



**Sedimentologia e Geocronologia Aplicadas a Investigação da Influência da
Mineração de Ferro no Assoreamento de Afluentes do Rio Paraopeba, Oeste do
Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil**

Sedimentology and Geochronology Applied to Investigation of the
Influence of Iron ore Mining in the Silting of tributaries of the Paraopeba River, West of
Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil

Fabício Antonio Lopes; Cláudio Eduardo Lana & Paulo de Tarso Amorim Castro

*Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas,
Rua Professor Paulo Magalhães Gomes, s/n, 35400-000, Bauxita, Ouro Preto, MG, Brasil
Emails: fabricioantoniolopes@gmail.com; claudiolana@gmail.com; ptacastro@gmail.com*

Recebido em: 27/11/2018 Aprovado em: 27/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_149_158

Resumo

Este trabalho apresenta dados sobre a dispersão natural e antrópica de minerais ferrosos nos sedimentos aluviais das bacias dos ribeirões Casa Branca e Piedade, importantes afluentes da margem direita do médio curso do rio Paraopeba. Mediante análises faciológicas e composicionais dos sedimentos de assoalho de canais e depósitos aluviais mais antigos, alçados em relação à calha fluvial atual, foi possível realizar comparações temporais do aporte de minerais ferrosos. As idades de deposição obtidas por luminescência opticamente estimulada (LOE) confirmam que os depósitos aluviais alçados foram originados em período anterior à instalação das mineradoras. As análises composicionais demonstraram quantidades anômalas de ferro nos sedimentos da atual calha dos rios, o que pode ser atribuído à instalação das mineradoras a montante.

Palavras-chave: análises faciológicas; LOE; mineração de ferro; assoreamento

Abstract

This work presents data about natural and anthropic dispersion of ferrous minerals in the alluvial sediments of the Casa Branca and Piedade basins, important tributaries of the right bank of the Paraopeba river. Through faciological and compositional analyzes of the sediments of older alluvial channels, elevated in relation to the current river, it was possible to make temporal comparisons on the amount of ferrous minerals. The deposition ages obtained by optically stimulated luminescence (OSL) confirm that the older alluvial deposits were originated before the installation of the miners. The compositional analyzes showed anomalous amounts of iron in the sediments of the present river channel, which can be attributed to the installation of upstream iron ore miners.

Keywords: faciological anlysis; OSL; iron ore miners; Silting

1 Introdução

A mineração é uma atividade econômica forte no Quadrilátero Ferrífero. A extração dos recursos minerais desta região iniciou-se em meados do século XVII. Atualmente a área conta com grandes conglomerados industriais e inúmeras lavras de pequeno e médio porte que exploram o ferro, ouro, manganês, bauxita, calcário, dolomito, topázio e outros (Gomes, 2002). Essa intensa exploração dos recursos minerais gera emprego e desenvolvimento regional, o que confere destaque à região no cenário minero-metalúrgico nacional e internacional.

Apesar do exposto, principalmente em períodos anteriores à década de 1980, época em que a preocupação ambiental não constava nos portfólios das empresas de mineração, suas atividades geraram vários passivos ambientais.

A partir do ano de 1981, com o decreto da lei nº 6938/81, foi estabelecida uma política nacional de meio ambiente responsável pela preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental do país (Brasil, 1981). Nesse sentido, a construção das barragens de rejeito e bacias de contenção de sedimentos tornou-se uma alternativa para minimizar os impactos negativos da mineração (Duarte, 2008). Em que pese este avanço, a forte ascensão da produção do minério de ferro vivenciada nos últimos anos tem ultrapassado a capacidade de retenção dessas, assim é possível inferir que o material sedimentar esteja alcançando os rios. Esta possibilidade suscitou a realização de estudos voltados à análise geoquímica dos cursos fluviais e/ou de seus sedimentos para investigação de sua contaminação em função das atividades mineiras (Costa, 2001; Basílio, 2005; Costa, 2007; Sabino *et al.*, 2008 Rodrigues *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2014; Castro *et al.*, 2017; Santos, 2017).

A despeito das contribuições antrópicas, é notável que os processos intempéricos venham esculpindo a paisagem regional ao longo do tempo geológico. Como eles atuam em cristas compostas principalmente por itabiritos e quartzitos recobertos por laterita, é possível supor que a calha das drenagens conte com um volume “natural” de sedimentos ricos em ferro preservado em seus aluviões.

Esta pesquisa analisou a dispersão natural e antrópica de minerais ferrosos nos sedimentos alu-

viais, de afluentes da margem direita do médio curso do rio Paraopeba, valendo-se de levantamentos cronológicos e estratigráficos de depósitos antigos e análises composicionais de sedimentos de assoalho dos canais atuais.

A área foco deste estudo se insere no município de Brumadinho, a sul da região metropolitana de Belo Horizonte. Esta região está delimitada a leste pela serra da Moeda, constituída pelas unidades do Supergrupo Minas, incluindo a Formação Cauê e, a norte, pela Serra Três Irmãos que também contém itabiritos da Formação Cauê (Figura 1A). As Serras da Moeda e Três Irmãos são, portanto, alvos da instalação das mineradoras de ferro.

