

GEOCROLOGIA U-Pb E Lu-Hf EM ORTOGNAISSES DA REGIÃO DE ESPERA FELIZ (MG): CONTRIBUIÇÃO A EVOLUÇÃO CRUSTAL DO EMBASAMENTO RIACIANO NO LIMITE DOS ORÓGENOS RIBEIRA E ARAÇUAÍ

U-Pb AND Lu-Hf GEOCHRONOLOGY OF ORTHOGNEISSES FROM ESPERA FELIZ REGION (MG): CONTRIBUTION TO THE RHYACIAN CRUSTAL EVOLUTION OF THE BASEMENT AT THE LIMIT OF THE RIBEIRA AND ARAÇUAÍ OROGENS

Marcos S. MACHADO¹, Letícia M.C. CARDOSO¹, Juliana F. BONIFÁCIO¹, Renata HIRAGA¹, Marcio I. ALVES¹, José. R. NOGUEIRA¹, Marco H.P.A. COELHO², Armando DIAS TAVARES², Mauro C. GERALDES¹

¹Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ:
E-mails: pardal.uerj@gmail.com, leticiamuniz_@hotmail.com, julianaibonifacio@gmail.com, renatahvc@yahoo.com.br,
nacio.marcio@hotmail.com, josernog@gmail.com, gerald@uerj.br

²Instituto de Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. E-mail: tavares.armandodias@gmail.com

Introdução

Metodologia

A técnica LA-ICP-MS

Preparação das amostras e aquisição dos dados U/Pb

A aquisição de dados pelo método Lu-Hf

Tratamento dos dados

Geologia local

Ortogramulitos

Granada charnockito

Granada-sillimanita-biotita gnaiss

Biotita leucogranito

Resultados U-Pb

Discussões

Conclusões: uma proposta de evolução geológica

Agradecimentos

Referências

RESUMO - Este artigo apresenta os resultados isotópicos de U-Pb e Lu-Hf de amostras situadas nos limites dos Orógenos Ribeira e Araçuaí, em ortognaisses na região de Espera Feliz (MG) e Serra do Caparaó (ES). As análises petrográficas indicam paragêneses constituídas por Opx+Kfs+Pl+Qz+Gn em fácies granulito além de milonitos e protomilonitos que evidenciam as zonas de cisalhamento. As rochas foram agrupadas nos seguintes litotipos: ortognaisses heterogêneos, ortogramulito e granada charnockito, além de paragnaisse, granada-sillimanita-biotita gnaiss e biotita leucogranito. Nos grãos de zircão foi possível a identificação de núcleos herdados e sobrecrecimento através das imagens de catodo luminescência. Análises geocronológicas U-Pb apresentam idades de cristalização, para os ortognaisses paleoproterozoicos, que variam de 2200 a 2075 Ma, com valores de ϵ_{Hf} variando de -21,8 e -8,9 e T_{DM} de 2,83 a 2,06 Ga, sugerindo constituir fontes mantélicas com importante participação crustal, na formação dos magmas destas rochas e idades de metamorfismo entre 600 a 570 Ma. Estes resultados permitem sugerir a formação do embasamento originado em ambiente de arco magmático, durante o Riáciano-Orosiriano (2200-2075 Ma). Para os ortognaisses neoproterozoicos, foram encontradas idades de cristalização de 630 a 597 Ma, com valores de ϵ_{Hf} variando de -14,6 e -6,7 e T_{DM} de 2,22 e 1,78 Ga, sugerindo fontes crustais interpretadas como intrudidas durante magmatismo ediacariano (630-597 Ma). O terceiro evento identificado nas idades U-Pb das rochas estudadas é caracterizado pelo metamorfismo e anatexia (ca. 600-570 Ma) durante a colisão e formação do Gondwana.
Palavras-chave: Idades U-Pb. Isótopos de Lu-Hf. Cinturão Ribeira. Cinturão Araçuaí. Metamorfismo.

ABSTRACT - This article presents U-Pb and Lu-Hf isotopic results from samples located at the boundaries of the Ribeira and Araçuaí orogens, comprised of gneisses in the region of Espera Feliz (MG) and Serra do Caparaó (ES). Petrographic analyses indicate paragenesis and orthogneisses with Opx + Kfs + Pl + Qz + Gn formed in granulite facies, as well as milonites and protomilonites observed in shear zones. The rocks were grouped into the following lithotypes: heterogeneous orthogneisses, orthogramulite and garnet-charnockite; paragneisses (sillimanite-garnet-biotite gneiss), and biotite leucogranite. The zircon grains have, in general, a rounded and / or elongated morphology, making it possible to identify inherited nuclei and overgrowth in the grains through the CL images. U-Pb isotopic analyses show crystallization ages from 2200 to 2075 Ma, with ϵ_{Hf} values ranging from -21.8 and -8.9 and T_{DM} from 2.83 to 2.06 Ga, suggesting mantle sources with important crustal participation in the formation of the magmas of these rocks and metamorphic ages from 600 to 570 Ma. These results allow to suggest the formation of the Paleoproterozoic basement originated in a magmatic arc environment during the Rhyacian-Orosirian (2200-2075 Ma). For Neoproterozoic orthogneisses, ages of crystallization from 630 to 597 Ma were found, with ϵ_{Hf} values varying from -14.6 and -6.7 and T_{DM} of 2.22 and 1.78 Ga, suggesting crustal sources. The third event identified by the U-Pb ages of the studied rocks is characterized by metamorphism and melting (600-570 Ma) during the collision and formation of Gondwana.

Keywords: U-Pb ages; Lu-Hf isotopes; Ribeira Belt; Araçuaí Belt; Metamorphism.

INTRODUÇÃO

A Faixa Araçuaí localizada na porção norte da Província Mantiqueira (Figura 1A), limitada a leste pelo Cráton de São Francisco (Heilbron et al., 1997; 2017; Alkmim et al., 2006) e a Sul tem a transição para Faixa Ribeira, a leste tem sua continuidade no continente Africano, com a Faixa Oeste-Congo, que juntos constituem o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental (Fonseca & Campos, 1978; Wiedemann, 1993; Pedrosa-Soares et al., 2000; 2001; Machado et al., 1996). A faixa foi formada durante o Neoproterozoico por uma série de eventos colisionais, que

perduraram até o Paleozoico, quando a margem passiva do paleocontinente São Francisco foi amalgamada a margem ativa do paleocontinente do Congo (Brito-Neves et al., 1999; Cordani et al., 2003; Silva et al., 2005; Pedrosa-Soares et al., 2008), durante a formação do supercontinente Gondwana (Figura 1B). Posteriormente, durante o mesozoico houve reativação tectônica, gerando a abertura do Oceano Atlântico e separando o grande sistema orogênico existente (Ebert & Hasui, 1998; Heilbron et al., 2000; Ribeiro et al., 2003; Narduzzi et al., 2017).

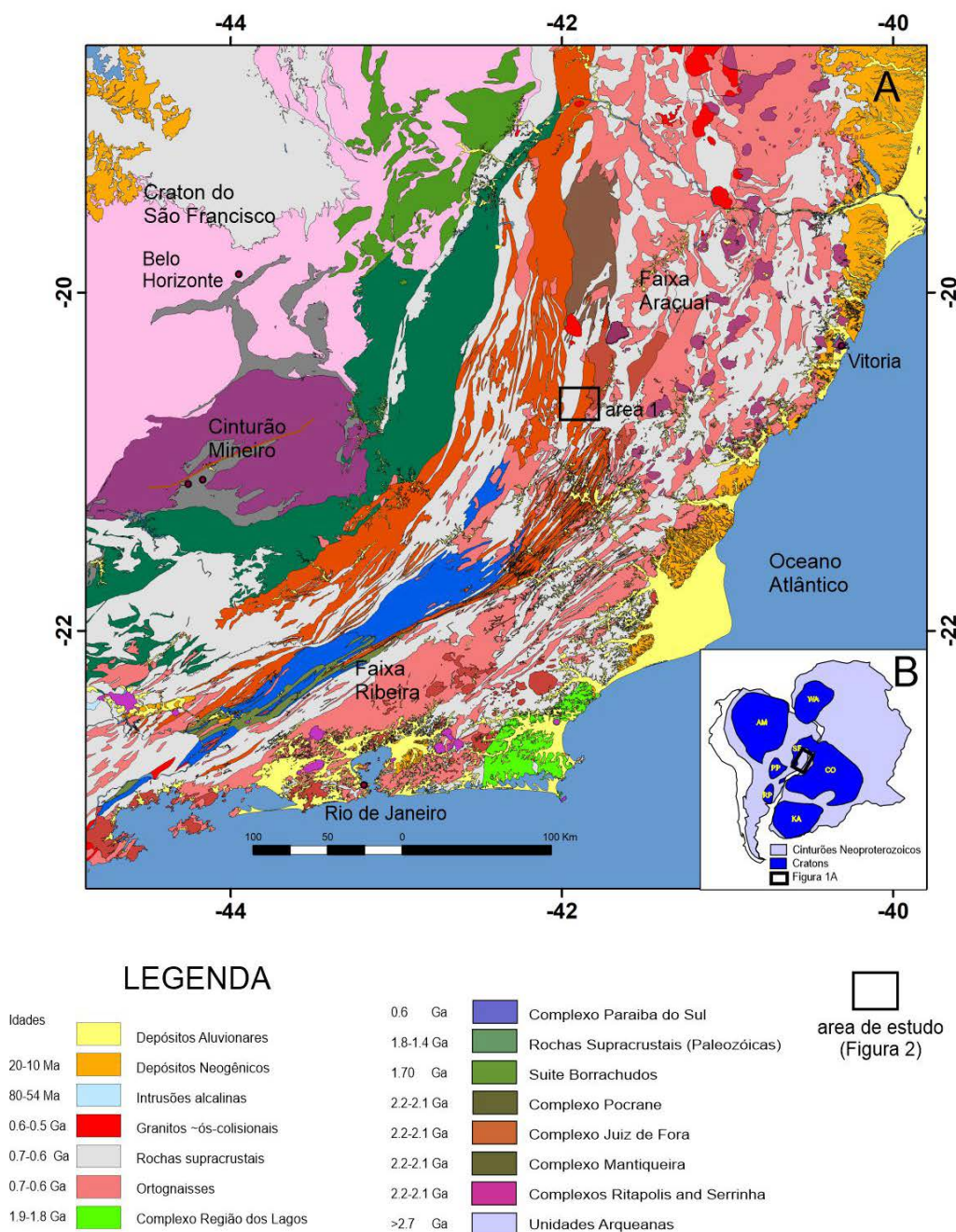


Figura 1 – A) Mapa regional com enfoque nas principais unidades da área sul-sudeste do Cráton do São Francisco; CSF – Cráton do São Francisco. O retângulo azul representa a área de estudo mostrada no mapa da Figura 2. Mapa geológico elaborado a partir de cartas 1:100.000 cartografadas pela CPRM. B) Reconstrução paleogeográfica do Supercontinente Gondwana (Brito-Neves et al., 1999). Retângulo preto em B representa área da Figura 1A.

Na região de estudo a Faixa Araçuaí tem sua extensão ao sul representada por rochas do Domínio Juiz de Fora. Este domínio ocupa uma extensa faixa de orientação nordeste em toda a porção centro-norte e ocidental do estado do Rio de Janeiro e SE do estado de Minas Gerais, subparalela ao corredor de cisalhamento do rio Paraíba do Sul.

É constituído por gnaisses kinzigíticos, xistos, quartzitos e mármoreos do Complexo Paraíba do Sul (Angeli, 1978; Ebert et al., 1996; Duarte et al., 2003), metamorfizados nas fácies anfíbolito e granulito, intercalados tectonicamente em rochas paleoproterozoicas representadas por ortogranulitos e ortognaisses tonalíticos do Complexo Juiz de Fora, e ortognaisses graníticos a granodioríticos da Suíte Quirino. Coberturas mesoproterozoicas e neoproterozoicas são definidas regionalmente como São João Del Rey, Carandaí e Andrelândia (Paciullo et al., 2000; Alkmim & Martins-Neto, 2012; Ribeiro et al., 2013).

Este Domínio tem sua extensão a NW com o Domínio Mantiqueira/Andrelândia (Figueiredo & Teixeira, 1996; Duarte et al., 2004), na Zona de Cisalhamento Rio Preto, e a SE como Domínio Serra do Mar, pela Zona de Cisalhamento de Paracambi, também designada como Limite Tectônico Central por Almeida et al. (1981), correspondendo ao limite dos terrenos Ocidental e Oriental de Heilbron et al. (2000). Nessa zona limítrofe, o Domínio Juiz de Fora/Paraíba do Sul é marcado pelo empurrão, com vergência do topo para SE, dos paragnaisses Paraíba do Sul sobre os batólitos (arcos) Rio Negro e Serra dos Órgãos, no Domínio Serra do Mar (Tupinambá et al., 2000; 2012; Heilbron et al., 1998).

Na Faixa Araçuaí (Figura 1A) são encontrados diversos componentes geotectônicos, tais como: depósitos de margem passiva, lascas ofiolíticas, arco magmático e bacias associadas, gnaisses sin-colisionais e granitoides pós-colisionais entre outros, que em conjunto, identificam a evolução de um orógeno acrescionário para o estágio de orógeno colisional (Correia Neves et al., 1986; Pedrosa Soares et al., 2001; 2007).

A Faixa Araçuaí é dividida, segundo Pedrosa-Soares et al. (2001), em domínios Externo (Oeste) e Interno (Leste). O Domínio Externo compreende o cinturão de dobramento-cavalgamento, de baixo grau metamórfico, relacionado a placa de baixo subductada e o Domínio Interno se caracteriza por gnaisses relacionados a placa superior,

contendo diversas etapas evolutivas do orógeno, incluindo o arco magmático Rio Doce, atingindo essas rochas um alto grau metamórfico, chegando às fácies granulito.

O metamorfismo associado ao evento colisional brasileiro retrabalhou rochas mais antigas com idades paleoproterozoicas a arqueanas (Duarte et al., 1997; 2000), notadamente rochas dos complexos Mantiqueira e Juiz de Fora, e dos ortognaisses da Unidade Quirino.

Estas unidades constituem *inliers* do embasamento da província, intercalados tectonicamente com as rochas metassedimentares do Grupo Andrelândia e dos complexos Embu e Paraíba do Sul e corpos granitoides neoproterozoicos do tipo I e do tipo S, tardi a pós-colisionais (Heilbron et al., 1989; Trouw et al., 2000; Silva et al., 2003; 2005).

A área de estudo do trabalho concentra-se no domínio interno, com trend tectônicos dominantes nas direções NNE com vergência para Oeste. Neste domínio encontram-se alojadas as suítes granitoides neoproterozoicas e cambrianas, além das rochas do embasamento (Teixeira & Figueiredo, 1991; Pedrosa-Soares et al., 2011).

Na região de Espera Feliz podem ser individualizadas três unidades dominantes com relativa homogeneidade litológica: o embasamento, a cobertura metassedimentar neoproterozoica e os granitoides do Neoproterozoico-Cambriano (Bruekner et al., 2000; Noce et al., 2000).

Na região de estudo, o embasamento é representado por uma série de ortognaisses migmatíticos de idade arqueana a paleoproterozoica representados pelas unidades dos complexos: Guanhões, Gouveia, Porteirinha, Mantiqueira, Juiz de Fora e Pocrane segundo estudos realizados por Noce et al. (2000) e Campos & Carneiro (2008).

Há controvérsias quanto à origem dos granulitos da Suíte Caparaó pertencentes ao embasamento, segundo Campo-Neto & Figueiredo (1990), uma vez que estes granulitos são ortoderivados e deveriam ser incluídos no Complexo Juiz de Fora, de idade paleoproterozoica. Por outro lado, Sollner et al. (1989a) interpretaram o conjunto destas rochas como orto- e paraderivadas de idade brasileira.

Esta investigação teve como foco as análises de isótopos de U-Pb e Lu-Hf de amostras das unidades ortoderivadas da região de Espera Feliz. O recorte de rochas ortoderivadas se justifica pela complexidade destas rochas que apresentam composição e feições estruturais complexas e que

exigem um tratamento dos métodos geocronológicos específicos, com processamento de amostras, elaboração de epóxi e procedimentos laboratoriais (número de amostras datadas) e tratamento dos dados isotópicos específicos. Neste sentido o método U-Pb visou a caracterização da

época de cristalização e metamorfismo, e o método Lu-Hf permite investigar as fontes dos magmas envolvidos na formação destes ortognaisses. No item geologia local as rochas paraderivadas foram incluídas por constituírem unidades importantes presentes na área estudada

METODOLOGIA

A técnica LA-ICP-MS

O ICP-MS baseia-se na técnica de espectrometria de massa objetivando a quantificação da abundância de partículas de massas de interesse em uma amostra. Eles são compostos por fonte, separador, detector e registrador. Conforme o tipo de equipamento utilizado, onde as amostras são ionizadas, os íons carregados positivamente são acelerados por um campo de alta voltagem e são dirigidos a janelas para formarem um feixe (Gerald, 2010). No caso do ICP-MS as amostras são ionizadas através da utilização de um plasma de gás inerte, normalmente argônio (Ar).

Neste trabalho foi utilizado o LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry – Espectrometria de Massa com Nebulização Laser por Plasma Indutivamente Acoplado) modelo New Finningan NEPTUNE MC-ICP-MS acoplado com um sistema de ablação a Laser pertencente ao Laboratório Multiusuário de meio ambiente e materiais (Multilab) da UERJ (Gerald, 2010). Caracterizado por ser um multicoletor de alta resolução para medidas de razões isotópicas, sua configuração permite detectar simultaneamente uma ampla gama de núclídeos de elementos, utilizando nove coletores Faraday e seis contadores de íons, que podem ser combinados em configuração adequada para os isótopos de interesse para o método U-Pb.

Preparação das amostras e aquisição dos dados U/Pb

Com a obtenção das amostras nas fases de campo, deu-se continuidade ao estudo com o início dos trabalhos laboratoriais, realizados no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA), localizado na UERJ. A preparação seguiu o fluxograma da preparação das amostras para geocronologia que visa à concentração mineral para separação de grãos de zircão. No processamento inicial, quantidades suficientes (10-20 kg) de rocha foi lavada, britada e pulverizada próxima a fração de granulometria fina (100 mesh), sob rígidos critérios para evitar contaminações, seguidas por concentração mineral através do método de bateamento, passagem em

bromofórmio para a separação de grãos leves, imã de mão e posteriormente o uso do separador eletromagnético Frantz.

Os grãos obtidos por estes processos foram encaminhados para o Laboratório (Multilab) da UERJ, e catados em lupa binocular e montados em *mounts* de araldite, obtendo um número entre 90 e 120 grãos para cada amostra, posteriormente imageados no microscópio eletrônico de varredura (MEV) para obtenção de imagens da sua estrutura interna por catodo-luminescência e da superfície por elétrons espalhados. Ainda neste laboratório processou-se a leitura de isótopos de U-Pb, procedimento de análise das razões isotópicas em grãos de zircão, utilizando o equipamento LA-ICP-MS acoplado com um sistema de ablação a Laser.

A análise consistiu na leitura de concentrações dos isótopos dos elementos em grãos de zircão, pelo sistema de volatilização de material através do método de *laser ablation*. O equipamento utilizado permite realizar, crateras em diâmetros de até 160 μm , com uma frequência de 6 - 20 Hz durante 40 segundos e entre 10 - 100 % energia do *laser*.

