

Ocorrências de fosfato sedimentar em coberturas fanerozoicas na região de Arraias -TO, borda oeste da Bacia do São Francisco, Brasil

Occurrences of sedimentary phosphate in phanerozoic covers in the Arraias region -TO, west edge of the São Francisco Basin, Brazil

Alex Joaquim Choupina Andrade Silva¹ , João Renato de Luca Rosa Franco² , Juliana Okubo³ ,
Leonardo Azevedo Sá Alkmin¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Instituto de Engenharia, Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação, Av. Um, 4.050, Cidade Universitária, CEP 39447-814, Janaúba, MG, BR. (alex.choupina@ufvjm.edu.br; leonardo.alkmin@ufvjm.edu.br)

² Oz Consulting - MAuslMM CP(Geo), Minaçu, Goiás, BR. (joaorenatofranco@yahoo.com.br)

³ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, BR. (juliana.okubo@unesp.br)

Recebido em 29 de outubro de 2024; aceito em 30 de maio de 2025.

RESUMO

A região de Arraias (TO) e Campos Belos (GO) é caracterizada pela presença de fosforitos e siltitos fosfatados interdigitados com siltitos na porção basal da Formação Sete Lagoas, pertencente ao Grupo Bambuí. Nos estratos fanerozoicos superiores, observa-se a ocorrência de conglomerados polimíticos parcialmente litificados, com teores variáveis de fosfato, provavelmente devido a presença de clastos de rochas fosfáticas retrabalhados de unidades subjacentes. Este trabalho tem como objetivo descrever a ocorrência de estratos isolados de rochas sedimentares fanerozoicas, compostos por conglomerados polimíticos, arenitos e depósitos inconsolidados, que se sobrepõem de forma discordante à sucessão pelito-carbonática da Formação Sete Lagoas, na borda oeste da Bacia do São Francisco (BSF). Os litotipos de topo sugerem um ambiente de deposição em sistema fluvial entrelaçado, similar aos depósitos cretáceos do Grupo Urucuia. A partir de observações de campo, mapeamento de semidetalhe, seções geológicas e integração de dados de sondagem foi possível identificar a ocorrência de clastos de siltitos fosfatados no conglomerado polimítico com teor de P_2O_5 variando entre <1,0 até 20%. Os novos dados geológicos visam subsidiar futuros estudos exploratórios de fosfato na região e salienta a ocorrência de camadas fanerozoicas com teores erráticos de fosfato. Além disso, demonstra a necessidade de estudos sedimentológicos, estratigráficos e tectônicos mais detalhados.

Palavras-chave: Conglomerado mineralizado; Fosforito fanerozoico; Bacia do São Francisco.

ABSTRACT

The region of Arraias (TO) and Campos Belos (GO) is characterized by the presence of phosphorites and phosphate siltstones interdigitated with siltstones in the basal portion of the Sete Lagoas Formation, belonging to the Bambuí Group. In the upper Phanerozoic strata, occurs partially lithified polymictic conglomerates containing variable phosphate contents, likely due to the presence of reworked clasts of phosphatic rocks derived from underlying units. This paper describes the occurrence of isolated strata of Phanerozoic sediments containing polymictic conglomerate and unconsolidated covers, which are juxtaposed to the pelitic carbonate succession of the Sete Lagoas Formation on the western edge of the São Francisco Basin (SFB). The upper lithotypes suggest a braided fluvial depositional system, similar to the Cretaceous deposits of the Urucuia Group. Field observations,

semi-detailed mapping, geological and the integration of data allowed the identification of phosphatic siltstone clasts within the polymictic conglomerate, with P_2O_5 concentrations ranging from <1.0% to 20%. The new geological data will support future exploratory studies on phosphate deposits in the area and highlight the occurrence of Phanerozoic layers with erratic phosphate contents.

Keywords: Mineralized conglomerate; Phanerozoic phosphorite; São Francisco Basin.

INTRODUÇÃO

O Cráton do São Francisco e seu orógeno ocidental Brasileira exibem uma diversidade significativa em sua arquitetura litosférica, envolvendo múltiplos registros sedimentares ediacarano-cambriano ao fanerozoico (Figura 1A). A interação dos ciclos de sedimentação evidencia dinâmica tectônica, como registrado em uma série de grábens de quilômetros de extensão na Bacia do São Francisco (Borges et al., 1990; Campos e Dardenne, 1997a; Sgarbi, 2000; Reis e Alkmim, 2015; Reis et al., 2017; entre outros).

As coberturas fanerozoicas da Bacia do São Francisco (BSF), contidas no cráton homônimo, estão separadas dos estratos ediacaranos e cambrianos da Sequência Bambuí por meio de discordância regional.

A subdivisão estratigráfica das sequências fanerozoicas e os dados sobre a evolução tectônica da bacia têm sido relatada por vários autores (Hasui e Haralyi, 1991; Chang et al., 1988, 1992; Campos e Dardenne, 1994, 1997a, 1997b; Sgarbi, 2000; Sgarbi et al., 2001; Coelho et al., 2008; Reis e Alkmim, 2015; Reis et al., 2017, entre outros). Esses trabalhos debatem e discutem a origem e a evolução estrutural da Bacia Sanfranciscana, desde a região ao norte do paralelo 20° S, prolongando-se para norte, além do paralelo 12° S. Entretanto, estudos no limite ocidental do Cráton do São Francisco (CSF), paralelo à faixa de empurrões, permanecem com importantes questões em aberto, carecendo de levantamentos geológicos que caracterizem as unidades litológicas e a estruturação.

Na região de Arraias (TO) e Campos Belos (GO) ocorrem depósitos de fosfato sedimentar com teores na ordem de 24 – 32% P_2O_5 (Abdallah e Meneghini, 2017). Na literatura geológica, as rochas mineralizadas em fosfatos têm sido descritas por Monteiro (2009), Carvalho (2015), Drummond et al. (2015), Abdallah e Meneghini (2017), Carvalho et al. (2018) e Teles et al. (2024), como depósitos de fosfato hospedados na base da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, incluindo siltitos fosfatados, fosforitos

e brechas intraformacionais sinsedimentares, sendo dessa forma relacionadas a um ambiente de perimaré (Drummond et al., 2015). Trabalhos recentes de pesquisa mineral desenvolvido pela empresa Itafos Mineração tem reconhecido na região uma cobertura sedimentar, às vezes, inconsolidada, a qual apresenta-se com corpos de material fosfático, sobreposta à Formação Sete Lagoas (J. R. de L. R. Franco, informação verbal).

Na avaliação do recurso geológico, os teores de fosfato contido na cobertura têm se mostrado erráticos (<1,0 – 20% P_2O_5 ; MBAC, 2013), dificultando a modelagem geoestatística para as estimativas de recursos do depósito. Além disso, as rochas fosfatadas da Formação Sete Lagoas e a cobertura mineralizada não foram individualizadas na modelagem do depósito, tendo como consequência a variação dos teores durante a etapa de beneficiamento, com baixa recuperação de fosfato e variabilidade geometalúrgica.

As rochas fosfáticas pré-cambrianas e a cobertura sedimentar possuem características físico-químicas diferentes. As discrepâncias são perceptíveis tanto durante a fase da estimativa de teores, como no processo de beneficiamento, tendo assim a necessidade de ser tratadas separadamente.

Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho é descrever a ocorrência de camadas fosfáticas fanerozoicas que ocorrem nas proximidades de Arraias e Campos Belos (Figura 1B), procurando apresentar novos dados relativos à lito-estratigráfica e sua evolução geológica por meio de observação de campo. Ademais, os dados produzidos avançam no conhecimento geológico da região, podendo ser utilizados em futuros trabalhos prospectivos de fosfato.

SÍNTESE DA BACIA DO SÃO FRANCISCO

A Bacia do São Francisco (BSF) se estende por cerca de 800 km no segmento N-S do Cráton São Francisco, recorrendo uma área de aproximadamente de 300.000 km², que engloba grandes áreas dos estados de Minas Gerais e Bahia e pequenas partes de Goiás, Tocantins e Distrito Federal.

