

A Serra das Cambotas: terminação Meridional do Supergrupo Espinhaço no Quadrilátero Ferrífero, MG

Ana P. C. Daher¹; Michele A. F. Costa ¹ & Tiago A. Novo^{1*}

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Centro de Pesquisas Professor Manuel Teixeira da Costa, Campus Pampulha, 31.270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

*Pesquisador de produtividade CNPq (tiagoanovo@gmail.com; autor correspondente).

Recebido em 1 de setembro de 2019, aceito em 15 janeiro de 2020

Resumo: O posicionamento estratigráfico das rochas agrupadas como Formação Cambotas, (Quadrilátero Ferrífero, sudeste do Cráton São Francisco) tem sido objeto de discussão desde sua caracterização na década de sessenta. Nosso estudo traz dados estruturais e estratigráficos da Formação Cambotas, obtidos em sua seção tipo ao longo das serras do Tamanduá e das Cambotas, visando definir as relações estratigráfico-temporais que caracterizam o conjunto da Formação Cambotas e seu entorno. Além disso, apresentamos dados isotópicos (U-Pb em LA-ICP-MS) visando contribuir em especial na correlação temporal da unidade. Os grandes sistemas de cisalhamento já descritos na literatura foram avaliados, bem como as características texturais e sedimentológicas. A Formação Cambotas corresponde a uma unidade que agrupa ortoquartzitos e quartzitos arcoseanos, cuja relação estratigráfica de base é regida por contatos tectônicos, por meio do Sistema de Cisalhamento Fundão-Cambotas e pela Falha Córrego do Garimpo. Para proveniência via análise isotópica U-Pb em LA-ICPMS de grãos de zircão detrítico, foi coletada amostra da seção tipo da Formação Cambotas na serra homônima, correspondente a ortoquartzito de granulização fina, em que foram coletados e analisados 210 grãos de zircão. Os resultados indicam idade máxima de sedimentação no Estateriano, em torno de 1755 ± 71 Ma, provendo ainda picos de idades entre 1923 e 3010 Ma, indicando significativa contribuição de áreas fonte de idade Paleoproterozoica a Neoarqueana. À luz do conhecimento estratigráfico atual, o pico de análises concordantes com idade estateriana ($\sim 1,7$ Ga) descarta a correlação da Formação Cambotas com rochas dos supergrupos Minas ou Rio das Velhas. Com isso, propõe-se que a Formação Cambotas configura a terminação meridional do Supergrupo Espinhaço, correspondente a uma bacia restrita, com multiplicidade de áreas fonte. Essa variedade está relacionada com a complexidade estrutural e estratigráfica à qual esteve submetida a região nordeste do atual Quadrilátero Ferrífero durante sua gênese. A comparação da amostra analisada com amostras avaliadas em outros trabalhos apresenta similaridade de idade, corroborando para a proposição atual.

Palavras-Chave: Formação Cambotas, Quadrilátero Ferrífero, Geocronologia U-Pb

Abstract: The stratigraphic positioning of rocks grouped as Cambotas Formation (Quadrilátero Ferrífero, southeast of São Francisco Craton) has been the subject of discussion since its characterization in the 1960s. Our study provides structural and stratigraphic data of the Cambotas Formation, obtained in its type-section along with the Tamanduá and Cambotas mountain ranges, with the aim of defining the stratigraphic-temporal relationships that characterize the Cambotas Formation and its surroundings. Also presents isotopic data (U-Pb in LA-ICP-MS) intended to shed light on the age of the unit. The large shear zone systems already described in the literature were observed, as well as the textural and sedimentological characteristics. The Cambotas Formation corresponds to a unit that groups together orthoquartzites and arcosean quartzites, whose basic stratigraphic relationship is controlled by tectonic contacts, through the Fundão-Cambotas Shear Zone System, and by the Córrego do Garimpo Fault. For provenance via U-Pb isotopic analysis in LA-ICPMS of detrital zircon grains, a sample collected from the Cambotas Formation in its type-section, in the homonymous mountain range, corresponding to fine-grained orthoquartzite, in which 210-zircon grains collected and analyzed. The results indicate maximum sedimentation age during the Statherian, around 1755 ± 71 Ma, the peaks of ages between 1923 and 3010 Ma indicates a significant contribution of Paleoproterozoic to Neoproterozoic sources. In the light of current stratigraphic knowledge, the peak of concordant analyzes with Statherian age (~ 1.7 Ga) discards the correlation between the Cambotas Formation and the Minas or Rio das Velhas supergroups. With this, we propose that the Cambotas Formation configure the southern termination of the Espinhaço Supergroup, corresponding to a restricted basin, with a multiplicity of source areas. This variety relates to the structural and stratigraphic complexity to which the northeastern region of the current Quadrilátero Ferrífero was subjected during its genesis. The sample provides an age similar to other works in the same area, validating the stratigraphic proposals presented.

Keywords: Cambotas Formation, Quadrilátero Ferrífero, U-Pb Geochronology.

INTRODUÇÃO

A definição do empilhamento e posicionamento estratigráfico, assim como a determinação temporal da diagênese de unidades sedimentares e metassedimentares, é facilmente obtida em unidades indeformadas (ou pouco deformadas, desde que apresentem estruturas sedimentares preservadas), onde é possível a datação direta (via análise fóssilífera ou datação de minerais diagenéticos) ou indireta (e.g. datação de intercalações de rochas vulcânicas) dos

estratos.

Porém esta definição ganha elevada complexidade quando se trata de unidades afossilíferas, tectonizadas, onde minerais diagenéticos foram alterados ou sofreram distúrbio de seu sistema isotópico. Nas últimas décadas, a análise de isótopos U-Pb em grãos detríticos de zircão ganhou a confiabilidade da comunidade acadêmica, fornecendo resultados robustos quanto à idade máxima de deposição da unidade sedimentar/metassedimentar, assim como seu espectro de proveniência (Davis et al., 2003).

O Quadrilátero Ferrífero (QF) (Dorr, 1957 apud Dorr, 1969) configura uma província metalogenética de importância global, localizada na parte sudeste do Cráton São Francisco (Alkmim, 2004). É composto essencialmente por terrenos granitos-gnáissicos Arqueanos e variadas sucessões metassedimentares e metavulcanossedimentares deformadas e metamorfizadas em intensidades diversas (Farina et al., 2016). A Serra das Cambotas – foco do presente trabalho – localiza-se na porção nordeste do QF (Figura 1), com trend majoritariamente norte-sul, apresentando inflexão para NE em sua terminação meridional, acompanhando a aba norte do Sinclinal Gandarela (Figura 2). Desde sua definição como Formação Cambotas por Simmons & Maxwell (1961), o posicionamento estratigráfico-temporal destas rochas é alvo de divergências, dado à multiplicidade e sobreposição de eventos deformacionais que ocorreram na região. Neste artigo trazemos dados isotópicos (U-Pb em LA-ICP-MS) que contribuem para elucidar o posicionamento estratigráfico das rochas quartzíticas da Serra das Cambotas, objeto de discussão desde sua caracterização no início da década de sessenta. Nossos estudos descartam a correlação da Formação Cambotas com rochas dos supergrupos Minas ou Rio das Velhas, definindo-a como a terminação meridional do Supergrupo Espinhaço.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O QF abrange uma área de 7000km² e localiza-se na parte sudeste do Cráton São Francisco (Figura 1). É uma região de grande interesse econômico devido aos depósitos de minerais metálicos e outras substâncias (Dorr, 1957 apud Dorr, 1969). Desde o século XVII, a região se destaca pela exploração de ouro, a que, posteriormente, se iniciaram a exploração de outros metais, como ferro e manganês, intensamente explorado ao longo do século XX, até os dias atuais.

