



<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

Datação por luminescência opticamente estimulada: aplicabilidade em fácies rudáceas de leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais

*Optically stimulated luminescence dating: applicability in rudaceous facies
from alluvial fans in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*

Fabrizio Antonio Lopes ¹, Paulo de Tarso Amorim Castro ², Alex de Carvalho ³, Cláudio Eduardo Lana ⁴

¹ Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto, Brasil. fabricaotoniolopes@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-9107>

² Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto, Brasil. ptacastro@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7667-0161>

³ Instituto Federal de Minas Gerais, Coordenadoria de Geografia, Ouro Preto, Brasil. alexrochacarvalho@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6525-3170>

⁴ Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto, Brasil. claudiolana@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9502-3499>

Recebido: 20/04/2023; Aceito: 23/09/2023; Publicado: 05/12/2023

Resumo: Este artigo apresenta dados da luminescência opticamente estimulada de sedimentos rudáceos de leques aluviais da região do Quadrilátero Ferrífero. Tais dados foram obtidos através de 12 datações cujas amostras foram coletadas com um amostrador e alavanca específicos e eficientes para inserção e retirada dos tubos do pacote sedimentar. O objetivo desse trabalho é discutir as características da luminescência do quartzo presente em depósitos de leques aluviais e verificar se o método é eficiente em sedimentos de granulometria caracterizada por grânulos, seixos, calhaus e matações. No que se refere a taxa de dose anual, o percentual de água foi definido levando-se em conta o histórico de cada amostra. Após estimativa da radiação cósmica, os valores obtidos entre 0,2328 e 0,2509 mGy/ano foram insignificantes com relação as concentrações de ²³²Th, ²³⁸U e ⁴⁰K. Em todo ciclo de medição, para normalizar os sinais de LOE, foi administrada dose teste de 31,8 Gy na amostra do leque do Complexo Bonfim Meridional, 1,78 Gy na da fácies Gmm do leque 1 do Complexo Bonfim Setentrional e 2,67 Gy nas demais amostras. A eficácia da dose teste foi comprovada durante os testes de reciclagem, sempre entre 0,9 e 1,10, e de recuperação, inferiores a 5%, indicando completo fotoesvaziamento e ausência de transferência térmica significativa. Os valores da dispersão, entre 0 e 16%, e a ausência de bimodalidade nos gráficos de densidade indicam que os grãos estiveram expostos à luz solar por pelo menos 16 horas antes do soterramento, acarretando no seu fotoesvaziamento completo. Este estudo demonstra que depósitos rudáceos podem ser datados por LOE com eficiência.

Palavras-chave: Luminescência opticamente estimulada, Leques aluviais; Fácies sedimentares.

Abstract: This paper presents data of the optically stimulated luminescence of rudaceous sediments from alluvial fans in the Quadrilátero Ferrífero region. Those data were obtained through the dating of 12 samples collected with a sampler and a lever that proved to be efficient for removing the metal tubes from the sedimentary package. This work aims to discuss the characteristics of the luminescence of the quartz present in deposits of alluvial fans and to check that the referred dating method is also efficient in deposits of granulometry mainly characterized by granules, cobbles, pebbles and boulders. Regarding the annual dose rate, the percentage of water was defined by considering the climatic period in which each sample was collected. After estimating the cosmic radiation, the values obtained between 0,2328 and 0,2509 mGy/year encompassed an insignificant percentage in relation to the concentrations of ^{232}Th , ^{238}U and ^{40}K . During the acquisition of the equivalent dose, a test dose of 31,8 Gy was administered in the sample of alluvial fan of Bonfim Meridional Complex, 1,78 Gy in the sample of the Gmm facies of alluvial fan 1 in the Bonfim Setentrional Complex and 2,67 Gy in the other samples. The effectiveness of the test dose was verified during recycling tests, always between 0,9 and 1,10, and recovery tests, below 5%, indicating good bleaching and absence of significant thermal transfer. Moreover, the dispersion values obtained, between 0 and 16%, as well as the absence of bimodality in the density graphs, indicate that the grains were exposed to sunlight for at least 16 hours before the burial, resulting in their complete bleaching. This study demonstrates that rudaceous deposits can be efficiently dated by OSL.

Keywords: Optically stimulated luminescence; Alluvial fans, Sedimentary facies.

1. Introdução

O método de datação por luminescência opticamente estimulada (LOE) configura uma técnica baseada na quantificação da emissão de luz por minerais, como quartzo e feldspato, através de um estímulo óptico (e.g., Guedes et al. 2011). Expostos previamente à energia da radiação (ionizante e cósmica), que é proporcional a emissão de luz, os grãos sofrem fotoesvaziamento quando entram em contato com os raios solares. Uma vez soterrados e fora do alcance da luz solar tem-se um novo acúmulo de energia da radiação cuja carga só será liberada caso o material sofra um novo estímulo óptico ou térmico. A quantidade de carga emitida será proporcional ao tempo de deposição dos sedimentos (e.g., MAIA et al., 2011; GUEDES et al., 2011; ROCCA, 2012; GUEDES et al., 2013). O referido tempo de deposição pode ser calculado pela razão entre dose equivalente e taxa de dose, conforme a equação 1, onde a dose equivalente representa a quantidade de radiação ionizante absorvida pelos grãos (minerais) e a taxa de dose a quantidade de radiação ionizante produzida por determinado período (escala temporal).

$$\text{Idade de deposição do material (y)} = \frac{\text{Dose equivalente (Gy)}}{\text{taxa de dose (Gy/y)}} \quad (1)$$

Tal método de geocronologia absoluta foi proposto por Huntley (1995), seu aperfeiçoamento emergiu com a utilização do protocolo SAR (*Single Aliquot Regeneration*) elucidado nos estudos de Bajerjee *et al.* (1999) e Murray e Wintle (2000). De modo amplo, esse protocolo determina a dose equivalente através de uma alíquota para cada curva de calibração. Em outras palavras, podem ser encontradas entre 5 e 25 idades para cada amostra, que são tratadas estatisticamente, implicando em resultados mais confiáveis (MURRAY e WINTLER, 2000; JAIN *et al.* 2004; ROBERTS e DULLER, 2004). Maiores detalhes podem ser encontrados em Wintle e Murray (2006).

Com a evolução e confiabilidade do método, inúmeros são os trabalhos que utilizaram a LOE na datação de depósitos sedimentares fluviais, eólicos e praias (e.g., SALUM et al. 2007; RITENOUR, 2008; FITZSIMMONS et al. 2009; GUEDES et al. 2013; ALEXANDERSON e MURRAY, 2014; SAWAKUCHI *et al.* 2016). Apesar disso, para Kenworthy et al. (2014), a LOE é significativamente limitada às técnicas convencionais de amostragem, sendo as

estimativas das idades adequadas apenas para camadas sedimentares espessas (>60 cm) de areia e demais grãos finos. Do contrário, a datação de sedimentos sem essas características, como os depósitos cascalhosos de leques aluviais, é um enorme desafio. Devido a impossibilidade de coletar amostras dos cascalhos em tubos, os autores escavaram os depósitos e coletaram em lona a prova de luz, durante a noite. Suas idades foram determinadas por alíquotas reduzidas e demonstraram que os depósitos heterogêneos e modalmente constituídos por grânulos, seixos, calhaus ou matacões também podem ser datados com sucesso.

O principal objetivo deste trabalho é discutir as características da LOE obtidas a partir da datação de fácies de leques aluviais da região do Quadrilátero Ferrífero, com composição granulométrica majoritária de grânulos (>0,2 <0,4 cm), seixos (>0,4 <6,4 cm), calhaus (>6,4 <25,6 cm) e matacões (>25,6 cm). Essas características desafiadoras trouxeram a necessidade de lançar mão de meios ou objetos de amostragem que vão além do tradicional, o que pode contribuir para o melhor aproveitamento e assertividade no uso da técnica.

2. Área de Estudo

O Quadrilátero Ferrífero está localizado na porção meridional do Cráton São Francisco. Segundo Almeida (1977) compreende uma área de 7.000 km² onde afloram complexos granito-gnáissicos e migmatíticos rodeados por megaestruturas desenvolvidas sobre rochas supracrustais arqueanas e proterozoicas, das quais destacam-se as sinclinais Gandarela, Dom Bosco e Moeda, a Homoclinal do Curral, a anticlinal de Mariana e o maciço Caraça.