A partir dos dados quantitativos e qualitativos obtidos neste trabalho, pretende-se avaliar de forma mais assertiva o real papel da atividade mineira no assoreamento dos sistemas fluviais localizados a jusante de suas atividades.

2 Materiais e Métodos

2.1 Reconhecimento da Área Estudada e Identificação dos Depósitos Sedimentares

Utilizou-se cartas topográficas das folhas Brumadinho e Rio Acima (IBGE, 1976), cartas geológicas das folhas Brumadinho e Itabirito (Baltazar, 2005) e imagens do *Google Earth*. As cartas geológicas serviram para o reconhecimento da distribuição litológica na área, com foco nas faixas onde afloram os itabiritos da Formação Cauê. Nas imagens do *Google Earth* foram identificadas as drenagens que sofrem influência da mineração (a jusante de cavas, estradas, barragens e depósitos de estéreis) e áreas que não sofrem influência.

As cartas topográficas foram utilizadas para analisar a equidistância das curvas de nível e selecionar os níveis de base de fácil acesso para realização dos trabalhos de campo.

2.2 Análise das Fácies Sedimentares e Amostragem dos Sedimentos

Após a seleção dos depósitos aluviais antigos, os mesmos foram alvo do reconhecimento de suas fácies para identificar aquela energeticamente correspondente com as formas de leito presentes na

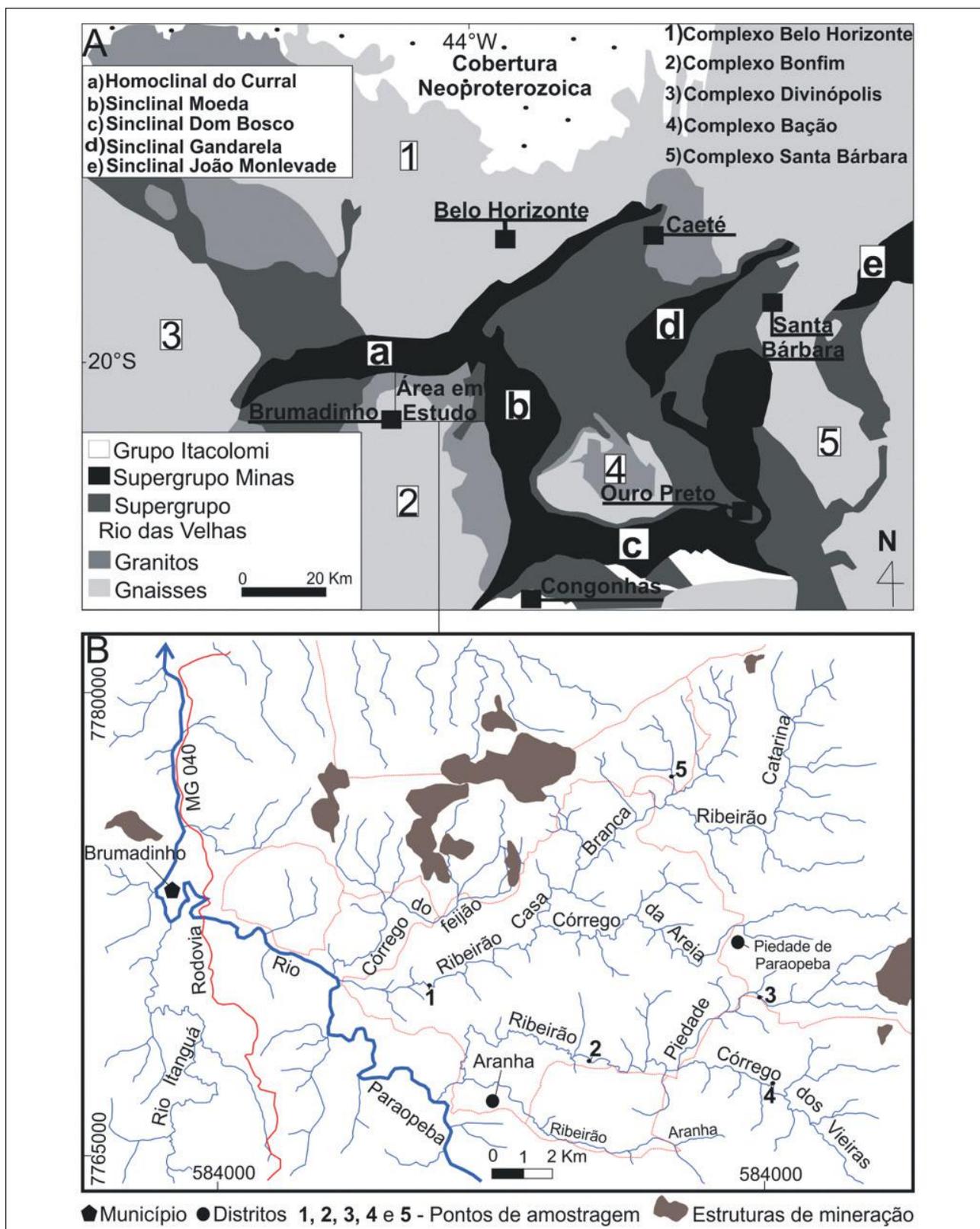


Figura 1 A Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero com a demarcação da área desse estudo modificado de Farina *et.al.* 2016. B Área em estudo com as estruturas de mineração e pontos de amostragem.

calha fluvial (dunas, *ripples*, barras, etc), sendo esta correspondência baseada na textura e estruturas sedimentares. Uma vez determinadas as fácies e posição de calha energeticamente correspondentes, coletou-se amostras de 2 kg para análises laboratoriais.

