

MINERALOGIA DE SEDIMENTOS CLÁSTICOS DE CAVERNA APONTA PARA INTEMPERISMO SEVERO DURANTE O QUATERNÁRIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CAPIVARA¹

Laiane Dias Ribeiro¹
Luiz Paulo Conceição da Silva²
Kamyly Thauany Araujo Costa³
Jadson Costa Nascimento Júnior⁴
Janaina Carla dos Santos⁵
Daniel Vieira de Sousa⁶

INTRODUÇÃO

As cavernas e abrigos rochosos funcionam como locais eficazes de acumulação de sedimentos, e que por serem ambientes relativamente estáveis, favorecem a preservação de inúmeros vestígios do passado. A origem desses sedimentos pode estar relacionada ao colapso de fragmentos do teto de cavernas, transportados por agentes como a água e vento, ou ainda depositados quimicamente (Sasowsky & Mylroie, 2004). Esses sedimentos depositados em cavernas são objetos notáveis para estudos paleambientais (Novello et al., 2012; Utida et al., 2020; Sousa et al., 2023), uma vez que as variações na composição química e mineralógicas destes sedimentos podem registrar condições intempéricas passadas (Arriolabengoa et al., 2018; Egli, Mirabella, Sartori, 2008; Caldeira et al., 2021; Sousa et al., 2023).

¹ O presente trabalho é resultado do projeto de pesquisa financiado pelo CNPq: 432075/2018-6 e FACEPE: APQ-0936-21-52799

¹ Graduanda do Curso de **Geografia** da Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, diasribeirolaiane@gmail.com;

² Graduando pelo Curso de **Geografia** da Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, luizpauloconceicao2015@gmail.com;

³ Graduanda do Curso de **Geografia** da Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, kamyly.thauanycosta@discente.univasf.edu.br;

⁴ Graduado pelo Curso de **Geografia** da Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, jadsonnascimentojcnj@gmail.com;

⁵ Doutora pelo curso de **Geografia** da Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, janaina.santos@univasf.edu.br;

⁶ Professor orientador: Doutor pelo curso de **Geografia** da Universidade Federal do Vale do São Francisco – BA, daniel.vsousa@univasf.edu.br;

O intemperismo é o processo responsável por alterar as rochas, os solos e sedimentos por meio de processos químicos e físicos, que exercem papel fundamental nos ciclos de nutrientes e água nos solos e ecossistemas (Bonnet et al., 2022). O intemperismo físico está relacionado à fragmentação física das rochas e sedimentos, enquanto o químico, está ligado às alterações químicas e mineralógicas. A precipitação e a temperatura são os principais agentes do intemperismo, entretanto a vegetação também desempenha um papel fundamental (Lepsch, 2010). Os ácidos orgânicos produzidos pelas raízes, bem como a decomposição bacteriana de resíduos orgânicos, aceleram a alteração química dos minerais das rochas, solos e sedimentos (Formoso, 2005; Egli, Mirabella, Sartori, 2008).

As alterações climáticas globais impactam os ciclos biogeoquímicos, modificam o tipo e a taxa dos processos intempéricos, a taxa de formação do solo, bem como as transformações mineralógicas (Egli, Mirabella; Sartori, 2008). Estudos mostram que a análise mineralógica de sedimentos é uma ferramenta adequada para identificar variações climáticas e ambientais do passado (Egli, Mirabella, Sartori, 2008, El Albani, 2011; Sousa et al., 2023).

O nordeste do Brasil, em especial a região do semiárido, vivenciou diferentes condições intempéricas durante o Quaternário, e que estão relacionados aos eventos climáticos de escala global, associados à Heinrich Stadials e Younger Dryas (Bouimetarhan et al., 2018; Sousa et al., 2023). Sousa et al., (2023) ao estudar os sedimentos clásticos da caverna Toca de Cima dos Pilão, localizado nas redondezas do Parque Nacional Serra da Capivara identificam através de estudos micromorfológicos e mineralógicos 5 fases de gênese de Latossolos. As análises de assembleia mineralógica do sedimento revelaram a presença de minerais altamente intemperáveis como Gibssita e Minerais secundários com Al-Hidroxi entre camadas, relacionados aos eventos de Henrich Stadiall e Younger Dryas (Sousa et al., 2023).

