

## CONSIDERAÇÕES SOBRE A DINÂMICA PALEOAMBIENTAL A PARTIR DA ANÁLISE DE DEPÓSITOS DE TANQUE NO SÍTIO PALEONTOLÓGICO JIRAU, MUNICÍPIO DE ITAPIPOCA (CE)

*CONSIDERATIONS ON THE PALEOENVIRONMENTAL DYNAMICS FROM THE ANALYSIS OF TANK DEPOSITS AT THE JIRAU PALEONTOLOGICAL SITE, MUNICIPALITY OF ITAPIPOCA (CE)*

*CONSIDERACIONES SOBRE LA DINÁMICA PALEOAMBIENTAL A PARTIR DEL ANÁLISIS DE DEPÓSITOS DE TANQUES EN EL SITIO PALEONTOLÓGICO JIRAU, MUNICIPIO DE ITAPIPOCA (CE)*






### RESUMO

Os depósitos de tanque constituem pequenos corpos sedimentares de idade quaternária que preenchem os tanques naturais em afloramentos rochosos, em especial, lajedos e domos, na região semiárida do Nordeste do Brasil. Esses depósitos são, na maior parte das vezes, sedimentos siliciclásticos estratificados e, eventualmente, fossilíferos, preservando restos de uma diversificada megafauna pré-histórica que habitou a área durante o Pleistoceno Final - Holoceno Inicial. No presente trabalho, o depósito que preenche o interior do tanque natural fossilífero Jirau 01, no Sítio Paleontológico Jirau - município de Itapipoca (CE), corresponde ao principal alvo de investigação. A análise de amostras coletadas em campo indica que a dinâmica deposicional relaciona-se a atuação de diversos fatores que influenciaram os processos superficiais e o transporte de sedimentos em distintas escalas espaço-temporais. Há evidências de pulsos erosivo-deposicionais, sobretudo, de eventos referentes a remobilização de mantos de alteração - decorrentes do intemperismo físico-químico no entorno do sítio paleontológico - e de lascas de descamação em estado saprolítico na parede lateral do tanque que proveram parte do material sedimentar do depósito de tanque. Esta discussão subsidia, mesmo ao nível de escala local, na compreensão da reconstituição geológica-geomorfológica e paleontológica do semiárido nordestino. Assim, a temática associada ao preenchimento dos tanques naturais constitui um capítulo importante sobre a Geomorfologia do Quaternário, em especial do semiárido brasileiro, uma vez que tais feições de relevo, quando completamente colmatadas, tendem a preservar informações sobre a dinâmica da paisagem e de seu entorno, auxiliando na reconstituição de parte do cenário paleoambiental.

**Palavras-chave:** Depósitos de tanque. Tanques naturais. Paleoambientes. Geomorfologia do Quaternário. Semiárido nordestino.

### ABSTRACT

The tank deposits are small sedimentary bodies of quaternary age that fill natural tanks in rocky outcrops, especially granite plains (lajedos) and domes, in the semi-arid region of Northeastern Brazil. These deposits are, in most cases, stratified siliciclastic sediments and, eventually, fossiliferous, preserving remains of a diverse prehistoric megafauna that inhabited the area during the Late Pleistocene - Early Holocene. In the present work, the deposit that fills the interior of the fossiliferous natural tank Jirau 01, in the Paleontological Site Jirau - municipality of Itapipoca (CE), corresponds to the main target of investigation. The analysis of samples collected in the field indicates that the depositional dynamics is related to the action of several factors that influenced the surface processes and the transport of sediments in different space-time scales. There is evidence of erosive-depositional pulses, above all, events related to the remobilization of alteration mantles - resulting from physical-chemical weathering around the paleontological site - and flakes of desquamation in a saprolitic state on the side wall of the tank that provided part of the material sediment from the tank deposit. This discussion subsidizes, even at the local scale level, the understanding of the geological-geomorphological and paleontological reconstitution of the northeastern semi-arid region. Thus, the theme associated with filling in natural tanks constitutes an

-  Felipe Rodrigues Waldherr <sup>a</sup>
-  Telma Mendes da Silva <sup>a</sup>
-  Celso Lira Ximenes <sup>b</sup>
-  Henrique Sampaio de Castro <sup>c</sup>
-  Ricardo Matos Machado <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>b</sup> Museu de Pré-história de Itapipoca (MUPHI), Itapipoca, CE, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