A bacia é limitada pelas faixas móveis marginais Brasília, Araçuaí, Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipana (Figura 1A) que limitam o cráton. A BSF recobre uma porção substancial do cráton homônimo e exibe características típicas de uma bacia intracratônica. É pouca deformada na parte central e deformada em suas bordas pelas suas faixas móveis compressionais (Alkmim e Martins-Neto, 2001; Reis e Alkmim, 2015; Reis et al., 2017). As sequências superiores (escopo deste trabalho) da bacia compreendem:

- (i) sequência Ediacarana do Grupo Bambuí; e
- (ii) coberturas fanerozoicas permo-carboníferas do Grupo Santa Fé e cretáceas dos grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia (Figura 1A).

O embasamento cratônico é essencialmente composto por rochas gnáissicas-migmatíticas de médio a alto grau, incluindo suítes TTG e associações de granito-*greenstone*. Sobre o embasamento, o Grupo Bambuí de idade Ediacarana-Cambriana (Paula-Santos et al., 2015; Uhlein et al., 2017; Caetano-Filho et al., 2019; Moreira et al., 2021) possui a maior distribuição no Cráton do São Francisco. Os metassedimentos compreendem uma sequência de 1ª ordem, que tem sido amplamente interpretada como registro de uma bacia antepaís ediacarana gerada sobre a paleoplaça São Francisco, em resposta às cargas impostas em sua margem oeste pela elevação do cinturão Brasília, durante o período Ediacarano (Chang et al., 1988; Alkmim e Martins-Neto, 2001, 2012; Martins-Neto, 2007, 2009).

No contexto regional da área estudada, a sucessão estratigráfica da BSF compreende, da base para o topo, as formações: Jequitáí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (Dardenne, 1978).

A Formação Jequitáí é constituída por diamictitos com seixos de calcários, dolomititos, quartzitos, gnaisses, cherts e granitóides diversos, imersos numa matriz esverdeada, frequentemente carbonática (Dardenne, 1978). Ocorrem também arenitos e pelitos subordinados. Os diamictitos compreendem estratos glaciogênicos, contendo clastos estriados e facetados (Karfunkel e Hoppe, 1988; Uhlein et al., 2004, 2017).

A Formação Sete Lagoas apresenta dois megaciclos de raseamento ascendente (*shallowing-upward*) e é composta por dolomititos e carbonatos com rochas pelíticas intercaladas (Vieira et al., 2007). Os metassedimentos indicam a variação entre ambientes plataformais profundo a raso, com ritmitos, calcários pretos cristalinos com esteiras microbianas, localmente com estromatólitos colunares do tipo *Gymnosolenida* (Vieira et al., 2007). Sete litofácies compõem a sequência fosfática da Formação Sete Lagoas, onde o caráter do bandamento e estruturas sedimentares indicam ambientes de deposição perimaré a plataforma profunda (Drummond et al., 2015). Segundo os autores, os padrões de empilhamento das litofácies indicam que a deposição foi promovida por flutuações de ordem superior no nível de base que produziram parasequências gradacionais.

A Formação Serra de Santa Helena compreende uma

sucessão sedimentar predominantemente pelítica. Sobreposição a Formação Sete Lagoas em contato concordante e gradativo, representado pelo aumento gradual do conteúdo de pelitos nos carbonatos de topo da Formação Sete Lagoas (Iglesias e Uhlein, 2009). A sucessão de carbonatos superiores do Grupo Bambuí é composta por argilitos, margas, siltitos e lentes e camadas de calcários pretos oolíticos da Formação Lagoa do Jacaré.

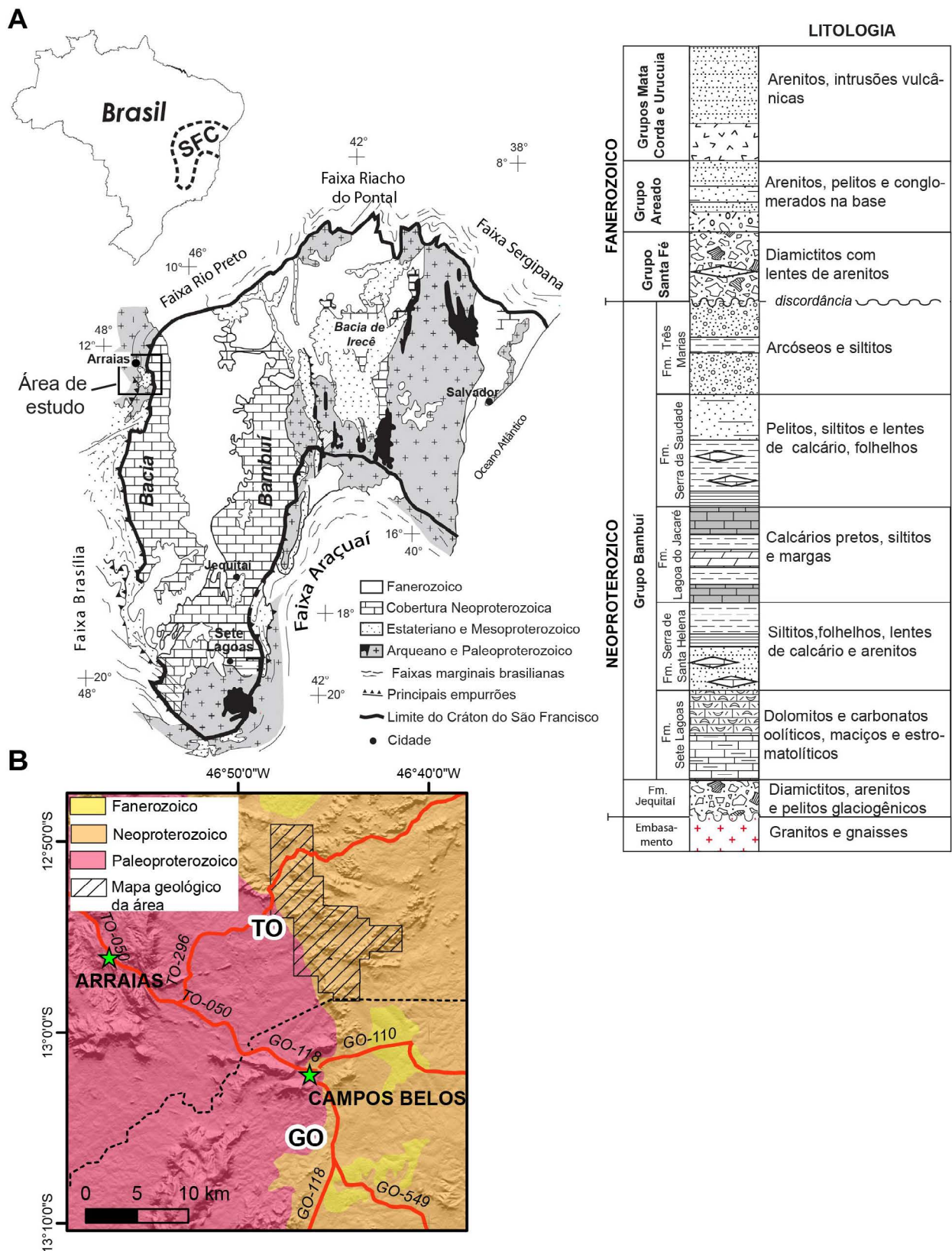
As sucessões de topo da sequência Ediacarana são compostas por pelitos, siltitos, arenitos siliciclásticos localmente fosfáticos e arenitos feldspático da Formação Serra da Saudade, seguidos por quartzo arenito, predominantemente intercalado com camadas de arenitos arcoseanos e siltitos da Formação Três Marias, depositados em uma plataforma rasa dominada por correntes de tempestade e, localmente, correntes de marés.

As rochas do Grupo Bambuí estão sotopostas às coberturas Fanerozoicas por uma discordância regional, marcada pela compensação isostática, comum nas fases com subsidência mecânica pronunciada (Campos e Dardenne, 1997b). Os estratos Fanerozoicos registram diferentes ciclos de sedimentação da bacia, permitindo caracterizar diferentes estágios tectônicos, unidades estratigráficas e ambientes de deposição (Campos e Dardenne, 1997a), referidas como Grupo Santa Fé (Permo-Carbonífero) e os grupos cretácicos Areado, Mata da Corda e Urucuia (Campos e Dardenne, 1994, 1997a, 1997b).