2.3 Datação por LOE

Os três depósitos antigos, localizados a jusante das cavas de mineração (figura 1b), foram datados por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) na empresa datação, comércio e prestação de serviços LTDA, utilizando o protocolo SAR com 15 alíquotas.

2.4 Análises Composicionais

As amostras coletadas foram secas em estufa, a uma temperatura entre 50 e 60 °C. Após a secagem, foi feito o quarteamento do material para peneiramento convencional (20 minutos) com abertura em *mesh* em acordo com Wentworth (1999).

Em cada amostra foram separados 200 grãos aleatórios das frações cascalho e areia muito grossa (pela boa representatividade em termos de massa). A composição mineralógica e petrográfica dos grãos foram identificadas em lupa binocular. Dez gramas das frações silte/argila, de cada amostra, foi analisada no difratômetro de raios-X (*Panalytical*, modelo *Empyrean*, de geometria Bragg-Brentano).

3 Resultados e Discussões

3.1 Pares de Depósitos Sedimentares Estudados

Foram escolhidos três pares de depósitos a jusante das cavas de mineração (1, 2 e 3) sendo cada par constituído por um depósito na calha do curso fluvial atual e outro antigo, topograficamente alçado (Figura 1B).

Para efeito de comparação, foram escolhidos dois pares de depósitos sem influência da atividade mineira (4 e 5), mas que também drenam os itabiritos da Formação Cauê. Neste caso, cada par inclui um barranco de rio e um depósito na calha do curso fluvial atual.

3.2 Descrição Faciológica e Amostragem dos Sedimentos

3.2.1 Par de Depósito 1

O depósito antigo 1 possui 50cm de espessura, sendo constituído pelas fácies Ae e Ce. Sobreposta ao saprolito do embasamento, a fácies Ae é composta, majoritariamente, por grãos de quartzo e hematita bem arredondados e com estratificação acanalada (figura 2a).

Entre 20 e 50cm encontra-se a fácies Ce, formada por fragmentos de quartzito, contendo quartzo, granitóides e minerais ferrosos subordinados. Tratam-se de cascalhos e matações bem arredondados, pouco selecionados e estratificados (figura 2a).

Sobreposto ao depósito aluvial antigo encontra-se um coluvionar, caracterizado pela matriz fina e arredondada, com grãos de hematita e quartzo maiores, angulosos e distribuídos de maneira caótica. Esse depósito acompanha a morfologia da vertente (figura 2a).

No atual leito do ribeirão Casa Branca observou-se a presença de dunas 3D compostas por cascalhos de itabiritos e quartzitos, bem arredondados e pobremente selecionados. Em função da compatibilidade entre as dunas 3D e as estratificações cruzadas acanaladas da fácies Ae, as mesmas foram amostradas.

3.2.2 Par de Depósito 2

Assentado a 20m acima do atual curso do ribeirão Piedade, o depósito antigo 2 possui 1,82m de espessura e sua sucessão faciológica é constituído, da base para o topo, pelas fácies Cm e Cr. Até cerca de 1,37m encontram-se os sedimentos das fácies Cm, composta, principalmente, por cascalhos e matações de quartzito, contendo também quartzo e hematita. Trata-se de um material arredondado e desordenado em meio a uma matriz fina.

A fácies Cr tem seus clastos bem arredondados e apresenta imbricamento incipiente para NW, sugerindo paleocorrente neste sentido. A referida fácies ocorre entre 1,37 e 1,82m e compõe-se principalmente por grãos de quartzito, granitóide e quartzo. De forma subordinada verifica-se hematita, cros-

ta ferruginosa nodular e goethita. A partir de 1,82m aparecem os sedimentos coluvionares, anteriormente descritos (figura 2b).

Os sedimentos atuais do assoalho do ribeirão Piedade, composto por matacões majoritariamente de itabiritos, hematita e quartizitos, estão mal selecionados e arredondados. A compatibilidade granulométrica foi o critério para amostragem de seus sedimentos e da fácies Cr.

3.2.3 Par de Depósito 3

O depósito antigo 3 possui espessura superior a 2,5m. Da base para o topo, é constituído pelas fácies Ce e Cm. De tonalidade castanha e com 1,44m, a fácies Ce possui, majoritariamente, clastos de quartzito arredondados, mal selecionados e com estratificação cruzada acanalada (figura 2c).

No restante do perfil encontra-se a fácies Cm e, conforme já explicitado anteriormente, é alicerçada por cascalhos e matacões de quartzito projetados irregularmente, arredondados e suportados por uma matriz fina de tonalidade avermelhada (figura 2c).

No leito do ribeirão Piedade foram observados sedimentos compostos por grãos de quartzito e hematita cascalhosos, bem arredondados, mal selecionados e com barras internas de cascalho e matacões, essencialmente de hematita. Nesse ponto, a compatibilidade granulométrica, também, foi o critério para amostragem e análise laboratorial dos sedimentos do topo das barras internas e da fácies Ce.