Apesar de o trabalho de Sousa et al. (2023) ter apresentado um panorama geral com relação às variações intempéricas para a região onde se localiza o PNSC, ainda há lacunas com relação ao conhecimento detalhado da mineralogia da fração argila, este é o *gap* que este trabalho pretende preencher. Aqui, apresenta-se os resultados preliminares da caracterização da assembleia mineralógica da fração argila, utilizando Difração de Raios-X, dos sedimentos clásticos da caverna Toca de Cima dos Pilão, situada próximo ao Parque Nacional Serra da Capivara (PNSC) – PI, abrangendo uma sequência cronológica ente 76,2 mil anos a 7,9 mil anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Parque Nacional Serra da Capivara (PNSC) situa-se nos municípios de Brejo do Piauí, Coronel José Dias, João Costa e São Raimundo Nonato, no sudeste do Piauí. Possui diversos registros arqueológicos (Guidon e Delíbrios, 1986 apud Oliveira; Santos; Lemos, 2020). Por esse motivo, tornou-se um importante espaço de pesquisas científicas arqueológicas, paleoambientais e geomorfológicas nas áreas semiáridas do Nordeste do Brasil (Oliveira et al., 2014 apud Oliveira; Santos; Lemos, 2020). A caverna Toca de Cima dos Pilão encontra-se no Morro do Sansão, em Sítio do Mocó, município de Coronel José Dias (Oliveira; Santos; Lemos, 2020). A Toca de Cima do Pilão é composta por duas câmaras denominadas Teresinha e La Rotonde (Sousa et al., 2023). O clima regional que abarca o PNSC e circunvizinhança é do tipo BSh (clima tropical semiárido de estepe), segundo o sistema de Köppen e Geiger. A temperatura média anual é de 26,7 °C, a precipitação média anual é de 688 mm e a evapotranspiração potencial média é de 1462 mm (Sousa et al., 2023). A geologia do parque é marcada por dois domínios geológicos: a Província Estrutural da Borborema, representada pela Faixa de Dobramentos Riacho do Pontal, e o domínio sedimentar, representado pela Bacia do Parnaíba (Santos, 2007). Três unidades geomorfológicas estão presentes no parque: planaltos areníticos, cuestras e pedimentos. Devido ao clima semiárido, a vegetação predominante é a Caatinga, que na região do PNSC é encontrada em quatro subtipos: floresta arbórea seca densa, floresta seca arbustiva, floresta seca arbustiva baixa e floresta semidecídua arbustiva (Emperaire, 1980). Na região do parque, há três tipos de solo: os latossolos amarelos distróficos, ocupando principalmente o reverso da cuesta e os pediplanos; o neossolo litólico ao norte, leste e sul do parque; e os neossolos quartzarênicos, encontrados a noroeste e nordeste (Sousa et al., 2023).

Figura 1. A - Imagens de satélite obtida no software Google Earth que ilustram os compartimentos geomorfológicos da região. As linhas vermelhas delimitam o Front da Cuesta, as linhas amarelas indicam os maciços carbonáticos, a linha amarela representa a vista panorâmica da Figura B. B - Vista Panorâmica que ilustram os compartimentos geomorfológicos da área de estudo. A seta amarela indica a localização da caverna. C - Interior da caverna Toca de Cima dos Pilão, o quadro vermelho indica a localização do perfil estudado. D - Estratigrafia estudada. Os números de 1 a 7 indicam os níveis estratigráficos, os demais números são as idades obtidas pelo método LOE.



Fonte: Sousa et al., (2023).

