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1986106118>
- Costa, F. C. (2018). *Geoquímica e geocronologia U-Pb em monazita dos pegmatitos do sul do Espírito Santo. Ouro Preto*. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Escola de Minas – UFOP. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10654>. Acesso em: 16 ago 2024.
- Delhal, J., Ledent, D., Cordani, U. G. (1969). Ages Pb/U, Sr/Rb et Ar/K de formations métamorphiques et granitiques du sud-est du Brésil (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 92, 271-283. Disponível em: <https://popups.uliege.be/0037-9395/index.php?id=6742>. Acesso em: 16 ago 2024.
- Dirac, F. M., Ebert, H. (1967). Isotopic ages from the pegmatite provinces of Eastern Brazil. *Nature*, 215, 948-949. <https://doi.org/10.1038/215948a0>
- Dussin, I. A. (1994). *Evolution structurale de la region de l'Espinhaço Meridional, bordure-sud-est du Craton São Francisco, Brésil: tectoniques superposées au proterozoïque*. Thèse (Doctorad). Orléans: Université d'Orléans. Disponível em: <https://www.theses.fr/1994ORLE2053>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- Dussin, T. M. (1994). *Associations volcano-plutoniques de l'Espinhaço Meridional (SE-Brésil): um exemplo d'evolução de la croûte Protérozoïque*. Thèse (Doctorad). Orléans: Université d'Orléans. Disponível em: <https://www.theses.fr/1994ORLE2040#>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- Eby, G. N. (1990). The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 26(1), 115-134. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(90\)90043-Z](https://doi.org/10.1016/0024-4937(90)90043-Z)
- Foord, E., Gaines, R. V., Crock, J. G., Simmons Jr., W. B., Barbosa, C. P. (1986). Minasgeraisite, a new member of the gadolinite group from Minas Gerais, Brazil. *American Mineralogist*, 71(6), 603-607. Disponível em: [http://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-pdf/71/3-4/603/4212754/am71\\_603.pdf](http://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-pdf/71/3-4/603/4212754/am71_603.pdf). Acesso em: 16 ago 2024.
- Gandini, A. L., Achtschin, A. B., Marciano, V. R., Bello, R. F., Pedrosa-Soares, A. C. (2001). Berilo. In: C. Castañeda; J. E. Addad, A. Liccardo (Eds.). *Gemas de Minas Gerais*, 100-127. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Minas Gerais.
- Guild, P. W. (1983). Tectonics and metallogenic provinces. *Advances in Space Research*, 3(2), 9-16. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(83\)90096-0](https://doi.org/10.1016/0273-1177(83)90096-0)
- Guimarães, M. L. V., Mourão, M. A., Grossi-Sad, J. H. (1996). *Mapa Geológico da Folha Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais*. 1:100.000. Belo Horizonte: Convênio COMIG/IGC-UFMG, Projeto Espinhaço.
- Herz, N. (1970). Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 641-B, 1-58. <https://doi.org/10.3133/pp641B>
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffina, W. L., Belousova, E. A. (2004). The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211(1), 47-69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>
- Jordt-Evangelista, H., Lana, C., Delgado, C. E. R., Viana, D. J. (2016). Age of the emerald mineralization from the Itabira-Nova Era District, Minas Gerais, Brazil, based on LA-ICP-MS geochronology of cogenetic titanite. *Brazilian Journal of Geology*, 46(3), 427-437. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150074>
- London, D. (2008). *Pegmatites*. Québec: Canadian Mineralogist Special Publication 10.
- Ludwig, K. R. (2008). *Isoplot/Ex 3.70: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley: Berkeley Geochronological Center.
- Marciano, V. R. (1985). *Contribuição ao estudo da mineralogia e geoquímica de pegmatitos da região de Governador Valadares, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/D.44.1985.tde-25092015-102335>

- Marciano, V. R. (1995). *O Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira, Minas Gerais: mineralogia, geoquímica e zoneografia*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/T.44.1995.tde-18112015-111931>
- Marciano, V. R., Svisero, D. P., Neves, J. M. C. (1993). Dados geocronológicos de pegmatitos da borda oriental do Cráton do São Francisco. *II Simpósio do Cráton do São Francisco*, 362-365. Salvador: SBG.
- Netto, C., Araújo, M. C., Pinto, C. P., Drumond, J. B. V. (1998). *Projeto Leste – Cadastramento de Recursos Mineiros - Pegmatitos*. Belo Horizonte: Convênio CPRM-COMIG, Relatório Final.
- Paiva, G. (1946). *Províncias pegmatíticas do Brasil*. Boletim DNPM-DFPM, 78, 13-21.
- Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Wiedemann, C. M., Pinto, C. P. (2001). The Araçuaí-West Congo orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Research*, 110, 307-323. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00174-7](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00174-7)
- Pedrosa-Soares, A. C., Campos, C. P., Noce, C., Silva, L. C., Novo, T., Roncato, J., Medeiros, S., Castañeda, C., Queiroga, G., Dantas, E., Dussin, I., Alkmim, F. (2011). Late Neoproterozoic – Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil) the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. *Geologic Society of London Special Publications*, 350, 25-51. <https://doi.org/10.1144/SP350.3>
- Petraschek, W. E. (1965). Typical features of metallogenic provinces. *Economic Geology*, 60(8), 1620-1634. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.60.8.1620>
- Preinfalk, C., Kostitsyn, Y., Morteani, G. (2002). The pegmatites of the Nova Era–Itabira–Ferros pegmatite district and the emerald mineralization of Capoeirana and Belmont (Minas Gerais, Brazil): geochemistry and Rb-Sr dating. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(8), 867-887. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00082-7)
- Ribeiro-Althoff, A. M., Cheiletz, A., Giuliani, G., Férault, G., Barbosa-Camacho, G., Zimmermann, J. (1997). <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar and K-Ar geochronological evidences for two periods (2 Ga and 650-500 Ma) of emerald formation in Brazil. *International Geology Review*, 39(10), 924-937. <https://doi.org/10.1080/00206819709465310>
- Rogers, J. J. W., Satterfield, M. E. (1994). Fluids of anorogenic granites: a preliminary assessment. *Mineralogy and Petrology*, 50(2), 157-171. <https://doi.org/10.1007/BF01160145>
- Sá, J. H. S. (1977). *Pegmatitos litiníferos da região de Itinga-Araçuaí, Minas Gerais*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/T.44.1978.tde-21082015-164459>
- Silva, S. L. (2002). *Folha SE.23-Z-D-V Coronel Fabriciano. 1:100.000*. Belo Horizonte: Convênio CPRM-Serviço Geológico do Brasil/COMIG, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Souza, J. L. (1990). Mineralogia e geologia da esmeralda da jazida de Itabira, MG. *Revista Escola de Minas*, 43(2), 31-40.
- Stel, H., Cloetingh, S., Heeremans, H., Beek, P. V. (1993). Anorogenic granites, magmatic underplating and the origin of intracratonic basins in a non-extensional setting. *Tectonophysics*, 226, 285-299. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90123-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90123-2)
- Teixeira, W., Dussin, I. A., Dussin, T. M., Salvador, E. D., Siga Jr., O., Sato, K. (1990). Interpretação do contexto geotectônico do embasamento na borda leste do sistema Espinhaço, região de Guanhães e Gouveia-MG, com base numa integração do seu conjunto geocronológico U/Pb, Rb/Sr e K/Ar. *XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, 6, 2711-2722. Natal: SBG. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/bitstream/c2564bff-e8ff-4750-9b5f-8996647643ad/809357.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2024.