O processo de aquisição é composto por uma sequência, que começa com a análise do branco, que é a medição dos dados realizada na passagem apenas do gás, sendo medido como *background*, logo após é feita a medida de um tiro realizado em um zircão padrão (GJ-1), se os dados estiverem compatíveis com o esperado para o padrão, pode-se iniciar a sequência de análise de nove grãos de idade desconhecida da amostra. A escolha do grão a ser analisado e o local onde será feita a cratera é auxiliada pelas imagens de catodo-luminescência e a imagem fornecida pela câmera do equipamento.

O laser é posicionado no local escolhido e manualmente o feixe é acionado, dando início ao processo de ablação e é iniciada a aquisição dos dados em 40 ciclos. Com o término das análises desconhecidas é feita a aquisição de dados de outro padrão (91500), finalizando a planilha com a leitura de um segundo GJ-1 e um branco. Os resultados U-Pb obtidos por LA-ICP-MS foram tratadas em planilha off-line para correção de branco, padrão GJ1 e 91500.

A aquisição de dados pelo método Lu-Hf

A aquisição dos dados Lu-Hf é realizada seguindo uma sequência definida que se inicia com a escolha do grão a ser analisado e o local onde será feito a cratera, normalmente no local onde a idade U-Pb foi realizada, porém com diâmetro de 40 μ). Para isso conta-se com o auxílio as imagens de CL e a imagem fornecida pela câmera do equipamento, em sequência se posiciona a mira do laser e manualmente acionamos o feixe, dando início ao processo de ablação. Alguns segundos são necessários para que se estabilize o sinal. Em sequência é iniciada a aquisição dos dados em 40 ciclos.

O processo de aquisição é composto pelo procedimento, que começa com a análise do branco, que é a medição dos dados realizada na passagem apenas do gás, sendo medido como *background*, logo após é feita a medida de um tiro realizado em um zircão padrão (GJ-1), se os dados estiverem compatíveis com o esperado para o padrão, pode-se iniciar a sequência de análise de nove grãos de idade desconhecida da amostra. Com o término das análises desconhecidas é feita a aquisição de dados de outro padrão (91500), finalizando a planilha com a leitura de um segundo GJ-1 e um branco.

Os resultados U-Pb obtidos por LA-ICP-MS serão tratados em planilha off-line para correção de branco, padrão GJ1 e 91500. O padrão GJ-1 também foi medido para controle de qualidade

durante as sessões analíticas de Hf. O $^{176}\text{Hf} / ^{177}\text{Hf}$ inicial foi calculado usando a constante de decaimento para ^{176}Lu de $1,867 \times 10^{-11}$ / ano (Söderlund et al., 2004). Razões $^{176}\text{Hf} / ^{177}\text{Hf}$ foram normalizadas para $^{176}\text{Hf} / ^{177}\text{Hf} = 0,7325$ e $^{176}\text{Lu} / ^{175}\text{Lu} = 0,02669$ foi usado para calcular $^{176}\text{Lu} / ^{177}\text{Hf}$. Os valores de ε_{Hf} (t) foram calculados assumindo relações condriticas atuais de $^{176}\text{Hf} / ^{177}\text{Hf} = 0,282772$ e $^{176}\text{Lu} / ^{177}\text{Hf} = 0,0332$ (Blichert-Toft & Albarede, 1997) e se referiram às análises de pontos particulares que produziram idades concordantes U-Pb.

Tratamento dos Dados

Com o auxílio da planilha Excel no método U-Pb, são realizadas correções *off line*, através do procedimento *bracket*, onde é analisada a sequência: branco, padrão GJ1, as nove análises desconhecidas, o padrão 91500, o padrão GJ1 e o novamente branco. A planilha funciona de modo a fazer a correção da média do branco final pelo inicial. Além disso, os valores do GJ1 são comparados com os valores verdadeiros já estabelecidos, de forma a calcular um fator de conversão que é aplicado a todas nove amostras desconhecidas. Os diagramas de concórdia e os histogramas de frequência foram calculados no programa ISOPLOT (Ludwig, 2000). Os resultados analíticos U-Pb em grãos de zircão foram corrigidos de seus conteúdos de Pb comum através do modelo de Stacey & Kramers (1975).

GEOLOGIA LOCAL

Durante os trabalhos de campo foram coletadas amostras de rochas representativas das unidades geológicas identificadas no mapeamento na escala regional para estudos geocronológicos, a partir da base cartográfica na escala de 1:100.000 da CPRM (2006). Os trabalhos de campo permitiram a caracterização das rochas com detalhes onde os afloramentos foram descritos e as amostras transportadas para serem processadas de acordo com os procedimentos para a separação de zircões e estudos petrográficos. Na área próxima da Serra do Caparaó são observados ortognaisses e paragnaisses além de milonitos e protomilonitos que evidenciam as zonas de cisalhamento.

A matriz da rocha torna-se fortemente foliada, com redução da granulometria devido a uma recristalização dinâmica dos minerais. Minerais mantêm a evidência deste evento, como quartzo alongados, grãos de contatos irregulares e grãos de plagioclásios deformados. Para todas as

amostras, incluindo as amostras EF 06, EF 07, EF 08, EF-09 e EF-17, coletadas na área ao sul e leste de Espera Feliz, são caracterizadas como ortognaisses com feições estruturais mais marcantes. As rochas denominadas de leucogranito são caracterizadas por texturas mais homogêneas e pouco foliadas (amostras EF-05, EF-10, EF-11, EF-17, EF-19 e EF-22).

As amostras EF-14, EF-15, EF-18 e EF-21 foram caracterizadas como granada charnockito. Nos pontos EF-03 e EF-04 foram observadas rochas graníticas leucocráticas. Nos pontos EF 01 e EF 02 as rochas são caracterizadas como gnaisses paraderivados e não foram analisadas para geocronologia neste estudo. Na Figura 2 é apresentado o mapa geológico de maior detalhe disponível da área de estudo que resultou no agrupamento dos seguintes litotipos: ortognaisses heterogêneos, ortogranulito e granada charnockito, além do paragnaisse, granada-sillimanita-biotita gnaisse, e biotita leucogranito, descritos a seguir.

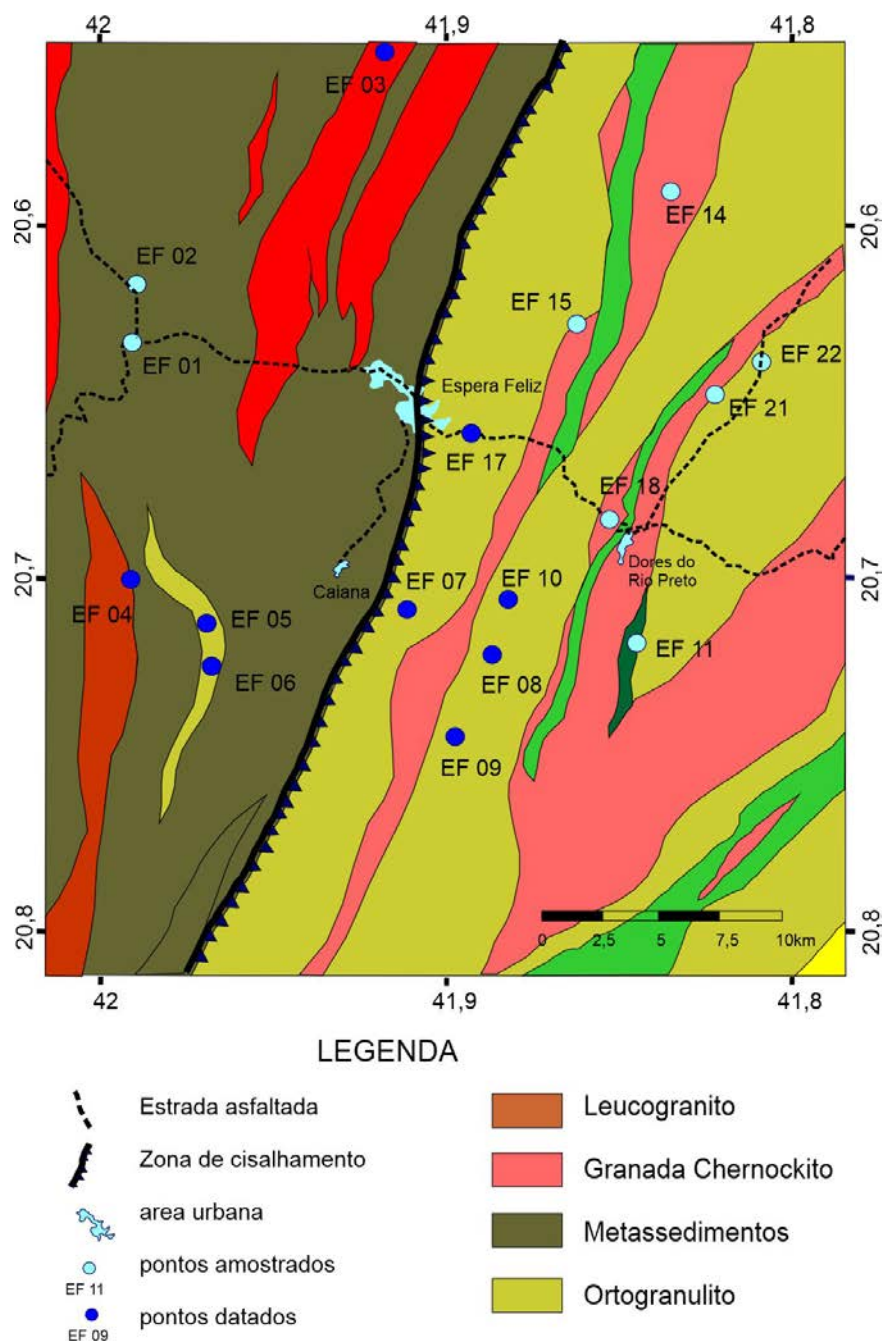


Figura 2 - Mapa Geológico e de pontos da área de estudo. Fonte: Cruz (2015); Base geológica CPRM (escala 1:100.00), Folha Espera Feliz e Folha Carangola).

Ortogramulito

Esta unidade tem sua principal representatividade na Serra do Caparaó e compreende um conjunto de rochas ortogramulíticas com composições e aspectos estruturais variados, geralmente foliado com direção NNE, podendo apresentar estrutura migmatítica e milonítica (amostras EF 07, EF 08, EF-09 e EF-17).

Os litotipos encontrados na região foram o ortopiroxênio charnockito gnaiss (Figuras 3A, B e C) e ortopiroxênio charnoenderbitto gnaiss com espículas de biotita (Figuras 3D, E e F).

Estes gnaisses podem apresentar efeitos de retrometamorfismo, com formação de hornblenda e biotita a partir de piroxênios (Figuras 3G, H e

I). Estas rochas apresentam coloração cinza-esverdeada, leucocráticas, com granulação fina a média e inequigranular (Figuras 3J, K e L).

Em lâmina delgada, apresenta textura granoblástica e estrutura marcante dada pelo bandamento gnáissico. Em locais menos deformados exibe uma foliação marcada pela orientação preferencial dos minerais máficos. A mineralogia principal encontrada nesta unidade é composta por plagioclásio, ortoclásio, quartzo, hiperstênio e ocasionalmente clinopiroxênio. O grupo de rochas constituído pelas amostras EF-05, EF 06, EF-10, EF-17, EF-19 e EF-22 a foliação é menos proeminente, mas as paragêneses minerais apontam a presença de piroxênio, o que indica sua

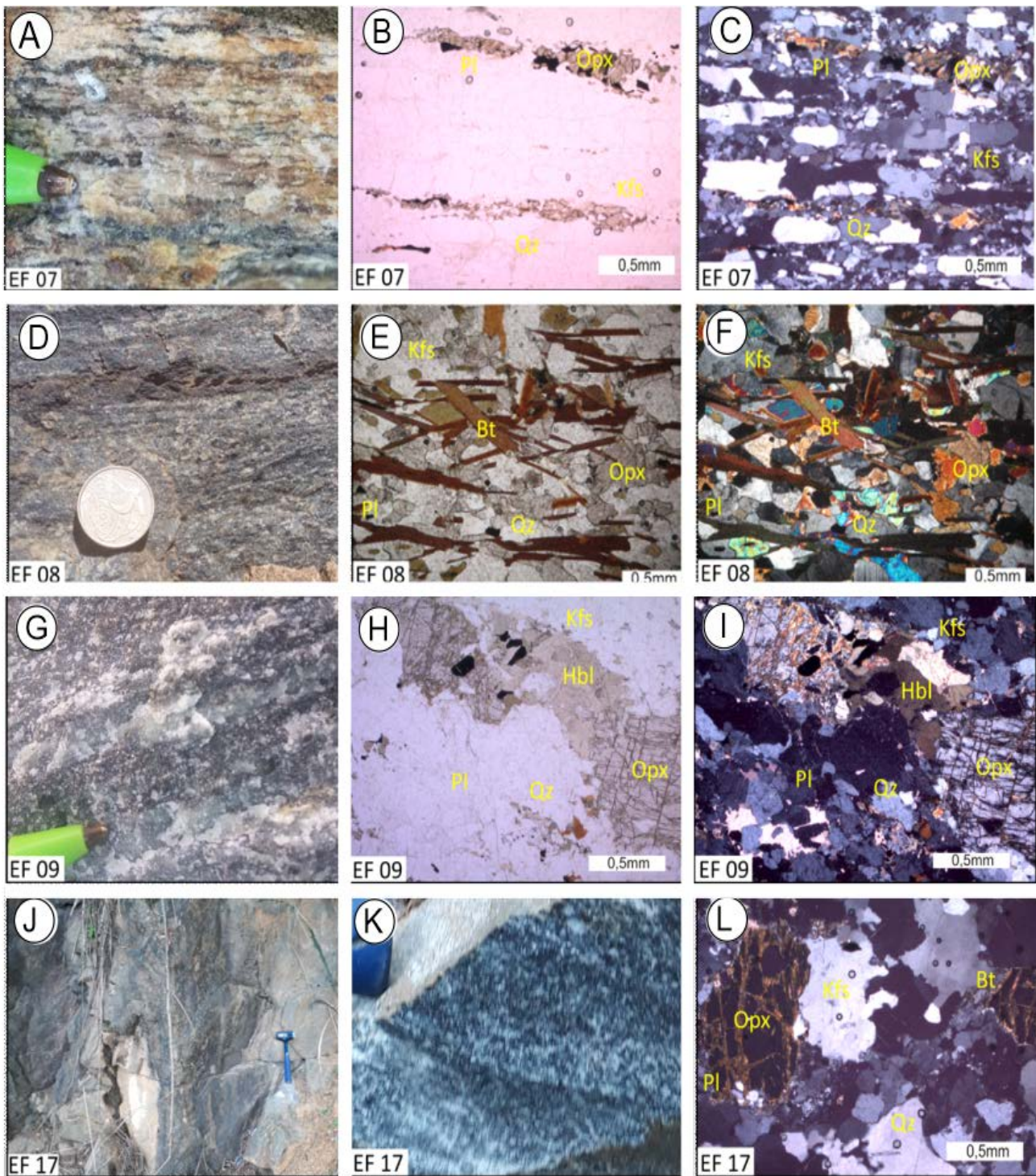


Figura 3 – Ortogranulito com estruturas (foliação) proeminentes. Fotos das amostras de mão e suas respectivas fotos de lâminas. EF 07 (A, B e C); EF 08 (D, E e F); EF-09 (G, H e I) e EF-17 (J, K e L).

formação em alta pressão (Figuras 4A, B e C).

O litotipo predominante do Complexo do Caparaó corresponde a um gnaiss ortoderivado de composição granítica a dioríticas (Figuras 4D, E e F). Os principais gnaisses ortoderivados da região apresentam uma cor verde acinzentada (Figuras 4G, H e I) e exibe uma faixa composicional com grande continuidade lateral em escala de afloramento.

O bandamento de composição varia em espessura de milímetros a centímetros e é marcado

pela segregação mineral em bandas félsicas (Figuras 4 J, K e L) contendo quartzo, plagioclásio e às vezes feldspato potássico. Em bandas máficas que abrangem anfibólio, piroxênio e biotita menor são encontrados com granada como um mineral acessório. Texturalmente, este litotipo apresenta um arranjo granoblástico (Figuras 4 M, N e O).

Granada charnockito

Essa unidade na forma de afloramentos tipo dorso de baleia e blocos, sendo predominante nas

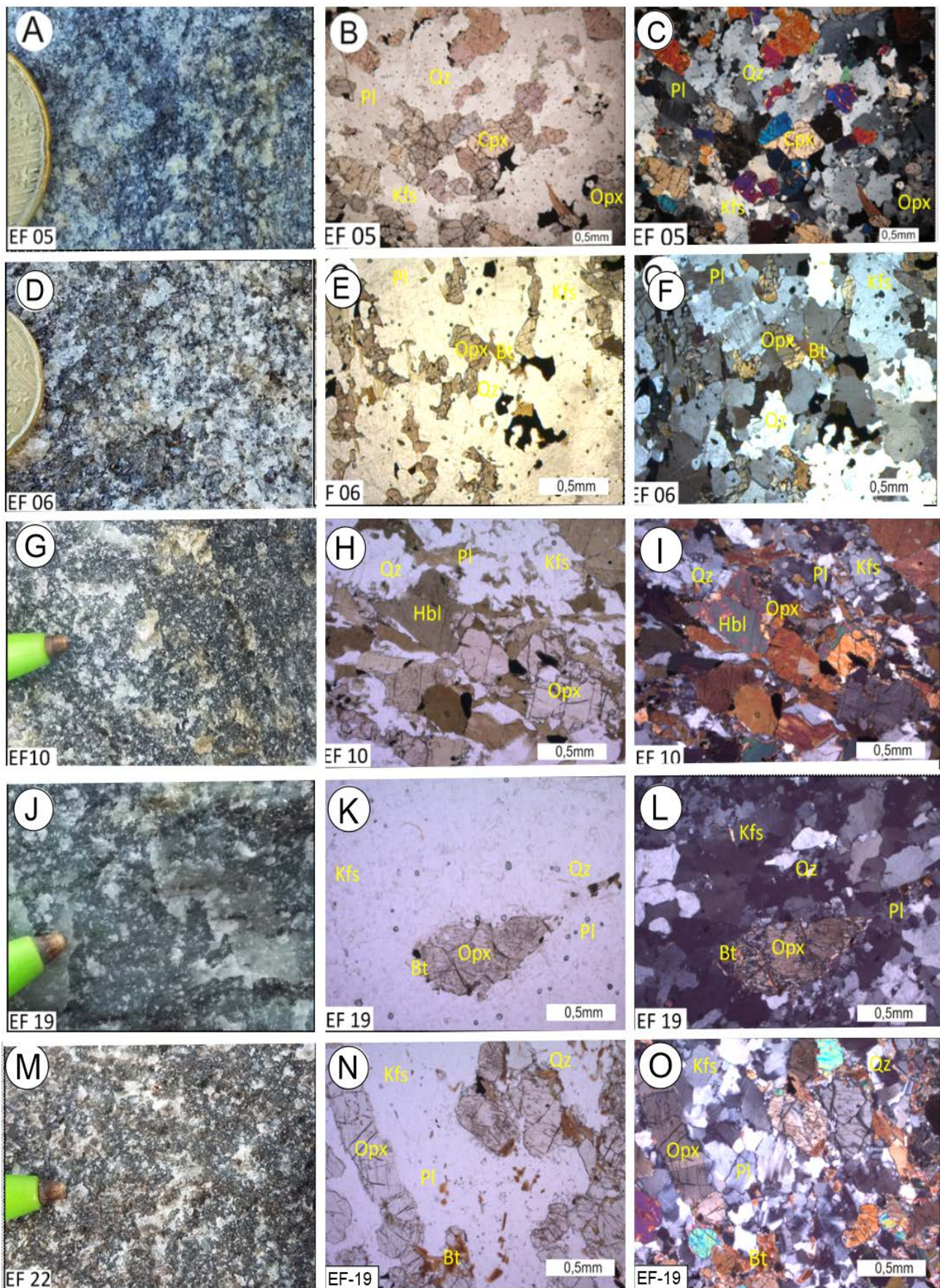


Figura 4 – Ortogranulitos homogêneos (fracamente foliados). Fotos das amostras de mão e suas respectivas fotos de lâminas. EF 05 (A, B e C), EF 06 (D, E e F), EF 10 (G, H e I); EF-19 (J, K e L) e EF-22 (M, N e O).