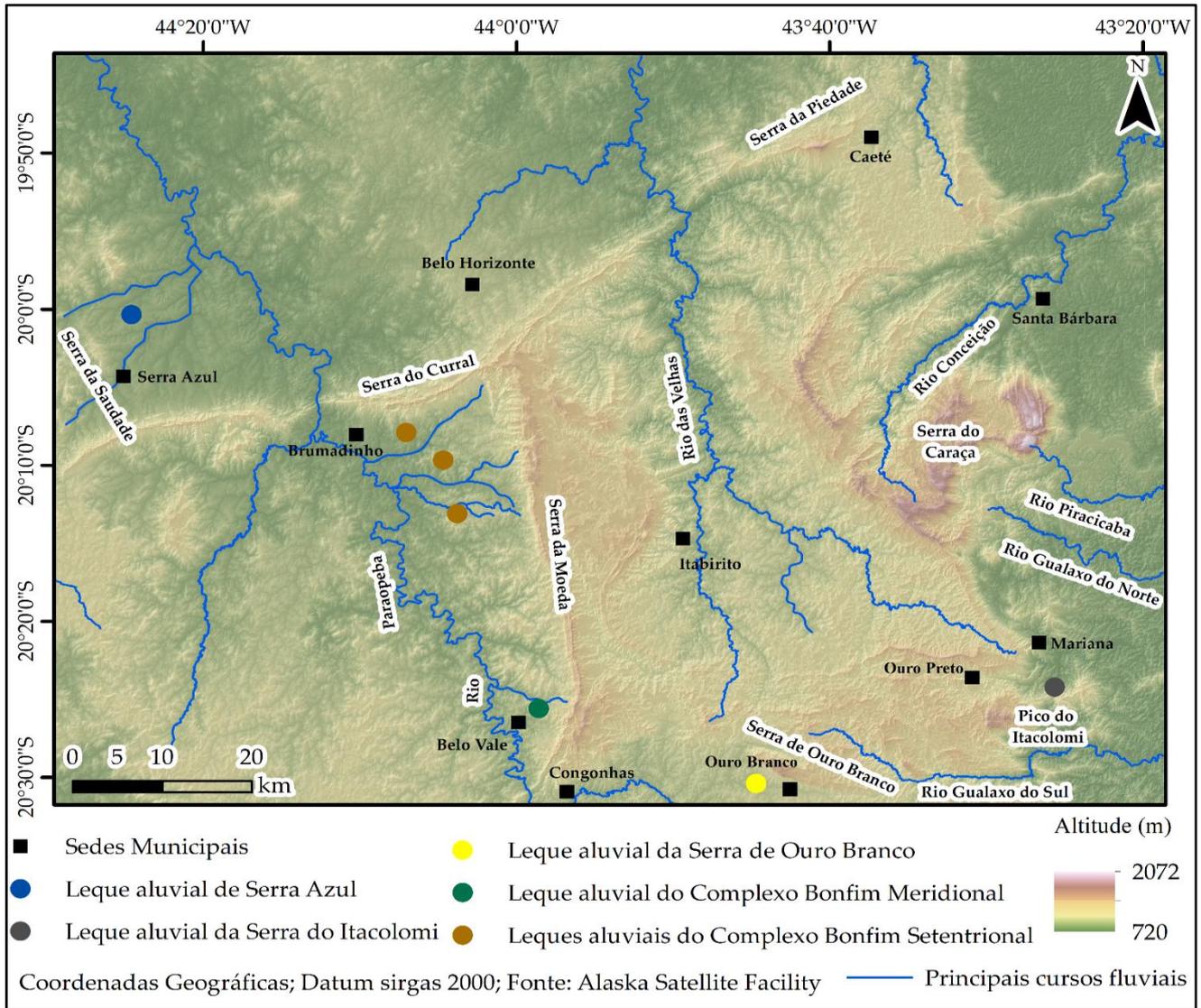


Figura 1. Área deste estudo com a distribuição espacial dos leques aluviais datados.

A alta amplitude topográfica é uma das mais destacáveis características do relevo dessa região. As áreas mais elevadas, acima de 1200 m, correspondem a cristas de megaestruturas, sustentadas por Itabiritos e Quartzitos recobertos por vegetação rupestre (Figura 1). Contrapondo-se às referidas megaestruturas estão os complexos granito-gnáissicos e migmatíticos, limitados a 1040 m de altura. Apresentam-se como colinas de topos arredondados, vertentes convexas e canais fluviais encaixados (Figura 1). Além das matas de galeria nos arredores dos canais fluviais, essa área abriga uma vegetação do tipo estacional semidecídua, de transição entre cerrado e mata atlântica (MACHADO, 2018).

A rede hidrográfica do Quadrilátero Ferrífero divide-se em três grandes e importantes bacias. Nas áreas Oeste e central dominam, respectivamente, os cursos fluviais das bacias dos rios Paraopeba e Velhas (Figura 1). Suas calhas principais, de sentido Sul-Norte, atravessam as gargantas epigênicas denominadas Fecho do Funil e Sabará e deságuam no rio São Francisco, no Norte de Minas Gerais. Em sua porção Leste têm-se os segmentos fluviais do alto curso do rio Doce, representado na figura 1 pelos rios Conceição, Piracicaba, Gualaxo do Norte e do Sul.

3. Materiais e Métodos

Em trabalhos de campo, as fácies sedimentares datadas foram descritas e interpretadas seguindo os critérios de Compton (1962), Compton (1965) e Tucker (2014). Além da lupa de mão com aumento de 10x e cartela granulométrica, foram utilizadas trena e vara de Jacob. Os códigos atribuídos às fácies são os mesmos que os propostos por Miall (1978). As análises da dimensão dos grãos seguiu a escala de Wentworth (1922).

Para datação por LOE, as amostras foram coletadas em tubos metálicos de 4 cm de diâmetro, 40 cm de comprimento e extremidades lacradas com isopor e fita isolante. Uma faixa superficial do depósito foi raspada verticalmente para excluir sedimentos expostos à luz solar, bioturbação e horizontes pedogenéticos. Como o raio de influência da radiação gama de radionuclídeos naturais é de cerca de 30 cm (GUEDES et al. 2013), procurou-se sempre realizar a coleta em área homogênea, evitando contato entre fácies, para facilitar a estimativa da taxa de dose. Além disso, sempre que possível, buscou-se inserir os tubos em fácies de granulometria fina, principalmente em lentes arenosas aprisionadas entre os cascalhos, dando preferência para fácies das regiões distais, o que pode diminuir a probabilidade de coleta de sedimentos com fotoesvaziamento incompleto.

Como depósitos de leques aluviais são rudáceos, foi construído um amostrador para facilitar a inserção e retirada dos tubos nos sedimentos (figura 2a). Esse amostrador possui uma chapa resistente de aço 1020 com 1/4" de espessura parafusada em uma borracha resistente ao impacto (1,5 cm de espessura). Assim, os tubos metálicos são acoplados e estabilizados por 4 parafusos (figura 2b).

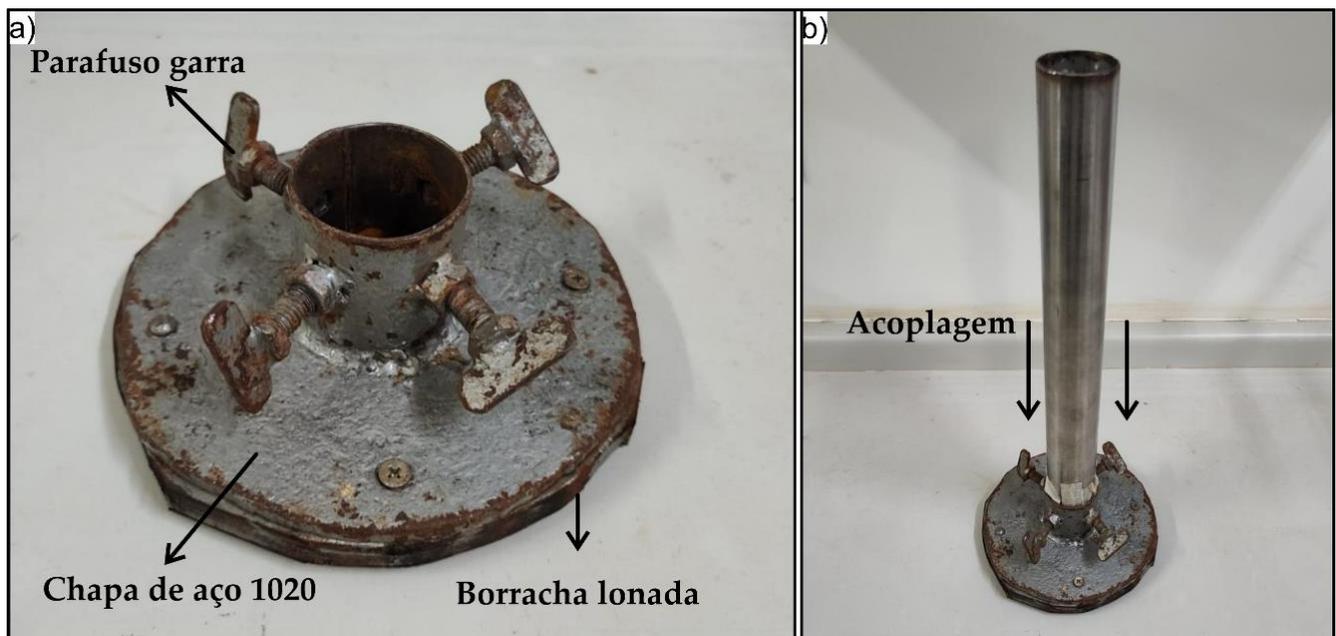


Figura 2. Equipamentos utilizado na amostragem de sedimentos rudáceos de leques aluviais. a) amostrador; c) acoplamento do tubo metálico no amostrador.

A retirada dos tubos do pacote sedimentar foi feita por meio de uma alavanca confeccionada em chapa de aço 1020 com 3/8" de espessura, uma barra rosqueada de 1" de diâmetro, duas porcas de 1" de rosca interna e uma haste de metal para facilitar o torque com 35 cm de comprimento e 1,2 cm de diâmetro (figura 3).



Figura 3. Alavanca para retirada dos tubos do depósito. a) Componentes da alavanca. b) fa: força aplicada pelo operador; ft: torque produzido na barra rosqueada; fd: força aplicada no depósito por sapatas; fb: força aplicada pelo sacador no amostrador. c) alavanca conectada na base de amostragem para retirada do tubo do pacote sedimentar.

Nesse trabalho utilizou-se 15 alíquotas, ou seja, 15 idades diferentes foram estabelecidas para cada amostra e tratadas pelo modelo de idade central. Sob luz vermelha de baixa intensidade, os sedimentos da parte central dos tubos metálicos foram retirados e secos. Com um dosador de massa, foram selecionados grãos de 88-180 μ m e, aproximadamente, 0,025 gramas que foram tratados com H₂O₂ (20%), HF (20%) e HCl (10%) para segregação do quartzo e remoção de matéria orgânica, CaCO₃, feldspato e camada externa do quartzo afetado pela radiação alfa.