O QF apresenta depósitos de grande tonelage e depósitos de classe mundial, motivo pelo qual se tornou uma das regiões mais estudadas no Brasil.

Em termos litoestratigráficos, o QF pode ser subdividido em cinco grandes conjuntos : i) Terrenos granitos-gnáissicos Arqueanos a Proterozoicos (Farina et al., 2015a, Cutts et al., 2019); ii) Supergrupo Rio das Velhas, que corresponde a um greenstone belt arqueano de rochas metavulcânicas e metassedimentares (Balthazar e Zuchetti, 2007); iii) Supergrupo Minas, correspondente a um espesso depósito de rochas metassedimentares (Dorr, 1969; Renger et al., 1995); iv) Grupo Itacolomi, apresentando metarenitos e metaconglomerados (Duque et al., 2020); e v) Depósitos Cenozoicos indiferenciados (Dorr, 1969; Endo et al., 2019).

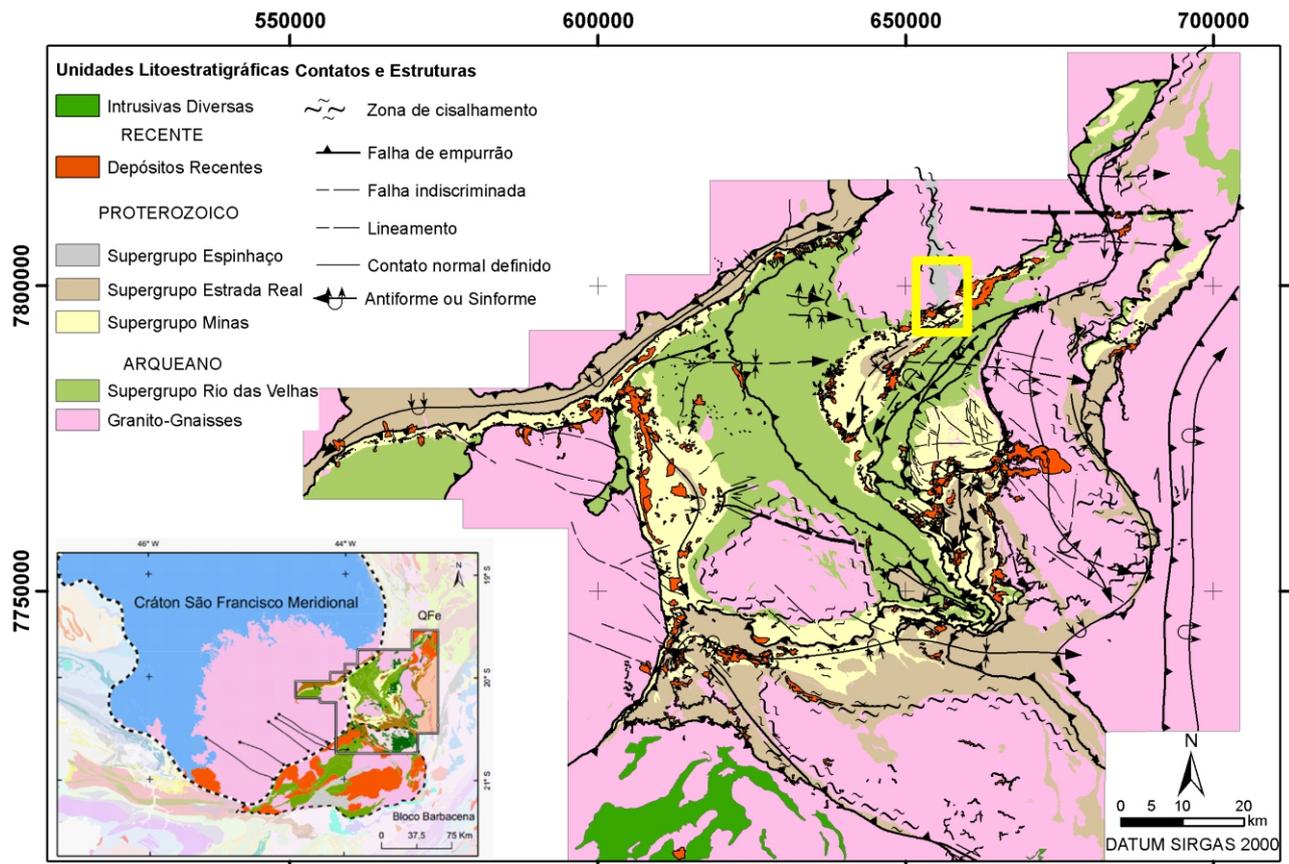


Figura . Mapa simplificado do Quadrilátero Ferrífero com destaque para região das Serra das Cambotas, delimitada pelo retângulo amarelo (modificado de Endo et al., 2019).

A evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero é complexa, com propostas que incluem diversos ciclos deformacionais (e.g. Alkmin & Marshak, 1998; Baltazar & Zuchetti, 2007) ou dois eventos principais (Chemale Jr. et al., 1993). O QF, em termos gerais, compreende dois domínios estruturais distintos: a leste, predominam os sistemas de falhas de empurrão, com maior registro de deformação mais intensa, apresentando obliteração de estruturas sedimentares, superposição de estruturas deformacionais e nucleação de zonas de cisalhamento regionais. A oeste, há menor influência de falhas e predomínio de dobras, com deformação menos intensa e estruturas sedimentares mais bem preservadas.

A área de foco do presente estudo encontra-se na borda nordeste do QF, região da Serra das Cambotas (Figura 2). Na região ocorre a interferência entre as unidades da Serra do Espinhaço Meridional e do Sinclinal Gandarela, delineado por contatos tectônicos. A norte deste sinclinal, destaca-se a Serra das Cambotas, com trend norte-sul, seguindo a orientação geral da Serra do Espinhaço.

A Serra do Espinhaço é composta pelo supergrupo homônimo, com gênese associada a eventos tafrogênicos proterozoicos, quando sucessões metassedimentares foram depositadas em ambiente de rifte intracontinental (Bruni et al., 1974; (Knauer, 1999; Chemale Jr. et al., 2010; Chemale Jr. et al., 2012). Chemale Jr. et al., (2012) apresentam o Supergrupo Espinhaço subdividido em Inferior, correspondendo à fase de rifte intracontinental, e Superior, correspondendo a rift sag, com contribuição eólica e marinha rasa.