DOI: 10.12957/geouerj.2023.74599

**Correspondência:** felipewald@gmail.com;  
telmageo@gmail.com;  
clx.ximenes@gmail.com;  
henrique-sdc@hotmail.com;  
r.matosmachado@gmail.com

**Recebido em:** 31 mar. 2023

**Revisado em:** 18 mai. 2023

**Aceito em:** 07 jun. 2023



important chapter on Quaternary Geomorphology, especially in the Brazilian semi-arid region, since such relief features, when completely filled in tend to preserve information about the dynamics of the landscape and its environment. surroundings, helping to reconstitute part of the paleoenvironmental scenario.

**Keywords:** Tank deposits. Natural tanks. Paleoenvironments. Quaternary Geomorphology. Northeast semiarid.

## RESUMEN

Los depósitos de tanques son pequeños cuerpos sedimentarios de edad cuaternaria que llenan tanques naturales en afloramientos rocosos, especialmente lajes (lajedos) y domos, en la región semiárida del noreste de Brasil. Estos depósitos son, en la mayoría de los casos, sedimentos siliciclásticos estratificados y, eventualmente, fosilíferos, conservando restos de una diversa megafauna prehistórica que habitó la zona durante el Pleistoceno Tardío - Holoceno Temprano. En el presente trabajo, el yacimiento que llena el interior del tanque fosilífero natural Jirau 01, en el Sitio Paleontológico Jirau - municipio de Itapipoca (CE), corresponde al principal objetivo de investigación. El análisis de las muestras recolectadas en campo indica que la dinámica depositacional está relacionada con la acción de varios factores que influyeron en los procesos superficiales y el transporte de sedimentos en diferentes escalas espacio-temporales. Se evidencian pulsos erosivos-depositacionales, principalmente eventos relacionados con la removilización de mantos de alteración - resultantes de la meteorización físico-química alrededor del yacimiento paleontológico - y lascas de descamación en estado saprolítico en la pared lateral del tanque que proporcionó parte del sedimento material del depósito del tanque. Esta discusión subsidia, incluso a escala local, la comprensión de la reconstitución geológica-geomorfológica y paleontológica de la región semiárida del noreste. Así, el tema asociado al relleno de tanques naturales constituye un capítulo importante de la Geomorfología del Cuaternario, especialmente en la región del semiárido brasileño, ya que tales rasgos del relieve, cuando están completamente rellenos, tienden a preservar informaciones sobre la dinámica del paisaje y de su entorno. entorno, ayudando a reconstituir parte del escenario paleoambiental

**Palabras-clave:** Depósitos de tanques. Tanques naturales. Paleoambientes. Geomorfología del Cuaternario. Semiárido del Noreste.



