



SEQUÊNCIA METASSEDIMENTAR DE ITAPECERICA VINCULADA À COLISÃO (2.0 Ga) DO CINTURÃO MINEIRO, CRATON DO SÃO FRANCISCO: GEOCRONOLOGIA U-PB EM ZIRCÃO DETRÍTICO, IMPLICAÇÕES TECTÔNICAS E INFERÊNCIAS PALEOGEOGRÁFICAS

W. Teixeira¹, E.P. Oliveira², P. Peng³, E.L. Dantas⁴, M.H.M. Hollanda¹

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil (wteixeir@usp.br)

²Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Brasil

³Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

⁴Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasil

INTRODUÇÃO E ARCABOUÇO GEOLÓGICO

Estudos geocronológicos U-Pb em zircão detrítico foram aplicados em rochas metassedimentares granulizadas (kondalitos), que ocorrem em Itapecerica, estado de Minas Gerais. Os resultados lograram definir o vínculo tectônico da bacia precursora de Itapecerica com a evolução paleoproterozoica do Cinturão Mineiro, com base no arcabouço geológico local e regional. A interpretação aqui apresentada teve por paradigma a aglutinação do proto-São Francisco/Congo no contexto paleogeográfico do Supercontinente Columbia (Teixeira et al., no prelo).

A sequência supracrustal de Itapecerica hospeda o segundo maior depósito de grafita do Brasil. O minério (grafita tipo flake) é explorado nas minas Tejuco Preto, Bambuí e Cafófo pela Nacional de Grafite, desde 1939 (www.grafita.com). Em termos genéticos, este tipo de minério sugere, a priori, que matéria carbonácea primária em sedimentos foi transformada em grafita em condições metamórficas de alto grau. No contexto local, as rochas metassedimentares de Itapecerica ocorrem como relíquias deformadas no interior de três estruturas dômicas elípticas adjacentes, identificadas em interpretações geofísicas com controle geológico (Zacchi et al., 2007; Campello et al., 2015). As estruturas são circundadas por leucogranitoides peraluminosos e ortogneisses, parcialmente migmatizados que representam o substrato cristalino neoarqueano da porção sul do Craton do São Francisco (Campello et al., 2015; Teixeira et al., 2017). As feições elípticas são circundadas por zonas de cisalhamento E-W (Chaves et al., 2015), e situam-se nas proximidades da Zona de Cisalhamento de Cláudio – importante feição estrutural que secciona o embasamento arqueano da porção sul do Craton do São Francisco. Ao longo da Zona de Cisalhamento de Cláudio estão documentados retrabalhamento crustal e transformação de metagranito em migmatito, conforme datações SHRIMP em zircão com idade entre 2050 - 2030 Ma (Carvalho et al., 2016). Este padrão geocronológico é semelhante ao da época de colisão do Cinturão Mineiro que também induziu a estruturação em dobras e falhas do embasamento arqueano no Quadrilátero Ferrífero, a leste da área de estudo (Alkmim e Teixeira, 2017). Cabe notar que o Cinturão Mineiro é um importante componente da Orogenia Minas (2470 - 2000 Ma), preservado em um amplo domínio imediatamente ao sul do lineamento Jeceaba-Bom Sucesso que o separa do substrato arqueano. As rochas deste cinturão, essencialmente ortogneisses de composição variada e sequências metavolcanosedimentares, foram geradas em sucessivos arcos acrescionários de natureza oceânica e/ou continental (e.g., 2.36-2.31; 2.23-2.20; 2.17-2.09 Ga) – Barbosa et al. (2015), Teixeira et al. (2015); Alkmim e Teixeira (2017).