Os procedimentos experimentais utilizados na obtenção da dose equivalente encontram-se na tabela 1. Durante 40 segundos, a 125° C, os grãos de quartzo foram excitados com luz azul (470 nm) enquanto um filtro óptico detectava a presença de U-340. Utilizou-se os pontos (*integration limits*) 1 a 5 e 200 a 250 para cálculo das curvas de LOE. A partir disso, foi aplicado o protocolo SAR para montar as curvas de calibração e estimar as doses equivalentes.

Os conteúdos de radioisótopos naturais foram determinados por espectroscopia-gama. Os espectros foram medidos com um detector de iodeto de sódio dopado com TI e comparados com resultados obtidos por padrões espectroscópicos japoneses da GSJ - Geochemical Reference Materials JR-1, JB-3, JG1a e JG-3. A radiação cósmica foi calculada de acordo com Prescott e Hutton (1994), para isso foram utilizados os dados de latitude, longitude, elevação, profundidade de coleta e densidade de cada amostra. Finalmente, a dose anual foi calculada a partir dos valores de ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K e de uma tabela de conversão para taxa de dose (ADAMIEC E AITKEN, 1998).

Atendendo ao protocolo de datação, após a medição da dose natural, são feitos três ciclos com doses regenerativas e, ao final, um ciclo com a dose zero para verificar a regeneração do sinal de LOE e outro com a repetição da primeira dose regenerativa para confirmar a reciclagem do sinal de LOE. A dose teste é feita em todo ciclo de medição para normalização dos sinais de cada ciclo.

Tabela 1. Protocolo utilizado para obtenção da dose equivalente das amostras deste estudo.

1. Pré-aquecimento de 200-240°C por 10s para eliminar elétrons instáveis e armadilhas rasas.
2. Medição da LOE natural (estimulação por 40s, a 125°C).
3. Irradiação de dose teste para correção da sensibilidade.
4. Pré-aquecimento de 200-240°C por 10s.
5. Medição da LOE (estimulação por 40s, a 125°C).
6. Irradiação com luz.
7. Irradiação com dose regenerativa.
8. Pré-aquecimento de 200-240°C por 10s.
9. Medição de LOE (estimulação por 40s, a 125°C).
10. Nova irradiação da dose teste.
11. Verificação da regeneração do sinal.
12. Teste de reciclagem.

4. Resultados e discussões

4.1. Características das fácies datadas

Na tabela 2 encontram-se as principais características faciológicas dos sedimentos datados bem como as interpretações dos processos que ocasionaram em sua colmatação. A maior parte delas foram geradas por fluxos de detritos plásticos e pseudoplásticos e, naturalmente, apresenta granulometria polimodal. Exceções são as fácies Gt (preenchimento de canal) e Sm (fluxo de grãos) modalmente compostas por seixos e areia, respectivamente.

No que se refere a estruturas sedimentares, todas as fácies de fluxos de detritos (Gmm e Gcm) e grãos (Sm) são maciças enquanto que as de preenchimento de canal (Gt) encontram-se estratificadas (cruzada acanalada). A respeito da composição petrográfica, o quartzo e quartzito destacam-se em todas elas, cabendo salientar também os filitos, itabiritos e minerais ferrosos nos sedimentos dos leques do Complexo Bonfim Meridional e Setentrional. A fotos das fácies descritas, interpretadas e datadas nesse estudo encontram-se nas figuras 4 e 5.

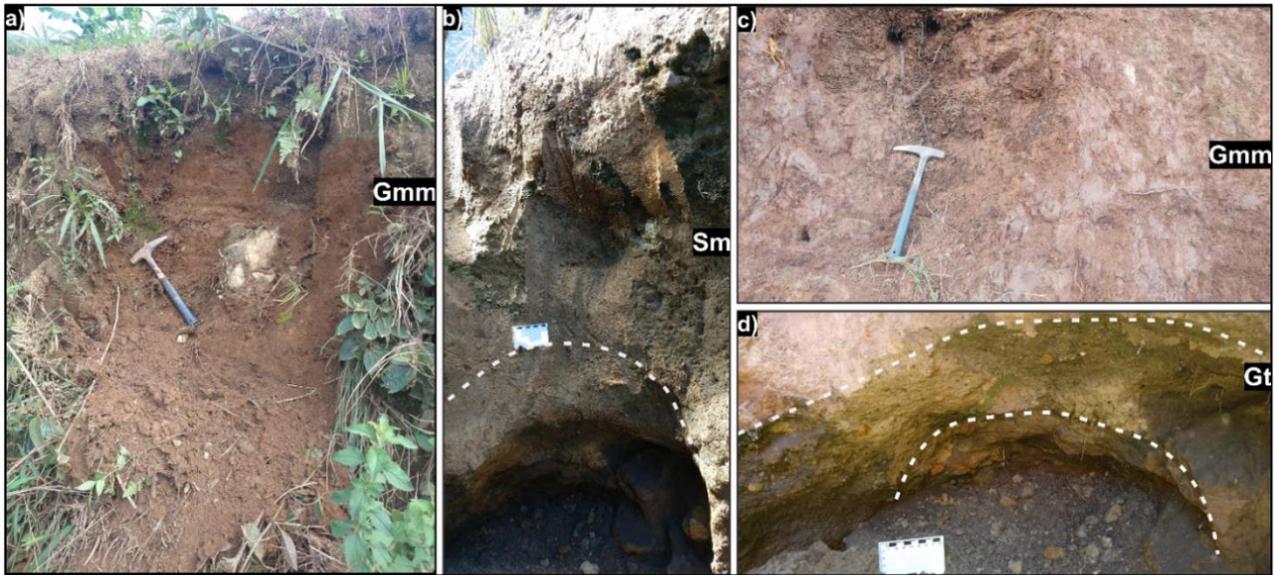


Figura 4. Fotos das fácies descritas, interpretadas e datadas nesse trabalho. Seus respectivos leques e características estão identificados na tabela 2.

Tabela 2. Leques aluviais, fácies datadas, características e interpretação dos processos que levaram a sua deposição.

Leque Aluvial	Fácies	Espessura	Granulometria	Interpretação	Figura	
Serra do Itacolomi	Gmm	1,8 m	Grânulo a matacão imersos em matriz areno-lamosa	Fluxo de detritos plástico	4a	
Serra de Ouro Branco	Sm	1,4 m	Areia	Fluxo de grãos	4b	
	Gmm	3,5 m	Grânulo a seixo imersos em matriz areno-lamosa	Fluxo de detritos plástico	4c	
	Gt	0,5 m	Seixo	Preenchimento de canal	4d	
Comp. Bonfim Meridional	Gcm	1,3 m	Areia a calhau	Fluxo de detritos pseudoplástico	5a	
Comp. Bonfim Setentrional	1	Gmm	0,7 m	Grânulo a calhau imersos em matriz arenosa	Fluxo de detritos plástico	5b
		Gcm	0,5 m	Areia a calhau	Fluxo de detritos pseudoplástico	5c
	2	Gcm	0,4 m	Areia a calhau	Fluxo de detritos pseudoplástico	5d
		Gt	1,4 m	Seixos	Preenchimento de canal	5e
	3	Gcm	0,8 m	Areia a calhau	Fluxo de detritos pseudoplástico	5f
Serra Azul	Gt	0,3 m	Seixo	Preenchimento de canal	5g	
	Gcm	0,6 m	Areia a calhau	Fluxo de detritos pseudoplástico	5h	



Figura 5. Fotos das fácies descritas, interpretadas e datadas nesse trabalho. Seus respectivos leques e características estão identificados na tabela 2.

4.2. As idades de deposição

Da mesma forma que Kenworthy et al. (2014), este trabalho ancorou-se na datação de fácies com composição granulométrica modal de grânulos, seixos e calhaus. Essas características desafiadoras trouxeram a necessidade de lançar mão de meios ou objetos de amostragem que vão além do tradicional. Nesse sentido, a utilização de tubos metálicos acoplados ao amostrador bem como a alavanca para retirada desses tubos dos depósitos foram de grande importância durante os trabalhos de campo (figuras 2 e 3). Utilizando tubos de PVC (policloreto de vinila) gastava-se, em média, 1 hora para coletar uma boa amostra. Muitas vezes esses tubos quebravam e isso só poderia ser percebido após retirá-lo do pacote sedimentar, havendo a necessidade de repetir todo processo até que a amostragem ficasse satisfatória.

A utilização da base, da alavanca e dos tubos metálicos resolveram essas questões. A maior resistência dos tubos metálicos impediram sua quebra, a base onde se acoplou os tubos proporcionou maior segurança no processo inserção nos sedimentos e, a alavanca construída para retirar os tubos contribuiu para o menor gasto da força

braçal. Tais ferramentas ocasionaram na diminuição do tempo de coleta, que passou a ser em média 25 minutos para cada amostra, tornando os trabalhos de campo mais produtivos. Esse equipamento também pode ser útil para amostragem de sedimentos precocemente cimentados, como aqueles estudados por Barros et al. (2016).

Na tabela 3 encontram-se os dados referentes a taxa de dose anual, dose equivalente e idade obtida para algumas das fácies dos leques aluviais estudados. Assim, além de escolher as áreas mais secas dos leques aluviais, as coletas foram realizadas majoritariamente no inverno (principalmente nos meses de junho e julho), período menos chuvoso/úmido na região do Quadrilátero Ferrífero. Apenas uma das amostras, da fácies Gmm do leque aluvial 1 do Complexo Bonfim Setentrional, foi coletada em período úmido. Essa informação foi considerada na obtenção da umidade da amostra, já que a água é um fator natural que pode absorver a radiação ionizante (Guedes et al. 2011).