O Grupo Santa Fé é subdividido nas formações Floresta e Tabuleiro, constituídas, respectivamente, por diamictitos, folhelhos com seixos pingados que passam a tilitos, varvitos e arenitos, e arenitos com intercalações de pelitos (Campos e Dardenne, 1997a, 1997b). Esses sedimentos possuem origem glaciogênica e preenchem paleovales esculpidos nos estratos superiores do Grupo Bambuí (Sgarbi et al., 2001, Limarino et al., 2014).

As rochas cretáceas ocorrem como corpos isolados nas porções sudoeste e norte do cráton e são as mais novas da BSF. O Grupo Areado é representado pelas formações Abaeté, Quiricó e Três Barras interdigitadas. A unidade basal (Formação Abaeté) compreende um espectro de litofácies de conglomerados polimíticos, arenitos e folhelhos (Campos e Dardenne, 1995). Esse pacote basal grada para rochas predominantemente pelíticas, e subordinadamente folhelhos pretos e arenitos da Formação Quiricó, seguidos por um pacote relativamente espesso de arenitos da Formação Três Barras. As fácies sedimentares do Grupo Areado indicam sedimentação por leques aluviais e fluviais, que deram lugar a lagos e campos de dunas (Campos e Dardenne, 1995, 1997a; Sgarbi et al., 2001; Alkmim, 2004) as quais registram a sedimentação continental relacionada ao tectonismo distensional ocorrido no continente sul-americano durante a fragmentação do Gondwana, no Eocretáceo (Zalán e Romeiro-Silva, 2007; Fragosso et al., 2011).

O Grupo Mata da Corda consiste em uma sucessão vulcânica/subvulcânica de rochas alcalinas, vulcanoclásticas e epiclásticas datadas em torno de 90 – 80 Ma, que



Modificado de: Dardenne (1978) e Paula-Santos et al. (2015).

Figura 1. (A) Mapa geológico do Cráton do São Francisco e coluna estratigráfica das rochas sedimentares das bacias do São Francisco e Sanfranciscana; (B) Localização da área estudada na poligonal hachurada.

marcam o evento magmático alcalino da região sudeste do Brasil (Sgarbi et al., 2001).

O Grupo Urucua compreende um conjunto de rochas siliciclásticas com mais amplo espalhamento areal, subdividido nas formações Posse e Serra das Araras (Campos e Dardenne, 1997a), constituídas, respectivamente, por arenitos, siltitos e conglomerados. São fácies depositadas em ambiente fluvial desenvolvida em amplas planícies, apresentando grande variação do regime e carga dos fluxos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado o levantamento de dados geológicos existentes que cobrisse tanto a superfície como sub-superfície (furos de sondagem) da área estudada. Posteriormente, foram selecionadas áreas-chaves para mapeamento em escala 1:10.000, visando análises geológicas (mineralogia, contatos litológicos, estruturas etc.), coleta de fotografias e amostras de rochas. Com o auxílio de testemunhos de sondagem e o mapeamento da frente de lavra, foi possível descrever macroscopicamente os litotipos, bem como suas relações estratigráficas. Cerca de 30 amostras de campo dos mais variados litotipos foram coletadas para petrografia e para as análises químicas.

Oito seções delgadas de amostras mineralizadas em fosfato, foram confeccionadas e descritas no laboratório de microscopia do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (UNESP). As fácies foram descritas de acordo com sua composição, granulometria, e estruturas sedimentares, que foram utilizados para inferir seu ambiente deposicional. Para caracterizar a textura deposicional das fácies carbonáticas, foi utilizada a classificação de Dunham (1962).

As análises químicas de amostras de campo e testemunho de sondagem foram realizadas nos laboratórios ALS Chemex e SGS, por meio de espectrometria de fluorescência de raios X. O método analítico incluiu ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry*) para elementos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , SrO , BaO , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , CaO , MgO e SO_3 . Tais análises tiveram por objetivo caracterizar o minério P_2O_5 .

RESULTADOS

Estratigrafia

A área de estudo envolve os arredores da Mina Domingos (Figura 2), localizada a leste do município de Arraias, TO. A região é caracterizada pelas ocorrências de depósitos de fosfato sedimentar na Formação Sete Lagoas, exploradas pelas empresas Itafos Mineração, Du Solo e Mosaic.

As rochas sedimentares da BSF sobrepõem-se discordantemente aos litotipos do embasamento Paleoproterozoico. É constituída por diamictitos da Formação Jequitai e margas, dolomitos, siltitos, fosforitos, siltito arenoso com muscovita e arenito da Formação Sete Lagoas, seguido por

conglomerados, arenitos e coberturas inconsolidadas, atribuídos ao Grupo Areado. Os dados estratigráficos sobre a área de estudo são descritos abaixo.

Embasamento do Grupo Bambuí

O embasamento compreende os granitos peraluminosos da Suíte Aurumina (Botelho et al., 1999), com idades entre de 2,17 – 2,12 Ga, a partir de datações U-Pb em zircão (Botelho et al., 2006). Na porção oeste da área, a suíte ocorre formando a Serra das Gerais com direção aproximada NNW (Figura 2) e compondo áreas mais arrasadas e planas no extremo oeste.

Em geral, os granitos possuem cor cinza (Figura 3A), granulação média a fina e foliação definida por cristais de muscovita e biotita. A Suíte Aurumina estabelece contato erosivo com as rochas sedimentares das formações Jequitai e Sete Lagoas. Dados de campo sugerem que a paleotopografia do embasamento possui superfície irregular ora formando domos e ora paleovales preenchidos por sedimentos.

O embasamento é coberto por metassedimentos glaciogênicos da Formação Jequitai, constituído por diamictitos maciços polimíticos com grânulos e seixos de quartzitos, granitóides, xistos e quartzo imersos em matriz silto-arenosa esverdeada (Figura 3B). Nos diamictitos ocorrem seixos centimétricos a decimétricos, angulosos a subarredondados. O afloramento mais representativo da formação foi descrito na coordenada UTM 309008E, 8570027N (zona 23 sul).