O QUARTZITO DA SERRA DAS CAMBOTAS

As rochas quartzíticas da Serra das Cambotas foram inicialmente designadas como pertencente ao Grupo Tamanduá por Simmons & Maxwell (1961), divididas pelos autores em uma unidade superior (638,1m de espessura) e outra unidade inferior (91,7m de espessura), a primeira predominantemente quartzítica, enquanto a segunda, composta principalmente por xistos. Segundo esses autores, sotoposta a esta unidade, haveriam três outras formações sem nome, mais tarde reunidas por Simmons (1968) em uma única unidade, composta por xistos e itabiritos. Dorr (1969) também adotou essa classificação, de modo que a Formação Cambotas estaria posicionada na base do Supergrupo Minas.

Moore (1969 apud Crocco-Rodrigues, 1991) propõe unicamente a existência da Formação Cambotas no Grupo Tamanduá, defendendo que a formação sem nome seria composta por rochas do Grupo Nova Lima, as quais se relacionariam com o quartzito da Formação Cambotas por meio de falha, estrutura também identificada por Simmons & Maxwell (1961).

Marshak & Alkmin (1989), por sua vez, apresentaram os quartzitos da Serra das Cambotas como pertencentes à sucessão Espinhaço e não ao Grupo Tamanduá, o que foi também proposto por Freitas (1991 apud Crocco-Rodrigues, 1991) apesar de não ter constatado

a continuidade física entre a Serra das Cambotas e a Serra do Espinhaço. Crocco-Rodrigues (1991) definiu estratigraficamente alguns litotipos na Formação Cambotas, subdividida em metaconglomerado, metarcósio e ortoquartzitos, relacionados entre si por contatos tectônicos de falhas de empurrão.

Durante projetos de mapeamento geológico (parcerias CPRM/CODEMIG e CODEMIG/UFMG), os quartzitos da Serra das Cambotas foram correlacionados com o Grupo Conselheiro Mata do Supergrupo Espinhaço (ex.: Folhas Caeté e Santa Bárbara; Lobato et al., 2005).

Em estudos mais recentes, o mapeamento de Daher & Flores (2018), considerou as unidades quartzíticas das serras das Cambotas e Tamanduá como pertencentes à Formação Cambotas, num contexto de unidades Mesoproterozoicas que pertencem ao Supergrupo Espinhaço, em consonância com os trabalhos existentes na área a partir de Crocco-Rodrigues (1991). As autoras não subdividem a unidade, mas reconhecem a existência de ortoquartzitos e quartzitos arcoseanos ao longo da região mapeada, em contato tectônico com as unidades circundantes. Gomes (2017 apud Dutra et al., 2020), por sua vez, apresenta os quartzitos da Serra das Cambotas como pertencentes ao Grupo Tamanduá, do Mesoproterozoico, que a autora subdivide em Formação Antônio dos Santos e Formação Cambotas. A Formação Antônio dos Santos é definida pelos membros Córrego do Garimpo e Serra do Garimpo, de metaconglomerados polimíticos e quartzitos, sobrepostos pelas unidades da Formação Cambotas, por sua vez, subdivididos em membros Rio Vermelho, São Miguel e Ribeirão Cocais, com metarcósios, quartzitos e filitos sericíticos.

Este trabalho apresenta a caracterização da unidade quartzítica mapeada e descrita em Daher & Flores (2018). A unidade tratada como Formação Cambotas ocorre ao longo da Serra das Cambotas e da Serra do Tamanduá na porção nordeste do QF (Figura 2), comumente exibe contato tectônico por meio do Sistema Fundação-Cambotas. Rochas quartzíticas da unidade estruturam as maiores elevações, mas também ocorrem como morrotes que se destacam em meio às unidades basais. A ocorrência dessa unidade marca regiões topograficamente elevadas de características escarpadas a pequenos platôs. São afloramentos de rocha coesa a pouco friável, que ora são estruturados em cristas, cortadas por fraturas, por vezes formando estruturas em lápis, ora formam paredes, ora lapas e paredões (Figura 3A).

A Formação Cambotas é composta majoritariamente por ortoquartzitos a quartzitos micáceos, de baixo grau metamórfico, com feições sedimentares preservadas. São brancos a beges, com granulação fina a média, ocorrendo também granulação fina e grossa, de caráter bimodal, localmente ocorrem níveis basais metaconglomeráticos com matriz de granulação grossa.

A proporção de mica varia de 5 a 15%, sendo que esta alternância marca os planos da foliação paralela ao acamamento (Figuras 3C e 3D). Os grãos apresentam alta esfericidade, subarredondados a subangulosos,

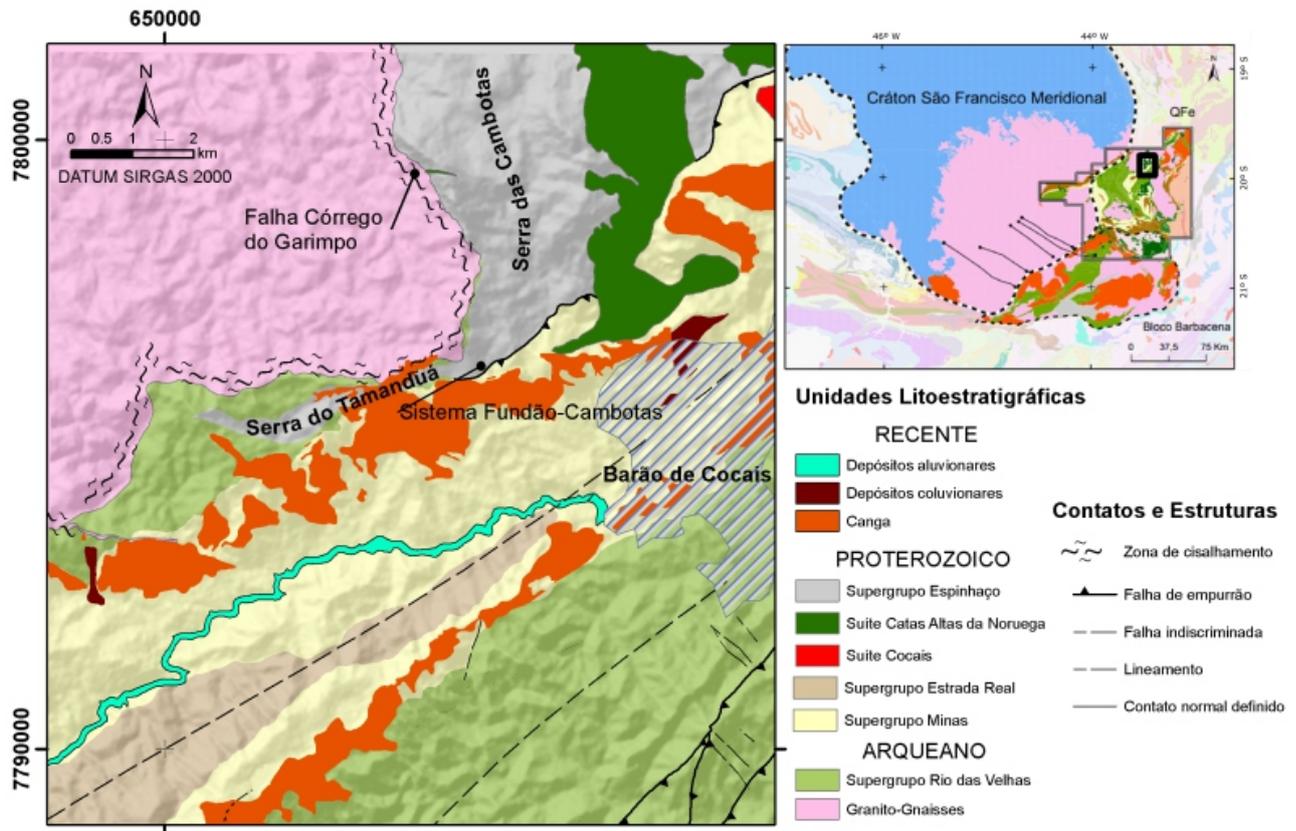


Figura 2. Mapa Geológico da região da Serra das Cambotas (Modificado de Endo et al., 2019).