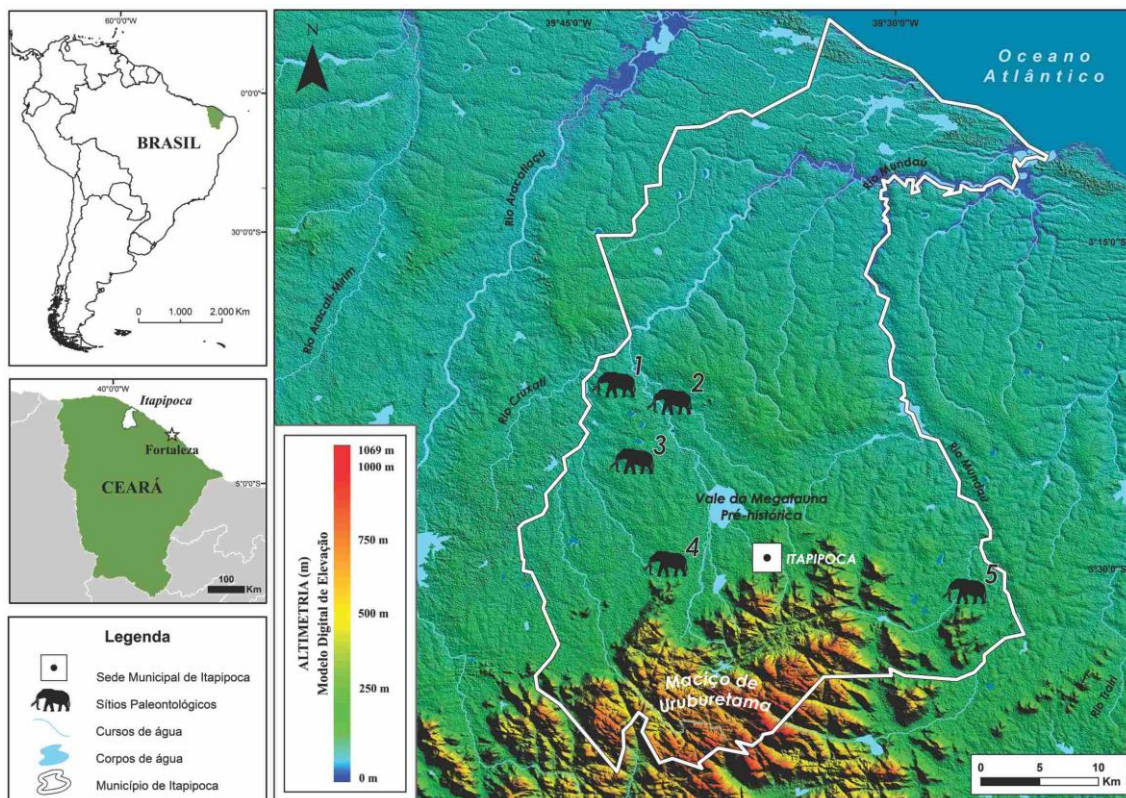
## INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil, os tanques naturais têm servido ao longo do tempo como eixos preferenciais de coalescência de fluxos de sedimentos transportados a partir do escoamento superficial (WALDHERR *et al.*, 2017; 2019). Cabe ressaltar que entre o material carregado para o interior dos tanques, a maior parte das vezes constituído por sedimentos siliciclásticos, pode também ser encontrada concentrações de fragmentos ósseos, convertendo essas depressões naturais em autênticas tanatocenoses (WALDHERR *et al.*, 2019). No município de Itapipoca, na porção norte do estado do Ceará, os tanques naturais são formas recorrentes no entorno do maciço granítico de Uruburetama (XIMENES, 2003; 2009), formando estreitas depressões preenchidas por depósitos sedimentares.

A conformação geomorfológica entre os tanques naturais e os depósitos fossilíferos constitui uma característica, até o presente momento, exclusiva (*sui generis*) do semiárido nordestino brasileiro (WALDHERR *et al.*, 2019). A ocorrência de feições semelhantes aos tanques naturais tem sido reportada em diversos continentes (GODARD, 1977; TWIDALE; VIDAL-ROMANÍ, 2005). No entanto, não há documentação até o presente momento sobre a presença de depósitos fossilíferos da megafauna pré-histórica do Quaternário no interior destas depressões naturais em um contexto internacional (WALDHERR *et al.* 2017). Os depósitos de tanque consistem um tipo singular de armazenamento de depósito fossilífero de idade quaternária da América do Sul e, em especial, nos tanques em rochas do embasamento pré-cambriano no semiárido brasileiro (ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013). Estes depósitos, estratificados e, ocasionalmente, fossilíferos, preservam restos de uma diversificada fauna, incluindo a megafauna do Pleistoceno Final - Holoceno Inicial; por exemplo, megaterídeos, gliptodontídeos, gonfoterídeos, toxodontídeos, macrauqueniídeos e felídeos (XIMENES, 2003, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

No presente trabalho, foi selecionado o tanque natural fossilífero Jirau 01, área de referência no Sítio Paleontológico Jirau (Figura 1), para o levantamento de dados a partir do registro estratigráfico do depósito de tanque. O preenchimento sedimentar, constituído por material siliciclástico e fossilífero, ainda se encontra resguardado no interior do tanque. Uma cacimba (poço) aberta na década de 1990 sobre o depósito de tanque expôs o perfil estratigráfico, junto as camadas assentadas sobre o embasamento granítico. A análise estratigráfica e sedimentológica do depósito de tanque tem o objetivo de compreender, de modo incipiente, a dinâmica da paisagem - no Sítio Paleontológico Jirau e entorno - responsável pelo preenchimento sedimentar do tanque natural Jirau 01.