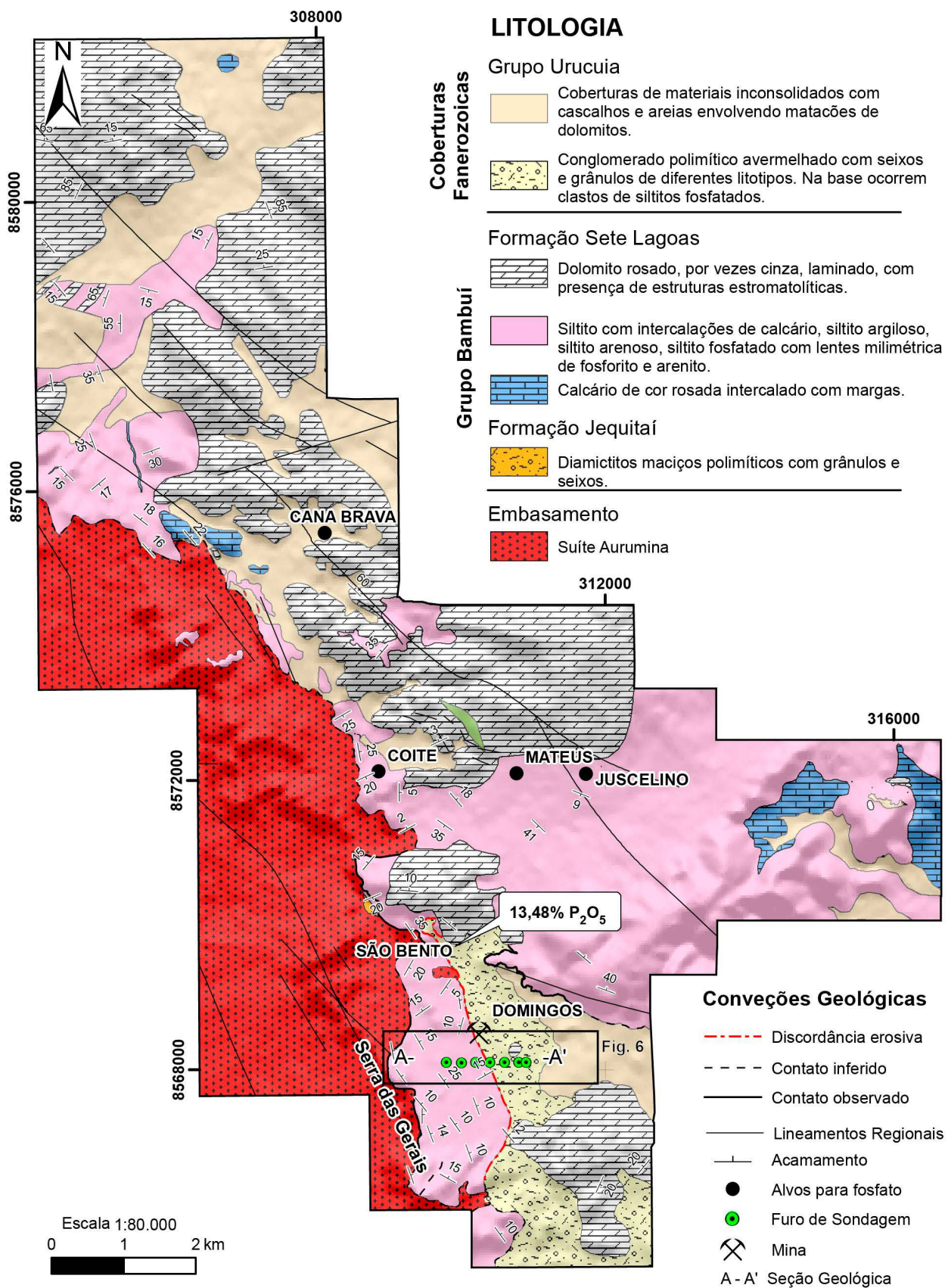
Grupo Bambuí

Formação Sete Lagoas

Os trabalhos de campo e exposição de rocha na cava da Mina Domingos permitiram reconhecer uma sucessão pelito-carbonática de aproximadamente 120 metros de espessura (Figura 4), composta por um conjunto de dolomitos, margas calcíferas, siltitos argilosos laminados, fosforitos interdigitados com siltitos e siltitos fosfatados. Esse conjunto grada em direção ao topo para siltito arenoso rico em muscovita, arenitos, dolomitos estromatolíticos e calcários dolomíticos. A sucessão sedimentar na área compreende associações de fácies, que da base para o topo, pode ser individualizada em seis fácies (Figura 4; Tabela 1).

Fácies 1 – É constituída por calcário cinza intercalado com níveis centimétricos a métricos de margas calcíferas cinza-escuro com laminação plano-paralela. Localmente mostra preenchimento de calcita no plano do acamamento primário.

Fácies 2 – É composta por siltitos argilosos bege-avermelhados com laminação plano-paralela de 1 – 5 cm de espessura com nódulos de *chert* intercalados no siltito (Figura 5A). Lentes milimétricas a centimétricas de fosforito ocorrem interdigitadas no siltito (Figura 5B). Estudos



Modificado de: Monteiro (2009), MBAC (2013) e Carvalho (2015).

Figura 2. Mapa Geológico da área de estudo.

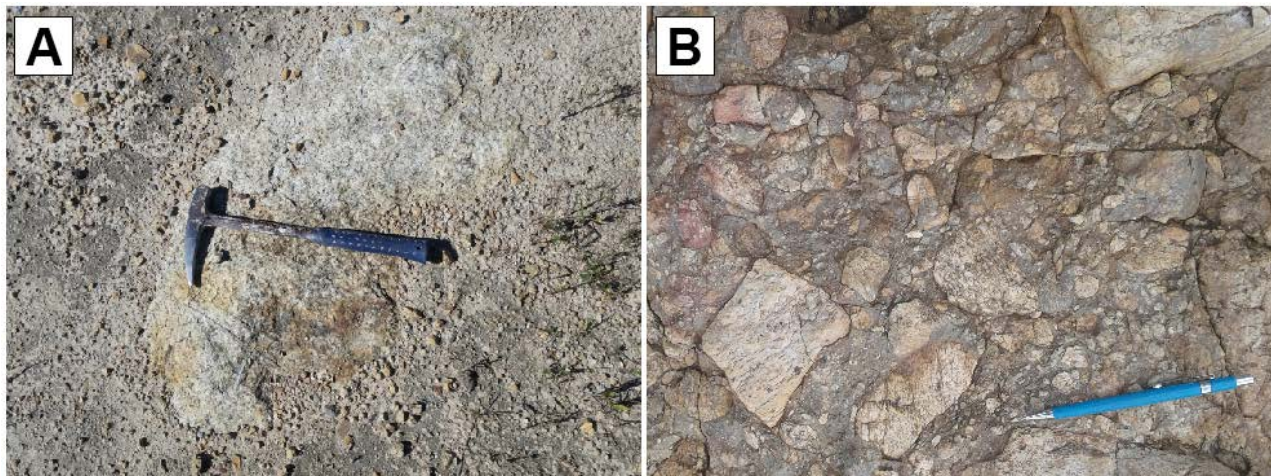
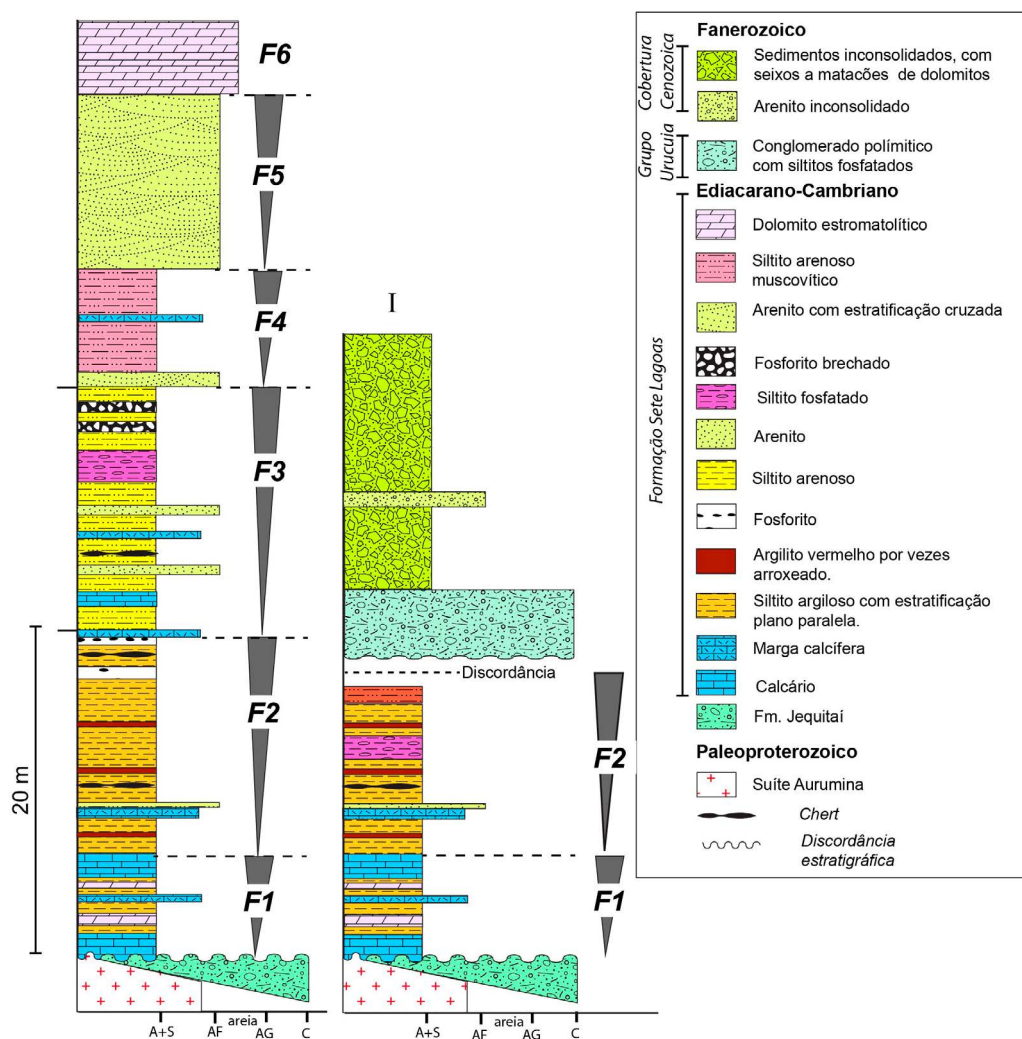


Figura 3. (A) Afloramento de biotita-muscovita granito da Suíte Aurumina (UTM: 309115E, 8568348N, zona 23 sul); (B) Diamicrito da Formação Jequitai, com seixos angulosos a subarredondados de quartzitos e granitos imersos em matriz silto-arenosa esverdeada (UTM: 309008E, 8570027N).