áreas mais íngremes, formando paredões que sustentam as cotas mais elevadas existentes na área, como na Serra do Caparaó (amostras EF-

14, EF-15, EF-18 e EF-21). O litotipo principal se caracteriza como uma rocha homogênea, leucocrática de granulação média (Figuras 5A, B e C).

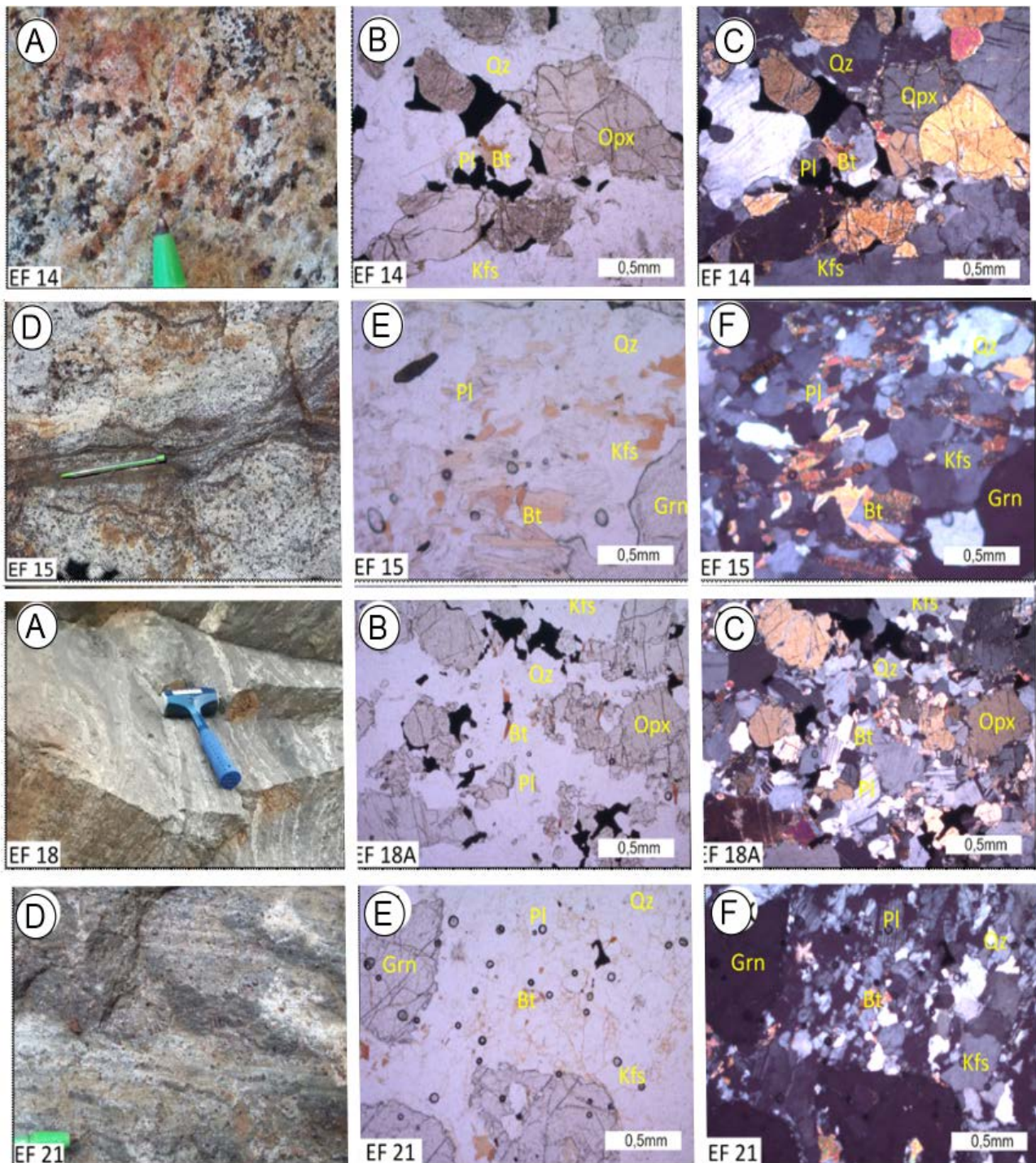


Figura 5 – Granada Charnockito. Fotos das amostras de mão e suas respectivas fotos de lâminas. EF 014 (A, B e C), EF 15 (D, E e F); EF 018 (A, B e C), e EF 21 (D, E e F).

Este litotipo pode ocorrer intercalado com bandas mais máficas (Figuras 5D, E e F).

Sua mineralogia é composta por quartzo, k-feldspato, plagioclásio e granada. Em relação a estruturação, pode apresentar-se com alto grau de deformação, com fino bandamento composicional retilíneo e constante de espessura milimétrica. Esta unidade na região da Serra do Caparaó apresenta intensidades diversas de fusão parcial, onde as principais estruturas migmatíticas encontradas são schlieren, ptigmática e estromática, mas agmática, dobrada e flebítica também ocorrem

(Horn, 2006). A análise petrográfica indica que o melanossoma tem composição tonalítica e granulação fina a média, rico em piroxênios, hornblenda e plagioclásio, com feldspato potássico, quartzo e biotita ocorrendo em menor quantidade.

Granada-sillimanita-biotita gnaiss

Esta unidade interpretada como paraderivada é composta por rochas que apresentam metamorfismo da fácies anfibolito alto a granulito, geradas a partir de sedimentos pelíticos a psamíticos, composto por granada, biotita, sillimanita, feldspato potássico, plagioclásio e quartzo (Amostras

EF-01, EF-02 e EF-11). Grãos de biotita e muscovita alongadas e alinhadas, intercaladas com grãos de quartzos e sillimanita, com granulometria média a grossa, alguns raros grãos com evidências de cloritização e inclusão de zircão definem uma textura lepidoblástica (Figuras 6A,

B e C). As amostras estudadas são compostas de um gnaiss bandado com grãos de granada (Figuras 6D, E e F) com tamanhos médios a grossos euédricos, anédricos e subédricos, alguns com cerca de nove mm, com inclusões de quartzo e biotitas observadas em lâmina.

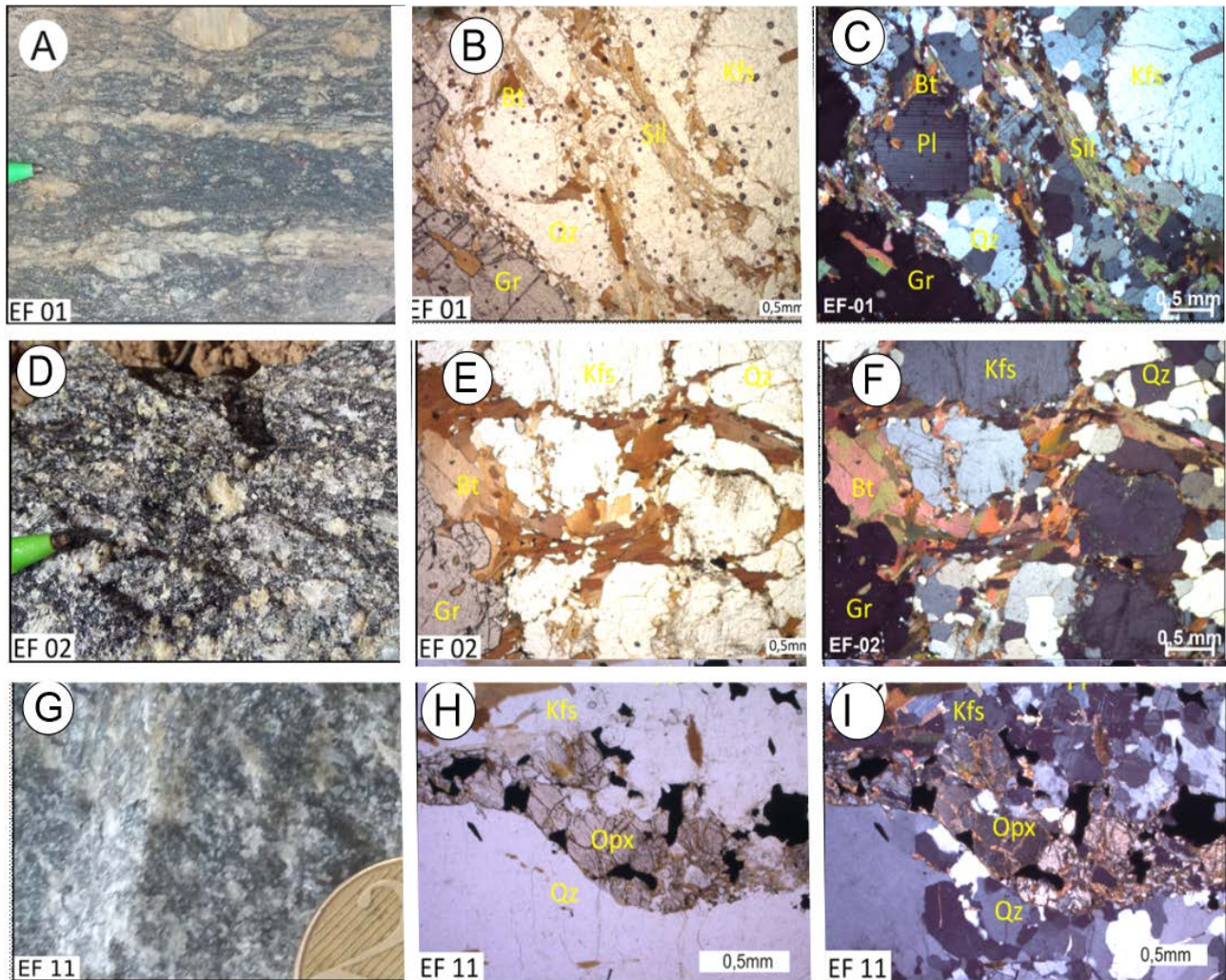


Figura 6 – Granada-Sillimanita-Biotita Gnaiss. Fotos das amostras de mão e suas respectivas fotos de lâminas. EF 01 (A, B e C), EF 02 (D, E e F) e EF 11 (G, H e I).

Os grãos de quartzo apresentam variação de granulação fina a grossa, apresentando textura granoblástica, ocorrendo alguns grãos severamente alterados e fraturados. Grãos de plagioclásio são subédricos e anédricos, apresentando macla polissintética, em sua maioria fraturados, com alteração para sericita e com inclusões de biotitas e quartzo. Grãos de sillimanita muitos finos, ocorrem em sua maioria intercalada e alinhada com os grãos de biotita, além de grãos aglomerados isolados.

Biotita leucogranito

Composta por rochas intrusivas interpretadas como ortognaissica tem caráter leucocrático e apresenta como principais minerais plagioclásio, quartzo, biotita, ortopiroxênio, microclina,

feldspato potássico, opacos e zircão. Os grãos de plagioclásio se apresentam subédricos com granulometria média a grossa.

Os grãos de quartzo são subédricos com extinção ondulante de granulometria média a grossa. Verifica-se também a presença de grãos de biotita subédricos de granulometria média, possuindo intensa orientação (Figura 7A).

Além disso, nota-se microclina subédrica de granulometria média (Figura 7C) e feldspato potássico na borda de grãos com textura mimerquítica. Porções de granulometria grossa mostram cristais de granada (Figura 7D). As lâminas utilizadas para microscopia mostram biotita e granada (Figura 7E e F) e como minerais acessórios zircão e minerais opacos.

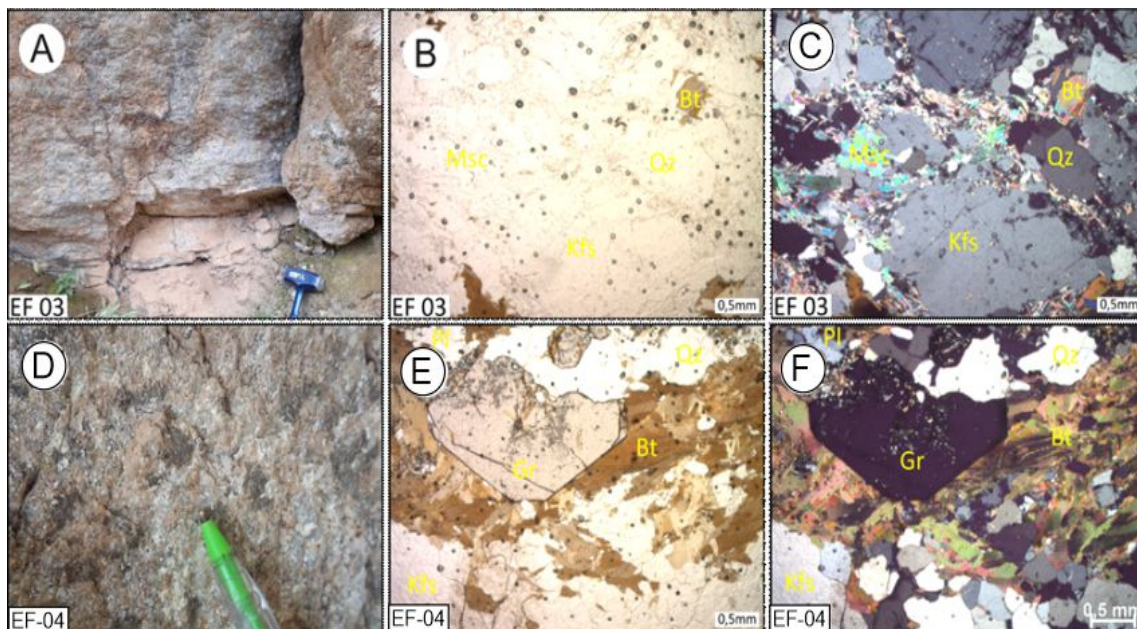


Figura 7 – Biotita Leucogranito. Fotos das amostras de mão e suas respectivas fotos de lâminas. EF 03 (A, B e C), EF 04 (D, E e F).

RESULTADOS U-Pb

Os resultados U-Pb em zircão são aqui apresentados para as amostras agrupadas no litotipo ortognaisse, de forma são discutidos inicialmente as feições dos grãos de zircão e as idades U-Pb obtidas através do diagrama de concórdia.

Entre os ortognaisses, são apresentadas inicialmente as amostras de rochas com foliação intensa (amostras EF-07, EF-08, EF-09 e EF-17) com os resultados apresentados no apêndice 1. Em seguida as apresentadas as rochas de aspectos isotrópicos (amostras EF-05, EF-06, EF-10), com resultados no apêndice 2. Na sequência são apresentados os resultados dos granitos leucocráticos (EF 03 e EF-04) e os respectivos resultados mostrados no apêndice 3.

A amostra EF-07 apresenta grãos de zircão com morfologia variando de prismáticos a alongados e apresenta a reação comprimento/largura variando de 1:1 a 1:5 (Figura 8A). Em geral os grãos mostram terminações arredondadas e raros casos terminações piramidais. As imagens de Catodo luminescência (CL) dos grãos mostram zoneamento oscilatório (com as camadas variando de espessura) interno bem definido, uma textura típica de crescimento em processos magmáticos. As 26 análises resultaram em idade de 626 ± 24 Ma concordante (Figura 9A) interpretada como idade de cristalização.

As imagens de CL da amostra EF-08 mostram grãos de zircão com núcleos e bordas (Figura 8B), sendo que as análises realizadas em borda e núcleo nem sempre resultaram em idades distintas,

sugerindo um processo re-homogeneização isotópica do núcleo mais antigo durante o crescimento da borda no evento de retrabalhamento (metamorfismo na fácies granulito).

Nos casos em que o núcleo apresenta cor cinza claro foram obtidas as melhores idades paleoproterozoicas, sugerindo a preservação da composição isotópica original. As bordas dos grãos de zircão neoproterozoicos ocorrem na coloração cinza claro e não apresenta zoneamento oscilatório muito claro, mas tende a ter padrões de variação de cor não regulares. As 20 análises resultaram em idade de 595 ± 7 Ma (Figura 9B) no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo) e 2142 ± 6 Ma no intercepto superior (interpretada como idade de cristalização).

A partir das imagens de CL foi possível individualizar dois grupos de grãos para a amostra EF-09 (Figura 8C), o primeiro de cristais de zircão prismáticos, alongados, com padrão largura/comprimento (1:3 a 1:4) e o segundo grupo de grãos zircão com as arestas terminações arredondadas que ocorrem em menor frequência. As texturas dos grãos zircão são oscilatórias (limites entre zonas claras regulares) ou convoluta (com limites entre zonas claras e escuras curvas e irregulares), porém algumas regiões com padrão homogêneo cinza claro (Figura 9C). As 20 análises resultaram em idade de 582 ± 21 Ma (Figura 9C) no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo) e 2073 ± 26 Ma no intercepto superior (interpretada como idade de cristalização).

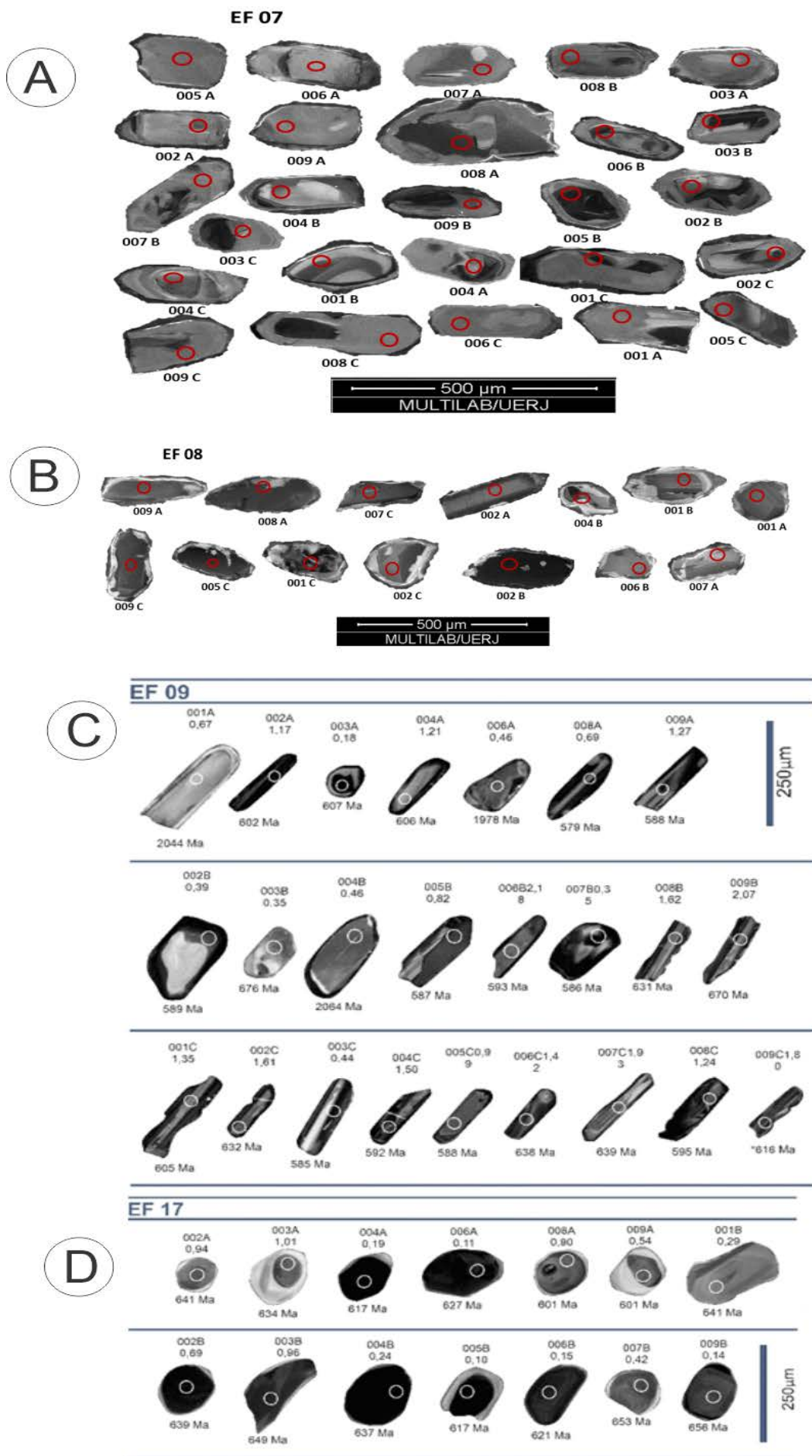


Figura 8 – Prancha de grãos de zircão das amostras analisadas das rochas paleoproterozoicas do grupo de gnaiss ortoderivado intensamente deformado. Amostras EF 07 (A), EF 08 (B), EF-09 (C) e EF-17(D).