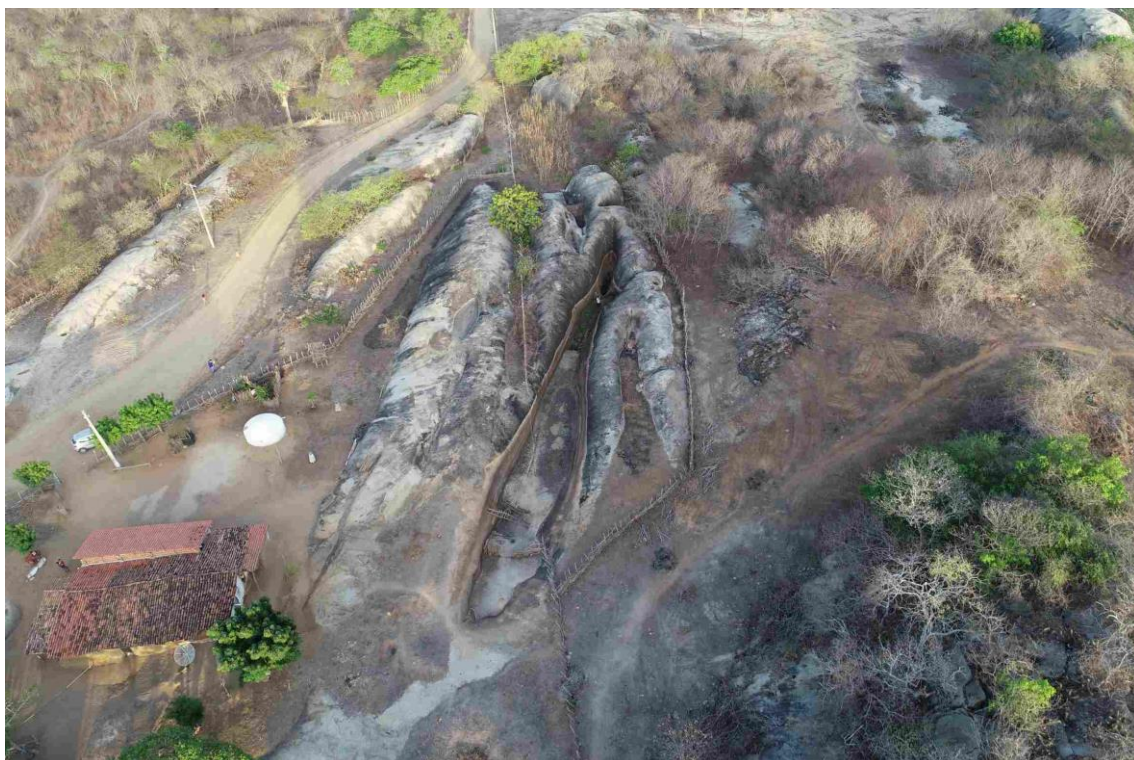
**Figura 1.** Sítios paleontológicos com ocorrência de tanques naturais fossilíferos no município de Itapipoca (CE): 1 - Sítio Paleontológico Jirau; 2 - Sítio Paleontológico Coelho; 3 - Sítio Paleontológico Lajinhas; 4 - Sítio Paleontológico João Cativo; e 5 - Sítio Paleontológico Pedra D'água. O ícone que indica os sítios paleontológicos corresponde ao *proboscídeo Notiomastodon platensis* (AMEGHINO, 1888), um dos exemplares de megamamíferos extintos que habitaram o Vale da Megafauna Pré-histórica.



Fonte: Waldherr *et al.* (2022).

O tanque natural Jirau 01 está localizado no município de Itapipoca (CE), porção norte do estado do Ceará. A depressão é compreendida como um tanque natural escarpado de grandes dimensões e com morfologia de fundo do tipo côncavo (Figuras 2 e 3). Em relação aos aspectos dimensionais, o tanque natural possui extensão de mais de 50 metros de comprimento, dispondo de largura máxima de 5,30 metros e profundidades que superam 5 metros (WALDHERR *et al.*, 2022).