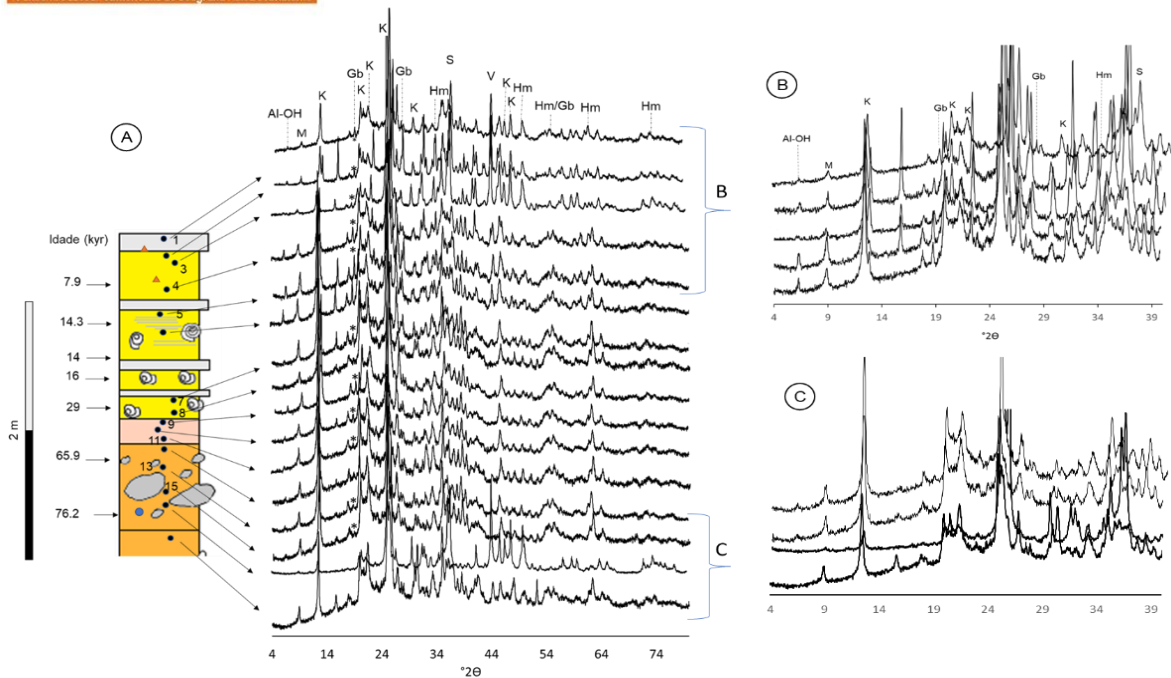
Coleta, preparação das amostras e Difração de Raios-X.

Para estudar as proxies de variações climáticas, foram coletados sedimentos na caverna Toca de Cima dos Pilão, no Parque Nacional da Serra da Capivara, PI. A escolha do local se deu pela presença de depósitos de sedimentos aluviais com fases minerais distintas, que ajudam a compreender a dinâmica das variações climáticas do Nordeste. No pacote sedimentar da caverna, foram mapeadas 10 camadas estratigráficas seguindo as orientações do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (Santos et al., 2005). A primeira camada representa o topo do pacote sedimentar estudado e a décima primeira, a base. Foram recolhidas 16 amostras de sedimentos para análise de DRX. Após o trabalho de campo, iniciaram-se os procedimentos laboratoriais para a separação da terra fina, cascalho e calhaus, e a separação das frações granulométricas (areia, silte, argila), com base nos procedimentos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira et al., 2017). A fração argila foi separada do silte por sedimentação, de acordo com a lei de Stokes. Posteriormente, as amostras de argila foram encaminhadas ao Laboratório Multiusuários de Caracterização de Materiais da UNIVASF para análises mineralógicas, utilizando difração de raios-X (DRX). As medições de difração de raios-X foram realizadas com um difratômetro de pó Bruker D8 Advance Davinci, utilizando radiação Cu-K α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), com o tubo operando a 40 kV / 40 mA em modo contínuo à temperatura ambiente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os difratogramas de DRX foram identificado nas amostras os minerais: Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Mica (possivelmente Muscovita - $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$), Hematita (Fe_2O_3), Gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), Strengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e um possível pico que representa um mineral secundário no qual possui Hidróxido de alumínio entrecamadas (Figura 2), e que é comum em ambientes com intemperismo intenso e podendo ser encontrado em Latossolos (Ker, 1997).