Na mina Cafófo, objeto do estudo geocronológico, ocorrem três unidades principais: *i*) granada-cordierita-sillimanita-biotita-grafita xisto; *ii*) intercalações (bandas) de sillimanita-granada-muscovita quartzito no xisto ou na sua base; *iii*) sillimanita-granada-biotita paragneisse com filmes de grafita, sotoposto a pacote xisto-quartzito. O pacote está deformado e exhibe estruturação N40E. O paragneisse conta com uma determinação radiométrica preliminar U-Th-PbT (método químico) que indicou idade em monazita de 2010 ± 19 Ma. Este resultado foi interpretado como a idade mínima do evento metamórfico regional (Chaves et al., 2015), sendo coerente com a idade U-Pb em zircão documentada para a recristalização de um gnaiss charnockítico (2066+24/-18 Ma), localizado ao sul de Itapecerica (Oliveira, 2004).

A paragênese metamórfica das rochas metassedimentares de Itapecerica inclui cordierita, sillimanita, feldspato potássico mesoperitítico, granada, grafita e biotita, sendo característica da facies granulito, re-

equilibrado na facies anfíbolito (e.g., Chaves et al., 2015). Trata-se de uma paragênese de alto grau metamórfico que é peculiar das rochas da suite kondalítica, correspondente dos granulitos aluminosos derivados de protólitos sedimentares com granada e sillimanita, podendo ou não conter espinélio, cordierita e grafita (e.g., Condie et al., 1992). Do ponto de vista geodinâmico, os cinturões dobrados com kondalitos representam bacias sedimentares que foram submetidas à deformação e à facies granulito por conta de processos de subducção-colisão. Esses processos, por sua vez, estão vinculados usualmente ao amálgama de blocos continentais, a exemplo dos cinturões com suites kondalíticas (1.95-1.85 Ga) partícipes da colisão dos blocos oriental e ocidental do Craton do Norte da China (Peng et al., 2014 e referências internas).

RESULTADOS LA-ICPMS U-PB

Os estudos isotópicos foram obtidos em amostras selecionadas da sequência supracrustal de Itapecerica, bem como do embasamento cristalino. As rochas do embasamento indicaram idades U-Pb de cristalização em zircão entre 2753 ± 81 e 2679 ± 61 Ma, enquanto a superposição metamórfica foi datada em 2069 ± 84 Ma. Um leucogranito (amostra de furo de sondagem), também coletado na mina de Itapecerica, indicou a idade de cristalização de 2705 ± 83 Ma (intercepto superior) com $MSWD = 3.4$. Trata-se, portanto, do embasamento neoarqueano que contém a estrutura elíptica de Itapecerica entre outras próximas. Um gnaiss charnockítico nas proximidades (Mina Corcovado) indicou uma idade Sm-Nd (“linear array” granada + rocha total) de 2086 ± 19 Ma. As duas idades paleoproterozoicas de amostras do embasamento arqueano refletem a época do metamorfismo granulítico progressivo regional, vinculado às etapas finais da evolução do Cinturão Mineiro, à semelhança de outras feições de retrabalhamento crustal do embasamento cristalino (Alkmim e Teixeira, 2017; Teixeira et al., 2017).

Os estudos de proveniência em zircão detrítico da sequência supracrustal de Itapecerica indicaram uma idade máxima de deposição, definida pelo intercepto superior na Concórdia de 2077 ± 20 Ma ($MSWD=2.7$), obtida no sillimanita-granada-biotita paragnaisse. As análises isotópicas deste conjunto de dados indicaram valores Th/U entre 0.16 e 0.90, que são compatíveis com zircão magmático. O granada-cordierita-sillimanita-biotita-grafita xisto indicou idade U-Pb de intercepto superior de 2054 ± 19 [± 20] Ma, calculada com spots ígneos e recristalizados, conforme os valores Th/U. O sillimanita-granada-muscovita quartzito indicou idade U-Pb de intercepto superior de 2129 ± 11 Ma. O espectro de idade (concordância $\pm 100\%$) nos diagramas de probabilidade relativa para zircões extraídos do quartzito, xisto e paragnaisse indicaram picos unimodais de idade principais entre 2130 e 2080 Ma e subordinados entre 2260 e 2290 Ma. Há também registro pontual de idades da ordem de 2380, 2460 Ma além de raras idades arqueanas (e.g., 3150 Ma). Esse padrão geocronológico sugere que a bacia precursora (Itapecerica) foi preenchida essencialmente por material proveniente da erosão dos ortognaisses e granitoides produzidos pelos arcos magmáticos do Cinturão Mineiro, além da escassa contribuição de fontes arqueanas.