frequentemente mostrando sinais de recristalização. Especialmente nas porções mais a oeste da Serra das Cambotas, a granulação é muito fina a fina e frequentemente se observa foliação anastomosada. Subordinadamente ocorre quartzito arcoseano, com até 10% de feldspato potássico. São litotipos que apresentam grãos de alta esfericidade, subarredondados a angulosos. Formam os afloramentos de baixada e pequenos platôs, frequentemente mais friáveis que os quartzitos micáceos. Ocorrem porções com grande silicificação. Veios de quartzo leitoso são comuns.

As estruturas sedimentares que ocorrem são estratificações cruzadas acanaladas de grande porte (2-4m; Figura 3B), e estratificação cruzada tabular decimétrica a centimétrica, frequentemente de baixo ângulo que é identificada por feições de truncamento. Localmente há variação composicional definindo o acamamento, com camadas decimétricas micáceas, e outras formadas por quartzito mais puros. Por toda a região é identificada uma foliação persistente (Sn) com mergulho para E e NE, definida por muscovita e/ou sericita.

Ao longo da Falha Córrego do Garimpo, no contato com o embasamento cristalino, ocorrem zonas de cisalhamento em escalas de afloramento e microscópica. Nestes locais, são comuns as feições de recristalização dos cristais de quartzo, formando uma foliação milonítica definida por minerais micáceos, que envolvem grãos de quartzo estirados.

Esses grãos frequentemente apresentam assimetria do tipo sigma em planos perpendiculares à foliação, expressando-se como uma lineação de estiramento de grãos de quartzo no plano de Sn. Os grãos maiores apresentam sombra de pressão, contatos serrilhados e/ou extinção ondulante. Essa foliação milonítica é a principal estrutura observável ao longo da porção sul da Serra das Cambotas.

À medida que se avança em direção a leste e norte, na região de afloramento dos quartzitos, há diminuição na ocorrência da foliação milonítica e maior frequência de estruturas sedimentares primárias observáveis, como estratificação cruzada tabular e acanalada. Ocasionalmente, apresenta lineação de estiramento mineral das micas. Ocorrem estruturas em S-C marcadas pelas micas, mas também em veios de quartzo leitoso, de tamanho centimétrico, indicando movimentação de topo para noroeste.

METODOLOGIA

Após mapeamento geológico em escala 1:25.000 na região nordeste do QF, compreendendo a Serra das Cambotas (Daher & Flores, 2018), uma amostra de quartzito da Formação Cambotas foi coletada na seção tipo da unidade (MA210: UTM: 654728/7799002, zona: 23K, Datum SIRGAS2000; Figura 4) para análises isotópicas via LA-ICP-MS, objetivando determinar a idade máxima de deposição, assim como o espectro de proveniência.

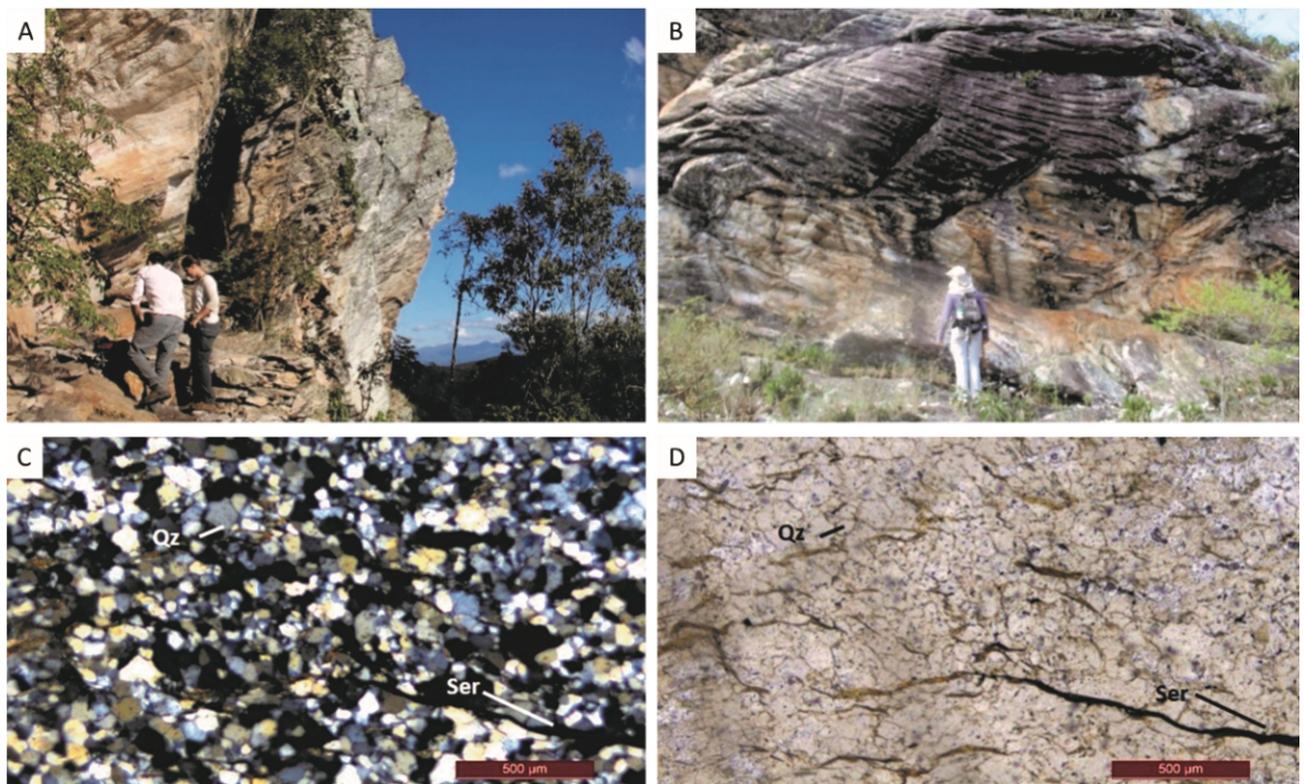


Figura 3 A e B) Afloramentos típicos da Formação Cambotas, em (A) local da amostragem para análise isotópica, amostra MA210; C e D) feições microscópicas do ortoquartzito da Formação Cambotas, (C) Nicóis cruzados e (D) Nicóis descruzados (Qz = quartzo; ser = sericita).