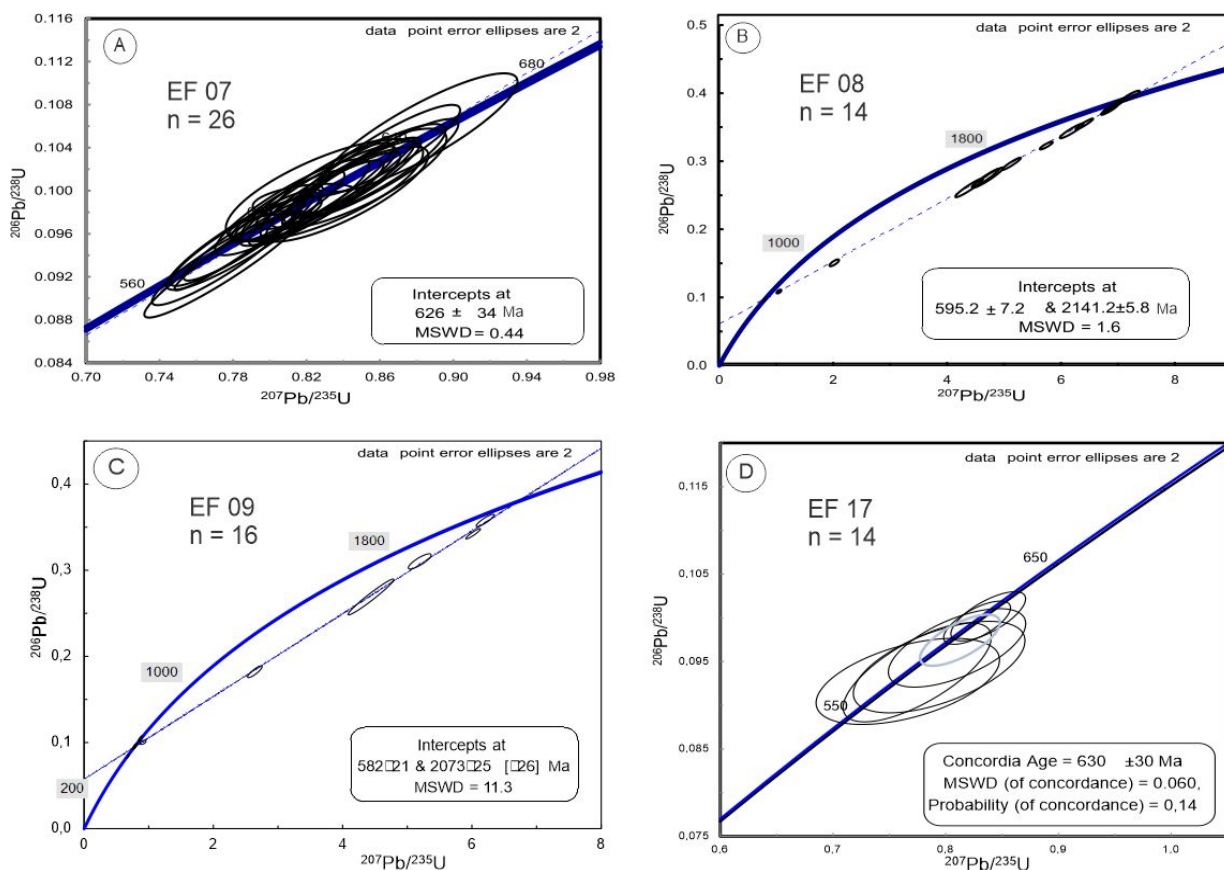


Figura 9 – Concórdias das amostras das rochas agrupadas como ortognaisses foliados. **A)** Amostra EF 07 (626 ± 24 Ma concordante, interpretada como idade de cristalização). **B)** Amostra EF 08 (idade de 595 ± 7 Ma no intercepto inferior e 2142 ± 6 Ma no intercepto superior). **C)** Amostra 09 (idade de 582 ± 21 Ma no intercepto inferior e 2073 ± 26 Ma no intercepto superior). **D)** Amostra EF 17 (idade 630 ± 30 Ma).

A morfologia dos grãos de zircão da amostra EF-17 apresenta relação comprimento/largura de 1:1 a 1:5 (Figura 8D). Ressalta nas imagens de CL bordas esbranquiçadas envolvendo núcleos cinza escuros. Tanto o núcleo com cor cinza quanto as bordas dos grãos de cor cinza claro apresentam idades neoproterozoicas, sugerindo um intenso processo de re-homogeneização isotópica.

As 14 análises resultaram em idade concordante de 630 ± 30 Ma (com intercepto superior ancorado no zero; Figura 9D).

A amostra EF-5 possui grãos de zircão arredondados, são encontrados zircões com borda claras de sobrecrecimento metamórfico, e núcleos escuros (Figura 10A). As 22 análises (Figura 11A) resultaram na idade de 601 ± 9 Ma no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo) e 2208 ± 10 Ma no intercepto superior (interpretada como idade de cristalização).

Na amostra EF-06 os grãos de zircão são os maiores encontrados nesse estudo. No epóxi observa-se grãos quebrados ou corroídos (Figura 10B). Desta forma, as relações comprimento/largura são variáveis, porém as imagens de CL apontam zonação oscilatória com rara regularidade entre as camadas de tons de cinza claro

cinza e escuro que apresentam limites retilíneos. As 25 análises resultaram em idade concordante de 554 ± 8 Ma (Figura 11B).

Na amostra EF-10 observam-se grãos de zircão subédricos a anédricos, com raras arestas retilíneas, com maioria dos grãos arredondados. A relação comprimento/largura varia de 1:1 a 1:3 (Figura 10C). São observados inúmeros grão de zircões com os limites corroídos, raramente observados nesse estudo. Nas imagens de CL o padrão predominante é zonação irregular, com núcleos mais escuros mais escuros que as bordas. As 19 análises resultaram em de idade de 570 ± 24 Ma (Figura 11C) no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo) e 1768 ± 35 Ma no intercepto superior (interpretada como idade de cristalização). A amostra EF10 é interpretada.

Por fim, são apresentados os resultados do granito leucocrático (Apêndice 3; amostras EF-03 e EF-04).

Os grãos de zircão da amostra EF-03 apresentam padrão de comprimento/largura de 1:1 a 1:3, sempre com terminações arredondadas, euédricas a subédricas (Figura 12A). Observam-se núcleos cinza escuro e sobrecrecimento cinza

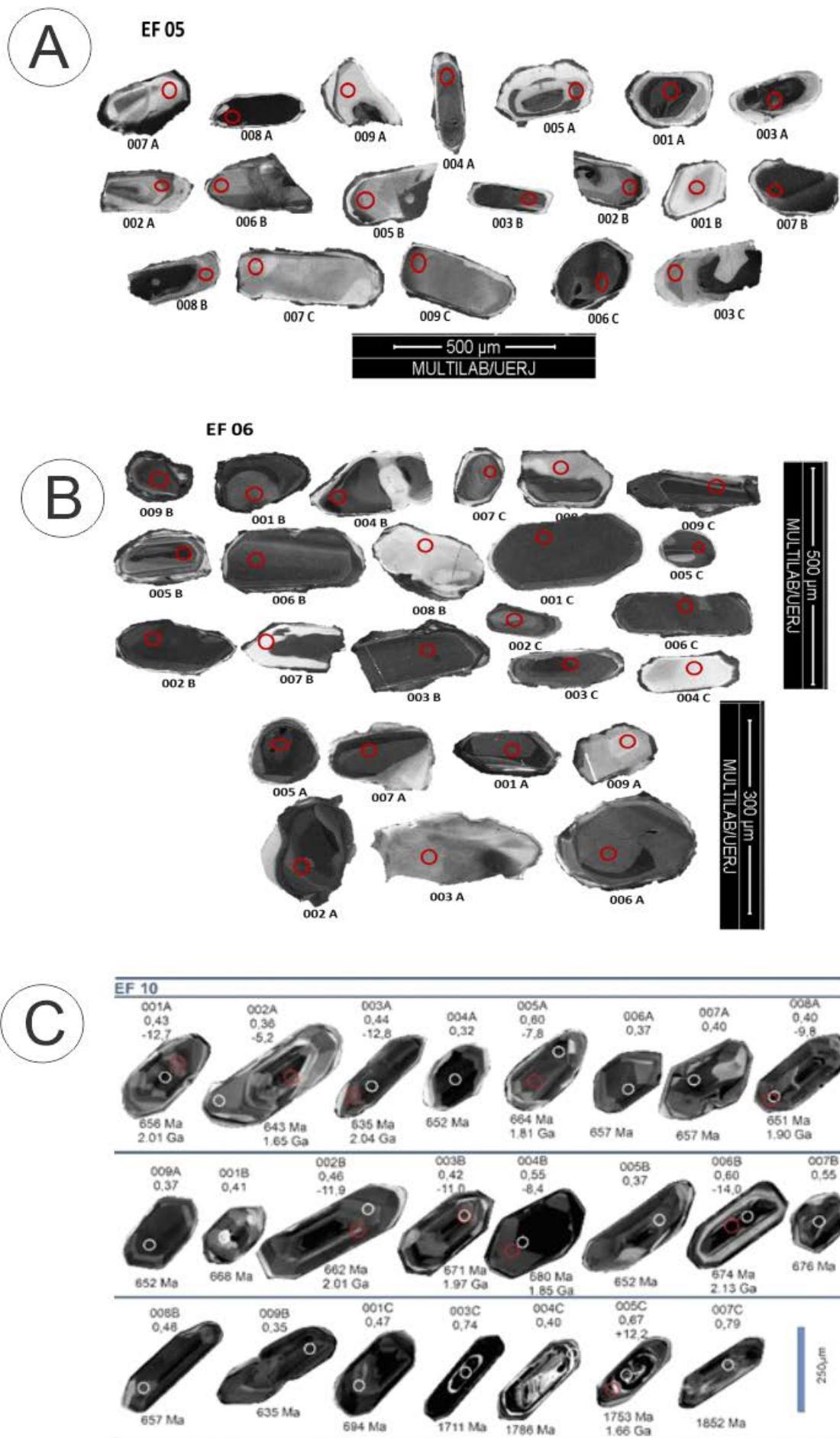


Figura 10 – Prancha de grãos de zircão das amostras analisadas das rochas paleoproterozoicas do grupo de gnaiss ortoderivado intensamente deformado. Amostras EF 05 (A), EF 06 (B) e EF-10 (C).

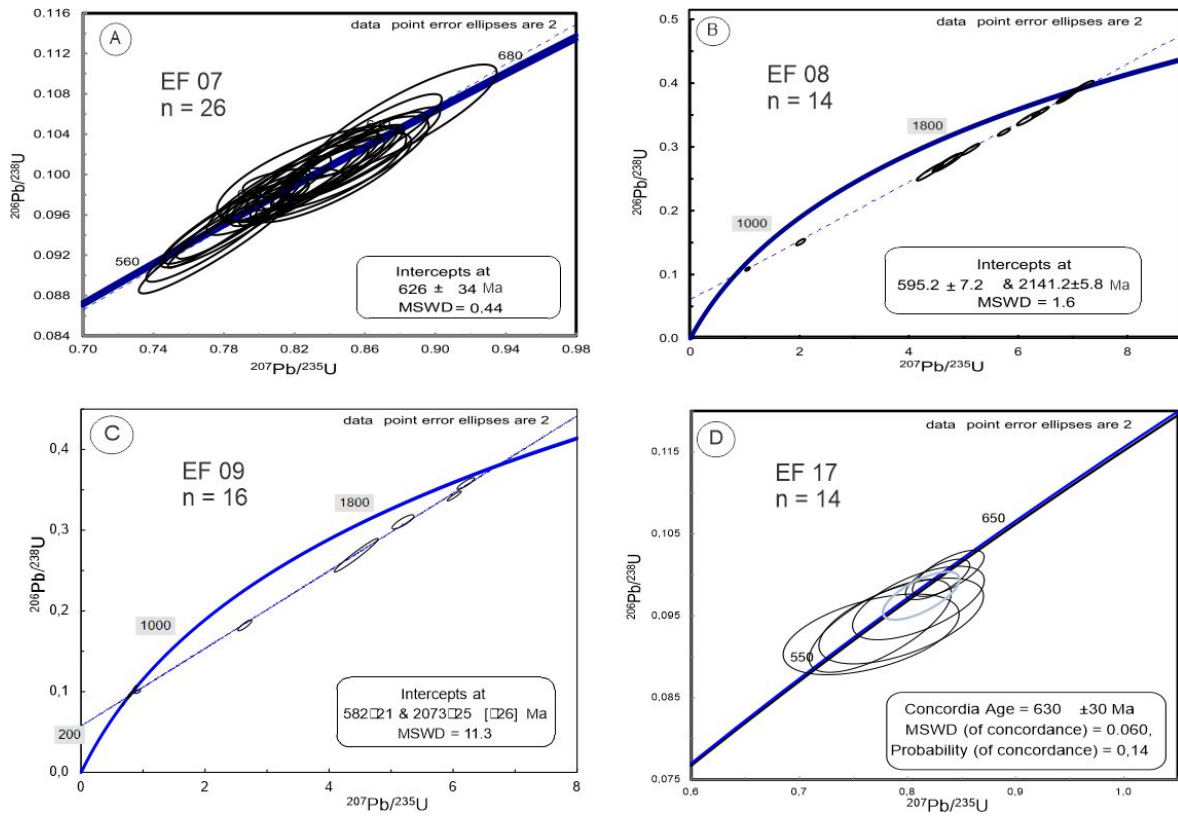


Figura 11 – Concórdias das amostras das rochas agrupadas como ortognaisses não foliados. **A)** Amostra EF 05 com idade de 601 ± 9 Ma no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo), e 2002 ± 10 Ma no intercepto superior interpretada como idade de cristalização). **B)** Amostra EF 06 com idade de 554 ± 8 Ma concordante. **C)** Amostra EF-10 com idade de 570 ± 24 Ma no intercepto inferior e 1768 ± 36 Ma no intercepto superior).

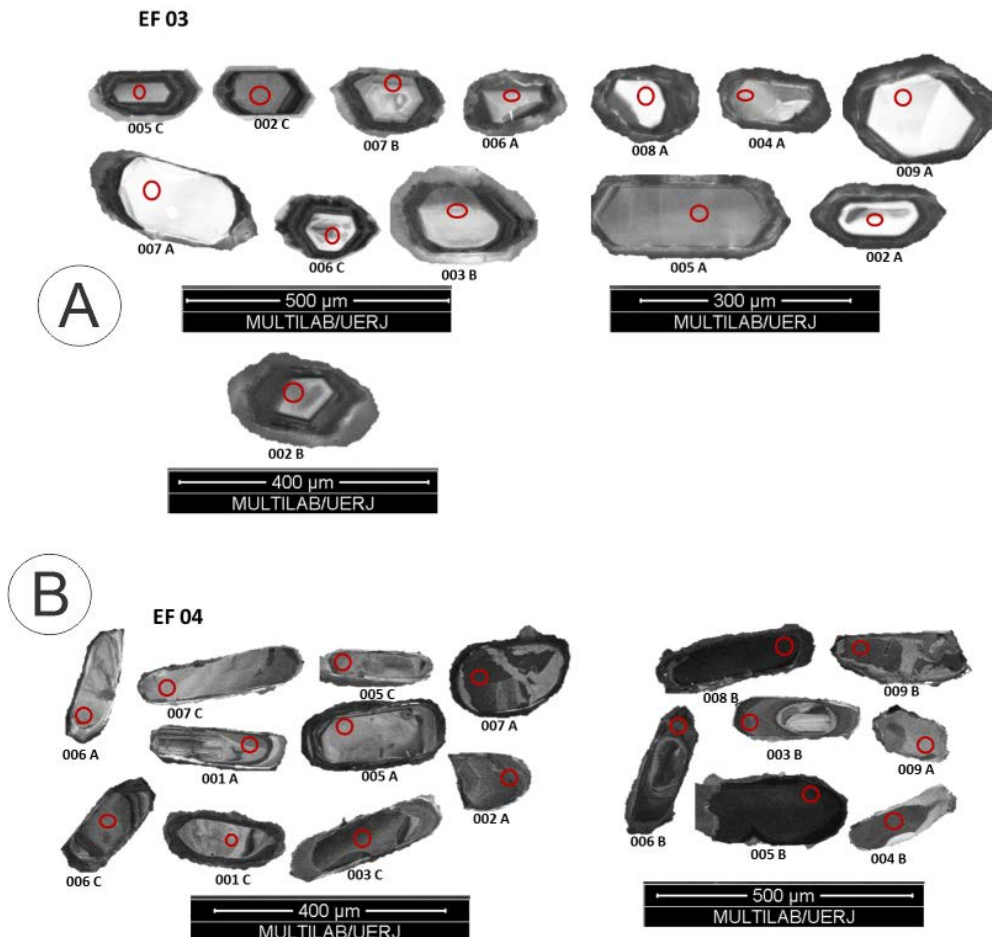


Figura 12 – Prancha de grãos de zircão das amostras analisadas das rochas do grupo de granito leucocrático (amostras EF 03 e EF 04).