3.2.4 Par de Depósito 4

Nesse ponto, o depósito antigo 4 constitui um barranco erodido da parede do córrego dos Vieiras. Possui 1,71m de altura e está fundado pelas fácies Cp e Ae. Até os 21cm foi observado o material da fácies Cp, com sedimentos arredondados, mal selecionados e compostos basicamente por quartzito e hematita. Alguns clastos apresentam-se na horizontal, sugerindo estratificação plano paralela. A fácies Ae, identificada a partir dos 21cm, constitui grãos arredondados de hematita e quartzito estratificados (figura 2d).

O sedimento atual de assoalho do córrego dos Vieiras compõe-se de matacões e cascalhos de hematita e quartzito bem arredondados. Foram ob-

servadas, também, barras internas com as mesmas características. Tomou-se por base a compatibilidade granulométrica, mineralógica e petrográfica para amostragem dos sedimentos das barras internas e da fácies Cp.

3.2.5 Par de Depósito 5

Também constituído por um barranco de rio, o depósito antigo 5 possui 1,10m de altura e, sua sucessão faciológica, da base para o topo, é constituída pelas fácies Cp e Ae (figura 2e). Com 30cm de espessura, os clastos da fácies Cp de hematita e quartzito, apresentam-se arredondados, mal selecionados e com estratificação plano-paralela. A fácies Ae compõe o restante do perfil e caracteriza-se por conter grãos de hematita e quartzito arredondados e com estratificação cruzada acanalada.

O sedimento de leito atual é caracterizado por seu alto grau de arredondamento, mal selecionamento de seus grãos e existência de barras internas cascalhosas de hematita e quartzito. Assim, devido a correspondência granulométrica, mineralógica e petrográfica, foram coletados sedimentos do topo das barras internas e da fácies Cp.

3.3 Idades de LOE

As idades de deposição obtidas para as fácies Ce, Cr e Ce, dos depósitos antigos 1, 2 e 3 (respectivamente), encontram-se na tabela 1. Abundância de ferro, escassez de quartzo, processos pedogenéticos e problemas na coleta dos sedimentos são os principais fatores que podem distorcer as idades de LOE (Sallun *et al.*, 2007). Nesse estudo, o laboratório contratado indicou condições normais para datação (suficiência de quartzo e pouco ferro). Além disso, durante a amostragem foi realizada uma raspagem das camadas superficiais para remoção de possíveis processos pedogenéticos.

3.4 Composição dos Sedimentos

3.4.1 Caracterização da fração cascalho

Os valores percentuais de ocorrência dos minerais da fração cascalho estão na Figura 3. Para o ponto de amostragem 1, dentre os 200 grãos separados aleatoriamente dos sedimentos da fácies Ce,