As análises para zircões metamórficos (valores $Th/U \leq 0.01$) indicaram idades U-Pb de intercepto superior de 1997 ± 20 Ma e 1971 ± 40 Ma no paragnaisse e quartzito, respectivamente. Estas idades definiram temporalmente o metamorfismo granulítico e têm também relação com a época da conversão do material carbonáceo em grafita no depósito de Itapecerica. Pelo exposto, os dados isotópicos indicaram que os protólitos sedimentares da sequência supracrustal de Itapecerica foram submetidos ao metamorfismo granulítico (collisional) há c. 2.00 Ga, pouco após a deposição (idade máxima do zircão detrítico mais jovem de 2.08 Ga). A sedimentação deu-se em ambiente convergente, formado em função da justaposição do cinturão Mineiro ao longo da margem continental neoarqueana. Parte desta margem continental está representada pelos estratos do Supergrupo Minas, situados no lineamento Jeceaba-Bom Sucesso (Alkmim e Teixeira, 2007) que foram deformados e falhados por conta da colisão do arco terminal que construiu o Cinturão Mineiro.

INTERPRETAÇÃO TECTÔNICA

Dois segmentos de um sistema orogênico acrescionário/collisional ilustram o cenário paleoproterozoico do Craton São Francisco, respectivamente o Orógeno Minas (meridional) e o Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá (setentrional) (e.g., Teixeira et al., 2017; Alkmim e Teixeira, 2017, Barbosa e Barbosa, 2017 e referências

internas) e seu correlato no Craton Oeste-África (Orógeno Eburneano). Este sistema orogênico, de longa duração (2.47 – 2.00 Ga), envolveu múltiplos episódios acrescionários combinados com consumo da litosfera oceânica via colisões diacrônicas entre os arcos magmáticos. O regime geodinâmico culminou com a aglutinação dos blocos arqueanos intervenientes para então edificar o chamado paleocontinente São Francisco/Congo há c. 1.95 - 1.90 Ga (Teixeira et al., 2017). No segmento orogênico setentrional, por exemplo, o processo colisional (2.08 - 2.05 Ga) está marcado por metamorfismo de ultra-alta temperatura (enclaves em gnaisses com safirina), gnaisses charnockíticos anatéticos (com granada e cordierita) e subordinadamente pelos granulitos derivados de protolitos sedimentares, representados por grafita xistos, xistos manganesíferos e quartzitos a granada (e.g., Peucat et al., 2011 e referências internas). No caso do Cinturão Mineiro, a colisão contra o antepaís arqueano, vinculada ao estágio final da Orogenia Minas, ocorreu mais tarde há c. 2.00 Ga, apontando para a polaridade do crescimento crustal durante o paleoproterozoico. O registro colisional está representado pelas idades U-Pb (zircão) e Sm-Nd (mineral) aqui reportadas para o metamorfismo de alto grau na sequência supracrustal de Itapecerica e seu embasamento local, mas também pela geração do Migmatito Kinawa na Zona de Cisalhamento Cláudio (Carvalho et al., 2016), e ainda pela reativação tectônica das rochas arqueanas do Quadrilátero Ferrífero (Alkmim e Teixeira, 2017). A colisão do arco final do Cinturão Mineiro induziu não só a deformação e fatiamento tectônico das rochas do Supergrupo Minas ao longo do lineamento Jeceaba-Bom Sucesso, mas também edificou as cordilheiras que forneceram os clastos para a bacia Itapecerica e para o seu provável correlativo – a bacia do Grupo Sabará no Quadrilátero Ferrífero (Alkmim e Teixeira, 2017 e referências internas).