Foram coletados cerca de quinze quilos de ortoquartzito branco de granulação média, na face oeste da Serra das Cambotas.

A amostra foi processada pelos métodos convencionais no laboratório de separação mineral do CPMT-IGC-UFMG, passado por britagem, moagem, peneiramento e concentração da fração de 80# a 120#. A separação dos grãos de zircão para análise foi feita por catação manual com auxílio de lupa binocular. Aproximadamente 300 cristais de zircão foram catados e encaminhados ao Laboratório de Geocronologia da Universidade Federal de Ouro Preto (AIR - Applied Isotope Research), onde foram montados em resina epoxi com dimensões padrão de 2,5 cm de diâmetro, sendo seccionados, polidos e recobertos com uma película de carbono para imageamento por catodoluminescência (CL), e posterior análise em LA-MC-ICP-MS.

As imagens de CL foram obtidas em microscópio eletrônico Hitachi S-2250N sob condições de aceleração de voltagem de 15 kV. Nenhum spot foi realizado em áreas com inclusões, fraturas ou feições metamíticas. O zircão padrão GJ-1 (602 ± 7 Ma; Jackson et al., 2004) foi utilizado para rotina analítica. O tamanho do spot utilizado foi de 25 micrometros. A redução de dados foi feita via software Glitter (Van Achterbergh et al. 2001) e no Isoplot (planilha Excel de Ludwig (2003)). Um total de 103 análises foram realizadas, de modo que para avaliar os dados foi levado em consideração o teor de chumbo comum, erros individuais das razões isotópicas, discordância e razões Th/U. Só foram considerados dados com discordância inferior a 10%.

RESULTADOS

Após caracterização de campo, foi coletada a amostra na seção tipo da Formação Cambotas. Os resultados da análise foram posteriormente comparados com os resultados obtidos por Dutra et al. (2020) (Figura 4). Os grãos de zircão via de regra apresentam alto arredondamento e baixa esfericidade, comprimento máximo de 200 μm , com variações de estrutura interna (Figura 5).

Os resultados indicam uma idade máxima de sedimentação estateriana, em torno de 1759 ± 14 Ma, correspondente ao grupo mais novo de idades que agrupa 8% do total de grãos analisados. A análise proveu ainda diversos picos de idades entre 1923 e 3010 Ma, indicando significativa contribuição de áreas fonte de idade Paleoproterozoica a Neoarqueana (Figura 6; grupos 2, 3 e 4 que correspondem a 67%, 14% e 9% do total de grãos analisados, respectivamente). O principal pico de idade está em 2104 ± 5 Ma (Grupo 2 - 67%), que diz respeito à principal contribuição de rochas formadas no Riachão (ex.: Complexo Mantiqueira e porções do Cinturão Mineiro). Ainda, há um pico de idade em 3339 ± 19 Ma (Grupo 5 - 3% do total), importante por indicar que também houve contribuição de área fonte de idade Paleoarqueana, provavelmente originária do Complexo Santa Bárbara. À luz do conhecimento estratigráfico atual, o pico de análises concordantes com idade estateriana ($\sim 1,7$ Ga) descarta a correlação da Formação Cambotas com rochas dos supergrupos Minas ou Rio das Velhas (Figura 6).

DISCUSSÕES

Nossos estudos associados à bibliografia existente para Formação Cambotas, visam contribuir com as discussões relevantes à sua gênese e evolução tectônica. A região da Serra das Cambotas representa o registro de uma bacia sedimentar, com deposição predominantemente de quartzos arenitos a arenitos arcoseanos, e restrita contribuição pelítica (vide item 5), atualmente representados por quartzitos, quartzitos micáceos e quartzitos arcoseanos. É possível que a área fonte para os sedimentos dessa bacia tenha sido proximal, uma vez que os grãos de feldspato do quartzito arcoseano encontrado na área apresentam granulação grossa e arestas primárias (i.e. refletindo a textura do protólito sedimentar do quartzito) observáveis. Logo, é proposto que esses sedimentos sejam oriundos, pelo menos em parte, dos granitoides do Complexo Caeté, dado que corrobora com o espectro de proveniência da amostra analisada. A unidade quartzítica que ocorre ao longo da Serra das Cambotas apresenta muitas similaridades litológicas com aquela identificada na Serra do Tamanduá, apesar da estruturação em uma direção diferente.

Quanto aos dados isotópicos, Machado et al. (1996) apresentaram dados de isótopos U-Pb para uma população de 19 grãos de zircão. Os autores indicam a idade máxima de sedimentação de 2258 ± 71 Ma, com maior quantidade de grãos indicando a idade de 2,8-2,9 Ga, 2,7-2,5 Ga e 2,3-2,2 Ga.

Esses autores constata numericamente que a posição estratigráfica da unidade é incompatível, apesar de não aventar possibilidade clara para seu posicionamento estratigráfico, nem para suas possíveis áreas fonte. A limitação da interpretação do dado pelos autores é coerente ao baixo número de análises realizadas. Andersen (2005) demonstra que a idade máxima de deposição para um conjunto tão restrito de dados é falaciosa, sendo que até a análise do espectro fica prejudicada devido à carência de sustentabilidade analítica. Crocco-Rodrigues (1991) já identifica a Formação Cambotas como parte do Supergrupo Espinhaço, porém não havia informações relativas à geocronologia.

Dutra (2017) traz dados de duas amostras datadas na Serra do Tamanduá, num total de 150 grãos. O autor assume como idade máxima de sedimentação a idade de 1770 ± 13 Ma, que é a idade da população mais recente identificada. Uma pequena quantidade de grãos foi identificada com idade inferior à mencionada, mas não foram considerados por não apresentarem estatisticamente população modal. Assim como no atual estudo, a idade máxima de sedimentação é estateriana. Isso significa que os quartzitos que afloram na região da Serra das Cambotas e na Serra do Tamanduá apresentam correlação temporal imediata.

Dutra et al. (2020) apresentam mais nove amostras datadas ao longo da Serra das Cambotas, contemplando as unidades basais e intermediárias descritas por Gomes (2017 apud Dutra et al., 2020).