Foram evitadas as fácies com marcante presença de minerais opacos, neoformados e com adiantados processos pedogenéticos que podem ter lixiviado ou precipitado minerais com elementos radioativos ao longo do tempo de soterramento. De acordo com Guedes et al. (2011), a lixiviação dos referidos elementos após o soterramento pode subestimar as taxas de dose anual levando a superestimação das idades de deposição. Do contrário, a precipitação de novos elementos radiotivos superestimaria as taxas de dose anual, acarretando na subestimação das idades de deposição.

Jain et al. (2004) afirmaram que a não exposição do material, por pelo menos 16 horas, à luz solar no momento anterior ao soterramento implicaria no fotoesvaziamento incompleto dos grãos, o que pode superestimar as idades. Nesse sentido, por percorrerem distâncias maiores e, portanto, estarem mais tempo expostos à luz solar, buscou-se amostrar (sempre que possível) os sedimentos das zonas mais distais dos leques aluviais. Além disso, quando presentes, as lentes de sedimentos arenosos aprisionados entre os cascalhos eram considerados pontos preferenciais para coleta, por serem mais friáveis.

Ressalta-se a numerosa presença de quartzo na composição das rochas de toda região e, conseqüentemente, nos depósitos estudados. Isso é um fator que favoreceu esse estudo, uma vez que os sinais de luminescência utilizados no protocolo de datação escolhido são provenientes das armadilhas de cargas do referido mineral. Guedes et al. (2013) afirmaram que esta vantagem pode se estender para toda ampla e estável região cratônica brasileira, cujos sedimentos quaternários são compostos principalmente por quartzo. Para Sawakuchi et al. (2016), os sedimentos quaternários do Brasil são adequados para datação por LOE, sua alta sensibilidade permite a obtenção de idades menores que 100 anos e, apesar das taxas de dose geralmente baixas, grãos de quartzo da região do Pantanal com saturação de 100 a 150 Gy possibilitaram o estabelecimento de idades de até 300.000 anos.

A utilização do protocolo SAR foi fundamental para obtenção de idades mais confiáveis, onde os grãos de quartzo demonstraram alta sensibilidade e curvas dose-resposta adequadas, permitindo melhores reflexões e confiabilidade das idades.

Tabela 3. Leques aluviais, fácies datadas, dose anual, dose equivalente, radiação cósmica, localização, altitude, profundidade da amostra, percentual de água e idades.

Leque Aluvial	Fácies	Dose Anual (μGy/ano)	Dose Equivalente (Gy)	Radiação Cósmica (mGy/ano)	Lat. /Long. (UTM)	Altitude	Profund.	Água (%)	Idade (ka)	
Da Serra do Itacolomi	Gmm	1.8040 ± 100	36,9 ± 2,2	0,2405 ± 0,02 (2,4%)	7744537.00/ 664916.00	780 m	0,6 m	5,7 ± 0,6	20 ± 1.6	
Da Serra de Ouro Branco	Sm	2.420 ± 110	23,5 ± 1,3	0,2328 ± 0,02 (1,7%)	7733383.98/ 632865.96	1.000 m	0,7 m	6,4 ± 0,6	9.7 ± 0.6	
	Gcm	3.300 ± 120	44,0 ± 2,1	0,2367 ± 0,02 (1,2%)	7733383.98/ 632865.96	1.000 m	0,9 m	7,9 ± 0,8	13.3 ± 0.8	
	Gmm	960 ± 140	32,0 ± 2,0	0,2509 ± 0,02 (4,6%)	7731338.00/ 631895.00	950 m	1,0 m	12,4 ± 1,2	33.2 ± 5.4	
Complexo Bonfim Meridional	Gcm	4.500 ± 150	290,8 ± 13,1	0,2492 ± 0,02 (1,2%)	7742311.00/ 606596.00	880 m	1,0 m	7,1 ± 0,7	64.4 ± 3.5	
Complexo Bonfim Setentrional	1	Gmm	4.410 ± 150	16,5 ± 0,8	0,2367 ± 0,02 (0,7%)	7767640.00/ 597924.00	800 m	0,8 m	17,4 ± 1,7	3.7 ± 0.2
		Gcm	2.670 ± 145	41,4 ± 2,3	0,2356 ± 0,02 (1,5%)	7767640.00/ 597924.00	800 m	0,7 m	0,5 ± 0,1	15.5 ± 1.6*
	2	Gt	7.450 ± 570	90,6 ± 5,4	0,2456 ± 0,02 (1,8%)	7770356.00/ 601441.00	840 m	0,8 m	8,1 ± 0,8	12.1 ± 1.5*
		Gcm	3.700 ± 120	34,4 ± 1,8	0,2350 ± 0,02 (1%)	7771196.00/ 591479.00	790 m	0,8 m	10,5 ± 1,0	9.3 ± 0.5
	3	Gcm	3.400 ± 220	32,3 ± 1,4	0,2382 ± 0,02 (1,4%)	7771196.00/ 591479.00	760 m	0,8 m	8,8 ± 0,8	9.5 ± 1*
	De Serra Azul	Gt	1.590 ± 90	33,3 ± 1,5	0,2438 ± 0,02 (2,1%)	7785045.00/ 559916.00	840 m	0,5 m	4,3 ± 0,4	20.9 ± 1.5
Gcm		780 ± 80	43,7 ± 2,1	0,2475 ± 0,02 (8%)	7785045.00/ 559916.00	840 m	1,0 m	0,8 ± 0,1	56.3 ± 6.7	

* Lopes *et al.* (2020)

4.3. Características da luminescência do quartzo das fácies dos leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero

4.3.1. Taxa de dose anual

Segundo Guedes et al. (2013), a taxa de dose anual refere-se a quantidade de radiação ionizante acumulada, após o soterramento, por determinado período de tempo. De acordo com Guedes et al. (2013) a radiação ionizante que se acumula nas armadilhas dos cristais soterrados é oriunda tanto do decaimento radioativo do ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U e do ^{40}K quanto dos raios cósmicos que alcançam os sedimentos. Na tabela 3 encontram-se os valores de radiação cósmica, percentual de água e profundidade de cada amostra datada nesse estudo. De forma complementar, na tabela 4 encontram-se as concentrações de ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K obtidas nessas mesmas amostras.

Tabela 4. Leques aluviais, fácies datadas e concentração de ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K .

Leque Aluvial		Fácies	^{232}Th (ppm)	^{238}U (ppm)	^{40}K (%)
Da Serra do Itacolomi		Gmm	$7,5 \pm 0,31$	$2,233 \pm 0,149$	$0,66 \pm 0,09$
Da Serra de Ouro Branco		Sm	$9,86 \pm 0,39$	$2,318 \pm 0,161$	$1,13 \pm 0,11$
		Gcm	$13,86 \pm 0,48$	$3,218 \pm 0,194$	$1,63 \pm 0,1$
		Gmm	$3,44 \pm 0,35$	$1,57 \pm 0,181$	$0,21 \pm 0,16$
Do Complexo Bonfim Meridional		Gcm	$13,29 \pm 0,48$	$4,752 \pm 0,271$	$2,6 \pm 0,13$
Do Complexo Bonfim Setentrional	1	Gmm	$20,29 \pm 0,66$	$8,346 \pm 0,44$	$1,67 \pm 0,12$
		Gcm	$11,30 \pm 0,40$	$4,28 \pm 0,143$	$0,51 \pm 0,074^*$
	2	Gt	$23,74 \pm 0,85$	$3,25 \pm 0,471$	$3,250 \pm 0,471^*$
		Gcm	$16,03 \pm 0,53$	$5,45 \pm 0,294$	$1,5 \pm 0,1$
	3	Gcm	$13,97 \pm 0,50$	$5,87 \pm 0,310$	$0,70 \pm 0,102^*$
	De Serra Azul		Gt	$8,37 \pm 0,33$	$2,231 \pm 0,147$
Gcm			$1,88 \pm 0,18$	$0,689 \pm 0,087$	$0,24 \pm 0,08$

* Lopes et al. (2020)

4.3.2. Presença de Água nas Amostras

Em conformidade com Guedes et al. (2011) e Guedes et al. (2013), um dos agentes que mais geram incertezas na datação por LOE é a presença de água nas amostras. Isso porque, de acordo com Sawakuchi et al. (2016), a água acumulada entre os poros dos sedimentos absorve a radiação ionizante, implicando na diminuição dos valores da taxa de dose e superestimação das idades.

Sawakuchi et al. (2016) relataram dificuldades para estabelecer a efetiva quantidade de água das amostras durante todo tempo de soterramento. Os autores adotaram uma abordagem conservadora, atribuindo uma incerteza relativamente alta do teor de água para calcular as taxas de dose. Para Maia et al. (2011) e Guedes et al. (2013), o valor da incerteza das idades depende da reprodutibilidade dos cristais sendo normalmente de 10%.

Quando a concentração de água ultrapassa 15% essa incerteza sobe para 20%. Conforme a tabela 3, das 12 fácies (amostras), apenas uma ultrapassou os 15% de água.

Guedes et al. (2011) alertam para o fato de que o teor de água estimado em laboratório não pode remeter apenas ao momento de deposição dos grãos, mas também as posteriores oscilações do lençol freático e pluviosidade. Olley et al. (1999), por exemplo, identificaram um valor de 4% de água em uma amostra de terraço fluvial e consideraram esse percentual improvável, já que os mesmos sedimentos estiveram abaixo do curso fluvial no período anterior a incisão, assumindo uma incerteza de 20% na determinação das idades. Da mesma maneira Fuchs e Lang (2001) consideraram os valores percentuais de água muito baixos em amostras de terraços fluviais do rio Assoposs (Grécia), e passaram a creditar 14% em todas amostras na determinação das idades.