A = argila, S = silte, AF = areia fina, AG = areia grossa, C = cascalho.

Figura 4. Seção estratigráfica esquemática da Formação Sete Lagoas e coberturas fanerozoicas na área de estudo.

Tabela 1. Fácies identificadas na Formação Sete Lagoas na área de estudo e suas respectivas interpretações.

Fácies	Litologia	Granulometria	Textura deposicional	Estruturas sedimentares	Interpretação
F6	Dolomito	–	<i>Grainstone</i>	Maciça por vezes estratificações cruzadas	Correntes de baixa energia em ambiente marinho raso
F5	Arenito	Areia a areia média	–	Estratificação cruzada de pequeno a médio porte	Ambiente marinho raso sob regime transgressivo
F4	Siltito arenoso muscovítico	Silte a areia fina	–	Laminação plano-paralela suavemente ondulada	Corrente de moderada energia em ambiente de intermaré
F3	Siltito arenoso com fosforito	Argila a areia fina	–	Laminação plano-paralela, por vezes com marcas onduladas	Corrente de baixa energia com momentos de alta energia (episódios de tempestade)
F2	Siltito argiloso com fosforito	Argila a silte	–	Laminação plano-paralela	Decantação e corrente de baixa energia em ambiente de inframaré
F1	Calcário e marga calcífera	–	<i>Mudstone/Wackestone</i>	Laminação plano-paralela	Correntes de baixa a moderada energia em ambiente de inframaré

químicos realizado por Monteiro (2009), indicam um teor de 24,28% P_2O_5 para fosforito.

Fácies 3 – Compreende um pacote de siltito arenoso marrom claro a amarelado de laminação plano-paralela (Figura 5C) a ondulada, com intercalações centimétricas a métricas de margas calcíferas, arenitos e brechas intraformacionais. Para o topo aparecem camadas decimétricas de siltito fosfatado, às vezes, com bandas de fosforito brechados. É a fácies de maior expressão em relação às rochas mineralizadas em fosfato com teor médio de 6,04% de P_2O_5 (MBAC, 2013; Figura 5D). Petrograficamente, observa-se que o fosfato, no siltito fosfatado, ocorre como uma massa densa micro a criptocristalina de hidroxiapatita ($< 5 \mu m$) com textura predominantemente granular, às vezes envoltos por domínios amorfos (Figura 5E). Localmente ocorrem brechas intraformacionais, formadas por intraclastos de siltitos, suportados por uma matriz siltosa com grãos peloidais fosfáticos e com teor médio de 34,13% de P_2O_5 .

Fácies 4 – É constituído por siltito arenoso cinza-claro com lamelas de muscovita (Figura 5F) intercalados por níveis centimétrico a decimétricos de margas calcíferas. Exibem laminações plano-paralelas e suavemente onduladas.

Fácies 5 – É caracterizado por um pacote de arenito médio a fino, bege a amarelado, apresentando estratos decimétricos plano-paralelos e estratificações cruzadas de médio e pequeno porte. Grãos finos de quartzo definem as estratificações plano-paralelos e cruzadas.

Fácies 6 – É representada por dolomitros rosados estromatolíticos, por vezes cinza e roxo. São maciços e laminados, às vezes, ocorrem estratificações cruzadas. Aparecem níveis argilosos entre as camadas dolomíticas. Localmente os dolomitros são cortados por milimétricas e paralelas vênulas de calcita.

O acamamento da sequência pelito-carbonática exhibe dobras abertas a suaves (Figura 6) de caráter dúctil-rúptil em escalas macroscópica, com planos axiais íngremes a verticais de direção predominante entre NW-SE. Algumas dobras apresentam-se com *kink bands*, e por vezes conjugada. Falhas milimétricas a decimétricas ocorrem ao longo do plano axial, localmente preenchidas por veios de quartzo e fosfato. Ao longo de zonas mais deformadas ocorrem brechas, com fragmentos de texturas e composições variadas, predominantemente fosfática (material silicoso rico em fosfato).

Coberturas Fanerozoicas

Rochas siliciclásticas atribuídas ao Grupo Urucua foram identificadas a nordeste da área de estudo, posicionando-se em discordância erosiva sobre os metapelitos da Formação Serra de Santa Helena (Abdallah e Meneghini, 2017). Esses autores interpretam que os sedimentos do Grupo Urucua se depositaram em hemi-grábens controlados pela reativação de sistemas de falhas NE-SW, estando associados a estruturas que também deformam o Grupo Bambuí. Com base na ocorrência regional e nas características litológicas da porção conglomerática descrita neste trabalho, sugere-se uma possível correlação lateral com o conglomerado do Grupo Urucua.

Grupo Urucua

As coberturas sedimentares fanerozoicas ocorrem na forma de estratos isolados, com espessura média em torno de 5 metros. Na base, ocorre um conglomerado polimítico avermelhado (Figura 7A), parcialmente litificado, que grada para uma cobertura arenosa no topo (Figura 7B).