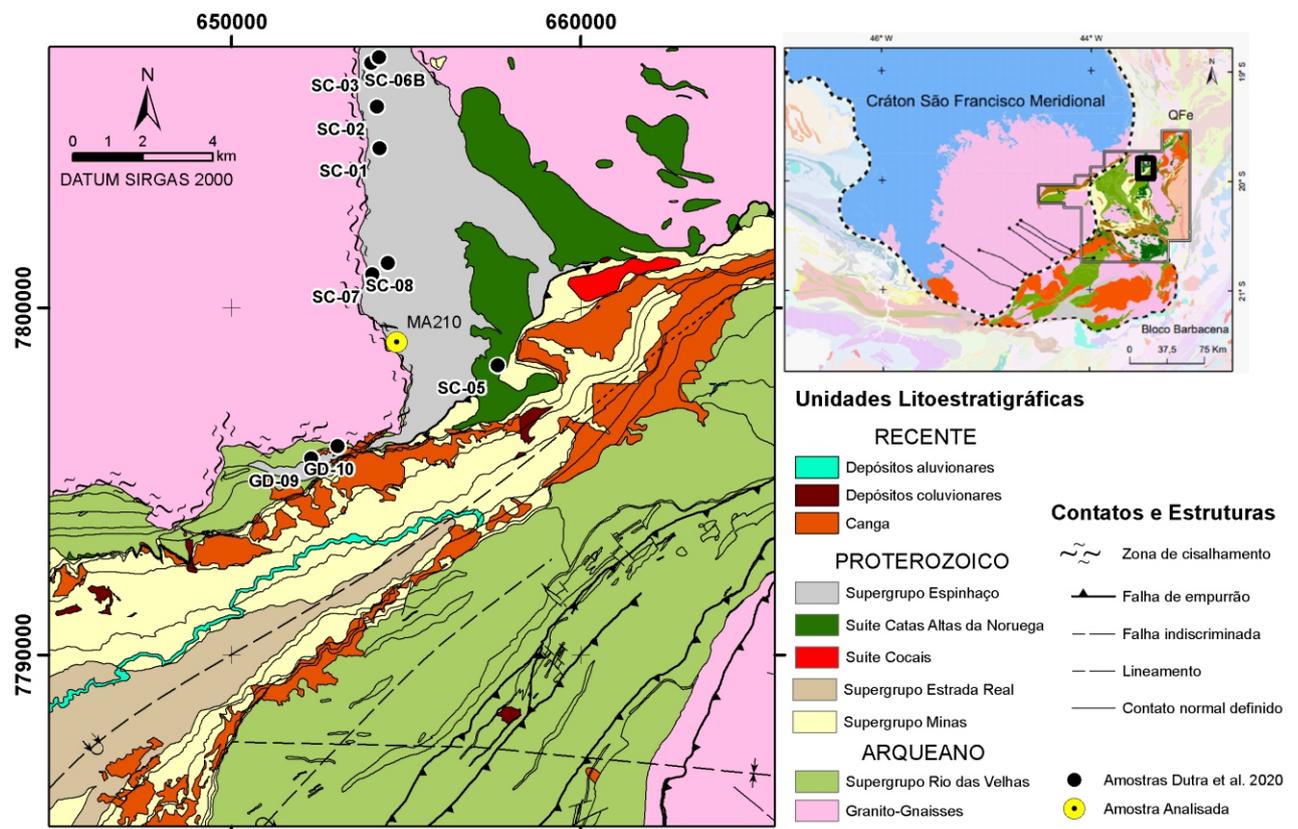


Figura 4- Localização das amostras, em amarelo, realizadas nesse trabalho, e, em preto, apresentadas por Dutra et al. (2020). Modificado de Endo et al. (2019).

Essas análises contemplaram zircões de características similares à amostra deste trabalho (MA210), com variação de tamanho ligeiramente maior (até 550 μm), muitos grãos apresentando forte zonamento. Apresentam, em geral, espectro de idade similar àquele encontrado na amostra feita nesse trabalho, com uma população significativa entre 2000 e 2200 Ma., mas com populações mais jovens entre 1515 a 1989 Ma. Dentre as amostras avaliadas na unidade quartzítica da Formação Cambotas (Membro São Miguel; duas na Serra do Tamanduá e três na Serra das Cambotas), apenas uma amostra não apresentou um pico de população em torno de 1740 Ma. Com isso, Dutra et al. (2020) conclui que a idade máxima de sedimentação para essa unidade é 1740 Ma.

No que diz respeito às áreas fonte para o sedimento dessa bacia, Dutra (2017) apresenta rochas do Cinturão Mineiro, bem como retrabalhamento das rochas do Supergrupo Minas como áreas fontes principais. Assim como nesse trabalho, além da principal população riaciana, há uma importante população mais jovem estateriana, cuja proveniência tem relação com as rochas intrusivas cronocorrelatas ao Supergrupo Espinhaço, como a Suíte Borrachudos e aos diques que ocorrem desde a porção sul do Cráton São Francisco (Dutra et al., 2020).

Sugere-se neste trabalho que a Formação Cambotas foi depositada durante o Estateriano, numa continuidade meridional da bacia Espinhaço Inferior, conforme caracterizada por Chemale et al., (2012).

Isso é, num ambiente de rifte intracontinental, que migra para um contexto marinho raso com contribuição eólica. Sua sedimentação é posterior à deposição e estruturação do Supergrupo Minas, e sugere-se que a Formação Cambotas teve como embasamento e áreas fonte as rochas do Complexo Caeté (ou outros complexos de embasamento de idade similar, que porventura podem já ter sido erodidos) e do Supergrupo Rio das Velhas.

Gomes (2017 apud Dutra et al. 2020), destaca as similaridades litológicas das formações Antônio dos Santos, com Galho do Miguel e Sopa-Brumadinho, enquanto a Formação Cambotas é similar às unidades do Grupo Conselheiro Mata. Dutra et al. (2020) reforçam a ideia e localizam a correlação das unidades quartzíticas da Formação Cambotas como correlatas ao Grupo Conselheiro Mata.

Algo intrigante que necessita de maior averiguação é a relação da Formação Cambotas com os xistos pelíticos descritos por Queiroz et al., (2019) na região de Pinheiros Altos-Piranga, leste do QF. Tais rochas apresentam espectro de proveniência semelhante ao da unidade quartzítica da Formação Cambotas, podendo representar correlação estratigráfica com o topo desta unidade.

CONCLUSÃO

A Formação Cambotas configura a terminação meridional do Supergrupo Espinhaço, e corresponde a uma bacia com multiplicidade de áreas fonte.