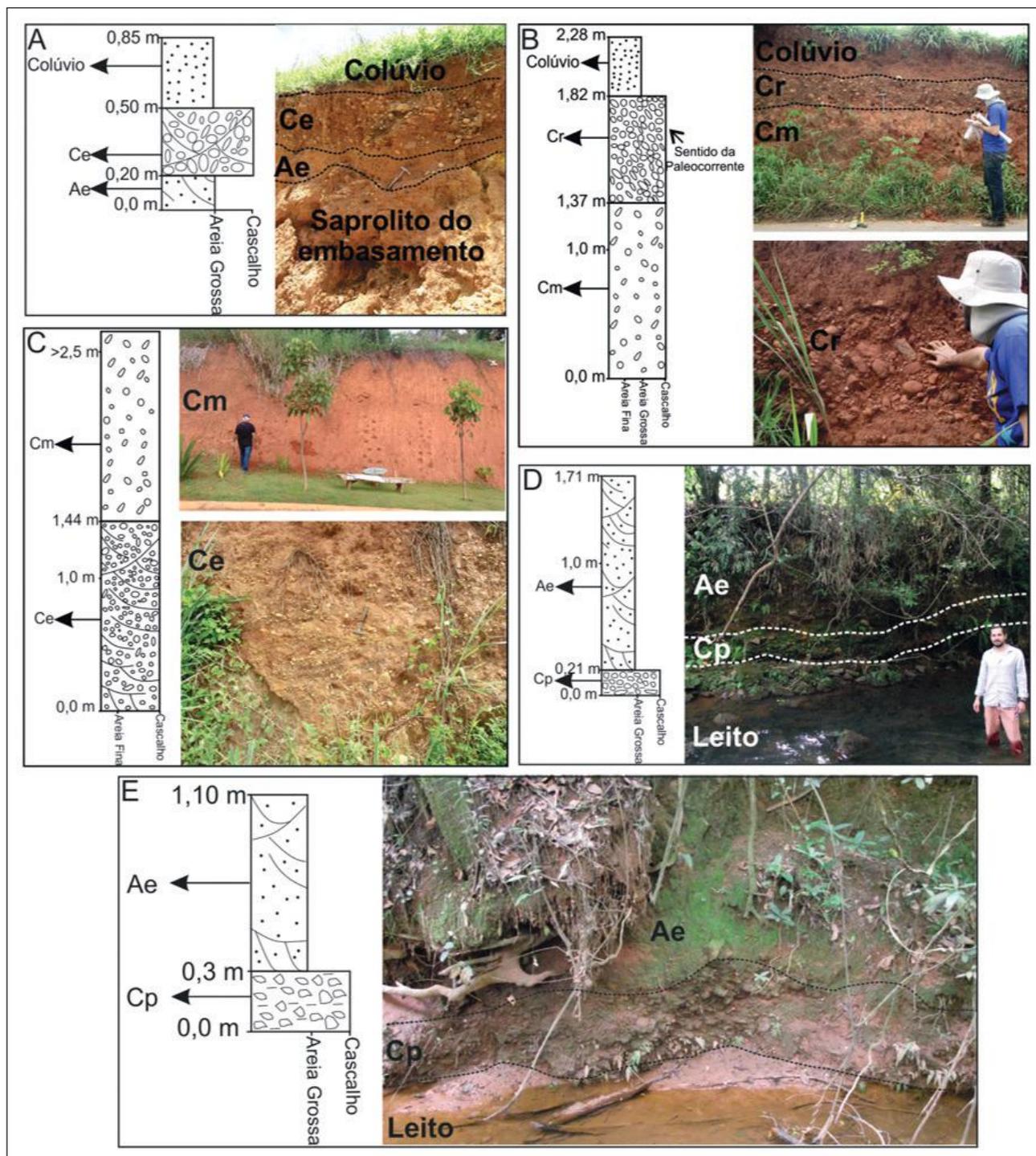


Figura 2 Perfil de fácies e fotos dos depósitos antigos estudados nesse trabalho. As letras em ordem alfabética correspondem, respectivamente, aos depósitos antigos 1, 2, 3, 4 e 5.

35% compõem-se de quartzo e 65% de hematita (Figura 3A). No que se refere aos sedimentos do atual leito do ribeirão Casa Branca, 11% são de quartzo, 88% de hematita e 1% de mica (Figura 3B). Nota-se uma sobrecarga de 23% de hematita no atual leito.

Em meio ao aluvião da fácies Cr, do ponto 2, observa-se a predominância do quartzo (81%) em relação a hematita (19%) - Figura 3A. Contraditoriamente, analisando os sedimentos do atual ribeirão Piedade, essa predominância recai sobre o mineral

Amostra	Th (ppm)	U (ppm)	K (%)	Dose Anual (μGy/ano)	Dose Acum. (Gy/ano)	Idade (mil anos)
Fácies Ce (1)	13,9±0,5	5,8±0,3	0,7±0,1	3,4±220	32,3	9,5 ±1.0
Fácies Cr (2)	11,3±0,4	4,2±0,1	0,5±0,4	2,6±145	41,4	15,5 ±1.6
Fácies Ce (3)	23,7±0,8	3,2±0,4	3,2±0,4	7,4±570	90,6	12,1 ±1.5

Tabela 1 Concentrações de Tório (Th), Urânio (U) e Potássio (K), dose anual, dose acumulada e idades obtidas.

ferroso, com 76% de representatividade contra 24% do mineral quartzoso (Figura 3B). Verifica-se, portanto, um acréscimo de 4 vezes de minerais ferrosos nos sedimentos do leito atual.

Esses valores alterados nos pontos de estudo 1 e 2, cujos depósitos antigos datam, respectivamente, em 9,5 e 15,5 mil anos, indicam pressões antrópicas oriundas de estruturas de mineração com sedimentos mais grossos, como pilhas de estéreis, cavas e estradas.

No ponto de amostragem 3, dentre os 200 grãos segregados dos sedimentos da fácies Ce, observa-se uma boa quantidade de hematita tanto no depósito aluvial antigo quanto no atual leito (93% e 97%, respectivamente). A ocorrência de quartzo foi de 7% para a amostra da fácies Ce e 3% para o atual leito (Figura 3A, B). No atual leito, portanto, a quantidade de hematita é parecida com a fácies Ce, datada em 12,1 mil anos.

Dentre os grânulos da fácies Cp, do barranco do rio inserido no ponto 4, 59% são de quartzo e 41% de hematita (Figura 3A). Na amostra do atual leito do córrego Vieiras, os sedimentos são compos-

tos por 25% de quartzo e 75% de hematita (Figura 3B). Embora esse ponto de estudo não esteja a jusante de estruturas de mineração, os valores citados sugerem que pressões antrópicas alcançaram seus aluviões, possivelmente em função das estradas.

Também escolhido por não estar a jusante das estruturas de mineração, os valores para o ponto de estudo 5 foram de 7% de quartzo e 93% de hematita para os 200 grãos separados da fácies Cp (Figura 3B) e, 8% de quartzo e 92% de hematita para o leito atual (Figura 3B). Apesar de altos, os valores para hematita são parecidos nos dois ambientes amostrados.