INFERÊNCIAS PALEOGEOGRÁFICAS

No contexto global, o sistema orogênico paleoproterozoico que formou o paleocontinente São Francisco/Congo é contemporâneo com o período de construção do Supercontinente Columbia, documentado por cinturões colisionais e suturas continentais com ápice entre 1.95 - 1.85 Ga (e.g., Zhao et al., 2005 e referências internas). Um desses exemplos é o Orógeno Jiao-Liao-Ji, localizado na margem leste do Craton Norte da China, onde kondalitos, granulitos de ultra-alta temperatura, charnockitos anatéticos, bem como grandes depósitos de grafita estão documentados no arco magmático da Coreia (Peng et al., 2014 e referências internas). As similaridades tectônicas entre o Craton Norte da China e o Craton do São Francisco, incluindo os depósitos de grafita vinculados a kondalitos, permitem aqui esboçar uma reconstrução paleogeográfica, posicionando-os relativamente próximos no período 2.00 – 1.78 Ga.

O modelo geodinâmico considera o desenvolvimento de duas orogêneses acrescionárias paleoproterozoicas ao longo de margens continentais ativas e opostas paleogeograficamente. Este processo envolveu a rotação do paleocontinente São Francisco/Congo durante o fechamento progressivo do oceano interveniente, condicionado por subduções e colisões múltiplas dos arcos individuais no período de 2.47 a 1.80 Ga. O consumo da litosfera oceânica para leste durante a Orogenia Minas ocorreu ao longo da margem continental nearqueana do proto-Craton São Francisco e finalizou por volta de 2.00 Ga, gerando os kondalitos de Itapecerica e o metamorfismo granulítico superposto no embasamento cristalino. Já as múltiplas subduções do assoalho oceânico para oeste (Orogenia Jiao-Liao-Ji) tiveram polaridade para o Craton Norte da China. O processo levou à aproximação do paleocontinente São Francisco/Congo (estabelecido há 2.00 Ga) perante a margem continental ainda ativa do proto-Craton Norte da China. Neste caso, o arco da Coreia responderia pela justaposição (tipo arco/continente) final entre as duas placas litosféricas, via consumo total do oceano por volta de 1.95-1.88 Ga. Este episódio colisional gerou os kondalitos muito ricos em grafita (mina Nanshu) ao longo da sutura correspondente. A reconstrução paleogeográfica é coerente com as condições de metamorfismo de alto grau que geraram os depósitos de grafita de Itapecerica e Nashu, embora sejam episódios diacrônicos.

O esboço geodinâmico oferece uma nova perspectiva para a reconstrução do Supercontinente Columbia, tendo como paradigmas o Craton Norte da China e o paleocontinente São Francisco/Congo. Usualmente esta última entidade cratônica não tem sido considerada nos modelos do Columbia, face à falta de polos paleomagnéticos do Paleo- e Mesoproterozoico de qualidade. A aglutinação supercontinental também explica a abundante atividade intraplaca subsequente, registrada em todos os blocos participantes do Columbia (incluindo Báltica), esta do condicionada à inerente insulação termal e perturbações decorrentes no manto sublitosférico.

Esta atividade está associada a uma pluma mantélica (1.79 - 1.78 Ga), situada na extremidade meridional (coordenadas atuais) do Craton Norte da China (Peng et al., 2008).