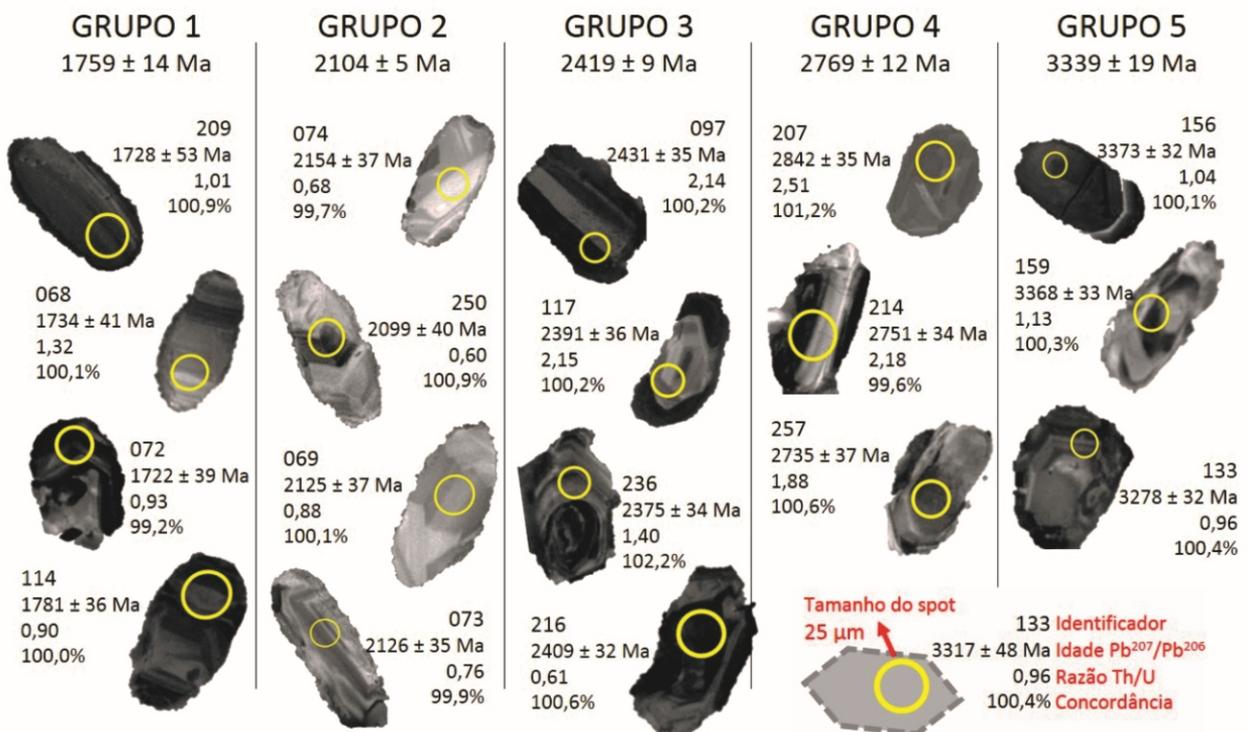


Figura 5 Imagens catodoluminescência de grãos de zircão analisados via LA-ICP-MS divididas por grupos de idade.

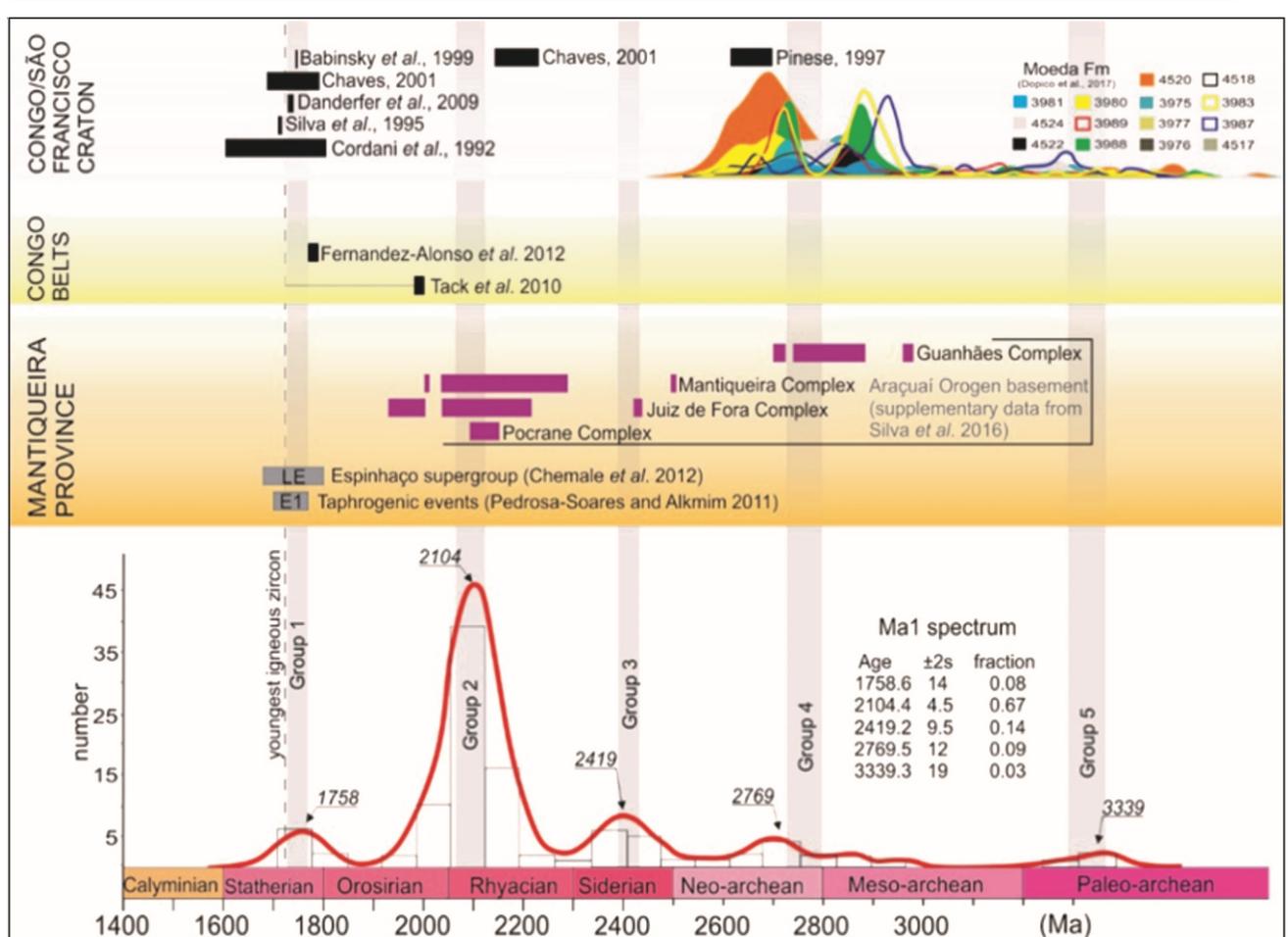


Figura 6 Síntese das análises dos zircões da amostra MA210, com o histograma de picos de idade e possíveis fontes de proveniência. Curvas da Fm Moeda indicam amostras analisadas por Dopico et al., 2017. Barras indicam intervalos de idade de possíveis fontes de proveniência para rochas da Formação Cambotas.

Essa variedade pode estar relacionada com a complexidade estrutural e estratigráfica à qual esteve submetida a região nordeste do atual Quadrilátero Ferrífero durante sua evolução. As rochas que ocorrem na região da Serra das Cambotas e da Serra do Tamanduá apresentam características litológicas, áreas fonte e idades muito similares. Apesar da divergência na atual configuração estrutural das duas serras, com base nos dados apresentados e dos dados compilados nesse trabalho, acredita-se que suas origens espacial e temporal não foram fundamentalmente distintas. Por fim, conclui-se a correlação da unidade quartzítica na Serra do Tamanduá e Serra das Cambotas com o Grupo Conselheiro Mata, do Supergrupo Espinhaço.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o Programa de Formação de Recursos Humanos PRH-PB 238, aos colegas de projeto, que foram fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chemical Geology*, 216:249–270.

Alkmim, F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimita-lo. In: Mantesso Neto V, Bartorelli A, Carneiro CDR & Brito Neves BB (Org). *Geologia do Continente SulAmericano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Becca, p.17-35.

Alkmim, F.F. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region Minas Gerais Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58.