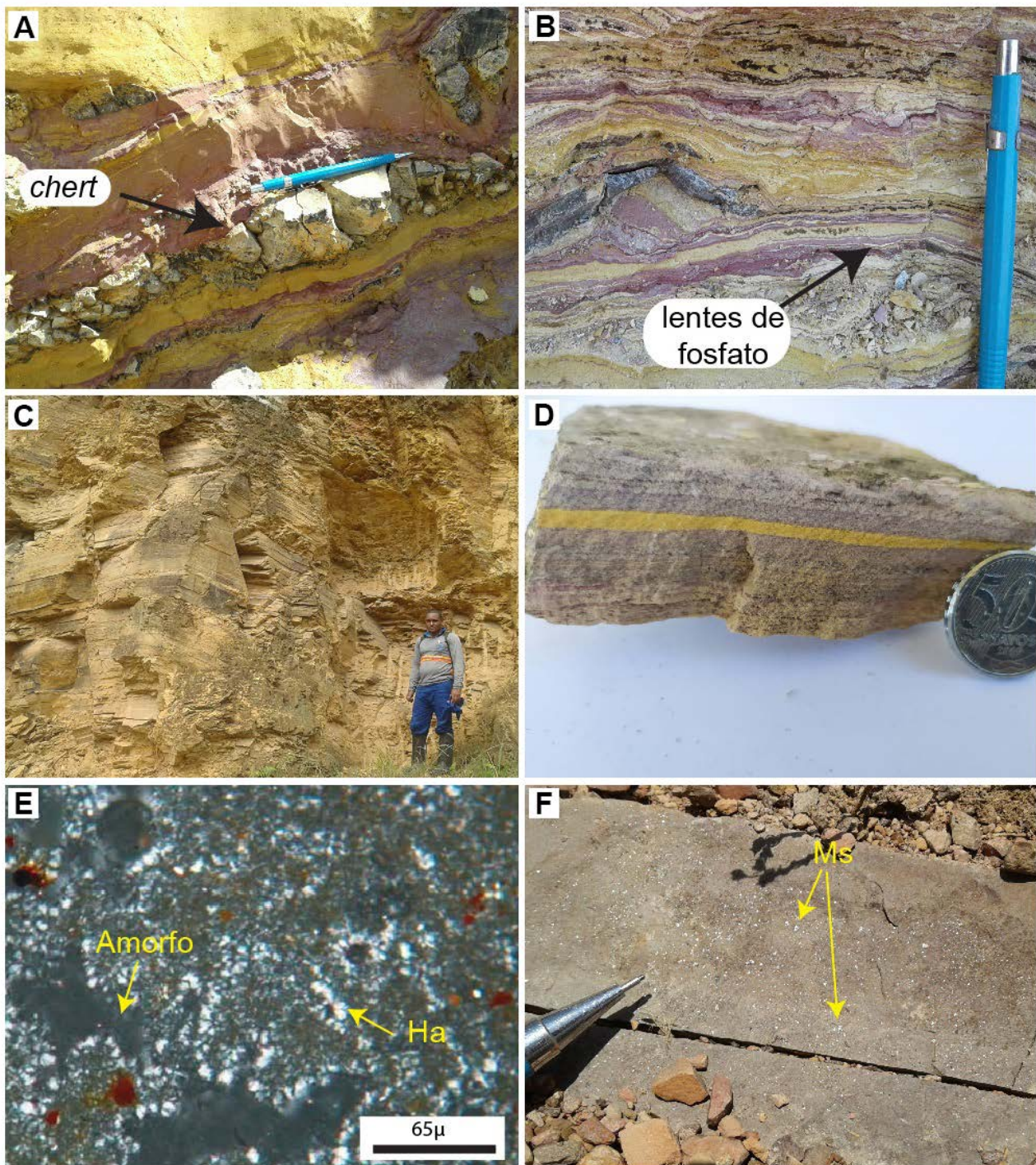


Figura 5. Fotos A, B e D são afloramentos e amostra da frente de lavra da Mina Domingos. (A) Detalhe do siltito argiloso de laminação paralela com camadas centimétricas de argilito vermelho e nódulos de *chert* (Fácies 2; UTM: 309700E, 8568900N); (B) Siltito argiloso com laminações plano paralelas e camadas milimétricas a centimétricas de argilito roxo, *cherts* e lentes esbranquiçadas de fosfato; (C) Siltito arenoso marrom claro-amarelado, predominantemente na localidade; (D) Amostra de siltito fosfatado (vide localização na Figura 2) de laminação plano-paralela de 1 a 5 mm de espessura com teor de P_2O_5 em torno de 6,04%; (E) Fotomicrografia evidenciando o siltito de fosfatado, com cristais de hidroxiapatita (Ha) granular envoltos por materiais amorfo. Manchas verdes compreendem hidróxido de ferro; (F) Siltito arenoso cinza-claro a marrom com lamelas de muscovita (Ms) (UTM: 309420E, 8567959N).

Os melhores afloramentos do conglomerado estão expostos na região sul da área estudada (vide mapa geológico; Figura 2), em subsuperfície na cava da Mina Domingos e exposto no Alvo São Bento. Este litotipo sobrepõe-se discordantemente à sucessão pelito-carbonática da Formação Sete Lagoas, com contato marcado por discordância angular e erosiva com mergulho, em geral, suave para leste (vide seção geológica; Figura 6). O contato é marcado em parte pelo acamamento com laminação plano-paralela dos siltitos. Foi levantando perfil representativo na Mina Domingos (Figura 4; seção estratigráfica I), com a finalidade de identificar e descrever a sucessão de sedimentos da cobertura fanerozoica. Da base para o topo, pode ser individualizada em duas sucessões sedimentares.

A base é caracterizada por um conglomerado polimítico (Figuras 7A e 7C), constituído por seixos e grânulos angulosos a subarredondados de siltitos, siltitos fosfatados, quartzo, dolomitos, calcário, granitos e *chert*. Eventualmente, o conglomerado preenche paleovales escavados no topo do silito. Em geral, a granulometria do arcabouço varia desde seixos com 2 cm até matacões com 40 cm de diâmetro, predominando clastos com eixo maior em torno de 4 – 5 cm. Os clastos ocorrem de forma dispersa numa matriz de coloração marrom avermelhada pelítica. Localmente ocorrem concentrações de manganês associado a clastos de siltitos fosfatados. Com base nas características físicas e composicionais do conglomerado, infere-se que sua deposição ocorreu em um sistema fluvial, possivelmente sujeito a variações no regime e na carga dos fluxos.

Na Mina Domingos, localizada na porção leste da cava, campanhas de sondagem realizadas pela MBAC Fertilizer Corp. em 2012 identificaram a presença de camadas variando de 2 – 5 metros de rochas fosfáticas. O material foi descrito como brecha fosfatada, oriundo do retrabalhamento de fosforitos estratificados interdigitados ao siltitos. Entretanto, as informações obtidas neste trabalho através dos estudos estratigráficos e observações de campo apontam para a deposição de um conglomerado mineralizado. De acordo com o relatório de Estimativa de Recurso Mi-

neral (MBAC, 2013), no conglomerado os teores de P_2O_5 chegam a alcançar concentrações de até 20%.

No Alvo São Bento (Figura 2), aflora conglomerado mineralizado em estágio avançado de intemperismo, caracterizado por concreções fosfáticas de diâmetro centimétrico e fissuras preenchidas por óxido de manganês (Figura 7C), que apresenta hábito botrioidal e cores de alteração bege e marrom, resultado da evolução do perfil laterítico. Uma amostra de concreções fosfáticas na rocha mineralizada indicou teor em torno de 13,48% P_2O_5 .

Coberturas Cenozoicas

Na cava da Mina Domingos, o corpo conglomerático grada lateralmente para sedimentos inconsolidados com cascalhos e areias finas a grossas envolvendo matacões de dolomitos e calcários (de até 3 m de diâmetro) (Figura 7B), sugerindo grande variação de regime e carga dos fluxos.

A composição dos calhaus é controlada pela natureza dos litotipos locais, com contribuição subordinada de quartzo e granitos. Localmente ocorrem lentes de arenitos feldspáticos de coloração amarelada e mal selecionados (Figura 7D) sendo que em algumas localidades são marroms avermelhados. Apresentam imaturidade composicional com grãos que variam de subangulosos a arredondados.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As evidências reunidas neste trabalho sugerem que a ocorrência de fosfato na região de Arraias (TO) não se restringe às unidades da base da Formação Sete Lagoas, conforme descrito por Monteiro (2009), Carvalho (2015), Drummond et al. (2015), Abdallah e Meneghini (2017) e Teles et al. (2024), mas também está presente em coberturas sedimentares fanerozoicas posicionadas estratigraficamente acima desta formação. Tais coberturas são marcadas pela ocorrência de conglomerados polimíticos fosfatizados, separados da sequência carbonática inferior por discordância erosiva e angular bem definida (ver Figuras 6 e 7A).

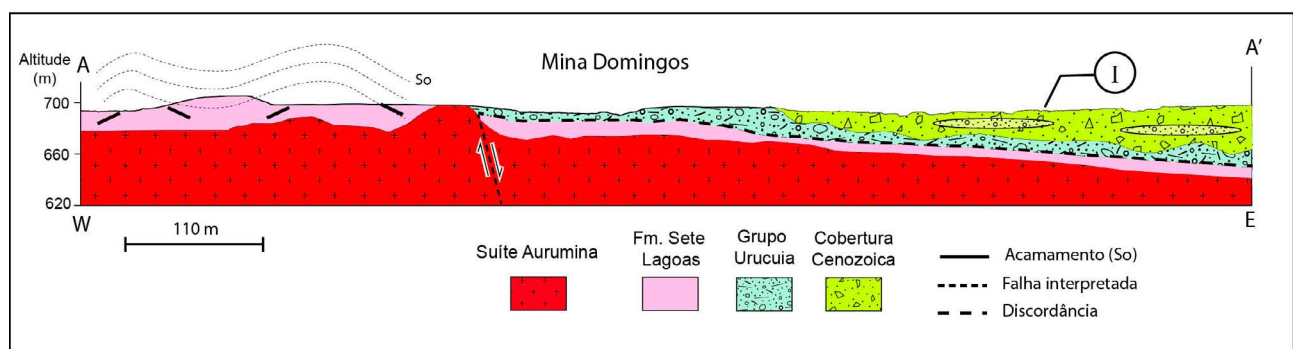


Figura 6. Seção geológica W-E levantada na Mina Domingos. Acamamento (So) delinea dobras abertas a suaves com plano axial vertical. Localmente ocorrem falhas milimétricas a decimétricas em zona de charneira, preenchidas por veios de quartzo e fosfato.