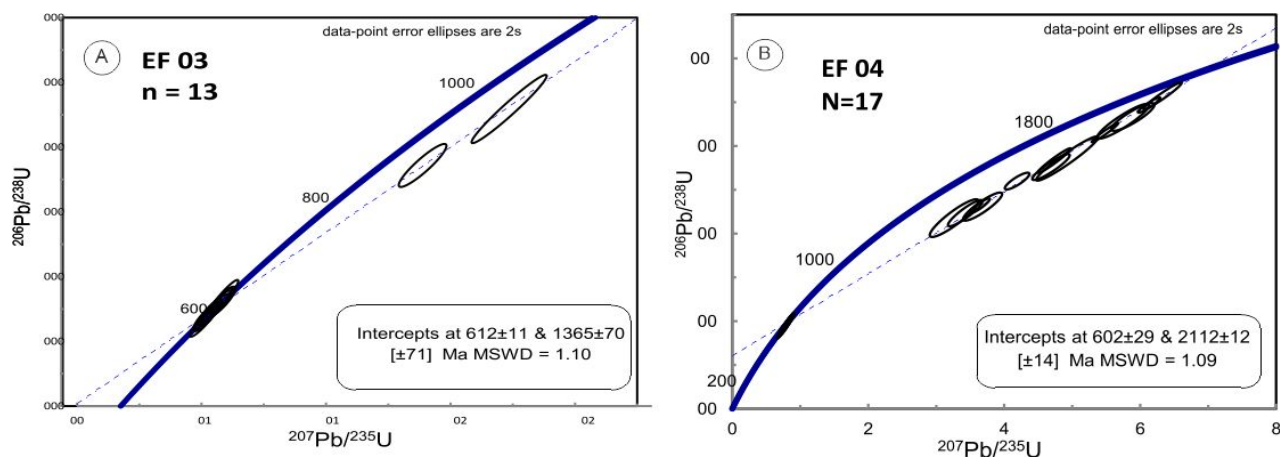


Figura. 13– Concórdias das amostras do granito leucocrático. Em **A**) a amostra EF-03 apresenta uma idade de 612 ± 11 Ma (interpretada como idade de metamorfismo) com grãos de zircão herdados de idade mesoproterozoica. **B**) A amostra EF-04. Apresenta idade de 602 ± 29 Ma no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo) e 2112 ± 12 no intercepto superior (interpretada como idade de cristalização) do granada charnockito.

claro. Os núcleos dos grãos de zircão apresentam, quando observados s imagens de CL zonação oscilatória (magmática) e irregular (metamórfica). As bordas dos grãos de zircão apresentam cor cinza claro e indicam idade neoproterozoica (Figura 13A). As 13 análises resultaram em idade de 612 ± 11 Ma no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo).

A amostra EF-04, de modo geral a imagens de catodo luminescência mostram os grãos de zircão com formas alongadas onde predominam grãos subédricos (padrão comprimento/largura variando de 1:2 a 1:5, mais homogêneos comparados com as outras amostras).

RESULTADOS ISOTÓPICOS Lu-Hf

No apêndice 4 são apresentados os resultados analíticos dos isótopos de Lu e Hf das amostras estudadas. Para a amostra EF 04 as sete análises Lu-Hf resultaram em valores de idade modelo T_{DM} entre 2,83 a 2,06 Ga e os valores de ϵ_{Hf} variam entre -21 e -8,9 calculados para a idade U-Pb de 2212 ± 12 . Esses resultados indicam que a rocha analisada foi gerada a partir de um magma cujo período de extração mantélica é equivalente a idade U-Pb. Os valores negativos de ϵ_{Hf} sugerem a formação destes magmas em ambiente de arco magmático com importante contaminação crustal.

Na amostra EF 05 as seis análises Lu-Hf resultaram em valores de idade modelo T_{DM} entre 2,64 a 2,04 Ga e os valores de ϵ_{Hf} variam entre -21,8 e -11 calculados para a idade U-Pb de 2201 ± 10 . Tal qual a amostra EF 04, os resultados da amostra EF 05 indicam que a rocha de onde foram extraídos os zircões foi gerada a partir de um magma mantélico, sugerindo um caráter

O padrão de zonação oscilatório predomina e a pontualidade de pequenas regiões com contraste na luminescência no centro de alguns grãos torna-se corriqueiras (Figura 12B). Novamente o sobrecrecimento metamórfico é visto nos grãos, onde as imagens CL mostram tons claros de cinza. Onde as bordas dos grãos de zircão são espessas o suficiente as análises realizadas confirmaram idades neoproterozoicas. As 17 análises (Figura 13B) resultaram em idades de intercepto inferior de 602 ± 29 Ma (interpretada como idade de metamorfismo) e intercepto superior de 2212 ± 12 Ma (interpretada como idade do protólito).

juvenil para essa amostra. Os valores de ϵ_{Hf} negativos indicam a geração de líquidos magmáticos com importante participação de crosta arqueana anteriormente formada.

Diferentemente da amostra anterior, a amostra EF 06 (nove análises) revela idades T_{DM} entre 1,96 a 1,70 Ga e valores de ϵ_{Hf} entre -7,3 e -3,3 (usando-se a idade de cristalização de 594 ± 3 Ma) sugerindo as fontes magmáticas envolvidas em sua formação foram crustais, sendo sua idade de extração mantélica (T_{DM}) ocorrida no período Paleoproterozoico.

Para a amostra EF 10, as 10 análises resultaram em valores de idade modelo T_{DM} entre 2,22 e 1,78 e valores de ϵ_{Hf} variam entre -14,6 e -6,7 calculados para a idade U-Pb de 1768 ± 35 . Esses resultados indicam que a rocha analisada foi gerada a partir de um magma cujo período de extração mantélica é anterior a idade U-Pb sugerindo um caráter crustal para a formação dos magmas que deram origem a estas rochas.

Na figura 14 são ilustrados os diagramas dos valores de ϵ_{Hf} para as idades de cristalização das amostras aqui estudadas (amostras EF-04, EF-05, EF-06 e EF-10). O diagrama mostra três grupos de amostras com evolução isotópica de Hf distintos, onde o mais antigo é representado pelas amostras EF 04 (4 grãos) e EF 05 (dois grãos) e apresentam uma idade de extração mantélica arqueana. Estas rochas podem representar fontes retrabalhadas do Cráton São Francisco, com idades na literatura de até 3,5 Ga. O segundo grupo de amostras sugerido no diagrama da Figura 15 é representado pelas amostras EF 05 (cinco grãos), EF 04 (cinco grãos) e EF 10 (todos

grãos). Este grupo de amostras indica uma evolução isotópica de Hf coerente com uma fonte cuja extração mantélica ocorreu entre 2,5 e 3,0 Ga e apresentam valores de ϵ_{Hf} negativos, indicando importante participação crustal na origem destes magmas. O grupo mais jovem observado no diagrama ϵ_{Hf} versus Idade U/Pb é representado pela amostra EF 06 e apresentam valores de extração mantélica mesoproterozoica e valores de ϵ_{Hf} negativos. Estas assinaturas podem indicar magmas mantélicos extraídos no Neoproterozoico com importante participação das crostas mais antigas na geração dos respectivos magmas.

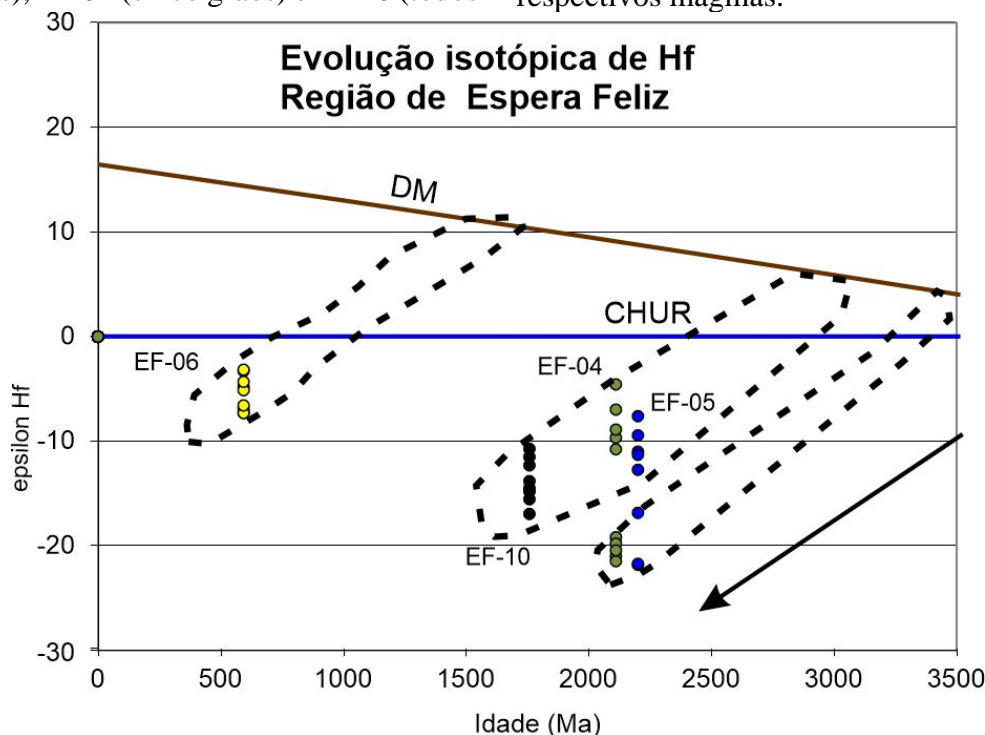


Figura 14 – Diagrama de ϵ_{Hf} versus Idade (Ma) para as amostras estudadas. A seta marca a evolução da crosta continental média com $^{176}\text{Lu} / ^{177}\text{Hf} = 0,0113$.

DISCUSSÕES

As análises de U-Pb em zircão por LA-ICP-MS, realizadas em grãos obtidos de cada amostra resultaram nos dados geocronológicos complementados por imageamento utilizando microscópio eletrônico de varredura (MEV) para análise da estrutura interna dos grãos de zircão por catodo luminescência e da superfície por elétrons espalhados.

De forma geral foram observados grãos de zircão com morfologia arredondada e/ou alongada, sendo possível a identificação de núcleos herdados e sobrecrecimento nos grãos através das imagens feitas no MEV. Neste sentido, as análises geocronológicas U-Pb apresentam idades de cristalização do protólito que variam de 2200 Ma a 2075 Ma e idades de metamorfismo de

600 Ma a 570 Ma, para o ortogranulito heterogêneo. Estas idades são coerentes com as reportadas por Teixeira et al. (2014, 2015), Seixas et al. (2012 e 2013), Ávila et al. (2014) e Barbosa (2015), e para as rochas graníticas foram encontradas idades de cristalização de 630 Ma a 597 Ma.

A amostra EF-10 apresentou a idade de 570 ± 24 Ma no intercepto inferior (interpretada como idade de metamorfismo) e 1768 ± 35 Ma no intercepto superior (interpretada como idade de cristalização), coerente com o magmatismo representado pela Suíte Borrachudo, identificado como um evento magmático tipo-A, intrusivas nas rochas paleoproterozoicas e arqueanas do Cráton Amazônico. Esta é a segunda idade deste

magmatismo observada na região, a primeira tendo sido reportada por Faria et al. (2021) que obteve uma discórdia que sugere idade de cristalização magmática em 1775 ± 13 Ma (MSWD=1,03) e aponta idades de metamorfismo em 592 ± 15 . Segundo Faria et al. (2021) a Suíte granítica Borrachudos está relacionada a abertura do *rift* Espinhaço e estas rochas correm na porção central do estado de Minas Gerais, a nordeste do Quadrilátero Ferrífero e distribuídas em ampla faixa na borda sudeste do Cráton do São Francisco.

Quando lançados em um diagrama de ϵ_{Hf} versus Idade T_{DM} (Ga) (Figura 15), as rochas aqui estudadas se agrupam em duas tendências, a primeira com as amostras EF 04 e EF 06 sugerindo um protólito paleoproterozoico com variações de valores de ϵ_{Hf} indicando fontes crustais e mantélicas. Da mesma forma, um segundo grupo de rochas, constituídas pelas amostras EF 05 e EF 10, indica uma formação no Neoproterozoico a partir de fontes crustais com um componente mantélico.

Neste sentido, estes resultados somados com

as informações da literatura permitem sugerir uma evolução geológica com a formação do embasamento paleoproterozoico constituído por rochas ortoderivadas originadas em ambiente de arco magmático (2200-2075 Ma) e estão relacionados a processos de subducção e geração de magmas juvenis (Quemeneur & Noce, 2000; Heilbron & Machado, 2003; Ávila et al., 2006; 2014; Teixeira et al., 2008; 2017; Seixas et al., 2012; 2013).

Estas rochas foram formadas com importante participação de rochas arqueanas que regionalmente são representadas pelo Complexo Mantiqueira. Posteriormente, as rochas paleoproterozoicas foram intrudidas por um magmatismo neoproterozoico (630-570 Ma) durante o processo de subducção de assoalho oceânico com a aproximação dos paleocontinentes Congo e São Francisco. Um terceiro evento pode ser sugerido, identificado nas idades U-Pb das rochas estudadas, caracterizado pelo metamorfismo e anatexia (600-570 Ma) durante a colisão e formação do Gondwana.

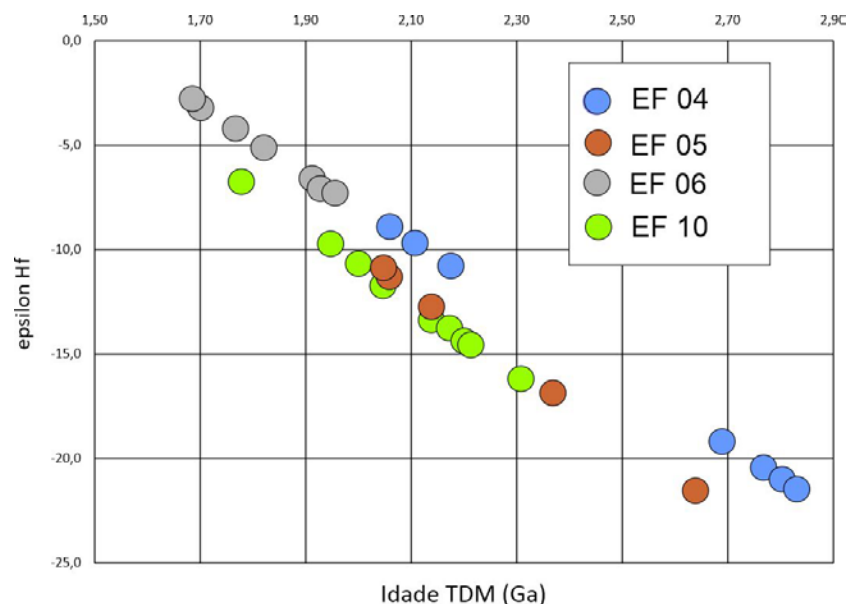


Figura 14 – Diagrama de ϵ_{Hf} versus Idade T_{DM} (Ga) para as amostras estudadas.

As análises petrográficas apontam para rochas gnáissicas ortoderivadas granulíticas tendo como minerais principais quartzo, plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio e anfibólio. As amostras estudadas são caracterizadas por feições deformacionais com os minerais apresentando microestruturas associadas a deformação intracristalina, como maclas de deformação no plagioclásio (Nogueira & Choudhuri, 2000) e extinção ondulante. Também são comuns processos de recristalização dinâmica, observados principalmente com o quartzo. Foram caracterizados, princi-

palmente na amostra EF 07, a presença de termos miloníticos associados a zonas de cisalhamento.

As amostras EF 06 (597 ± 2 Ma, idade concordante) e EF 07 (601 ± 2 Ma, intercepto superior, com inferior ancorado no zero) podem ser interpretadas como de origem ígnea, formadas no Ediacariano (Tedeschi, 2013). As informações geocronológicas do período de formação das rochas magmáticas ocorrido entre 630 Ma e 570 Ma permitem interpretar como o período de tempo do processo de subducção da placa oceânica. Neste sentido, as rochas datadas neste período

nos cinturões Ribeira e Araçuaí indicam a duração do processo de subducção, e início da deformação e metamorfismo dos protólitos sedimentares.

Durante o período de subducção e geração de rochas magmáticas derivadas do manto são representadas por tonalitos, granodioritos e granitos, característica de rochas geradas a partir de magmas formados através da fusão parcial de um manto peridotítico (Sollner et al., 1989a; 1989b). Estas rochas ortoderivadas podem ter sido formadas em diferentes pulsos deste magmatismo manto-derivado e guardam peculiaridades em termos de proporção entre participação de manto e contribuições crustais na formação dos seus respectivos magmas, bem como variações em termos de profundidades, deformação (diferentes feições de foliação) e estágios de fracionamento magmático (Bilal et al., 2000a, b), interpretadas como resultado de um processo de subducção de crosta oceânica e formação de rochas em ambiente de arco magmático.

Com desenvolvimento de cavalgamentos ocorreu o contato de rochas paraderivadas e rochas ortoderivadas, gerando deformação, metamorfismo, duplicação de crosta continental e anatexia das rochas do orógeno, formadas durante o período pré-colisional. As novas paragêneses formadas durante o processo metamórfico apontam para metamorfismo de alto grau, na fácies granulito, que sugerem altas temperaturas e pressão, indicando a possível duplicação da crosta.

Neste período, as rochas podem ter atingido profundidades superiores a 20km e temperaturas de até 800° C. Em porções hidratadas o metamorfismo de alto grau resultou em fusões parciais das rochas, provocando a formação de magmas *in situ* e cristalização de pegmatitos (Correia Neves, 1981; 1990). Neste caso, rochas graníticas ricas em granada foram formadas em grande volume a partir da fusão dos metassedimentos (Noce et al., 2000; Novo et al., 2011).

A deformação também resultou em dobras (abertas, fechadas, em bainha, entre outras), foliações bem marcadas por orientações de minerais neoformados, lineações principalmente

de micas, além de bandamento composicional devido a fusões parciais e segregações entre líquidos félsicos (Besang et al., 1977; Lammerer, 1987; Cavalcante et al., 2013) e formação de bandas enriquecidas de minerais máficos (Bayer et al., 1986). Feições migmatíticas são observadas do tipo bandada, schlieren, em laço e nebulíticas, entre outras, atestando os processos metamórficos de alto grau durante o processo colisional (Monteani et al., 2000).

Ainda durante o processo colisional, após o desenvolvimento de cavalgamentos e de dobramentos, novos esforços promoveram a geração de movimentos oblíquos e direcionais (Ebert et al., 1996; Costa et al., 1998), com movimentação entre blocos e a criação de grandes zonas de cisalhamento nos seus limites. Estas zonas de cisalhamentos apresentam relação de corte com as feições estruturais geradas no primeiro momento da colisão, sugerindo a sua idade relativa mais jovem.

Em adição, estas estruturas apresentam mergulhos elevados e lineações preferencialmente subhorizontais, indicando a transcorrência ainda em ambiente dúctil. A cinemática geral destas estruturas indica movimentação predominantemente dextral para estes grandes sistemas de cisalhamento, resultado de um regime de esforços que indicam uma tectônica de escape. Estas novas estruturas cortam também as rochas orto- e paraderivadas geradas nos eventos anteriores e promovem intensa cominuição dos grãos nas rochas atingidas, além de formação de minerais micáceos orientados conforme a direção dos esforços.

O resfriamento lento do orógeno a partir do seu colapso além de gerar corpos magmáticos (Campos et al., 2016), resulta em um contexto geológico complexo, com alternância de rochas de idades diferentes e formadas em ambientes tectônicos diferentes definem um quadro atual complexo. As consequências no quadro estrutural são ainda mais complexas, com dobramentos e migmatização no ápice do metamorfismo, porém na zona de colisão estruturas de cavalgamento e zonas miloníticas, registram a atuação de importantes esforços.