A amostra de sedimentos da fácies Gmm do leque aluvial 1 do Complexo Bonfim Setentrional foi a única que apresentou percentual de água superior a 15% (tabela 3). Seu valor estimado em 17,4% é atribuído ao fato da coleta ter sido feita no mês de janeiro, época de alta pluviosidade no Quadrilátero Ferrífero. Sabendo dessas condições, foi possível assumir valores menores na estimativa da taxa de dose.

4.3.3. Radiação Cósmica

De acordo com Salum et al. (2007), os depósitos sedimentares recebem radiações ionizantes a partir de raios cósmicos e da desintegração de isótopos radioativos naturais. O cálculo exato desses valores é de extrema importância para obtenção de idades confiáveis. A radiação cósmica influencia na intensidade da luminescência que, em geral, é constante perto da Linha do Equador. Como as partículas componentes dos raios cósmicos são atraídas pelo campo geomagnético da Terra, a radiação cósmica aumenta com a latitude até alcançar um valor constante nos polos Norte e Sul.

Guedes et al. (2013) afirmaram que quando as concentrações de ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K são muito baixas (em função da alteração da mineralogia do sedimento por pedogênese, por exemplo), a radiação cósmica tende a se sobressair, podendo representar valores percentuais acima de 50% da radiação total. Para os mesmos autores, quanto mais profundas forem coletadas as amostras menor será a incidência da radiação cósmica. Conforme a tabela 3, essa relação inversamente proporcional entre a profundidade de soterramento e a quantidade de radiação cósmica absorvida não é significativa nos sedimentos das fácies de leques aluviais datadas, provavelmente pela variação pouco expressiva da profundidade das amostras (tabelas 3 e 4). A amostra com maior representatividade de radiação cósmica é a da fácies Gcm do perfil proximal do leque de Serra Azul, mensurada em 8% do total (tabela 4). Guedes et al. (2012) encontraram valores em torno de 30%, com destaque para amostra LM-19-B cuja radiação cósmica compreende 52% da radiação total.

Sallun et al. (2007) compararam as taxas de radiação cósmica medidas *in situ* (por espectrometria γ), com aquelas estabelecidas através da equação de Barbout e Rastin (1983) e Prescott e Stephan (1982), identificando uma variação de aproximadamente 20% entre uma medição e outra. Essa diferença deve ocorrer em função das variações naturais da radiação ao longo tempo, que não são consideradas nas equações teóricas de Barbout e Rastin (1983) e Prescott e Stephan (1982). Contudo, embora esse trabalho tenha se alicerçado nas referidas equações teóricas, a obtenção da radiação cósmica *in situ* pode fornecer valores mais assertivos.

Apesar do exposto acima, para Sallun et al. (2007), enquanto informações confiáveis sobre a radiação cósmica do Quaternário não estão disponíveis, as equações teóricas de Barbout e Rastin (1983) e Prescott e Stephan (1982) é o melhor e mais comum caminho para obtenção das informações (e.g., FUCHS e LANG, 2001; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2011; GUEDES et al., 2011; ALEXANDERSON e MURRAY, 2012; GUEDES et al., 2013; SAWAKUCHI et al., 2016). Porém, no uso dessas equações é preciso ter clareza de suas incertezas relativamente altas.

4.3.4. Dose Equivalente

De acordo com Guedes et al., (2013), um dos principais objetivos da datação por LOE é determinar a taxa de radiação ionizante total nas amostras, também conhecida como taxa de dose equivalente ou dose acumulada.

4.3.5. Sensibilidade dos grãos de quartzo e teste de reciclagem

A quantidade de dose acumulada pode variar entre os grãos de uma mesma alíquota, sugerindo diferenças na sensibilidade ao estímulo óptico. Para Zheng et al. (2009), a diferença de sensibilidade entre um quartzo e outro é resultado tanto das características de sua rocha parental quanto de sua história deposicional. Nesse sentido, no protocolo de datação utilizado nesse estudo, tanto a curva de calibração quanto o sinal de luminescência natural foram obtidos nas 15 alíquotas de cada amostra. A média entre as 15 alíquotas representou sua dose equivalente, desde que tenham sido aprovadas nos testes de reciclagem e recuperação. Para Guedes et al. (2013) e Sawakuchi et al. (2016), quando se utiliza o protocolo SAR a variação da sensibilidade na aquisição da dose equivalente não interfere no resultado da datação, uma vez que é possível monitorar e corrigir erros relacionados a sensibilidade dos grãos.

Para Lian e Roberts (2006), uma dessas correções refere-se a administração de uma dose teste para coibir erros de sensibilidade relacionados ao processo de aquisição das idades, como o pré-aquecimento, irradiação e estímulo óptico com luz azul. Guedes et al. (2013) sugerem que esse ajuste na sensibilidade das amostras é um dos maiores avanços na datação por luminescência. De acordo com Alexanderson e Murray (2014), os testes de dose só deverão ser aceitos se representarem até 10% do valor total da dose equivalente. Nesse sentido, durante a aquisição da dose equivalente das amostras desse estudo, foi administrada dose teste de 31,8 Gy na amostra da fácies Gcm do leque aluvial do Complexo Bonfim Meridional, 1,78 Gy na amostra da fácies Gmm do leque aluvial 1 do Complexo Bonfim Setentrional e 2,67 Gy nas demais amostras.

Segundo Lian e Roberts (2006), a eficácia da administração da dose teste é comprovada nos testes de reciclagem. Guedes et al. (2013) consideram o teste de reciclagem como uma forma de avaliar a capacidade da alíquota de se comportar como um dosímetro natural. Para isso, mede-se o sinal de luminescência também no final do protocolo SAR para verificar se houve alterações consideráveis durante os experimentos. Murray e Whittle (2000) aconselham o descarte da alíquota caso a variação do sinal entre a primeira e segunda medição ultrapasse 10%. Em outras palavras, conforme destacado por Sawakuchi et al. (2008), os valores do teste de reciclagem confiáveis devem estar obrigatoriamente entre 0,90 e 1,10.

As tabelas 5 e 6 contêm os valores da dose equivalente e dos testes de reciclagem e de recuperação das 15 alíquotas das amostras do leque da Serra do Itacolomi (fácies Gmm) e do leque 1 do Complexo Bonfim Setentrional (fácies Gmm). Nota-se que as 15 alíquotas de ambas as amostras tiveram seus valores do teste de reciclagem entre 0,90 e 1,10, sem variações superiores a 10%, o que reforça a credibilidade da dose teste administrada, conforme Lian e Roberts (2006). Cabe ressaltar que a aprovação no teste não se limitou aos dois exemplos mencionados acima, pelo contrário, todas as 15 alíquotas das 9 amostras datadas nesse estudo dispuseram de índices satisfatórios. Adicionalmente, consonante com Fitzsimmons et al. (2009), os resultados desse teste permitiram concluir que a variabilidade da sensibilidade dos grãos de quartzo das fácies de leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero não afetou o protocolo SAR utilizado, considerado eficiente.

Divergente deste trabalho, problemas com o teste de reciclagem foram reportados por Guedes et al. (2013). De acordo com os autores, a complexa história sedimentar dos grãos de quartzo de amostras da zona costeira dos Lençóis Maranhenses dificultaram a correção de sua sensibilidade. Cerca de 50% das alíquotas não passaram no

teste de reciclagem, sendo necessário a leitura do maior número de alíquotas possíveis para obtenção de uma idade confiável. Da mesma maneira, após realizar 359 testes de reciclagem, Alexanderson e Murray (2012) rejeitaram 27 alíquotas de 4 amostras por considerarem ruins seus índices de recuperação.

Tabela 5. Dose equivalente e testes de reciclagem e recuperação das 15 alíquotas da amostra da fácies Gcm do leque aluvial da Serra do Itacolomi.

Amostra: Fácies Gcm do leque aluvial da Serra do Itacolomi				
Alíquota	Dose Equivalente (Gy)	Teste de Reciclagem	Varição	Teste de recuperação
Alíquota 1	35,3 ± 3,4	1,10 ± 0,04	1%	0,8% ± 0,1%
Alíquota 2	40,9 ± 3,0	1,07 ± 0,04	7%	1,0% ± 0,1%
Alíquota 3	34,0 ± 2,7	1,04 ± 0,03	4%	1,0% ± 0,1%
Alíquota 4	46,5 ± 3,3	1,03 ± 0,03	3%	0,7% ± 0,0%
Alíquota 5	41,4 ± 3,2	1,03 ± 0,04	3%	0,3% ± 0,0%
Alíquota 6	27,6 ± 2,1	1,05 ± 0,04	5%	0,9% ± 0,1%
Alíquota 7	35,8 ± 3,4	0,97 ± 0,03	-3%	1,4% ± 0,1%
Alíquota 8	28,6 ± 2,5	1,04 ± 0,04	4%	0,6% ± 0,1%
Alíquota 9	29,4 ± 2,3	1,06 ± 0,04	6%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 10	42,9 ± 3,3	1,07 ± 0,04	7%	0,3% ± 0,1%
Alíquota 11	34,4 ± 3,1	1,02 ± 0,04	2%	0,5% ± 0,1%
Alíquota 12	32,8 ± 2,3	0,98 ± 0,03	-2%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 13	40,7 ± 3,3	1,06 ± 0,04	6%	0,6% ± 0,1%
Alíquota 14	47,8 ± 3,4	0,93 ± 0,03	-7%	0,4% ± 0,0%
Alíquota 15	39,8,0 ± 2,7	1,08 ± 0,04	8%	0,6% ± 0,1%

4.3.6. Teste de recuperação

De acordo com Guedes et al. (2013), o teste de recuperação é realizado para verificar se os grãos de quartzo utilizados possuem armadilhas mais profundas, que podem fornecer elétrons para armadilhas utilizadas na determinação da dose equivalente. Neste trabalho, a migração dos referidos elétrons em função do tratamento térmico de 200°C pode superestimar a dose equivalente, implicando em idades não confiáveis. Segundo Murray e Wintle (2000), na prática um pequeno sinal é sempre observado, porém se ele não ultrapassar 5% do natural é considerado insignificante. Do contrário, Murray e Wintle (2003) evidenciam a necessidade da alteração do calor do pré-aquecimento ou rejeição da alíquota.