**Figura 2.** Imagem obtida por drone do tanque natural fossilífero Jirau 01, no Sítio Paleontológico Jirau - Itapipoca (CE). O registro fotográfico foi realizado no período de estiagem.



Fonte: Henrique Sampaio, Dez./2021.

**Figura 3.** Tanque natural fossilífero Jirau 01, no Sítio Paleontológico Jirau - Itapipoca (CE).



Fonte: Felipe Waldherr, Dez./2021.



## MATERIAL E MÉTODOS

Em atividade de campo no mês de dezembro de 2021 foi realizado o perfil sedimentográfico e coletadas três amostras do material de preenchimento do interior do tanque natural Jirau 01 (Sítio Paleontológico Jirau). A partir da descrição estratigráfica e mensurações locais foi elaborado o perfil sedimentográfico. O material sedimentar coletado de cada camada reconhecida foi encaminhado para análise em laboratório de geologia sedimentar e com intuito de elaborar uma investigação detalhada dos sedimentos foi realizada análises em microscópio estereoscópio com ampliação de 40x. Os termos para classes de tamanhos de grãos foram empreendidos de acordo com a classificação de Blair e McPherson (1999) e Terry e Golf (2014).

Cabe ressaltar que foi elaborado um levantamento prévio sobre os estudos acadêmicos realizados no tanque natural Jirau 01 (XIMENES, 2003; 2009; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013). Entre as pesquisas consultadas, têm destaque as análises tafonômicas sobre a camada fossilífera do depósito de tanque, o qual viabilizou uma discussão multidisciplinar em relação as condições paleoambientais e, conseqüentemente, da dinâmica da paisagem durante o período de exposição e, posteriormente, colmatção do tanque natural Jirau 01.

## DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A presença de uma cacimba que foi escavada na zona central do tanque natural permitiu a visualização do perfil estratigráfico e, conseqüentemente, a análise do registro sedimentar do depósito de tanque (Figura 4). Os registros estratigráficos preservados no interior do tanque subsidiaram a compreensão sobre a dinâmica local da paisagem durante o Quaternário.

**Figura 4.** Imagem do preenchimento sedimentar do tanque natural Jirau 01 onde foi realizado o levantamento estratigráfico.

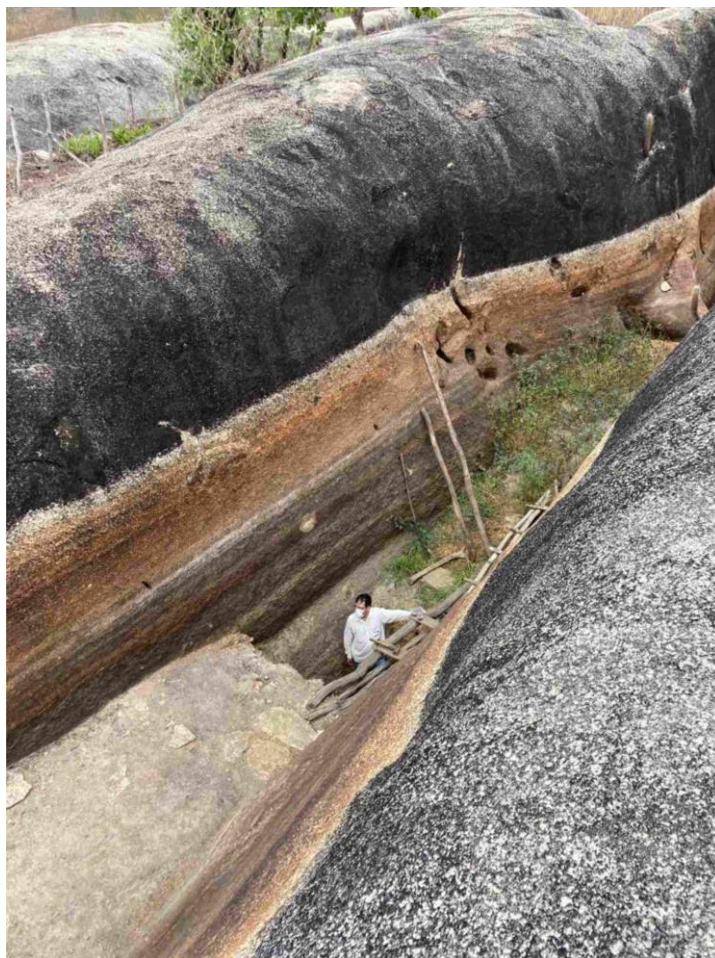


Foto: Henrique Sampaio, Dez./2021.