CONCLUSÕES: UMA PROPOSTA DE EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A partir das observações dos resultados é possível interpretar a formação das rochas paleoproterozoicas aqui estudadas a partir da mistura de fontes mantélica e crustal em um

período de extração mantélica com participação de crosta neoarqueana. Estas rochas foram cristalizadas entre 2200 Ma e 2075 Ma, demonstradas pelas idades U-Pb (Noce et al.,

1998; Teixeira et al., 2000; Campos et al., 2003; Hartman et al., 2006; Lana et al., 2013). O evento metamórfico (de 600 Ma a 570 Ma), que atingiu essa rocha no Ediacarano apresenta segundo os resultados, um retrabalhamento crustal com

idades Neoproterozoicas (Machado et al., 1996; Heilbron et al., 2004; 2008). Os resultados aqui apresentados permitem sintetizar os estágios da evolução geológica regional (Figura 15) como apresentado a seguir.

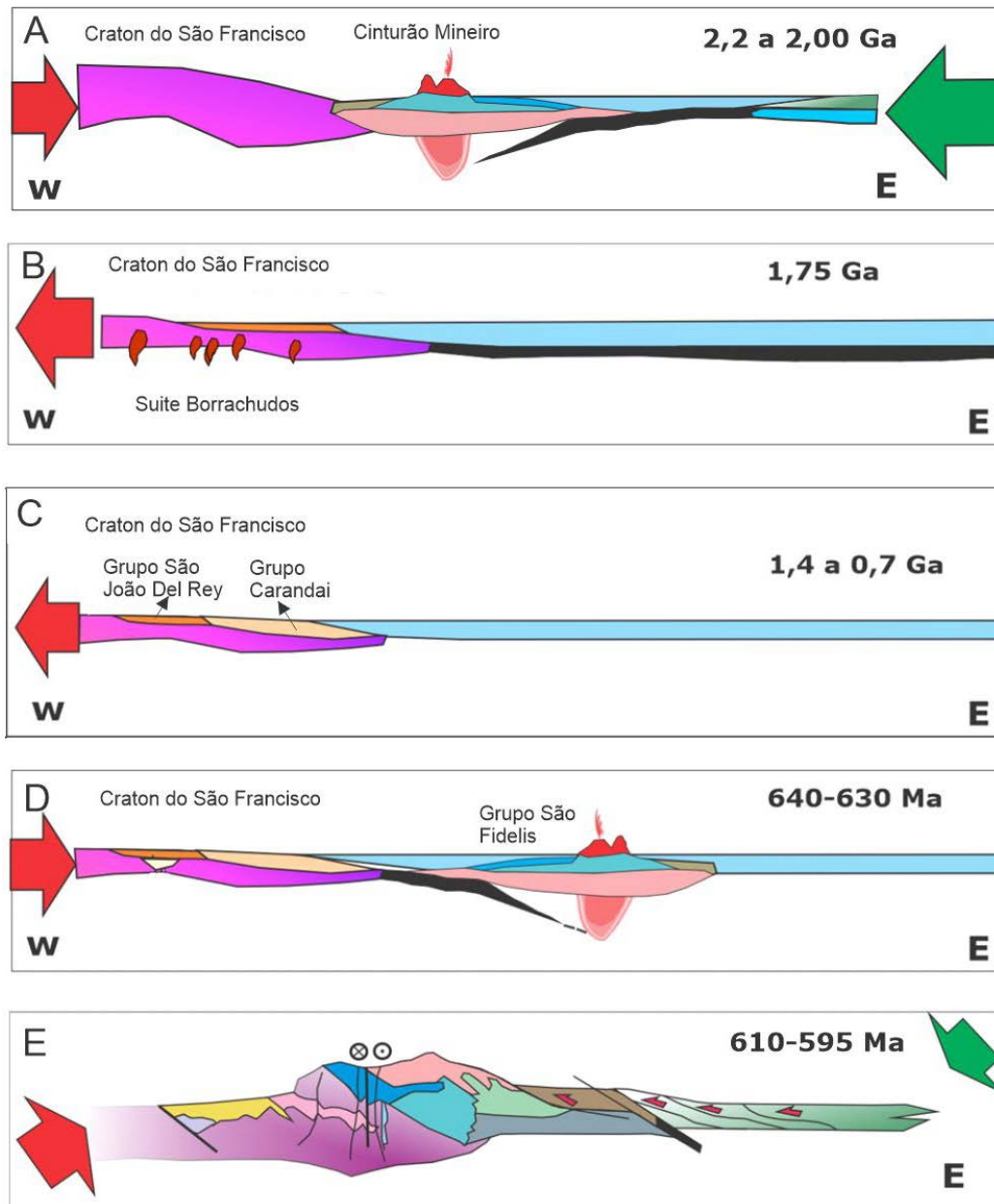


Figura 15 - Episódios da evolução crustal na região entre os Orógenos Ribeira e Araçuaí, a partir dos resultados aqui reportados e da literatura.

Estágio 1

As rochas mais antigas observadas na região de estudo estão relacionadas com a evolução geológica do Complexo Juiz de Fora (Figura 15A) e podem ser correlacionadas ao Cinturão Mineiro. As idades obtidas neste intervalo são representadas pelas amostras EF 04 (2114 ± 12 Ma, intercepto superior), EF 05 (2201 ± 9 Ma, intercepto superior), e amostra EF 08 (2141 ± 5 Ma, intercepto superior). Estas idades são correlacionadas a implantação do Arco Serrinha, proposto por Ávila et al. (2006; 2014) e Teixeira

et al. (2015), que constitui parte do Cinturão Mineiro. O Arco Serrinha apresenta rochas manto derivadas (Fischel et al., 1998) com idades no intervalo de cerca de 2.230 – 2.080 Ma e representa um dos primeiros arcos magmáticos originado a partir de subducção da litosfera oceânica no Paleoproterozoico.

Estágio 2

As idades de 1768 ± 35 Ma encontrada amostra na EF-10, podem ser correlacionadas a Suíte granítica Borrachudos que possui idades em torno de 1.7 Ga e está relacionada a abertura

do *rift* Espinhaço (Teixeira et al., 2000). Essas rochas correm na forma de vários corpos na porção central do estado de Minas Gerais, a nordeste do Quadrilátero Ferrífero e distribuídas em ampla faixa na borda sudeste do Cráton do São Francisco, idades estas coerentes com a idade reportada por Faria et al., (2020) de 1.775 ± 13 na região de Espera Feliz. Em adição, idades de ca. 1,75 Ma reportadas por Heilbron et al., (2004) reforçam a presença deste magmatismo na área de estudo. A amostra apresentou a idade de 570 ± 24 Ma no intercepto inferior e pode ser interpretada como idade de metamorfismo. As rochas da suíte Borrachudo são interpretadas como de origem anorogênicas, durante eventos extensionais (Figura 15B) que atingiram o Cráton do São Francisco durante o Mesoproterozoico (Teixeira et al., 2000; Amorim, et al., 2020).

Estágio 3

A Unidade metassedimentar observada na área de estudo pode ser correlacionada com os sedimentos meso- e neoproterozoicos depositados por sobre a plataforma continental representada pelas rochas do Cinturão Mineiro. As amostras EF 01, EF 02 e EF 11 são caracterizadas como paraderivadas, e podem representar rochas depositadas (Figura 15C) numa fase de estabilidade da margem sul-sudeste do Cráton de São Francisco e são representadas pelas rochas sedimentares dos Grupos São João Del Rey e Andrelândia (Valladares et al., 2004; Alkmim & Martins-Neto, 2012; Ribeiro et al., 2013). As informações geocronológicas sobre as rochas geradas neste período não são definitivas, mas apontam para idades mesoproterozoicas podendo ter alcançado o início do Neoproterozoico. Em adição, no decorrer do Neoproterozoico, foram depositados os sedimentos do Grupo Paraíba do Sul e os sedimentos do Complexo Itálva, cujas idades ainda são motivo de debate.

Estágio 4

As amostras EF 06 (591 ± 7 Ma, intercepto superior) e EF 07 (626 ± 34 Ma, intercepto superior) podem ser interpretadas como de origem ígnea, formadas no Neoproterozoico (Machado et al., 1996; Heilbron et al., 2004; 2008; Babinski et al., 2005; Tedeschi, 2013). As informações geocronológicas do período de formação das rochas magmáticas ocorrido entre 640 e 630 Ma permitem interpretar como o período de subducção de placa oceânica sobre o Cráton do São Francisco. Neste sentido, as rochas datadas neste período nos cinturões

Ribeira e Araçuaí indicam o processo de consumo de crosta oceânica. As relações de campo sugerem a intrusão dos corpos ortoderivados nos paragnais que corroboram com esta hipótese.

Outro aspecto interessante sobre este período de subducção (Figura 15D) e geração de rochas magmáticas manto derivadas é a variação composicional destas rochas. A presença de rochas gabroicas, tonalíticas, dioríticas, granodioríticas e graníticas sugerem uma suíte calcioalcalina expandida (Sluitner & Weber-Diefenbach, 1989), característica de rochas geradas a partir de magmas formados através da fusão parcial de um manto peridotítico (Sollner et al., 1989a; 1989b).

Estas rochas ortoderivadas podem ter sido formados em diferentes pulsos deste magmatismo manto derivados e guardam peculiaridades em termos de proporção entre participação de manto e contribuições crustais na formação dos seus respectivos magmas (como é sugerido pelos valores de ϵ_{Hf} negativos), bem como variações em termos de profundidades, deformação (diferentes feições de foliação) e estágios de fracionamento magmático (Bilal et al., 2000a, b). A vigência da subducção é motivo de debate, e neste trabalho adota-se a proposta de Tupinambá et al. (2012).

Estágio 5

O final do processo de subducção e da geração de magmas cálcio-alcalinos ocorreu quando a crosta siálica recém-formada, representada pelas rochas juvenis do arco magmático, adicionadas às rochas metassedimentares, colidiram com o Terreno Ocidental (Figura 15E) composto pelas rochas ortoderivadas do Complexo Juiz de Fora, além dos metassedimentos do Grupo São João del Rey, Andrelândia e Carandaí.

As amostras EF 03, EF 04, EF 05 e EF 08 apresentam diagrama da concórdia com resultados analíticos indicando idades U-Pb no intercepto inferior que podem ser interpretados como resultado de um evento metamórfico. As idades são, respectivamente, 612 ± 11 Ma, 602 ± 29 Ma, 601 ± 8 Ma, e 595 ± 7 Ma. Esta colisão pode ter sido diacrônica, com desenvolvimento de cavalgamentos, deformação, metamorfismo, duplicação de crosta continental e anatexia das rochas do orógeno.

Os cavalgamentos colocaram em contato rochas paraderivadas e rochas ortoderivadas, formadas durante o período pré-colisional. No Terreno Ocidental, rochas do embasamento representadas pelo Complexo Juiz de Fora foram

cavalgadas por sobre os paragneisses meso- e neoproterozoicos.

Um produto desta colisão acompanhada de cavalgamentos foi o aumento da temperatura e da pressão. As novas paragêneses formadas durante o processo metamórfico apontam para metamorfismo de médio a alto grau, entre a fácies xisto-verde ao anfíbolito. Localmente processos de granulitização sugerem altas temperaturas e pressão, indicando a possível duplicação da crosta e neste período as rochas podem ter atingido profundidades superiores a 20km e temperaturas de até 800° C. Em porções hidratadas o metamorfismo de alto grau resultou em fusões parciais das rochas, provocando a formação de magmas *in situ* e cristalização de pegmatitos (Correia Neves et al., 1984; 1987; Narduzzi et al., 2017). Neste caso, rochas

graníticas ricas em granada foram formadas em grande volume a partir da fusão dos metasedimentos (Novo et al., 2011).

A deformação também resultou em dobras (abertas, fechadas, em bainha, entre outras), foliações bem marcadas por orientações de minerais neoformados (sillimanita), lineações principalmente de micas, além de bandamento composicional devido a fusões parciais e segregações entre líquidos félsicos (Besang et al., 1977; Lammerer, 1987; Cavalcante et al., 2013) e formação de bandas enriquecidas de minerais máficos (Bayer et al., 1986). Feições migmatíticas são observadas do tipo bandada, schlieren, em laço e nebulíticas, entre outras, atestando os processos metamórficos de alto grau durante o processo colisional (Moterani et al., 2020).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ (Edital "PENSA RIO Processo # E-26 / 1003 010.003024 / 2014). Mauro Geraldes gostaria para agradecer ao CNPq pela bolsa de pesquisa (processo nº 301470 / 2016). Os autores agradecem ao Sr. Raimundo Nonato Rodrigues Teixeira do MultiLab-UERJ, Sra. Gabriela Valdes do LGPA-UERJ, pelos apoios técnicos laboratoriais na preparação das amostras.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F.F. & MARTINS-NETO, M.A. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. *Marine Petrology Geology*, v. 33, p. 127-139, 2012.
- ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S.; PEDROSA-SOARES, A.C.; PERES, G.G.; CRUZ, S.; WHITTINGTON, A. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, v. 149, p. 43-64, 2006.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, v.17, p. 1-29, 1981.
- AMORIM, L.E.D.; RIOS, F.J.; FREITAS, M.E.; CUTTS, K.; GERALDES, M.C.; DINIZ, A.C. 2021. Zircon U-Pb geochronology of Paleoproterozoic Statherian intraplate A-Type magmatic associations of the Lagoa Real Uranium Province, São Francisco Craton (Bahia, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, V. 109, 103245, 2021.
- ANGELI, N. Pesquisa de calcário e caulim no norte do Estado do Rio de Janeiro, Sul do Estado do Espírito Santo e Serra do Caparaó (Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, XXX, Recife, 1978. Anais.; Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v. 4, p. 1714-1728.
- ÁVILA, C.A.; TEIXEIRA, W.; BONGIOLO, E.M.; DUSSIN, I.A. The Tiradentes suite and its role in the Rhyacian evolution of the Mineiro belt-São Francisco Craton: geochemical and U-Pb geochronological evidence. *Precambrian Research*, v. 243, p. 221-251, 2014.
- ÁVILA, C.A.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; BARRUETO, H.R.; PEREIRA, R.M.; MARTINS, V.T.S.; DUNYI, L. The Glória quartz-monzodiorite isotopic and chemical evidence of arc-related magmatism in the central part of the Paleoproterozoic Mineiro belt, Minas Gerais State, Brazil. *Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, p. 543-556, 2006.
- BABINSKI, M.; GRADIM, R.J.; PEDROSA-SOARES, A.C.; ALKMIM, F.F.; NOCE, C.M.; LIU, D. Geocronologia U-Pb (SHRIMP) e Sm-Nd de xistos verdes basálticos do Orógeno Araçuaí: Implicações para a idade de Grupo Macaúbas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 4, p. 77-81, 2005.
- BARBOSA, N.S. Evolução Paleoproterozoica do Cinturão Mineiro: Geocronologia U-Pb, isótopos de Nd-Hf-Sr e geoquímica de rochas plutônicas. São Paulo, 229 p. 2015. Thesis (Doctored), Universidade de São Paulo.
- BAYER, P.; HORN, H.A.; LAMMERER, B.; SCHMIDT-THOMÉ, R.; WEBER-DIEFEMBACH, K.; WIEDEMANN, C. The Brasiliano Mobile Belt in Southern Espírito Santo (Brazil) and its igneous intrusions. *Zbl. Geol. Paläont.*, v. 9/10, p. 1429-1439, 1986.
- BESANG, C.; EBERLE, W.G.; LAHNER, L.; LENZ, H.; MOLLAT, H.; MULLER, P.; PAULSEN, S. Radiometrische Altersbestimmungen an Gesteinen aus Minas Gerais und Espírito Santo, Brasilien. *Geology Journal*, v. 24, p.149-179, 1977.
- BILAL, E.; CORREIA-NEVES, J.M.; FUZIKAWA, K.; HORN, A.H.; MARCIANO, V.R.R.O.; FERNANDES, M.L.S.; MELLO, F.M.; MOUTTE, J.; NASRAOUI, M. Pegmatites of southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v 30, n. 1/2/3, 2000b.
- BILAL, E.; HORN, A.H.; NALINI H.A.; MELLO M. DE F.; CORREIA-NEVES, J.M.; GIRET, A.R.; MOUTTE, J.; FUZIKAWA, K.; FERNANDES, M.L.S. Neoproterozoic granulitoid suites in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v 30, p. 1/2/3, 2000a.
- BLICHERT-TOFT, J. & ALBAREDE, F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system. *Earth Planet. Sci. Lett.* 148, 243-258. BRITO-NEVES, B.B.; CAMPOS-NETO, M.D.; FUCK R.A. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, v. 22, p. 155-166, 1997.
- BRUEKNER, H.K. CUNNINGHAM, D. ALKMIN, F.F. MARSHAK S. Tectonic implications of Precambrian Sm-Nd