Figura 2. A - Unidades estratigráficas e difratogramas DRX dos sedimentos da caverna; B - Conjunto de camadas superiores (topo) onde há maior presença de Gibbsita; C - Conjunto de camadas inferiores (base) onde a Gb é ausente e vai surgindo progressivamente. As siglas indicam os minerais identificados: M - Muscovita, K - Caulinita, Gb - Gibbsita, Hm - Hematita, mineral com Al-Hidróxi entrecamadas, S - Strengita e V - Variscita.



Fonte: Dos autores, 2024.

A Caulinita e a Mica estão presentes em todas as amostras ao longo da sequência sedimentar, enquanto a Gibbsita e os fosfatos secundários (Strengita e Variscita) são encontradas de forma proeminente na base e no topo, correspondendo às camadas 1, 2 e 3 (topo), que são apresentadas idades entre 7,9 a 14,3 mil anos, e às camadas 9 e 10 (base), com estimativa de 65,9 a 76,2 mil. As micas encontradas nos sedimentos (possivelmente muscovita) são minerais primários herdados da rocha matriz. Solos e sedimentos ricos em minerais primários são associados a ambientes de baixo intemperismo químico, onde prevalece o intemperismo físico. As caulinitas são produtos das alterações químicas de minerais primários como micas e feldspatos, onde um tetraedro de silício é perdido devido aos processos de hidrólise, que terá como produto final um filosilicato com estrutura 1:1. A caulinita ocorre em diversos ambientes, e normalmente está associada a condições de intemperismo moderada a alta, a depender das concentrações de bases trocáveis existentes nos solos, bem como da associação com outros minerais como a gibbsita e óxidos de Fe.

O hidróxido de alumínio, Gibbsita, é mais eminente nas camadas 2 e 4, datadas respectivamente em 7,9 e 14,3 mil anos. A Hematita é mais notável nas camadas 1 e 2 (topo), com estimativa de 7,9 mil anos AP, e nas camadas 9 e 10 (base), estimadas entre 65,9 a 76,2 mil anos AP. A Gibbsita tem sua formação a partir do intenso intemperismo químico intenso em climas quentes e úmidos, devido a significativa lixiviação da sílica e dos elementos alcalinos (Lepsch & Buol, 1974; Schwarz & Aleva 1994; Herrmann e outros, 2007; Sousa et al. 2023).

Os minerais fosfáticos secundários (Strengita e Variscita) podem ter sua gênese vinculados a três fatores: i) à decomposição de guano de morcego ii) a decomposição da matriz orgânica de fósseis, ou iii) a junção dos dois fatores anteriores. Este fósforo proveniente da decomposição de material orgânico inicialmente será adsorvido, preferencialmente por óxidos de Fe e Al.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As interpretações preliminares deste trabalho indicam que a análise da assembleia mineralógica da fração argila foi responsiva com relação as alterações das condições de intemperismo. Os dados mostram que a base do pacote sedimentar é livre de gípsita, sugerindo baixa a moderada condição de intemperismo. O intemperismo químico tem sua maior expressão em sincronia com Henrich Stadial 1 entre 16 mil anos AP e 14 mil anos AP, e possivelmente também está associado ao Younger Dryas, porém com menor intensidade, indicando que as condições de umidade foram maior em HS1 do que em YD.

Palavras-chave: Mineralogia; Intemperismo; Quaternário; Mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal do Vale do São Francisco.