Guedes et al. (2013) relataram a reprovação das 27 alíquotas da amostra ICL-6 cujo teste de recuperação esteve na média de 9,5%. Buscando solucionar o problema, os autores submetem as alíquotas a novo aquecimento de 260°C, o que fez a média do teste de recuperação de 24 alíquotas cair para 3,4%, com 3 alíquotas descartadas.

Analisando os dois cenários, os autores concluíram que a dose equivalente mudou de 140mGy para 132mGy após o novo aquecimento.

Os valores do teste de recuperação das 15 alíquotas das amostras do leque da Serra do Itacolomi (fácies Gmm) e do leque 1 do Complexo Bonfim Setentrional (fácies Gmm) encontram-se, respectivamente, nas tabelas 5 e 6. Conforme as tabelas, diferente do cenário mencionado acima, os índices estabelecidos para as referidas amostras, bem como para as demais amostras datadas nesse estudo estiveram dentro dos padrões estabelecidos por Murray e Wintle (2003), ou seja, inferiores a 5%, indicando bom fotoesvaziamento dos grãos e ausência de transferência térmica significativa.

Tabela 6. Dose equivalente e testes de reciclagem e recuperação das 15 alíquotas da amostra da fácies Gmm do leque aluvial 1 do Complexo Bonfim Setentrional.

Amostra: Fácies Gmm do leque aluvial 1 do Complexo Bonfim Setentrional				
Alíquota	Dose Equivalente (Gy)	Teste de Reciclagem	Varição	Teste de recuperação
Alíquota 1	15,6 ± 1,6	1,01 ± 0,03	1%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 2	15,4 ± 1,6	0,96 ± 0,03	-4%	1,0% ± 0,1%
Alíquota 3	16,3 ± 1,6	0,95 ± 0,03	-5%	0,6% ± 0,1%
Alíquota 4	15,4 ± 1,6	1,00 ± 0,03	0%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 5	15,4 ± 1,3	0,97 ± 0,03	-3%	0,8% ± 0,1%
Alíquota 6	18,1 ± 1,7	0,96 ± 0,04	-4%	0,4% ± 0,1%
Alíquota 7	16,4 ± 1,6	0,95 ± 0,03	-5%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 8	15,7 ± 1,6	0,96 ± 0,03	-4%	0,8% ± 0,1%
Alíquota 9	15,1 ± 1,5	0,93 ± 0,03	-7%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 10	16,1 ± 1,6	0,93 ± 0,03	-7%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 11	17,8 ± 1,6	0,97 ± 0,03	-3%	0,6% ± 0,0%
Alíquota 12	16,8 ± 1,6	0,99 ± 0,03	-1%	0,7% ± 0,1%
Alíquota 13	18,2 ± 1,5	1,00 ± 0,03	0%	0,4% ± 0,0%
Alíquota 14	17,4 ± 1,6	1,00 ± 0,03	0%	0,5% ± 0,0%
Alíquota 15	18,0 ± 1,6	1,08 ± 0,03	8%	0,5% ± 0,0%

4.3.7. Fotoesvaziamento dos grãos

Guedes et al. (2011) acreditam que o fotoesvaziamento incompleto antes do soterramento dos grãos é uma das mais comuns influências na obtenção das idades. Isso porque a radiação ionizante que não foi liberada no contato com a luz solar soma-se a mesma grandeza acumulada pós-soterramento, levando a superestimação da idade de deposição. De acordo com Ritenour (2008), tal fato é mais comum quando se trabalha com sedimentos subaquosos e depósitos com pouco transporte sedimentar. Nesse sentido, a estratégia de amostrar preferencialmente as fácies mais distais dos leques aluviais bem como de utilizar o protocolo com 15 alíquotas foram de suma importância para evitar datar grãos com fotoesvaziamento incompleto. Além disso, Olley et al. (1998) e Wallinga (2002) constataram que os depósitos fluviais de granulometria mais grossa são mais bem fotoesvaziados que os finos, uma vantagem deste estudo já que as fácies dos leques aluviais são preponderantemente cascalhosas.

No protocolo SAR, diversos autores atribuem a alta dispersão de doses equivalentes das diversas alíquotas de uma única amostra ao fotoesvaziamento incompleto (e.g., OLLEY et al. 1999; MURRAY e OLEY, 2002; LIAN e ROBERTS, 2006; GUEDES et al. 2011; ALEXANDERSON e MURRAY, 2012; GUEDES et al. 2013; SAWAKUCHI et al. 2016). Nesse sentido, para Aranold e Roberts (2009), em sedimentos com bom fotoesvaziamento, essa dispersão não pode ultrapassar os 35%. Adicionalmente, Guedes et al. (2013) interpretaram histogramas e atribuíram a bimodalidade das alíquotas ao fotoesvaziamento incompleto.

Nas figuras 6, 7 e 8 encontram-se os gráficos *radial plot* com a dispersão das doses equivalentes das 15 alíquotas dos sedimentos datados nesse estudo. Encontram-se também os valores da dispersão total e a dose equivalente representativa de cada uma delas, esta última calculada pelo modelo de idade central. Nas mesmas figuras tem-se os gráficos de densidade de Kernel, que apresenta de maneira contínua a frequência de ocorrência das doses equivalentes nas alíquotas. Consenso é que as amostras possuem valores de dispersão diversificados e nenhum deles ultrapassa os 35% (ARANOLD e ROBERTS, 2009). Tal fato indica que os grãos estiveram expostos à luz solar por pelo menos 16 horas antes do soterramento (Jain et al., 2004), acarretando no seu fotoesvaziamento completo.

Divergente do exposto acima, a bimodalidade da frequência das doses equivalentes de quatro amostras podem gerar incertezas a seu respeito (Guedes et al., 2013), demandando análises mais críticas e acuradas. Acredita-se que essa (falsa) bimodalidade das 4 amostras esteja principalmente associada ao detalhamento do eixo x do gráfico. Além disso, elas podem estar associadas às desigualdades naturais da dose equivalente (KALCHGRUBER et al. 2003) ou aos assimétricos níveis de saturação dos grãos (RODNIGHT et al., 2006). Isso porque a diferença entre as doses equivalentes das alíquotas bimodais é de no máximo 10 Gy, pouco expressiva se comparada aos grãos analisados por Guedes et al. (2013), que alcança os 60 Gy. Em outras palavras, embora bimodais, as doses mensuradas são (pouco) discrepantes devido às características naturais da luminescência dos sedimentos, não pelo fotoesvaziamento incompleto (RODNIGHT et al. 2006). Os valores satisfatórios da dispersão discutidos anteriormente corroboram tal constatação. Ademais, as armadilhas profundas que podem ter contribuído para a superestimação das idades foram descartadas durante o teste de recuperação.

Lopes et al. (2020) descreveram um percentual de dispersão de 17% para fácies Gcm do leque 3 do Complexo Bonfim Setentrional, 12% para a fácies Gcm do leque 1 do Complexo Bonfim Setentrional e, novamente, 12% para fácies Gt do leque 2 do mesmo complexo. De acordo com os autores, as doses equivalentes de suas alíquotas são unimodais e pouco heterogêneas, o que sugere confiabilidade das idades.