- dates from Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. *Precambrian Research*, v. 99, p. 55-269, 2000.
- CAMPOS NETO M.C. & FIGUEIREDO M.C.H. Evolução geológica dos terrenos Costeiro, Paraíba do Sul e Juiz de Fora (RJ-MGES). Natal, 1990. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Anais...Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, v. 6, p. 2631-2648.
- CAMPOS, C.P.; MEDEIROS, S.R.; MENDES, J.C.; PEDROSA-SOARES, A.C.; DUSSIN, I.; LUDKA, I.P.; DANTAS, E.D. Cambro-Ordovician magmatism in the Araçuaí Belt (SE Brazil): Snapshots from a post-collisional event. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 68, p. 248-268, 2016.
- CAMPOS, J.C.S. & CARNEIRO, M.A. Neoproterozoic and Paleoproterozoic granulites marginal to the Jeceaba-Bom Sucesso lineament (SE border of the southern São Francisco Craton): Genesis and tectonic evolution. *Journal South American Earth Sciences*, v. 26, p. 463-484, 2008.
- CAMPOS, J.C.S.; CARNEIRO, M.A.; BASEI M.A.S. U-Pb evidence for Neoproterozoic crustal reworking in southern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 75, p. 497-511, 2003
- CAVALCANTE, G.C.G.; EGYDIO-SILVA, M.; VAUCHEZ, A.; CAMPS, P.; OLIVEIRA, E. Strain distribution across a partially molten middle crust: Insights from the AMS mapping of the Carlos Chagas Anatexite, Araçuaí belt (East Brazil). *Journal of Structural Geology*, v. 55, p. 79-100, 2013.
- CORDANI, U.G.; D'AGRELLA-FILHO, M.S.; BRITO NEVES, B.B.; TRINDADE, R.I.F. Tearing up Rodinia: the Neoproterozoic paleogeography of South American cratonic fragments. *Terra Nova*, v. 15, p. 350-359, 2003.
- CORREIA NEVES, J.M. Interpretação metalogenética e geoquímica de feldspato e micas em pegmatitos do Alto-Ligonha (Moçambique). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990, Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, v. 3, p. 1281-1293.
- CORREIA NEVES, J.M. Pegmatitos Graníticos: morfologia, mineralogia, geoquímica, gênese e metalogênese. *Belo Horizonte*, 262 p. 1981. Tese (Concurso para Professor Titular), Universidade Federal de Minas Gerais.
- CORREIA NEVES, J.M.; MONTEIRO, R.L.B.B. & DUTRA, C.V. Composição química de berilos pegmatíticos do Brasil e seu significado petrológico e metalogenético. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 14, n. 3, p. 137 - 146, 1984.
- CORREIA NEVES, J.M.; PEDROSA-SOARES, A.C. & MARCIANO, V.R.P.R.O. A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 1, p. 106-118, 1986.
- COSTA, A.G.; ROSIERE, C.A.; EBERT, H.D.; FICHEL, D.P.; FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M. The relation between frontal and strike-slip shear zones and the regional metamorphism and magmatism in a deep-crustal segment of the northern Ribeira Belt, SE Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECAMBRIAN AND CRATON TECTONICS, Ouro Preto. 1998. Anais...Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998, p. 26-28.
- CPRM, 2006. Programa Geologia do Brasil. Mapeamento Geológico e nota explicativa da Folha Espera Feliz, (SF.24-V-A-IV). HEINRICH, H.A.; SOARES-PEDROSA, A.C. (Coord.). Escala 1:100.000. CD-ROM.
- CRUZ, R.H.V. Petrologia e Geocronologia U-Pb (em Zircão) dos ortogranulitos aflorantes no setor norte da Faixa Ribeira, região entre Espera Feliz (MG) e Porciúncula (RJ). Rio de Janeiro. 2015. 132p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Geologia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- DUARTE, B.P.; FIGUEIREDO, M.C.H.; CAMPOS NETO, M.; HEILBRON, M. Geochemistry of the granulite facies orthogneisses of the Juiz de Fora complex, central segment of Ribeira Belt, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, p. 67-82, 1997.
- DUARTE, B.P.; HEILBRON, M.; CAMPOS NETO M.C. Granulite/charnockite from the Juiz de Fora Domain, central segment of the Brasiliano-Pan-African Ribeira belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 358-362, 2000.
- DUARTE, B.P.; HEILBRON, M.; NOGUEIRA, J.R.; TUPINAMBÁ, M.; SILVA, L.G.E.; ALMEIDA, J.C.H.; GUIA, C.; PRADO, J.; SUCCENA, M.; SOARES, A.C.P.; NOCE, C.M. Mapa geológico das Folhas Juiz de Fora: In: PEDROSA SOARES, A.C., NOCE, C.M., TROUW, R., HEILBRON, M. (Coords) - Projeto Sul de Minas: mapa (1:100.000). Comig - Secretaria de estado de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, 822 p. 2003.
- DUARTE, B.P.; VALENTE, S.C.; CAMPOS NETO, M.C. Petrogenesis of the orthogneisses of the Mantiqueira Complex, Central Ribeira Belt, SE-Brazil: an Archean to basement unit reworked during the Pan-African orogeny. *Gondwana Research*, v. 7, p. 437-450, 2004.
- EBERT, H.D. & HASUI, Y. Transpressional tectonic and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of south-east Brazil. In: HOLDSWORTH, R.E., STRACHAN, R.A., DEWEY, J.F. (ed) Continental Transpressional/Transtensional Tectonics. Geological Society, London, Special Publications (Blackwell), v. 135, p. 231-252, 1998.
- EBERT, H.D.; CHEMALE F.; BABINSKI, M.; ARTUR, A.C. & VAN SCHMUS W.R. Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the Transpressive Rio Paraíba do Sul Shear Belt, SE Brazil. *Tectonics*, p. 15, n. 2, p. 688-699, 1996.
- FARIA, T.G.; ALVES, M.I.; POTRATZ, G.L.; RODRIGUES, S.W.O.; GERALDES, M.C. Neoproterozoic Serra do Caparaó (Brazil) Complex revisited: Applications of the U-Pb and Lu-Hf methods in zircon by LA-ICP-MS. 2021, Submetido.
- FIGUEIREDO, M.C.H. & TEIXEIRA, W. The Mantiqueira metamorphic complex, Eastern Minas Gerais State: preliminary geochronological and geochemical results. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 68, p. 223-246, 1996.
- FISCHEL, D.P.; PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; COSTA, A.G.; ROSIERE, C.A. Geology and Sm-Nd isotopic data for the Mantiqueira and Juiz de Fora complexes (Ribeira Belt) in the Abre Campo-Manhuaçu region, Minas Gerais, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECAMBRIAN AND CRATON TECTONICS, Ouro Preto, 1998. Actas...Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998, p.21-23.
- FONSECA, M.J.G. & CAMPOS, A.D. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha Rio de Janeiro/Vitória/Iguape SF.23/SF.24/SG. 23. MME/DNPM, Brasília, 1978.
- GERALDES M.C. Introdução à Geocronologia.- Sociedade Brasileira de Geologia, 110 p. 2010.
- HARTMANN, L.A.; ENDO, I.; SUITA, M.T.F.; SANTOS, J.O.S.; FRANTZ, J.C.; CARNEIRO, M.A.; NAUGHTON, N.J.; BARLEY, M.E. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. *J. South Am. Earth Sci.* v. 20, p. 273-285, 2006.
- HEILBRON M.; VALERIANO, C. M.; TASSINARI, C. C. G.; ALMEIDA, J.; TUPINAMBÁ, M.; SIGA, O.; TROUW, R. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *Geological Society Special Publication*, v. 294, p. 211 -237, 2008.
- HEILBRON, M. & MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, v. 125, p. 87-112, 2003
- HEILBRON, M.; DUARTE, B.P.; NOGUEIRA J.R. The Juiz de Fora complex of the Central Ribeira belt, SE Brazil: a segment of granulitic crust thrust during the Pan African. *Gondwana Research*, v. 1, p. 373-382, 1998
- HEILBRON, M.; GONÇALVES, M.L.; TEIXEIRA, W.; TROUW, R.A.J.; PADILHA, A.V.; KAWASHITA, K., Geocronologia da região entre Lavras, São João del Rei, Lima Duarte e Caxambu (MG). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 61, p. 177-199, 1989.
- HEILBRON, M.; MACHADO, R.; FIGUEIREDO M. Litho geochemistry of the Paleoproterozoic Granulites of the

- Bom Jardim de Minas (MG)- Vassouras (RJ) Region, Central Segment of Ribeira Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, p. 83-98, 1997
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. From collision to extension: the roots of the Southeastern continental margin of Brazil. Talwani, Mohriak (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margin*, AGU Geophysical Monograph Series, v. 115, p. 1-32, 2000
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO M.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.C. A Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Eds.), *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da America do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*, XIII, 2004.
- HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; VALERIANO, C.M.; PACIULLO, F.V.; ALMEIDA, J.C.H.; TROUW, R.J.A.; TUPINAMBA, M.; SILVA, L.G.E. The Ribeira Belt. In: HEILBRON, M., CORDANI, U.G., ALKMIM, F.F. (eds.), *Sao Francisco Craton, Eastern Brazil*, p. 277-302, 2017.
- HORN, A.H. *Geologia da Folha Espera Feliz 1:100.000*. Rio de Janeiro, CPRM/UFMG - PROGRAMA Geologia do Brasil, 2006.
- LAMMERER, B. Short notes on a structural section through the Ribeira Mobile Belt (Minas Gerais and Espírito Santo, Brazil). *Zbl. Geol. Paläont., Stuttgart*, v. 7/8, p. 719-728, 1987.
- LANA, C.; ALKMIM, F.F.; ARMSTRONG, R.; SCHOLZ, R.; ROMANO, R.; NALINI, H.A. The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 231, p. 157-173, 2013
- LUDWIG, K.R. Isoplot 4.1. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley geochronology Center, Berkeley, CA, Special Publications, v. 4, 75 p., 2000.
- MACHADO, N.; VALADARES, C.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C. U-Pb geochronology of the central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, v. 79, p. 347-361, 1996.
- MOTERANI, A.C.M.; PORTO JR, R.; GERALDES, M.C.; MARIA VIRGÍNIA ALVES MARTINS, M.V.A. Magmatismo pós-tectônico investigado por meio de métodos geocronológicos U-Pb e Lu-Hf, Complexo Pedra Branca, Rio de Janeiro – RJ. *Geociências*, v. 39, n. 4, p. 903-923, 2020.
- NARDUZZI, F.; FARINA, F.; STEVENS, G.; LANA, C.; NALINI JR. H.A. Magmatic garnet in the Cordilleran-type Galiléia granitoids of the Araçuaí belt (Brazil): Evidence for crystallization in the lower crust. *Lithos*, v. 282-283, p. 82-97, 2017.
- NOCE, C.M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA W. U-Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco Craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, p. 95-102, 1998.
- 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. *Journal South American Earth Sciences*, v. 13, p. 225-239, 2000.
- NOGUEIRA, J.R. & CHOUDHURI, A. Geotectonic models and geologic evolution of the high-grade gneiss terranes of Juiz de Fora (MG), Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 169-173, 2000.
- NOVO, T.A.; NOCE C.A.; PEDROSA-SOARES A.C.; BATISTA G.A.P. Rochas granulíticas da Suíte Caparaó na região do Pico da Bandeira: embasamento oriental do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, v. 19, n. 2, p. 70-77, 2011
- PACIULLO, F.V.P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R.R.; TROUW R.A.J. The Andrelândia basin, a Neoproterozoic intraplate continental margin, southern Brasilia belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30 p. 200-202, 2000.
- PEDROSA-SOARES, A.C. & WIEDEMANN-LEONARDOS, C.M. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (eds) *Tectonic Evolution of South America*. In: INTERNACIONAL CONGRESS DE GEOLOGIA, 31, Rio de Janeiro, 2000. *Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia*, 2000, p. 265-286.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; ALKMIM, F.F.; TACK, L.; NOCE, C.M.; BABINSKI, M.; SILVA, L.C.; MARTINS-NETO M. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí West Congo orogen. *Geological Society Special Publication*, v. 294, p. 153-172, 2008.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; ALKMIM, F.F.; SILVA, L.C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; CASTAÑEDA C. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, v. 15, p. 1-16, 2007.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; WIEDEMANN, C.M.; PINTO, C.P. The Araçuaí-West- Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*, v. 110, p. 307-3023, 2001.
- QUÉMÉNEUR, J.J.G. & NOCE, C.M., Geochemistry and petrology of felsic and mafic suites related to the Paleoproterozoic Transamazonian orogeny in Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 87-90, 2000.
- RIBEIRO, A.; ÁVILA, C.; VALENÇA, J.G.; PACIULLO, F.V.P.; TROUW, R.A.J. *Geologia da Folha São João del Rei*. SOARES, P. (Ed.), Projeto Sul de Minas, Livro e 13 Mapas Geológicos na escala 1:1000.000 Capítulo 11, CD-ROM, 2003
- RIBEIRO, A.; TEIXEIRA, W.; DUSSIN, I.A.; 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 intermittent Proterozoic rifting in the São Francisco paleocontinent. *Gondwana Research*, v. 24, p. 713-726, 2013.
- SEIXAS, L.A.R.; BARDINTZEFF, J.M.; STEVENSON, R.; BONIN, B. Petrology of the high-Mg tonalites and dioritic enclaves of the ca.2130 Ma Alto Maranhão suite: evidence for a major juvenile crustal addition event during the Rhyacian orogenesis, Mineiro Belt, southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 238, p. 18-41, 2013.
- SEIXAS, L.A.R.; DAVID, J.; STEVENSON, N.R. Geochemistry, Nd isotopes and U-Pb geochronology of a 2350 Ma TTG suite, Minas Gerais, Brazil: implications for the crustal evolution of the southern São Francisco craton. *Precambrian Research*, v. 196, p. 61-80, 2012.
- SILVA, L.C.; ARMSTRONG, R.; NOCE, C.M.; PIMENTEL, M.M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; LEITE, C.; VIEIRA, V.S.; PAES, V.C. Reavaliação U-Pb SHRIMP em terrenos pré-cambrianos brasileiros. Parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, p. 513-528, 2003.
- SILVA, L.C.; MCNAUGHTON, N.J.; ARMSTRONG, R., HARTMANN, L. & FLETCHER, I. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections. *Precambrian. Research*, v. 136, p. 203-240, 2005.
- SLUITNER, Z. & WEBER-DIEFENBACH, K. Geochemistry of the charnoenderbitic amphibolitic gneisses in the coastal region of Espírito Santo, Brazil. *Zbl. Geol. Paläont.*, v. I 5/6, p. 125-138, 1989.
- SÖDERLUND, U.; PATCHETT, J.P.; VERVOORT, J.D.; ISACHSEN, C.E. The ¹⁷⁶Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. *Earth Planet Science Letter* V. 219, p. 311-324, 2004.
- SOLLNER, F.; LAMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. Brasiliano Age of a Charnoenderbitic Rock Suite in the Complexo Costeiro (Ribeira Mobile Belt), Espírito Santo/Brazil: Evidence from U-Pb Geochronology on Zircons. *Zbl. Geol. Paläont.*, v. 5/6, n. 1, p. 1-14, 1989b.
- SOLLNER, F.; LAMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. The Brasiliano Orogenesis: age determinations (Rb-SR and U-

- Pb) in the coastal mountain region of Espírito Santo, Brazil. *Zbl. Geol. Paläont.*, v. 5/6, p.729-741, 1989a.
- STACEY, J.S. & KRAMERS, J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Science Letter*, v. 26, n. 2, p. 207–221, 1975.
- TEDESCHI M.F. Caracterização do Arco Magmático do Orógeno Araçuaí entre Frei Inocêncio e Itambacuri, MG. Belo Horizonte, 2013. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- TEIXEIRA, W. & FIGUEIREDO, M.C.H. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco region, Brazil: a review. *Precambrian Research*, v. 53, p. 1-22, 1991.
- TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C.A.; BONGIOLO, E.M., HOLLANDA, M.H.B.; BARBOSA, N.S. Age and tectonic significance of the Ritápolis batholith, Mineiro belt (Southern São Francisco Craton): U-Pb LA-ICPMS, Nd isotopes and geochemical evidence. In: *SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 9th, São Paulo, 2014. Atas...São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014.
- TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C.A.; DUSSIN, I.A.; CORRÊA NETO, A.V.; BONGIOLO, E.M.; SANTOS, J.O.; BARBOSA, N.S. A juvenile accretion episode (2.35–2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: Zircon U–Pb–Hf and geochemical evidence. *Precambrian Research*, v. 256, p. 148-169, 2015
- TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C.A.; NUNES, L.C. Nd–Sr isotopic geochemistry and U–Pb geochronology of Fé granitic gneiss and Lajedo granodiorite: implications for Paleoproterozoic evolution of the Mineiro belt, southern São Francisco Craton. *Geologia USP, Série Científica*, v. 8, p. 53-73, 2008.
- TEIXEIRA, W.; OLIVEIRA, E.P.; PENG, P.; DANTAS, E.L.; HOLLANDA, M.H.M. U-Pb geochronology of the 2.0 Ga Itapeçerica graphite-rich supracrustal succession in the São Francisco Craton: tectonic matches with the North China Craton and paleogeographic inferences. *Precambrian Research*, v. 10, 2017.
- TEIXEIRA, W.; SABATÉ, P.; BARBOSA, J.; NOCE, C.M.; CARNEIRO, M. AArchean and Tectonic Evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: U.G. CORDANI, E.J. MILANI, A. THOMAZ FILHO (Eds) *Tectonic Evolution of South America*, p. 101-137, 2000.
- TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; ANDREIS, R.R. The central segment of the Ribeira belt U.G. CORDANI, E.J. MILANI, A. THOMAZ FILHO, D.A. CAMPOS (Eds.), *Tectonic Evolution of South America. INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS*, 31st, Rio de Janeiro, 2000. Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000, p. 287-310.
- TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C.; JÚNIOR R.P.; DIOS, F.B.; MACHADO, N.; SIVA, L.G.E.; ALMEIDA, J.C.H. Contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, v. 21, p. 422-438, 2012.
- TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON M. Neoproterozoic Western Gondwana assembly and subduction-related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 7-11, 2000.
- VALLADARES, S.V.; MACHADO N.; HEILBRON M.; GAUTHIER G. Ages of Detrital Zircon from Siliciclastic Successions South of the São Francisco Craton, Brazil: Implications for the Evolution of Proterozoic Basins. *Gondwana Research*, v. 7, n. 4, p. 913-921, 2004.
- WIEDEMANN, H.G.F. The evolution of the early Paleozoic, Late to post collisional magmatic arc of the Coastal Mobile Belt, in the state of Espírito Santos, Eastern Brazil. *Anais da Academia de Ciências e Letras*, v. 6, 1993.

Submetido em 21 de janeiro de 2021

Aceito para publicação em 27 de agosto de 2021

Apêndice 2 – Resultados U-Pb das amostras EF-05, EF-06, EF-10.