REFERÊNCIAS

- ARRIOLABENGOA, M.; IRIARTE, E.; ARANBURU, A.; YUSTA, I.; ARNOLD, L. J.; DEMURO, M.; ARRIZABALAGA, A. Reconstructing the sedimentary history of Lezetxiki II cave (Basque Country, northern Iberian Peninsula) using micromorphological analysis. **Sedimentary Geology**, v. 372, p. 96-111, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.05.006>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- BONNET, M.; CANER, L.; SIITARI-KAUPPI, M.; MAZURIER, A.; MEXIAS, A. S.; DANI, N.; SARDINI, P. Weathering of Viamão granodiorite, South Brazil: Part 1 – Clay minerals formation and increase in total porosity. **Geoderma**, v. 424, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115968>. Acesso em: 18 ago. 2024.

BOUIMETARHAN, I.; CHIESSI, C. M.; GONZÁLEZ-ARANGO, C.; DUPONT, L.; VOIGT, I.; PRANGE, M.; ZONNEVELD, K. Intermittent development of forest corridors in northeastern Brazil during the last deglaciation: Climatic and ecologic evidence. **Quaternary Science Reviews**, v. 192, p. 86-96, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.05.026>.

EGLI, M.; MIRABELLA, A.; SARTORI, G. The role of climate and vegetation in weathering and clayey mineral formation in late Quaternary soils of the Swiss and Italian Alps. **Geomorphology**, v. 102, p. 307-324, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.001>. Acesso em: 02 ago. 2024.

EMPERAIRE, Laure. Le climat In La caatinga du sud-est du Piauí (Brésil): Étude ethnobotanique. 1980. Tese (Doutorado em Etnobotânica) – Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, 1980.

FORMOSO, M. L. L. Some topics on geochemistry of weathering: a review. Anais da Academia Brasileira de Ciências, [s. l.], 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/d6jsXZh4B8yJKvGvzCxxm3m/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 ago. 2024.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11493/8231>. Acesso em: 10 ago. 2024.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e Mineralogia do Solo: Conceitos Básicos e Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NASCIMENTO JUNIOR, J. C. Estratigrafias que falam: estudo paleoambiental na região do Parque Nacional Serra da Capivara por meio do depósito sedimentar no Vale da Serra Branca. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Senhor do Bonfim, 2023.

NOVELLO, V. F.; CRUZ, F. W.; KARMANN, I.; BURNS, S. J.; STRÍKIS, N. M.; VUILLE, M.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L.; SANTOS, R. V.; FRIGO, E.; BARRETO, E. A. S. Variabilidade climática multidecadal no Nordeste do Brasil durante os últimos 3000 anos com base em registros de isótopos de espeleotemas. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 23, p. L23706, 2012.

SANTOS, J. C. dos. O Quaternário do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil: morfoestratigrafia, sedimentologia, geocronologia e paleoambientes. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2007.

Santos, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2005. 100 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330369>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SASOWSKY, I. D.; MYLROIE, J. (Ed.). **Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate**. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2007.

SOUSA, D. V. et al. Relict soil features in cave sediments record periods of wet climate and dense vegetation over the last 100 kyr in a present-day semiarid region of northeast Brazil. **Catena**, v. 226, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107092>. Acesso em: 15 ago. 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. revista e ampliada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. p. 21 - 27.

UTIDA, G.; CRUZ, F. W.; SANTOS, R. V.; SAWAKUCHI, A. O.; WANG, H.; PESSENDA, L. C. R.; NOVELLO, V. F.; VUILLE, M.; STRAUSS, A. M.; BORELLA, A. C.; STRÍKIS, N. M.; GUEDES, C. C. F.; ANDRADE, F. R. D.; ZHANG, H.; EDWARDS, R. L. Climate change in northeastern Brazil from the deglacial periods to Meghalayan and related environmental impacts. **Quaternary Science Reviews**, v. 250, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106655>. Acesso em: 20 ago. 2024.