3.4.2 Caracterização da Fração Areia Muito Grossa

Na Figura 4 encontram-se os valores percentuais obtidos na caracterização dos grãos da fração areia muito grossa. No ponto 1, dentre os 200 grãos aleatórios segregados da fácies Ce, os minerais ferrosos (hematita e goethita) estão representados por

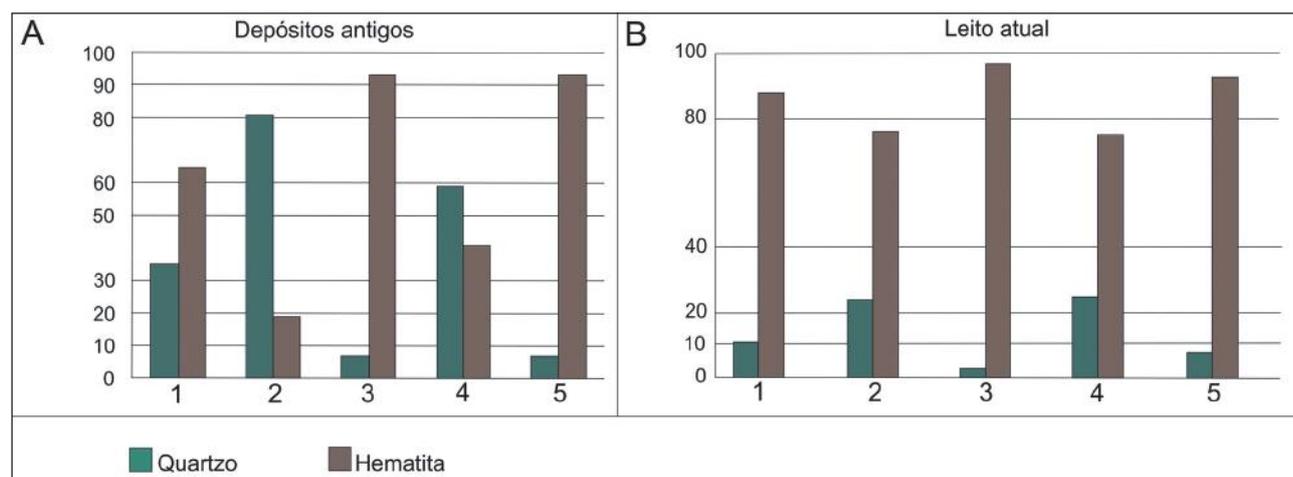


Figura 3 Valores percentuais de ocorrência dos minerais em 200 grãos da fração cascalho.

53%. Dos 47% restantes, 39% são silicatos (quartzo e mica) e 8% são fragmentos de rocha (Figura 4A). Ao se analisarem os grânulos do atual leito do ribeirão Casa Branca, valores similares foram encontrados para minerais de ferro (53,5%). Foram identificados 16 fragmentos de rocha no depósito antigo (5 quartzitos, 9 itabiritos e 2 gnaisses). Nos sedimentos da calha atual, foram reconhecidos 4 grãos de itabirito e 3 de quartzito (Figura 4B).

No ponto 2, entre os grânulos identificados da fácies Cr, os valores percentuais da hematita e da goethita somaram 62%. Do restante, 37% representa os grãos de quartzo e mica e 1% fragmentos de itabirito (Figura 4A). Em meio aos sedimentos do atual leito do ribeirão Piedade, foram encontrados 108 grãos de hematita (54%), 85 de quartzo (42,5%) e 7 fragmentos de quartzito (3,5%) – Figura 4B.

De maneira divergente ao descrito acima, a quantidade de minerais ferrosos nos sedimentos do leito do ribeirão Piedade, do ponto de estudo 3, representa mais que o triplo daqueles identificados entre os grânulos da fácies Ce (Figura 4A), aumento atribuído à mineração de ferro (Figura 4B).

Dentre os sedimentos pormenorizados nos pontos 4 e 5, os valores de hematita encontram-se elevados no leito atual com relação a fácies Cp, de

seus respectivos barrancos (Figura 4A, B), indicando pressões da mineração de ferro a montante.

3.4.3 Caracterização das Frações Silte/Argila

Os valores percentuais de minerais identificados nas frações silte/argila encontram-se organizados na Figura 5. Uma comparação do teor de ferro entre os sedimentos antigos e atuais podem não ser confiáveis. Isso porque os sedimentos finos depositam-se em períodos de calmaria dos fluxos aquosos, ou seja, posterior a deposição dos grãos das frações maiores, utilizados na datação por LOE. Porém, pela idade dos depósitos, provavelmente, a fração silte/argila decantou antes da instalação da mineração.

Contudo, foi possível verificar que, com exceção ao ponto de estudo 3, o percentual de hematita identificado entre os sedimentos das atuais calhas de drenagem são maiores, se comparadas com os depósitos antigos (Figura 5A, B). Isso comprova as pressões antrópicas por sedimentos finos, como aqueles existentes nas barragens de contenção de rejeitos.