Balthazar, O.F. & Zucchetti, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 021: 63–103.

Bruni, M.A.L; Almeida, J.T. & Bruni, E.C. 1974. Carta geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha Rio São Francisco – SC.23. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral.

Chemale Jr, F. & Rosière C.A., Endo I. 1993. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero - Um modelo. *Pesquisas*, 18(2): 104–127.

- Chemale Jr. F.; Dussin, I.A., Martins, M.S.; Alkmim, F.F. & Queiroga, G. 2010. The Espinhaço Supergroup in Minas Gerais: a Stenian Basin? In: 7 South American Symposium on Isotope Geology – SSAGI. 2010. Brasília, DF: 552-555.
- Chemale Jr, F., Dussin, I.; Alkmim, F.F.; Martins, M.S.; Queiroga, G.; Armstrong, R. & Santos M. 2012. Unravelling a Proterozoic basin history through detrital zircon geochronology: The case of the Espinhaço Supergroup, Minas Gerais, Brazil. *Gondwana Research*, 22:200-206.
- Crocco-Rodrigues, F.A. 1991. Sistema de cavalcamento e geologia estrutural da Serra das Cambotas, Quadrilátero Ferrífero (MG). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Brasília, Dissertação de Mestrado, 191p.
- Cutts, K.; Lana, C.; Alkmim, F.; Farina, F.; Moreira, H. & Coelho, V., 2019. Metamorphism and exhumation of basement gneiss domes in the Quadrilátero Ferrífero: Two stage dome-and-keel evolution? *Geoscience Frontiers* 10 (5), 1765-1787.
- Daher, A.P.C e Flores, M.A.C. 2018. Caracterização Estratigráfica e Estrutural da Porção Nordeste do Sinclinal Gandarela, Quadrilátero Ferrífero – MG. Trabalho de Graduação em Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 177p.
- Danderfer, A.; Waele, B.; Pedreira, A.J.; Nalini, H.A. 2009. New geochronological constraints on the geological evolution of Espinhaço basin within the São Francisco Craton Brazil. *Precambrian Research*, 170:116-128.
- Davis, D., Williams, I., Krogh, T. 2003. Historical Development of Zircon Geochronology. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53 (1): 145–181.
- Dorr, J. V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: Professional Paper, Washington, USGS/DNPM, 110p.
- Duque, T., Alkmim, F., & Lana, C. 2020. Grãos detríticos de zircão do Grupo Itacolomi em sua área tipo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: idades, proveniência e significado tectônico *Geologia USP. Série Científica*, 20(1), 101-123.
- Dutra, L.F. 2017. Caracterização geocronológica U-Th-Pb de zircões detríticos na porção nordeste do Sinclinal Gandarela – implicações para a evolução sedimentar e geotectônica do Quadrilátero Ferrífero. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado 147p.
- Dutra, L.F., Dias, S.P., Martins, M., Lana, C., Batista, A.C., & Tavares, T.D. 2020. Detrital zircon records of the Paleo-Mesoproterozoic rift-sag Tamanduá Group in its type-section, Northern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 50 (1) , e 2 0 1 9 0 0 6 9 . E p u b J u n e 2 6 , 2 0 2 0 . h t t p s : / / d o i . o r g / 1 0 . 1 5 9 0 / 2 3 1 7 - 4 8 8 9 2 0 2 0 2 0 1 9 0 0 6 9 .
- Endo, I., Galbiatti H.F., Delgado C.E.R., Oliveira, M.M.F, Zapparoli, A. de C., Moura, L.G.B de, Peres, G.G., Oliveira A.H. de, Zavaglia, G., Danderfer, F.A., Gomes, C.J.S., Carneiro, M.A., Nalini, Jr.H.A., Castro, P. de T.A., Suita, M.T. de F., Seixas L.A.R., Tavaza, E., Lana, C. de C., Martins-Neto, M.A., Martins, M. de S., Ferreira, F.F.A., Franco, A.P., Almeida, L.G., Rossi, D.Q., Angeli, G., Madeira, T.J.A., Piassa, L.R.A, Mariano, D.F., Mariano, D.F., Carlos, D.U. 2019. Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:50.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP – Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br.
- Farina, F.; Albert, C.; Martínez Dopico, C.; Aguilar Gil, C.; Moreira, H.; Hippert, J.P.; Cutts, K.; Alkmim, F.F. & Lana, C. 2015. The Neoproterozoic transition between medium-and high-K granitoids: clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). *Precambrian Research*, 266:375–394.
- Jackson, S.; Pearson, N.J.; Griffin, W. & Belousova, E. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211:47-69.
- Knauer L.G. 1999. Aspectos estratigráficos e estruturais das unidades proterozóicas da Serra do Espinhaço Meridional e suas implicações para a caracterização do Evento Uruçuano. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 226 p.
- Lobato, L.M.; Baltazar, O.F.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Baars, F.J.; Timbó, M.A.; Berni, G.V.; Mendonça, B.R.V. & de Ferreira, D.V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte, CODEMIG.
- Ludwig, K. R. 2003. User's manual for Isoplot 3.00. Berkeley, Berkeley Geochronology Centre.
- Machado, N.; Schrank, A.; Noce, C.M. & Gauthier, G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 141:259-276.
- Marshak, S. & Alkmim, F.F. 1989. Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*, 8:555-571.
- Pedrosa-Soares, A.C. & Alkmim, F.F. 2011. How many rifting events preceded the development of the Araçuaí-West Congo orogen? *Geonomos*, 19(2):244-251.
- Queiroz, Y. S.; Queiroga, G.; Moraes, R.; Fernandes, V.M.T.; Medeiros-Júnior, E.B.; Jordt-Evangelista, H.; Schulz, B.; Schmiedel, J.; Martins, M.; Castro, M.P. & Lana, C.C. 2019. Pseudosection modeling and U-Pb geochronology on Piranga schists: role of Brasiliano Orogeny in the Southeastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*,

- Renger, F.E., Noce, C.M., Romano, A.W. & Machado, N. 1995. Evolução Sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de Registro Geológico no Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. *GEONOMOS*, 2 (1): 1-11.
- Silva, L.C.; Pedrosa-Soares, A.C.; Armstrong, R.; Pinto, C.P.; Magalhães, J.T.R.; Pinheiro, M.A.P. & Santos, G.G. 2016. Disclosing the Paleoproterozoic to Ediacaran history of the Sao Francisco craton basement: The Porteira domain (northern Araçuaí orogen, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 68:50-67.
- Simmons, G.C. & Maxwell, C.H. 1961. Grupo Tamanduá da Serie Rio das Velhas: Brazil. Dept. Nac. Produção Mineral Div. Geol. Mineral. Bol., 211:30.
- Simmons, G.C. 1968. Geology and Iron Deposits of the Western Serra Do Curral, Minas Gerais. U.S. Geol. Survey, Brazil, Paper 341:57.
- Van Achterbergh, E.; Ryan, C.G.; Jackson, S.E. & Griffin, W.L., 2001. Data Reduction Software for LA-ICP-MS: Appendix. Association Canada (MAC), Canada, Short Course Series 29, 239p.