REFERÊNCIAS

- Alkmim, F.F., Teixeira, W., 2017. The Paleoproterozoic Mineiro belt and the Quadrilátero Ferrífero. M. Heilbron, F. Alkmim, U. G. Cordani (guest editors) In: The São Francisco Craton and its margins, Eastern Brazil. Regional Geology Review Series. Springer-Verlag, capítulo 5, pp. 71-94.
- Barbosa, N.S., Teixeira, W., Ávila, C.A., Montecinos, P.M., Bongioiolo, E.M., 2015. 2.17–2.10 Ga plutonic episodes in the Mineiro belt, São Francisco Craton, Brazil: U-Pb ages, geochemical constraints and tectonics. *Precambrian Research* 270, 204-225.
- Campello, M.S., Vaz, B.B., Oliveira, M.A.S., Ávila, M.A.C., 2015. Relatório e mapa geológicos 1: 100.000 da Folha Formiga SF.23-V-B-III. Projeto Fortaleza de Minas, CODEMIG/UFMG. A.C. Pedrosa Soares (coord.). 62 pp.
- Carvalho, B.B., Sawyer, E.W., Janasi, V.A., 2016. Crustal reworking in a shear zone: transformation of metagranite to migmatite. *Journal of Metamorphic Petrology* 34, 237-264.
- Barbosa, J.S.F., Barbosa, R.G., 2017. The Paleoproterozoic Eastern Bahia Orogenic Domain. M. Heilbron, F. Alkmim, U. G. Cordani (guest editors) In: The São Francisco Craton and its margins, Eastern Brazil. Regional Geology Review Series. Springer-Verlag, capítulo 4, pp. 57-69.
- Chaves, A.O., Campello, M.S., Pedrosa Soares, A. C., 2015. Idade U-Th-PbT de monazitas do sillimanita-granada-biotita gnaiss de Itapeçerica (MG) e a atuação da orogenia Riacciana-Orosiriana no interior do Craton do São Francisco. *Geociências* 34, 324-334.
- Condie, K., Boryta, M.D., Liu, J., Xianglin Qian, X., 1992. The origin of khondalites: geochemical evidence from the Archean to Early Proterozoic granulite belt in the North China craton. *Precambrian Research* 59, 207-233.
- Oliveira, A.H., 2004. Evolução tectônica de um fragmento do Cráton São Francisco Meridional com base em aspectos estruturais, geoquímicos (rocha total) e geocronológicos (Rb-Sr, Sm-Nd, Ar-Ar, U-Pb). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil. 92 pp.
- Peng, P., Zhai, M. G., Ernst, R. E., Guo, J. H., Liu, F., Hu, B., 2008. A 1.78 Ga large igneous province in the North China craton: The Xiong'er Volcanic Province and the North China dyke swarm. *Lithos* 101 (3), 260–280.
- Peng, P., Wang, X., Windley, B. F., Guo, J., Zhai, M., Li, Y., 2014. Spatial distribution of 1950–1800 Ma metamorphic events in the North China Craton: Implications for tectonic subdivision of the craton. *Lithos* 202–203, 250–266.
- Peucat, J.J., Barbosa, J.S.F., Paquette, J.L., Martin, H., Fanning, C.M., Leal, A.B.M., 2011. Geochronology of granulites from the south Itabuna-Salvador-Curaçá Block, São Francisco Craton (Brazil): Nd isotopes and U-Pb zircon ages. *Journal of South American Earth Sciences* 31, 397-413.
- Teixeira, W., Ávila, C.A., Dussin, I.A., Corrêa Neto, A.V., Bongioiolo, E.M., Santos, J.O.S., Barbosa, N., 2015. Zircon U-Pb-Hf, Nd-Sr constraints and geochemistry of the Resende Costa Orthogneiss and coeval rocks: new clues for a juvenile accretion episode (2.36-2.33 Ga) in the Mineiro belt and its role to the long-lived Minas accretionary orogeny. *Precambrian Research* 256, 148-169.
- Teixeira, W., Oliveira, E.P., Marques, L.S., 2017. The nature and evolution of the Archean Crust of the São Francisco Craton. M. Heilbron, F. Alkmim, U. G. Cordani (guest editors). In: São Francisco Craton, Eastern Brazil: tectonic genealogy of a miniature continent. Regional Geology Review Series. Springer-Verlag. Chapter 3, pp. 29-56.
- Teixeira, W., Oliveira, E.P., Peng, P., Dantas, E.L., Hollanda, M.H.M., 2017. 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* (no prelo).
- Zacchi, E.N.P., Silva, A.M., Toledo, C.L.B., Souza-Filho, C.R., 2007. As três anomalias elípticas da porção sul do Craton São Francisco: novos alvos para a mineração da grafita? *Revista Brasileira de Geofísica* 25 (4), 421-431.
- Zhao, G., Sun, M., Wilde, S.A., Sanzhong, L., 2005: Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited. *Precambrian Research* 136, 177–202.