4 Considerações Finais

A análise comparativa temporal da ocorrência de minerais ferrosos permitiu atribuir à mineração

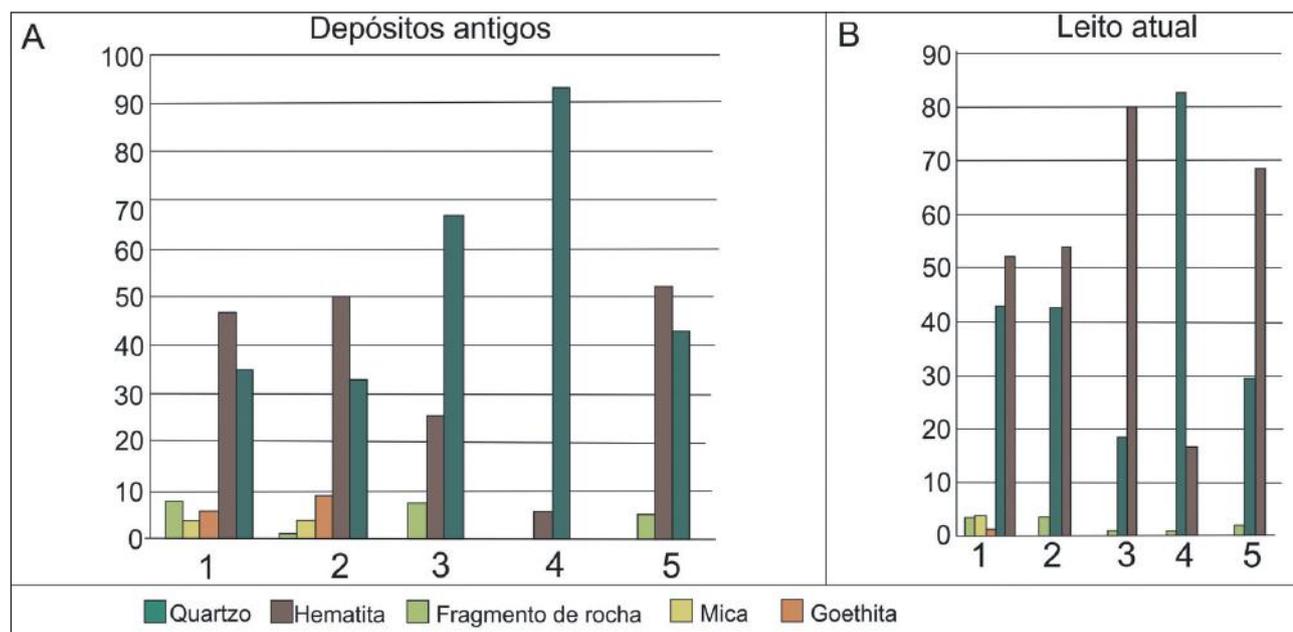


Figura 4 Valores percentuais de ocorrência dos minerais e rochas em 200 grãos da fração areia muito grossa.

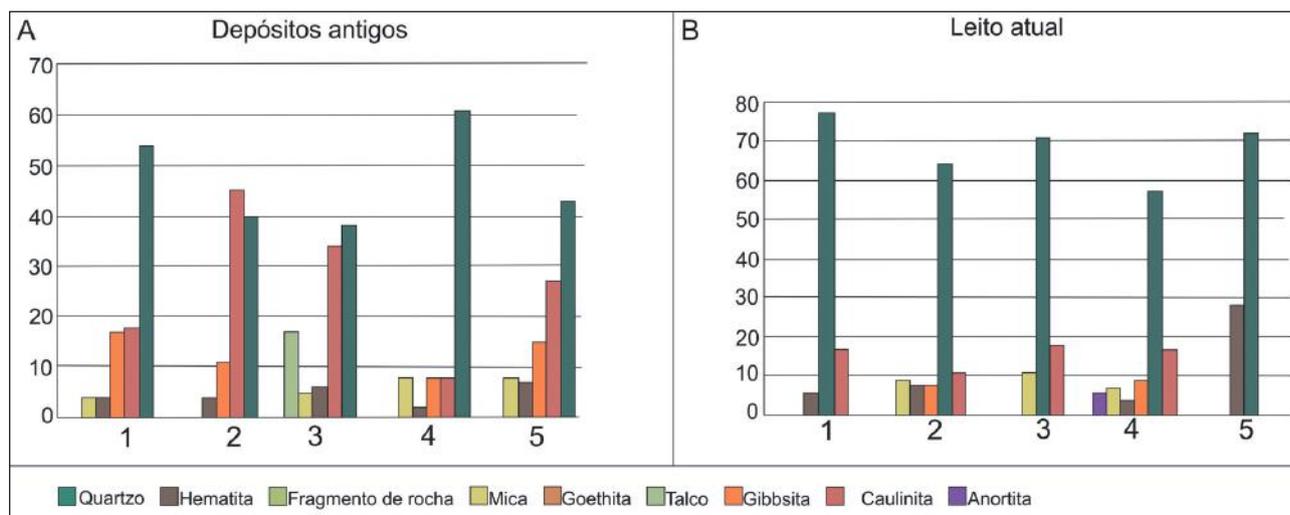


Figura 5 Valores percentuais de ocorrência mineralógica em 10g das frações Silte/argila.

de ferro a responsabilidade no assoreamento dos cursos de drenagem. Assim, algumas conclusões puderam ser tomadas:

Os resultados obtidos na datação dos depósitos antigos comprovam que seus sedimentos foram colmatados antes da instalação das mineradoras. Em outras palavras, seu aporte de minerais ferrosos é oriundo, exclusivamente, dos processos intempéricos.

Os valores anômalos de minerais ferrosos foram encontrados nos sedimentos do atual leito dos pontos de estudo 1, 2 e 5 nas frações cascalho e silte/argila, com destaque para o primeiro por sua representatividade em termos de massa.