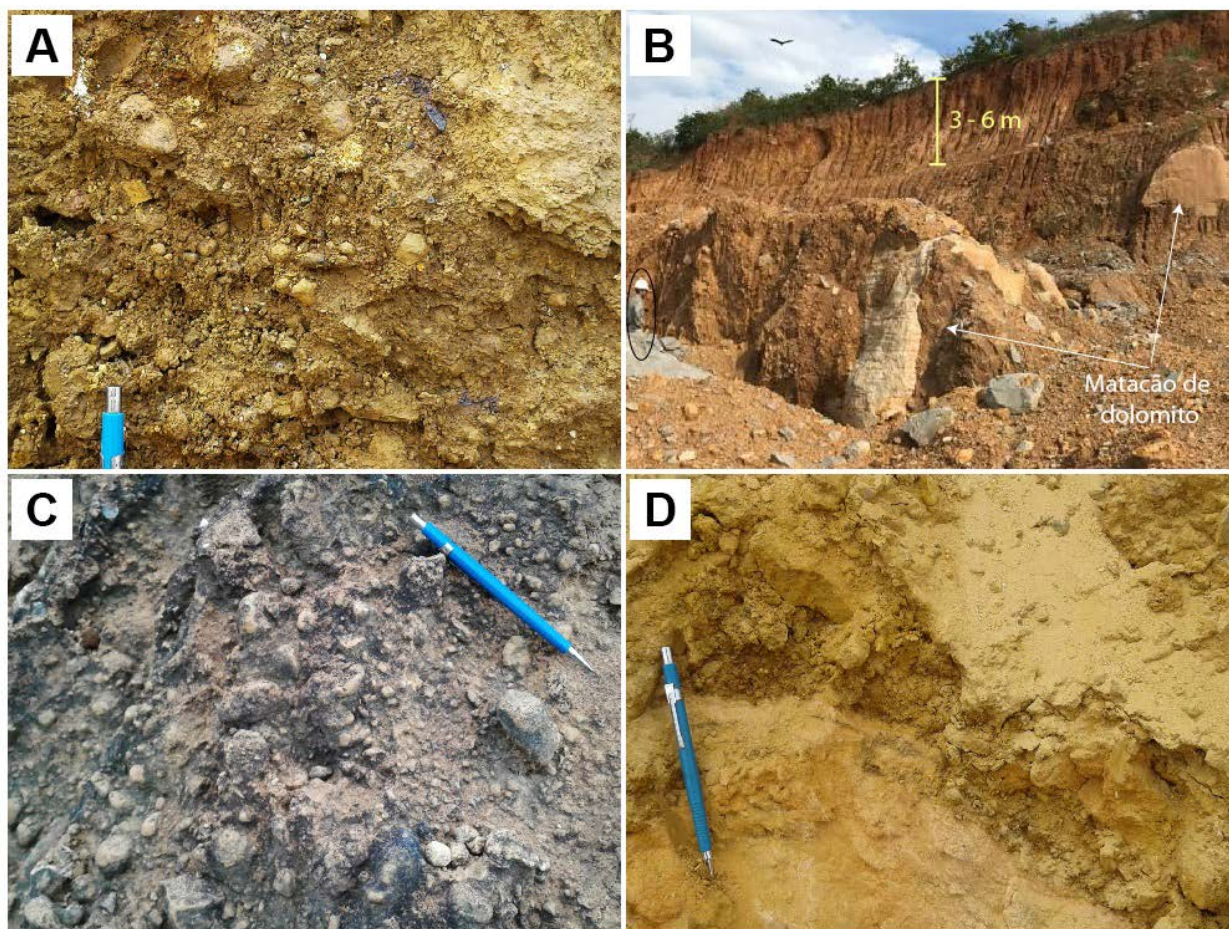


Figura 7. (A) Afloramento de conglomerado polimítico que se sobrepõe discordantemente aos siltitos da Fm. Sete Lagoas, encontrado na profundidade de 20 metros na frente de lava da Mina Domingos (UTM: 310000E, 8568900N); (B) Sedimentos inconsolidados com granulometria do arcabouço variando desde seixos com 2 cm até matacões; (C) Lente de arenito feldspáticos interdigitado nos sedimentos inconsolidados. Afloramento reconhecido na profundidade 13 metros na cava da Mina Domingos (UTM: 310420E, 8569250N); (D) Afloramento de conglomerado de seixo de silito fosfatado, caracterizado por concreções fosfáticas de diâmetro centimétrico com teor de 13,48% P_2O_5 – Alvo São Bento (UTM: 309580E, 8569845N).

A identificação de clastos fosfatados nos conglomerados, com teores de P_2O_5 que podem atingir até 20%, indica a possibilidade de retrabalhamento de material fosfatado oriundo da Formação Sete Lagoas, especialmente das suas fácies siltosas e brechosas, conforme interpretado por Drummond et al. (2015). Essa hipótese é reforçada pela presença de intraclastos de silito fosfatado e brechas intraformacionais descritas neste estudo, os quais são compatíveis com eventos de retrabalhamento em ambientes de alta energia fluvial.

O arcabouço sedimentar dos conglomerados, caracterizado por granulação variável, presença de clastos heterogêneos (inclusive de rochas fosfatadas), matriz argilosa e estratificação plano-paralela nas porções superiores, aponta para um sistema deposicional fluvial com predominância de fluxos de carga variável e alto potencial erosivo. Tais características se assemelham às descritas para os depósitos do Grupo Urucuia (Campos e Dardenne, 1997a), sugerindo uma possível correlação com unidades cretáceas mais jovens.

Além disso, a ausência de evidências tectônicas locais que justifiquem a sobreposição direta de unidades mais antigas, como os diamictitos da Formação Jequitaí, sobre a Formação Sete Lagoas, reforça a interpretação de que os conglomerados mineralizados representam uma unidade estratigráfica distinta e mais jovem, cuja gênese está associada a processos de denudação, intemperismo e deposição retrabalhada de material fosfático.

Do ponto de vista aplicado, a identificação e diferenciação entre os fosfatos da Formação Sete Lagoas e os presentes nas coberturas fanerozoicas são fundamentais para o planejamento de lavra, modelagem geometalúrgica e otimização dos processos de beneficiamento. A variabilidade litológica e textural entre os dois tipos de minério exige abordagens específicas tanto para a caracterização geoquímica quanto para o dimensionamento da infraestrutura de extração e processamento.

Dessa forma, os dados apresentados não apenas ampliam o conhecimento geológico sobre a borda oeste da Ba-