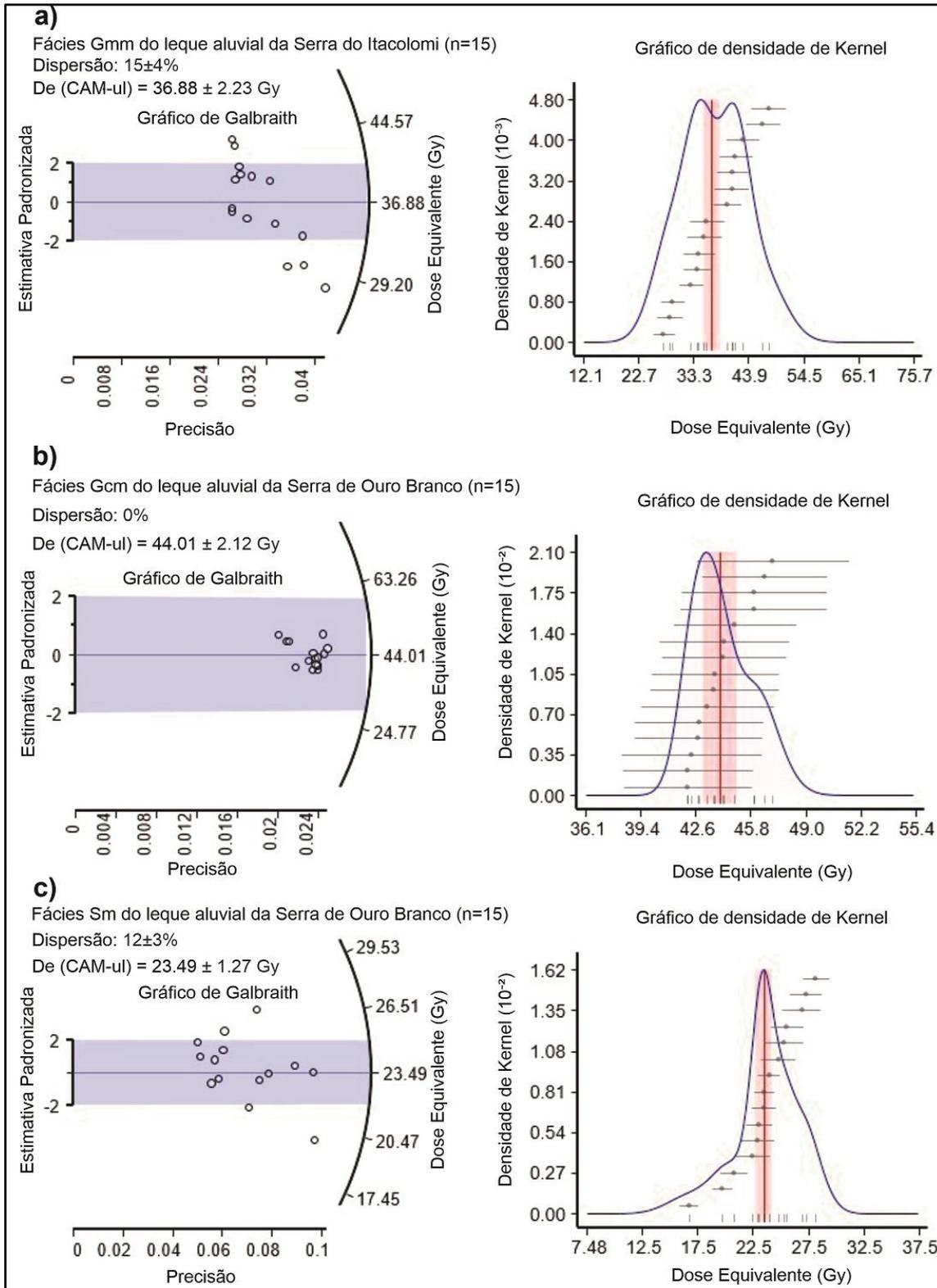


Figura 6. Gráficos *radial plot* e densidade de Kernel com a distribuição das doses equivalentes das 15 alíquotas das amostras: a) fácies Gmm do leque aluvial da Serra do Itacolomi; b) fácies Gcm do leque aluvial da Serra de Ouro Branco; c) fácies Sm do leque aluvial da Serra de Ouro Branco.

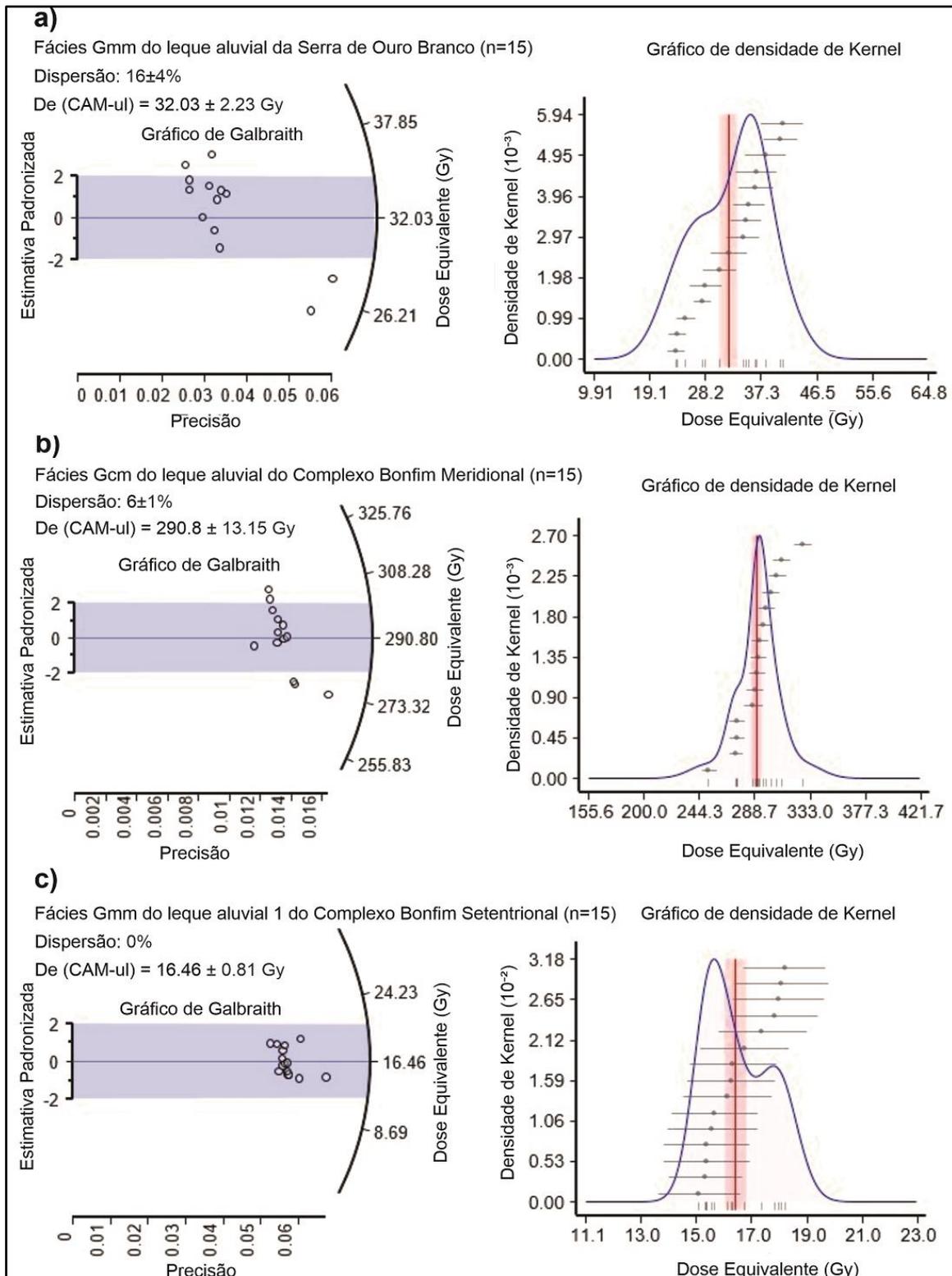


Figura 7. Gráficos *radial plot* e densidade de Kernel com a distribuição das doses equivalentes das 15 alíquotas das amostras: a) fácies Gmm do leque aluvial da Serra de Ouro Branco; b) fácies Gcm do leque aluvial do Complexo Bonfim Meridional; c) fácies Gmm leque aluvial 1 do Complexo Bonfim Setentrional.

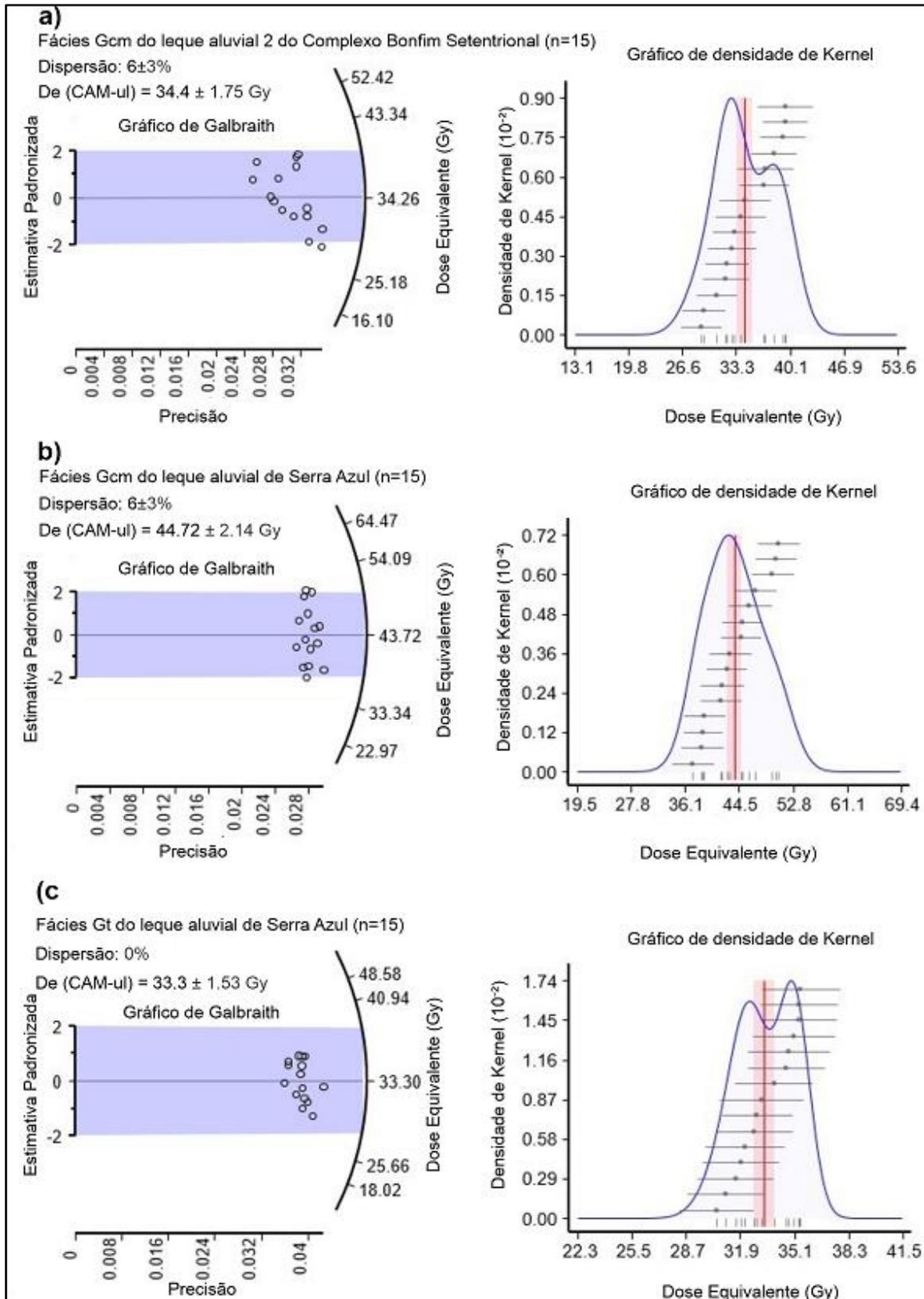


Figura 8. Gráficos *radial plot* e densidade de Kernel com a distribuição das doses equivalentes das 15 alíquotas das amostras: a) fácies Gcm do leque aluvial 2 do Complexo Bonfim Setentrional; b) fácies Gcm do leque aluvial de Serra Azul; c) fácies Gt do leque aluvial de Serra Azul.