No ponto de estudo 3, apenas a fração areia muito grossa apresentou valores considerados anômalos nos sedimentos de leito. Apesar disso, a boa representatividade dessa classe granulométrica torna o dado importante.

O ponto de estudo 4, apesar de ter sido escolhido por estar em áreas livres de estruturas de mineração, apresentou valores altos do teor de ferro no atual leito em todas as classes granulométricas analisadas, indicando forte contribuição da mineração a montante.

Os dados levantados convergem com os estudos de Costa (2001), Costa (2007), Rodrigues

et al. (2013), Rodrigues *et al.* (2014), Castro *et al.* (2017) e Santos (2017). Todos confirmam a ameaça da mineração de ferro na contaminação e assoreamento dos cursos fluviais do Quadrilátero Ferrífero. Isso demonstra que degradação ambiental não ocorre apenas em cenários de rompimentos de barragens, como nas tragédias de Mariana e Brumadinho, mas também em longo prazo. É preciso extinguir a mineração irresponsável.

5 Agradecimentos

Fabrício Antonio Lopes agradece a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado no período de realização deste trabalho e, ao CNPq pela atual bolsa de doutorado. Os autores agradecem à FAPEMIG pelo suporte financeiro.

6 Referências

- Baltazar, O.F.; Baars, F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V. & Silveira, V.D. 2005. *Mapa Geológico da folha Brumadinho, escala 1:50.000*. Belo Horizonte: CODEMIG. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa.
- Baltazar O.F.; Baars, F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V. & Silveira, V.D. 2005. *Mapa Geológico da folha Itabirito, escala 1:50.000*. Belo Horizonte: CODEMIG. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa.

Sedimentologia e Geocronologia Aplicadas a Investigação da Influência da Mineração de Ferro no Assoreamento de Afluentes do Rio Paraopeba, Oeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil

Fabrício Antonio Lopes; Cláudio Eduardo Lana & Paulo de Tarso Amorim Castro

- Basílio M.S. 2005. *Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro da região leste – sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e desorção de metais traço*. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Tese de Doutorado, 202 p.
- Brasil. *Lei n. 6938/81 de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 27 out. 2018.
- Castro, P.T.A.; Lana, C.E.; Robertti, T.O.; Souza, M.E.S.; Quintaes, M.; Moraes, M.E.M. & Silva, N.C.C. 2017. Fatores que condicionam a presença e dispersão de minerais de ferro nos sedimentos arenosos das calhas, várzeas e terraços dos rios que drenam o Quadrilátero Ferrífero, MG. *Geociências*, 36(3): 509-520.
- Costa, A.T. 2001. *Geoquímica das águas e sedimentos da bacia do rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma área afetada por atividades de extração mineral*. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 146p.
- Costa, A.T. 2007. *Registro histórico de contaminação por metais pesados associados à exploração aurífera na bacia do ribeirão do Carmo, QF: Um Estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais*. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Tese de doutorado, 283p.
- Duarte, A P. 2008. *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco*. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, 130p.
- Farina, F.; Albert, C.; Martínez Dopico, C.; Aguilar Gil, C.; Moreira, H.; Hippertt, J.P.; Cutts, K.; Alkmim, F.F.; Lana, C., 2016. *The Archean – Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions*. *J. South Am. Earth Sci.* 68, 4–21. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.015>
- Gomes, R.C. 2012. Caracterização tecnológica de rejeitos de mineração em sistemas de disposição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 10, Ouro Preto, 2012. *Resumos*, São Paulo, SBG, p. 11-12.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1976. *Carta Topográfica Brumadinho, escala 1:50.000*. Belo Horizonte, IBGE.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1976. *Carta Topográfica Rio Acima, escala 1:50.000*. Belo Horizonte, IBGE.
- Rodrigues, A.S.L.; Malafaia, G.; Costa, A.T. & Nalini Jr, H.A. 2013. Evaluation of the mineral exploration influence on sediment composition in the Gualaxo do Norte River Basin (MG-Brazil) based on geochemical and stratigraphic data. *Environmental Earth Science*, 6 (4): 965-972.
- Rodrigues, A.S.L.; Malafaia, G.; Costa, A.T. & Nalini Jr, H.A. 2014. Iron ore mining promotes iron enrichment in sediments of the Gualaxo do Norte River basin, Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Earth Science*, 7 (9): 4177-4186.
- Sabino, C.V.S.; Abreu J. F.; Lobato W.; Sabino G. S. & Knup E.A.N. 2008. Análise de alguns aspectos da qualidade da água da Bacia do Rio Paraopeba utilizando estatística multivariada. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 8 (2):6-18.
- Sallun, A.E.M.; Suguio, K.; Tatumi, S.H.; Yee, M.; Santos, J.; Barreto, A.M.F. 2007. Datação absoluta de depósitos quaternários brasileiros por luminescência. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(2): 401-412.
- Santos, R.L. 2017. *Caracterização geoquímica das águas e sedimentos da bacia do ribeirão Sardinha, porção sul do Quadrilátero Ferrífero (MG)*. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 201p.
- Wentworth, C.K. 1999. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5): 377-392.