cia do São Francisco, como também têm implicações diretas para a pesquisa mineral na região. Reforça-se, portanto, a necessidade de estudos estratigráficos, sedimentológicos e estruturais mais aprofundados, que permitam delimitar com maior precisão a geometria, gênese e potencial econômico dos depósitos fosfáticos fanerozoicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Itafos Arraías Mineração e Fertilizantes pelo suporte logístico para o desenvolvimento do mapeamento geológico. Aos revisores da revista Geologia USP. Série Científica pelas sugestões ao manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Abdallah, S., Meneghini, P. F. V. B. (2017). *Geologia e Recursos Minerais da Folha Arraías – SD.23-V-A. – Projeto Sudeste do Tocantins*. Escala 1:250.000. Texto e mapas. Goiânia: CPRM. 212pg.
- Alkmim, F. F., Martins-Neto, M. A. (2001). Bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto CP, Martins-Neto M A (eds), *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*, 1, 9-30. Belo Horizonte: SBG/MG.
- Alkmim, F. D. (2004). O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. de (Eds) *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 1, 17-34. São Paulo: Beca.
- Alkmim, F. F., Martins-Neto, M. A. (2012). Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*. 33(1), 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.08.011>.
- Borges, M. S., Igreja, H. L. S., Costa, J. B. S., Hasui, Y. (1990). Investigações tectônicas no Mesozoico do estado do Tocantins: Formação Urucuia. In: *I Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*. Boletim... p. 25-26. Rio Claro. SBG.
- Botelho, N. F., Alvarenga, C. J. S., Meneses, P. R., D'el-Rey Silva, L. J. H. (1999). Suíte Aurumina: Uma suíte de granitos paleoproterozoicos, peraluminosos e sin-tectônicos na Faixa Brasília. *VII Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 1, 49. Brasília: SBG.
- Botelho, N. F., Fuck, R. A., Dantas, E. L., Laux, J. H., Junges, S. L. (2006). The Paleoproterozoic peraluminous Aurumina granite suite, Goiás and Tocantins, Brazil: geological, whole rock geochemistry and U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. In: Alkmim, FF & Noce, CM (eds), *The Paleoproterozoic record of the São Francisco Craton*, 1, 92. Ouro Preto: Field Guide.
- Caetano-Filho, S., Paula-Santos, G. M., Guacaneme, C., Babinski, M., Bedoya-Rueda, C., Peloso, M., Amorim, A., Afonso, J., Kuchenbecker, M., Reis, H. L. S., Trindade, R. I. F. (2019). Sequence Stratigraphy and Chemostratigraphy of an Ediacaran-Cambrian Foreland-Related Carbonate Ramp (Bambuí Group, Brazil). *Precambrian Res.* 331, 105365. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105365>
- Campos, J. E. G., Dardenne, M. A. (1994). A carta estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. *XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 67-68. Camboriú: SBG.
- Campos, J. E. G., Dardenne, M. A. (1995). O sistema fluvial entrelaçado dos conglomerados e arenitos do Membro Abaeté na região de Canabrava MG. *Geociências*, São Paulo, 14, 73-96.
- Campos, J. E. G., Dardenne, M. A. (1997a). Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(3), 269-282.
- Campos, J. E. G., Dardenne, M. A. (1997b). Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(3), 283-294.
- Carvalho, M. S. (2015). *Caracterização do processo de enriquecimento dos fosforitos da jazida de Campos Belos, base da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí*. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Carvalho, M. S., Porto, C. G., Palermo, N., Pufahl, P. K., Drummond, J. B. R. (2018). Caracterização do processo de enriquecimento dos fosforitos de origem sedimentar na jazida de Campos Belos, base da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí. *XXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, 1, 716. Rio de Janeiro: SBG.
- Chang, H. K., Miranda, F. P., Magalhães, L., Alkmim, F. F. (1988). Considerações sobre a evolução tectônica da bacia do São Francisco. *XXXV Congresso Brasileiro de Geologia*, Anais... 5, 2076-2090. Belém: SBG.
- Chang, H. K., Bender, A. A., Kowsmann, R. O. (1992). O papel das tensões intraplaca na evolução de bacias sedimentares: exemplo da Formação Urucuia. *XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia*, 1, 568-569. São Paulo: SBG.
- Coelho, J. C. C., Martins-Neto, M. A., Marinho, M. S. (2008). Estilos estruturais e evolução tectônica da porção mineira da bacia proterozoica do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2 suppl), 149-165.
- Dardenne, M. A. (1978). Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 507-610. Recife: SBG.
- Drummond, J. B R., Pufahl, P. K., Porto, C. G., Carvalho, M. (2015). Neoproterozoic peritidal phosphorite from the Sete Lagoas Formation (Brazil) and the Precambrian phosphorus cycle. *Sedimentology*, 62(7), 1978-2008. <https://doi.org/10.1111/sed.12214>

- Dunham, R. J. (1962). "Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture". In: William E. Ham. *Classification of Carbonate Rocks—A Symposium* (<https://doi.org/10.1306/M1357>). American Association of Petroleum Geologists.
- Fragoso, D. G. C., Uhlein, A., Sanglard, J. C. D., Suckau, G. L., Guerzoni, H. T. G., Faria, P. H. (2011). Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1: 100.000), MG: registro deposicional do Neoproterozoico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. *Geonomos*, 19(1), 28-38. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v19i1.60>
- Hasui, Y., Haralyi, N. L. E. (1991). Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. *Geociências*, 10, 57-77.
- Iglesias, M., Uhlein, A. (2009). Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(2), 256-266.
- Limarino, C. O., Césari, S. N., Spalletti, L. A., Taboada, A. C., Isbell, J. L., Geuna, S., Gulbranson, E. L. (2014). A paleoclimatic review of Southern South America during the late Paleozoic: A record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Research*, 25(4), 1396-1421. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.12.022>
- Martins-Neto, M. A. (2007). Proterozoic first-order sedimentary successions of the São Francisco Basin in eastern Brazil [Sedimentäre Zyklen 1. Ordnung in den proterozoischen Abfolgen des São Francisco-Beckens in Ostbrasilien]. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158(1), 31-43. <https://doi.org/10.1127/1860-1804/2007/0158-0031>.
- Martins-Neto, M. A. (2009). Sequence stratigraphic framework of Proterozoic successions in eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 26(2), 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.10.001>.
- Moreira, D. S., Uhlein, A., Uhlein, G. J., Sial, A. N., Koster, E. (2021). Ediacaran/Early Cambrian Serra da Saudade Formation, Bambuí Group: the sedimentary record of a foreland basin in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 51, e20210029. <https://doi.org/10.1590/2317-4889202102010029>
- Karfunkel, J., Hoppe, A. (1988). Late Proterozoic Glaciation in Central-Eastern Brazil: synthesis and model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 65, 1-21. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90108-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90108-3).
- MBAC (Canada). (2013). *Annual Report: For the Year Ended December 31, 2013*. Ontario: MbAC, 2014. Disponível em: https://www.itafos.com/site/assets/files/1757/itafos-arraias_technical_report_vfinal.pdf. Acessado em: 13 jan. 2021.
- Monteiro, C. F. (2009). *Fosforitos do Grupo Bambuí na região de Campos Belos (GO)/Arraías (TO), na borda oeste do Cráton São Francisco*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/4898>. Acessado em: 30 maio 2025.
- Paula-Santos, G. M., Babinski, M., Kuchenbecker, M., Caetano-Filho, S., Trindade, R. I., Pedrosa-Soares, A. C. (2015). New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in southern São Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U–Pb data and isotope chemostratigraphy. *Gondwana Research*, 28(2), 702-720. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.07.012>
- Reis, H. L., Alkmim, F. F. (2015). Anatomy of a basin-controlled foreland fold-thrust belt curve: The Três Marias salient, São Francisco basin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 66, 711-731. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.07.013>
- Reis, H. L., Alkmim, F. F., Fonseca, R. C., Nascimento, T. C., Suss, J. F., Prevatti, L. D. (2017). The São Francisco Basin. In: Heilbron M., Cordani U., Alkmim F. (Eds) *São Francisco Craton, Eastern Brazil*, 7, 117-14. Switzerland: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01715-0_7
- Sgarbi, G. N. C. (2000). The Cretaceous Sanfranciscan basin, eastern plateau of Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3), 450-452.
- Sgarbi, G. N. C., Sgarbi, P. B. A., Campos, J. E. G., Dardenne, M. A., Penha, U. C. (2001) *Bacia Sanfranciscana: O registro Fanerozoico da Bacia do São Francisco*. In: Pinto CP, Martins-Neto MA (Eds) *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. Belo Horizonte: SBG – Núcleo MG.
- Teles, L. B., Campos, J. E. G., Monteiro, C. (2024). *Faciological Characterization and Metallogenesis of the Campos Belos Phosphorite Type-Deposit, Bambuí Group, Central Brazil*. SSRN-Elsevier, 22p. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4719468>
- Uhlein, A., Alvarenga, C. J. S., Trompette, R., Dupont, H. S. J. B., Egydio-Silva, M., Cukrov, N., Lima, O. N. B. (2004). Glaciação neoproterozoica sobre o Cráton do São Francisco e faixas dobradas adjacentes. In: Mantesso-Neto V, Bartorelli A, Carneiro CDR, Brito-Neves BB de (Eds) *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 30, 539-553. São Paulo: Beca. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/2b9ce74f-72f2-4a02-b067-134a735e-7ba3/2951940.pdf>. Acessado em: 2 jun. 2025.
- Uhlein, G. J., Uhlein, A., Stevenson, R., Halverson, G. P., Caxito, F. A., Cox, G. M. (2017). Early to late Ediacaran conglomeratic wedges from a complete foreland basin cycle in the southwest São Francisco Craton, Bambuí Group, Brazil. *Precambrian Research*, 299, 101-116. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.07.020>

- Vieira, L. C., Trindade, R. I. F., Nogueira, A. C. R., Ader, M. (2007). Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil. *Comptes Rendus Geosciences*, 339, 240-258. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2007.02.003>
- Zalán, P. V., Romeiro-Silva, P. C. (2007). Bacia do São Francisco. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 561-571. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/356>. Acessado em: 2 jun. 2025.