5. Conclusões

Com base neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser tomadas:

- 1) O uso de tubos metálicos, amostrador e alavanca de retirada dos tubos são ferramentas importantes para coleta de sedimentos rudáceos (como os de leques aluviais) e cimentados. Destaca-se a importância do amostrador e alavanca, desenvolvidos pelos autores deste trabalho, na menor demanda do esforço físico e do tempo de amostragem. Tais fatores, conseqüentemente, implicaram na boa qualidade das amostras.
- 2) A análise crítica dos dados de laboratório, referentes a concentração de água, radiação cósmica, ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K nas amostras datadas convergem para taxas dose confiáveis. O mesmo ocorre com os dados observados após a inserção da dose teste, dos testes de reciclagem e recuperação e da análise da dispersão das idades das 15 alíquotas, parâmetros da taxa de dose. Em outras palavras, são idades confiáveis.
- 3) Depósitos rudáceos, como os de leques aluviais, mesmo aqueles com granulometria preponderante de grânulos, seixos, calhaus e matações podem ser datados por LOE com eficiência.

Contribuições dos Autores: F. A. L. contribuiu com todas as etapas desse trabalho, uma vez que ele representa parte dos dados obtidos em seu doutorado. P. de T. A. C. e C. E. L. atuaram na supervisão da pesquisa, escrita e revisão do artigo. A. de C. contribuiu na coleta de amostras para datação, tratamento dos dados e revisão do artigo. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), por meio da bolsa de doutorado (processo 169267/2017-2) e taxa de bancada.

Agradecimentos: Fabrício Antonio Lopes agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado e taxa de bancada no período de realização do presente estudo. Paulo de Tarso Amorim Castro agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa. Os autores agradecem ao Renato Coelho Dias pelo suporte em trabalhos de campo e na confecção do amostrador.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Não houve qualquer influência pessoal na representação e interpretação dos dados. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

1. AITKEN, M.J. 1998. An Introduction to Optical Dating. *The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence*. Oxford, New York, Tokyo: Oxford University Press. 267p.
2. ALEXANDERSON H, MURRAY A. S. 2009. Problems and potential of OSL dating Weichselian and Holocene sediments in Sweden. *Quaternary Science Reviews*, 1-14.
3. ALMEIDA F. F. M. 1977. O Cráton de São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4): 349-364.
4. ARNOLD L.J. ROBERTS R.G. 2009. Stochastic modeling of multi-grain equivalent dose (De) distributions: implications for OSL dating of sediment mixtures. *Quaternary Research*, 55:159-167.
5. BARROS L.F.P., MAGALHÃES JUNIOR A. P. 2020. Late quaternary landscape evolution in the Atlantic Plateau (Brazilian highlands): Tectonic and climatic implications of fluvial archives. *Earth Science Reviews*, 207: 103-228.
6. BARROS, L.F.P., COE, H.H.G., SEIXAS, A.P., MAGALHÃES JR., A.P., MACARIO, K.C.D. 2016. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). *J. S. Am. Earth Sci.* 67, 71–88.
7. BANERJEE D, BØTTER-JENSEN L, MURRAY AS. 1999. Retrospective Dosimetry: preliminary use of the single alíquota regeneration (SAR) protocol for the measurement of quartz dose in young house bricks. *Radiat Prot Dosime* 84: 421-426.
8. FUCHS M., LANG A. 2001. OSL dating of coarse-grain fluvial quartz using single-aliquot protocols on sediments from NE Peloponnese, Greece. *Quaternary Science Reviews* 20: 783-787.
9. FITZSIMMONS K E., RHODES E J., BARROWS T T. 2010. OSL dating of southeast Australian quartz: A preliminar assessment of the luminescence characteristics and behaviour. *Quaternary Geochronology* 5: 91-95.

10. GUEDES C.C.F., SAWAKUCHI A.O., GIANINNI P.C.F., DEWITT R., AGUIAR V.A.P.T.V. 2011. Datação por Luminescência Opticamente Estimulada: Princípios e Aplicabilidade nos Depósitos Sedimentares Brasileiros. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13, Búzios, *Anais...*1:1-5.
11. GUEDES C.C.F., SAWAKUCHI A.O., GIANINNI P.C.F., DEWITT R., AGUIAR V.A.P.T.V. 2013. Luminescence characteristics of quartz from Brazilian sediments and constraints for OSL dating. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(4): 1303-1316.
12. HUNTLEY DJ. 1985. On the zeroing of the thermoluminescence of sediments. *Phys Chem Miner* 12: 122-127.
13. JAIN M., MURRAY A.S., BOTTER-JENSEN L. 2004. Optically stimulated luminescence dating: How significant is incomplete light exposure in fluvial environments? *Quaternaire*, 15: 143-157.
14. KALCHGRUBER R., FUCHS M., MURRAY A S., G A. 2003. Wagner Evaluating dose-rate distributions in natural sediments using α -Al₂O₃: C grains. *Radiat. Meas.*, 37: 293-297
15. KENWORTHY, M.K., RITTENOUR, T.M., PIERCE, J.L., SUTFIN, N.A., SHARP, W.D. 2014. Luminescence dating without sand lenses; An application of OSL to coarse-grained alluvial fan deposits of the Lost River Range, Idaho, USA, *Quaternary Geochronology*, doi: 10.1016/j.quageo.2014.03.004.
16. LIAN, O B., ROBERTS, R G. 2006. Dating the Quaternary: progress in luminescence dating of sediments. *Quaternary Science Review*, 25(19/20): 2449-2468.
17. LOPES, F. A.; LANA, C. E.; CASTRO, P. T. A.; LANA, C. C. Paleomorphology of the northwestern of the Quadrilátero Ferrífero (Central Brazil): Stratigraphic and geochronological evidence of a pleistocene alluvial fan system. *Quaternary International*, v. 542, p. 30-40, 2020. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.02.025
18. MACHADO H.A. 2018. *Couças ferruginosas e solos associados em diferentes ambientes do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Tese de Doutorado em Geografia, 170p.
19. MAGALHÃES JUNIOR A.P., CHEREM L.F.S., BARROS L.F.P.; SANTOS, G.B. 2011. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: Late Cenozoic tectonic and climatic implications. *Geomorphology*, 132: 187-194.
20. MAIA L.P., GASTÃO F.G.C., TATUMI S.H., LACERDA L.D. 2011. A Utilização do Método de Luminescência Opticamente Estimulada para a Datação de Sedimentos de Dunas Costeiras do Nordeste Setentrional do Brasil. *Rev. Virtual Quim.*, 3(2): 103-115.
21. MURRAY A AND WINTLE AG. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerativedose protocol. *Radiat Meas* 32: 57-73.
22. MURRAY A., OLLEY J.M. 2002. Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: a status review. *Geochronometria*, 21: 1-16.
23. PRESCOTT J.R., HUTTON, J.T. 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements*, 23(2-3):497-500.
24. RITTERNOUR, T.M. 2008. Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research. *Boreas*. 37: 613-635.
25. ROCCA R.R. 2012. *Estudo dos centros luminescentes de cristais de quartzo aplicados à datação de sedimentos por Luminescência Opticamente Estimulada*. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado em Ciências 112p.
26. ROBERTS H.M. DULLER G.A.T. 2004. Standardised growth curves for optical dating of sediment using multiple-grain aliquots. *Radiat. Meas.*, 38: 241-252.
27. RODNIGHT H. How many equivalent dose values are needed to obtain a reproducible distribution? *Ancient TL*: 26: 3-9.

28. OLLEY J M., CAICHEON G G., ROBERTS R G. 1999. The origin of dose distributions in fluvial sediments, and the prospect of dating single grains from fluvial deposits using optically stimulated luminescence. **Radiation Measurements**, 30: 207-217.
29. 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):402-413.
30. SAWAKUCHI A.O., MENDES V.R., PUPIM F.N, MINELI T.H, RIBEIRO L.M.A.L, ZULAR A., GUEDES C.C.F., GIANNINI P.C.F, NOGUEIRA L., SALLUN W., ASSINE M.L. 2016. Optically stimulated luminescence and isothermal thermoluminescence dating of high sensitivity and well bleached quartz from Brazilian sediments: from Late Holocene to beyond the Quaternary?. **Brazilian Journal of Geology**, 46: 209-226.
31. STOKES S. 1999. Luminescence dating applications in geomorphological research. **Geomorphology**, 29: 153-171.
32. WALLINGA J. 2002. Optically stimulated luminescence dating of fluvial deposits: a review. **Boreas**, 31: 303-322.
33. WINTLE AG AND MURRAY A.S. 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. **Radiat Meas** 41: 369-391.
34. ZHENG CX, ZHOU LP, QIN JT. 2009. Difference in luminescence sensitivity of coarse-grained quartz from deserts of northern China. **Radiat Measuring**, 44: 534-537.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.