amostra EF 05														razões isotópicas										Idade (Ma)		
Spot	f 206a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/Ub	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	Rhod	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	Concf					
						235U	[%]	238U	[%]		206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs								
EF 05 001f	0,000541	56,0008	14,75847	565,6525	0,026091	0,839448	7,546128	0,10188	7,108472	0,942003	0,059759	2,532524	625,4151	44,45746	618,8124	46,69855	594,8689	15,0652	105,1349							
EF 05 002f	0,003015	11,55964	83,67645	102,4119	0,817058	0,793246	7,953593	0,096947	7,418537	0,932728	0,059343	2,867919	596,494	44,25113	593,0113	47,16571	579,709	16,62558	102,8954							
EF 05 004f	0,002011	15,16798	44,73753	147,7998	0,30269	0,794136	7,844643	0,09646	7,381753	0,940993	0,05971	2,564834	593,6315	43,82041	593,5156	46,55917	593,0724	15,74509	100,0943							
EF 05 005f	0,004481	6,876466	54,02499	61,45662	0,879075	0,791528	7,90817	0,096391	7,397973	0,935485	0,059556	2,794486	593,2238	43,88653	592,0382	46,81939	587,4971	16,41753	100,9748							
EF 05 007f	0,005134	7,421039	40,66584	71,08307	0,572089	0,803664	7,831539	0,097701	7,303316	0,932552	0,059658	2,827467	600,9246	43,88742	598,8935	46,90258	591,2104	16,71528	101,7447							
EF 05 008f	0,000989	40,46947	52,57875	413,7224	1,27087	0,793653	7,799458	0,096658	7,369151	0,944829	0,059552	2,55483	594,7913	43,83107	593,242	46,26966	587,3213	15,00506	101,2719							
EF 05 009f	0,010974	3,076088	30,17847	24,98614	1,207808	0,802012	8,033749	0,097404	7,403779	0,921585	0,059718	3,118522	599,1749	44,36159	597,9629	48,03884	593,369	18,50434	100,9785							
EF 05 001f	0,004942	6,708328	118,7694	40,01222	2,968328	0,791774	5,923034	0,096176	5,600348	0,94552	0,059708	1,928327	591,9604	33,15184	592,1775	35,07488	593,0095	11,43516	99,8231							
EF 05 002f	0,001964	9,790581	79,14527	83,97933	0,942438	0,812423	5,738795	0,09871	5,533172	0,96417	0,059693	1,522427	606,8445	33,57775	603,8124	34,65156	592,4465	9,019564	102,4303							
EF 05 005f	0,004714	6,529024	51,44025	57,93039	0,887967	0,795045	5,768299	0,096122	5,593517	0,9697	0,059988	1,409199	591,6429	33,09364	604,0298	34,26542	593,1563	8,499671	98,09114							
EF 05 006f	0,003391	6,646993	58,76684	57,85455	1,015796	0,802001	5,815019	0,097142	5,549941	0,954415	0,059878	1,735683	597,6387	33,1686	597,9567	34,71129	599,1632	10,39957	99,74557							
EF 05 008f	0,005498	6,262308	44,30203	55,19158	0,803206	0,786343	6,213248	0,09468	5,907165	0,950737	0,060236	1,926097	583,1545	34,4479	589,0953	36,60195	612,0506	11,78869	95,27881							
EF 05 003f	0,008452	3,703099	33,20141	29,72971	1,116775	0,802397	2,598593	0,096971	1,825467	0,702483	0,060013	1,849421	596,6336	10,89135	598,1797	15,54426	604,0455	11,17135	98,77295							
EF 05 007f	0,00422	4,633641	41,65949	36,3512	1,146028	0,857068	2,523359	0,103339	1,664966	0,659821	0,060152	1,896109	633,9483	10,55503	628,5208	15,85984	609,0398	11,54806	104,0898							
EF 05 009f	0,008526	3,416304	31,6846	27,68807	1,144315	0,809474	2,278263	0,098282	1,583021	0,60705	0,059735	1,810452	604,3355	8,358084	602,1587	13,71876	593,9722	10,75358	101,7447							
EF 05 003f	0,000179	72,76254	45,23415	172,0574	2,62901	6,655498	3,6655	0,358217	3,46442	0,945413	0,134751	1,197365	1973,716	68,3778	2066,735	75,75617	2160,799	25,87266	91,34194							
EF 05 005f	0,000756	21,337	19,29888	45,41586	0,424937	7,992568	3,767949	0,419852	3,662472	0,971543	0,138067	0,892922	2259,806	62,76475	230,186	84,7262	2203,097	19,67191	102,574							
EF 05 006f	0,000764	26,00842	35,98865	56,52566	0,636678	7,319735	2,128502	0,388627	1,975808	0,928262	0,136603	0,791648	2116,458	41,81715	2151,221	45,78879	2184,576	17,29414	96,8819							
EF 05 007f	0,00029	80,1854	56,69597	184,6599	0,307029	7,319503	1,982684	0,386131	1,838393	0,927224	0,137482	0,742528	2104,862	38,69564	2151,193	42,65137	2195,723	16,30385	95,86193							
amostras EF 06														razões isotópicas										Idade (Ma)		
Spot	f 206a	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/Ub	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	Rhod	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	Concf					
						235U	[%]	238U	[%]		206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs								
EF-06 001	0,001311	8,892518	49,51365	78,54776	0,630364	0,826993	3,974093	0,100278	3,711489	0,933921	0,059813	1,420656	616,0377	22,86417	611,9425	24,31916	596,8146	8,478683	103,2209							
EF-06 002	0,000597	23,07082	216,945	183,0401	1,185233	0,805651	3,866398	0,09748	3,709743	0,959483	0,059942	1,089422	599,6222	22,24444	600,0113	23,19882	601,4817	6,552671	99,69086							
EF-06 003	0,000989	19,18052	170,7802	153,3916	1,113361	0,813302	3,8203	0,098646	3,669203	0,960449	0,059796	1,063786	606,4684	22,25256	604,3048	23,08626	596,1983	6,342272	101,7226							
EF-06 005	0,000704	24,633	180,2507	207,4853	0,86874	0,799477	4,036418	0,097307	3,900771	0,966394	0,059754	1,03762	597,0192	32,28835	596,5333	24,07857	594,6862	6,17083	100,3923							
EF-06 006	0,000909	19,44773	108,0076	169,9101	0,635675	0,816251	3,859263	0,098957	3,739306	0,968917	0,059824	0,954726	608,2916	22,74588	605,9459	23,38539	597,2259	5,705873	101,8528							
EF-06 007	0,001328	15,8044	104,8841	138,285	0,758463	0,803231	3,855821	0,09736	3,682496	0,955049	0,059836	1,143056	598,9164	22,05507	598,6493	23,08285	597,6378	6,831335	100,214							
EF-06 009	0,000947	23,06113	188,6437	197,0356	0,957409	0,772421	3,984241	0,093516	3,839429	0,963654	0,059905	1,064406	576,2994	22,12661	581,1511	23,15446	600,1587	6,388125	96,02451							
EF-06 001	0,001073	26,07452	227,0195	210,316	1,079421	0,812424	5,048515	0,099004	4,817076	0,974288	0,059515	1,137472	608,5678	29,93366	603,8018	30,48828	586,0033	6,665265	103,8206							
EF-06 002	0,001538	22,78522	201,097	183,222	1,097559	0,792807	5,204232	0,096795	5,047621	0,969907	0,059403	1,267103	595,6004	30,06365	592,7627	30,84874	581,9158	7,373475	102,3516							
EF-06 003	0,001847	16,31478	110,3959	139,2042	0,79305	0,816821	5,059078	0,098052	4,905192	0,965982	0,059888	1,23829	608,0766	29,98273	606,2731	30,67183	599,5375	7,424015	101,4243							
EF-06 004	0,000674	23,09987	197,207	198,4679	0,993647	0,799056	5,104742	0,097114	4,968149	0,973242	0,059675	1,172983	597,472	29,6833	596,296	30,43937	591,8252	6,942009	100,9541							
EF-06 005	0,000684	18,78621	125,9496	161,7052	0,778884	0,810447	5,108576	0,098694	4,922159	0,963509	0,059557	1,367443	606,7509	29,86524	600,7049	30,78964	587,5166	8,033957	103,2738							
EF-06 006	0,001225	24,52515	206,3185	199,662	1,033339	0,80738	5,056005	0,098013	4,933976	0,975865	0,059744	1,104112	602,7524	29,73966	600,9834	30,38575	594,3151	6,561906	101,4197							
EF-06 007	0,001262	20,67114	155,0993	174,4638	0,889006	0,807161	5,116092	0,097724	4,952256	0,967976	0,059904	1,284349	601,0566	29,76586	600,8603	30,74056	600,1196	7,70763	100,1561							
EF-06 008	0,002681	14,32801	109,5326	107,9209	1,200255	0,778259	5,331757	0,094615	5,112544	0,958885	0,059657	1,51312	582,7722	29,79449	584,4896	31,16357	591,1668	8,945065	98,58							
EF-06 009	0,001253	20,88999	158,7261	173,561	0,914527	0,81142	5,058263	0,098464	4,914714	0,971621	0,059768	1,196496	605,4026	29,75381	603,2502	30,51398	595,1706	7,121194	101,7192							
EF-06 001	0,000491	29,26262	299,1359	220,3098	1,357796	0,806637	2,224654	0,097943	1,912556	0,859709	0,059731	1,136317	602,344	11,52017	600,5656	13,36051	593,8573	6,748101	101,4291							
EF-06 002	0,00145	12,82494	83,00913	108,4646	0,765311	0,805374	2,420074	0,097846	1,97696	0,816901	0,059697	0,95847	601,7734	11,89682	599,8558	14,51656	592,6141	8,271985	101,5456							
EF-06 003	0,000544	22,2237	148,0707	187,2534	0,790751	0,798155	2,340644	0,09709	2,031364	0,867932	0,059622	1,162469	597,3345	12,13403	595,7874	13,94419	589,9017	6,857423	101,26							
EF-06 004	0,000986	15,23686	78,30218	137,0545	0,571322	0,806503	2,513993	0,097937	2,146504	0,853832	0,059725	1,308695	602,3101	12,92861	600,4902	15,09628	593,6246	7,768735	101,4631							
EF-06 005	0,001743	13,13057	69,88908	112,2625	0,622551	0,790936	2,797904	0,096467	2,409422	0,861153	0,059465	1,422305	593,6692	14,304	591,7025	16,55526	584,1675	8,308642	101,6265							
EF-06 006	0,000844	23,11012	166,7575	193,8377	0,860294	0,7967	2,253064	0,096969	1,946257	0,863827	0,059548	1,135067	596,6233	11,61183	594,9656	13,40495	588,6502	6,681575	101,3545							
EF-06 007	0,001632	14,4046	121,675	115,6423	1,052167	0,815916	2,346908	0,099044	1,959841	0,835074	0,059747	1,291123	608,8041	11,93159	605,7675	14,2168	594,4236	7,674738	102,4192							
EF-06 008	0,001026	25,04496	280,1553	187,2773	1,495938	0,79143	2,350327	0,096091	2,000008	0,850949	0,059735	1,234506	591,4604	11,82926	591,9827	13,91353	593,9853	7,332785	99,57492							
EF-06 009	0,000747	32,44366	260,0031	263,6588	0,986135	0,798689	2,286756	0,096825	2,011124	0,879466																

Apêndice 3 – Resultados U-Pb das amostras EF-03 e EF-04.

amostra EF 03		razões isotópicas										Idade (Ma)							
Spot	Pb	Th	U	Th/Ub	207Pb/235U	1 s	206Pb/238U	1 s	Rhod	207Pb/206Pb	1 s	206Pb/238U	1 s	207Pb/235U	1 s	207Pb/206Pb	1 s	%	
f 206a	ppm	ppm	ppm									abs	abs	abs	abs	abs	abs	Concf	
EF 03 - 001	0,002751	18,56298	44,78753	185,5223	0,241413	0,79601	4,486385	0,096263	4,109314	0,915952	0,059973	1,80033	592,4711	24,3465	594,5753	26,67494	602,612	10,849	98,31718
EF 03 - 004	0,001184	34,58305	21,97313	352,2984	0,062371	0,838815	4,575424	0,101232	4,353757	0,951553	0,060096	1,406879	621,6263	27,0641	618,4913	28,2986	607,0342	8,540239	102,4038
EF 03 - 002	0,002273	45,2817	23,89528	468,5195	0,051002	0,83517	4,554238	0,100577	4,223255	0,927324	0,060225	1,704465	617,79	26,09084	616,4767	28,07581	611,6566	10,42547	101,0027
EF 03 - 006	0,003148	21,75269	3,0583	231,069	0,013235	0,859191	4,347546	0,103821	4,072525	0,936741	0,060021	1,521742	636,7613	25,93226	629,6812	27,37568	604,3369	9,19645	105,3653
EF 03 - 007	0,004768	9,455866	44,28705	87,11238	0,50839	0,803053	3,977043	0,097389	3,416364	0,859021	0,059804	2,036006	599,0882	20,46704	598,5493	23,80456	596,5079	12,14494	100,4326
EF 03 - 008	0,002341	15,97464	63,37917	151,8016	0,417513	0,815452	3,694903	0,099199	3,312973	0,896633	0,05962	1,636007	609,7111	20,19956	605,5079	22,37293	589,8075	9,649291	103,3746
EF 03 - 009	0,002616	16,37843	77,7014	148,351	0,523767	0,804337	3,759615	0,097698	3,398276	0,903889	0,05971	1,608236	600,9062	20,42045	599,2722	22,53032	593,094	9,538351	101,3172
EF 03 - 010	0,005482	18,48603	8,881925	165,4283	0,05369	1,481808	4,122668	0,144344	3,765293	0,913315	0,074455	1,678975	869,1778	32,72709	922,9702	38,05099	1053,823	17,69342	82,47858
EF 03 - 011	0,00321	16,60063	34,1341	157,8027	0,216309	0,809659	4,24208	0,097818	3,868983	0,912048	0,060032	1,739602	601,6069	23,27607	602,2626	25,54846	604,7315	10,51992	99,4833
EF 03 - 012	0,003607	15,63805	4,169594	153,4064	0,02718	0,851124	4,353136	0,102154	3,816133	0,87664	0,060428	2,094498	627,0207	23,92794	625,2658	27,21867	618,9215	12,9633	101,3086
EF 03 - 013	0,001169	31,00333	21,6385	315,2109	0,068648	0,808506	2,635056	0,097363	2,232303	0,847498	0,060227	1,398686	598,9336	13,3754	601,6158	15,85291	611,7361	8,556264	97,90719
EF 03 - 014	0,001017	51,46682	72,51816	254,5387	0,2849	1,752792	5,489542	0,16179	5,329151	0,970782	0,078574	1,317278	966,716	51,51775	1028,193	56,44308	1161,419	15,29912	83,23574
EF 03 - 015	0,001979	21,91279	155,4022	188,2699	0,825422	0,849432	2,840687	0,101819	2,223462	0,78272	0,060506	1,76797	625,0579	13,89793	624,3374	17,73547	621,7273	10,99195	100,5357

amostra EF 04		razões isotópicas										Idade (Ma)							
Spot	Pb	Th	U	Th/Ub	207Pb/235U	1 s	206Pb/238U	1 s	Rhod	207Pb/206Pb	1 s	206Pb/238U	1 s	207Pb/235U	1 s	207Pb/206Pb	1 s	%	
f 206a	ppm	ppm	ppm									abs	abs	abs	abs	abs	abs	Concf	
EF 04 001	0,001032	28,06017	29,86831	64,10264	0,465945	6,131772	2,199126	0,346712	2,056324	0,935064	0,128267	0,779542	1918,877	39,45834	1994,781	43,86774	2074,362	16,17052	92,50444
EF 04 002	0,000508	50,41979	75,43679	192,1954	0,3925	3,648168	3,173573	0,231833	2,906466	0,915834	0,11413	1,27437	1344,1	39,0658	1560,109	49,51119	1866,183	23,78208	72,024
EF 04 003	0,002058	16,78981	21,83549	61,45997	0,35528	4,189942	3,52889	0,259871	3,101333	0,859309	0,116936	1,836548	1489,179	44,87388	1672,054	59,00495	1909,916	35,07652	77,90794
EF 04 006	0,000655	38,69872	51,90984	102,8019	0,50495	5,480727	2,900287	0,315191	2,826431	0,974535	0,126114	0,650349	1766,201	49,92046	1897,561	55,85291	2044,49	13,29632	86,38837
EF 04 007	0,000381	90,96888	74,2009	287,8677	0,25776	4,736189	4,210581	0,283272	4,076697	0,968203	0,121262	1,053346	1607,818	65,54589	1773,666	74,68166	1974,876	20,80227	81,41365
EF 04 009	0,00049	24,44921	34,187	57,2493	0,59716	6,328825	3,645507	0,357167	3,524323	0,966758	0,128514	0,932134	1968,729	69,38437	2022,455	73,72876	2077,747	19,36739	94,75307
EF 04 004	0,000961	16,39153	34,31432	39,17412	0,875944	4,927098	7,548068	0,285682	7,229183	0,957753	0,125085	2,170772	1619,916	117,1067	1806,909	136,3868	2030,006	44,06681	79,79858
EF 04 009	0,000453	70,57771	78,90323	215,8369	0,365569	4,689016	4,804049	0,275897	4,383567	0,912473	0,123263	1,965509	1570,667	68,85123	1765,281	84,80498	2003,987	39,38855	78,37708
EF 04 001	0,000734	47,08942	52,55769	189,97	0,276663	3,682892	6,370754	0,230742	5,690603	0,893238	0,115761	2,864185	1338,387	76,16229	1567,666	99,87215	1891,754	54,18333	70,74848
EF 04 003	0,001138	33,88859	67,66743	146,694	0,461283	3,263276	8,974476	0,217597	8,088643	0,901294	0,108768	3,88781	1269,164	102,6581	1472,344	132,1351	1778,88	69,15948	71,34622
EF 04 005	0,000536	54,94816	61,66246	136,3577	0,452211	5,893081	4,416842	0,33311	3,893217	0,881448	0,128308	2,08599	1853,437	72,15834	1960,215	86,57962	2074,919	43,28261	89,32576
EF 04 006	0,000887	47,73486	42,13213	152,5264	0,335644	5,488889	5,404449	0,223198	4,934618	0,913066	0,127042	2,203999	1829,64	90,28576	1938,75	104,7787	2057,438	45,3459	88,92811
EF 04 007	0,000491	24,26721	49,77183	100,7879	0,493828	3,427254	6,056669	0,223314	5,481222	0,904986	0,117042	2,576761	1299,361	71,22085	1510,666	91,49637	1820,896	46,92013	71,35834
EF 04 003	0,001861	17,28343	43,98151	174,1657	0,252527	0,786566	10,94465	0,094831	10,44651	0,954485	0,060156	3,264339	584,0471	61,01253	589,222	64,4883	609,2057	19,88654	95,87026
EF 04 005	0,000484	48,23481	62,0257	501,6882	0,126364	0,811323	10,49878	0,097885	10,01975	0,954372	0,060135	3,351337	601,7985	60,29869	603,1958	63,32822	608,4503	19,07575	98,90676
EF 04 006	0,00095	31,34166	21,22621	333,6913	0,06361	0,768785	11,4993	0,092628	11,04929	0,960866	0,060195	3,185444	571,058	63,09784	579,0655	66,58847	610,6061	19,45052	93,52313
EF 04 008	0,000327	64,57855	83,80966	673,5341	0,124433	0,803961	10,99032	0,096436	10,51844	0,957064	0,060464	3,185856	593,4895	62,42581	599,0608	65,83871	620,2065	19,75889	95,69223

Apêndice 4 – Resultados Lu-Hf das amostras EF-04, EF-05, EF-06 e EF-10.

ponto	amostra	U-Pb idade (Ma)	±2s	CHUR				DM				amostra (razão atual)				Idade modelo (Ga)
				176Hf/177Hf	±2SE	176Lu/177Lu	±2SE	176Hf/177Hf	±2SE	176Lu/177Lu	±2SE	176Hf/177Hf	±2SE	176Lu/177Lu	±2SE	
EF 04 - Leucogranito (2112 Ma)																
EF04 - 1	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,282135	0,000166	8,92E-05	1,58E-06	0,282134	-9,7	0,855439	2,11			
EF04 - 2	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,28182	0,00013	0,000538	4,19E-05	0,281814	-21,0	3,116705	2,80			
EF04 - 3	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,281872	8,48E-05	0,000555	8,43E-06	0,281865	-19,2	1,642045	2,69			
EF04 - 4	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,281807	8,7E-05	0,000504	1,74E-05	0,281801	-21,5	2,252873	2,83			
EF04 - 7	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,281838	8,15E-05	0,000664	5,08E-05	0,28183	-20,4	3,000741	2,77			
EF04 - 8	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,282112	8,21E-05	0,00084	4,15E-05	0,282103	-10,8	1,290512	2,18			
EF04 - 9	ZR 50	2212	12	0,282407	0,282814	0,282162	9,94E-05	0,000509	4,24E-05	0,282156	-8,9	1,367857	2,06			
EF 05 - Ortogranulito Heterogêneo (2196 Ma)																
EF05 - 1	ZR 50	2201	10	0,281376	0,281622	0,281793	0,000183	0,000279	5,42E-05	0,281781	-21,8	2,854013	2,64			
EF05 - 2	ZR 50	2201	10	0,281376	0,281622	0,281937	6,8E-05	0,000641	4,01E-06	0,28191	-16,9	0,209904	2,37			
EF05 - 3	ZR 50	2201	10	0,281376	0,281622	0,282099	7,99E-05	0,000318	2,94E-06	0,282085	-11,0	0,354477	2,04			
EF05 - 6	ZR 50	2201	10	0,281376	0,281622	0,28205	8,42E-05	0,000313	2,23E-06	0,282037	-12,7	0,281343	2,14			
EF05 - 8	ZR 50	2201	10	0,281376	0,281622	0,282091	9,02E-05	0,00034	2,2E-06	0,282076	-11,3	0,282683	2,06			
EF05 - 10	ZR 50	2201	10	0,281376	0,281622	0,2818	0,000167	0,000634	1,82E-05	0,281773	-21,7	0,47698	2,64			
EF 06 - biotita opx gnaiss (594 Ma)																
EF06_02	ZR 50	594	3	0,28241	0,282817	0,282285	8,6E-05	0,00092	1,97E-06	0,282275	-4,8	0,036019	1,80			
EF06_03	ZR 50	594	3	0,28241	0,282817	0,282277	0,000126	0,000984	7,2E-06	0,282266	-5,1	0,065502	1,82			
EF06_04	ZR 50	594	3	0,28241	0,282817	0,282229	8,06E-05	0,001225	3,72E-05	0,282215	-6,9	0,246843	1,93			
EF06_05	ZR 50	594	3	0,28241	0,282817	0,282328	7,36E-05	0,000949	1,96E-06	0,282318	-3,3	0,0242	1,71			
EF06_06	ZR 50	594	3	0,28241	0,282817	0,282212	7,89E-05	0,000687	6,17E-06	0,282205	-7,3	0,104219	1,96			
EF06_07	ZR 50	594	3	0,28241	0,282817	0,282211	7,97E-05	0,000588	7,55E-06	0,282204	-7,3	0,132737	1,96			
EF06_08	ZR 50	594	3	0,28241												