O perfil estratigráfico configura-se como um recorte do quadro paleopaisagístico (Figura 5), subsidiando à compreensão da sequência de eventos erosivo-deposicionais, a saber: período de exposição do tanque natural; desenvolvimento de uma zona de acomodação a partir do esvaziamento do tanque (resultante de fluxos hidrodinâmicos); e seu preenchimento pela superposição de sedimentos lamosos ao conglomeráticos basais pleistocênicos (Figura 5), formando a atual feição deposicional interna. A cacimba segue a orientação estrutural WNW-ESE, apresenta um formato retangular, tendo profundidade máxima aproximada de 1,80 m.

Cabe destacar que a escavação do depósito de tanque foi iniciada, dentro de um contexto científico, somente na década de 2000. De acordo com Ximenes (2003), há relatos locais de desentulhamentos que foram realizados anteriormente com intuito de armazenar a água resultante das "precipitações de inverno". Assim, a camada sedimentar - que anteriormente recobria a camada fossilífera - era constituída por um material argilo-siltoso (lamoso) com matéria orgânica e foi completamente removida, expondo atualmente a camada fossilífera no topo do perfil estratigráfico.

**Figura 5.** Exposição do registro sedimentar no interior do tanque natural Jirau 01. O contato entre as camadas siltico-argiloso e a fossilífera é indicado pelo Prof. Celso Ximenes.

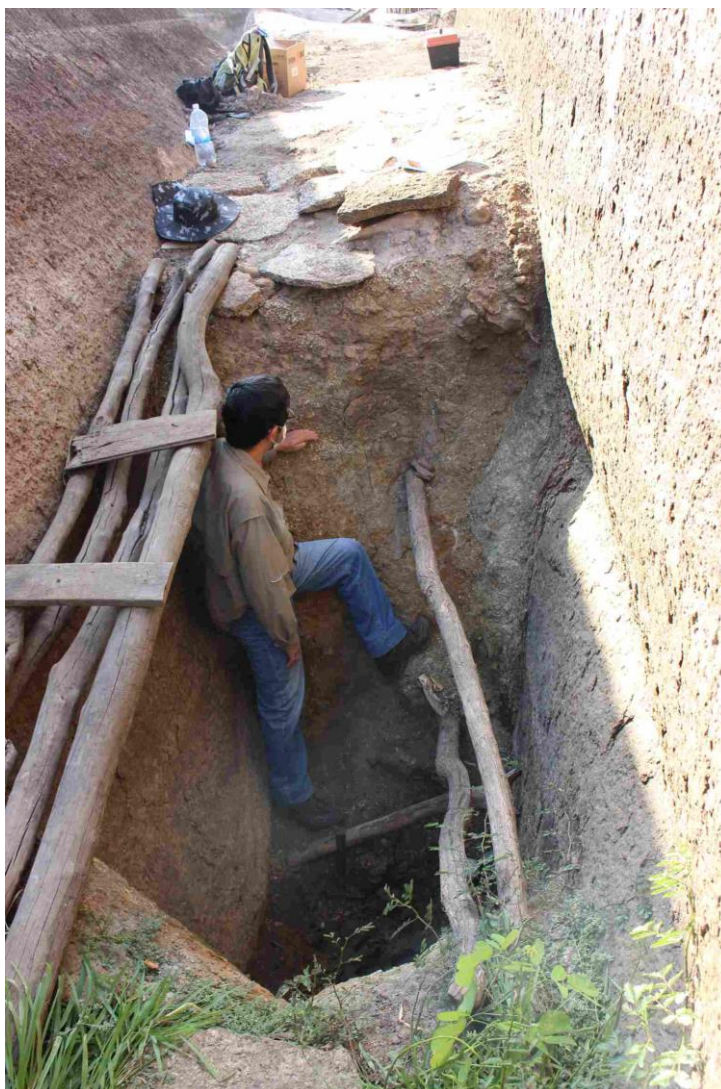
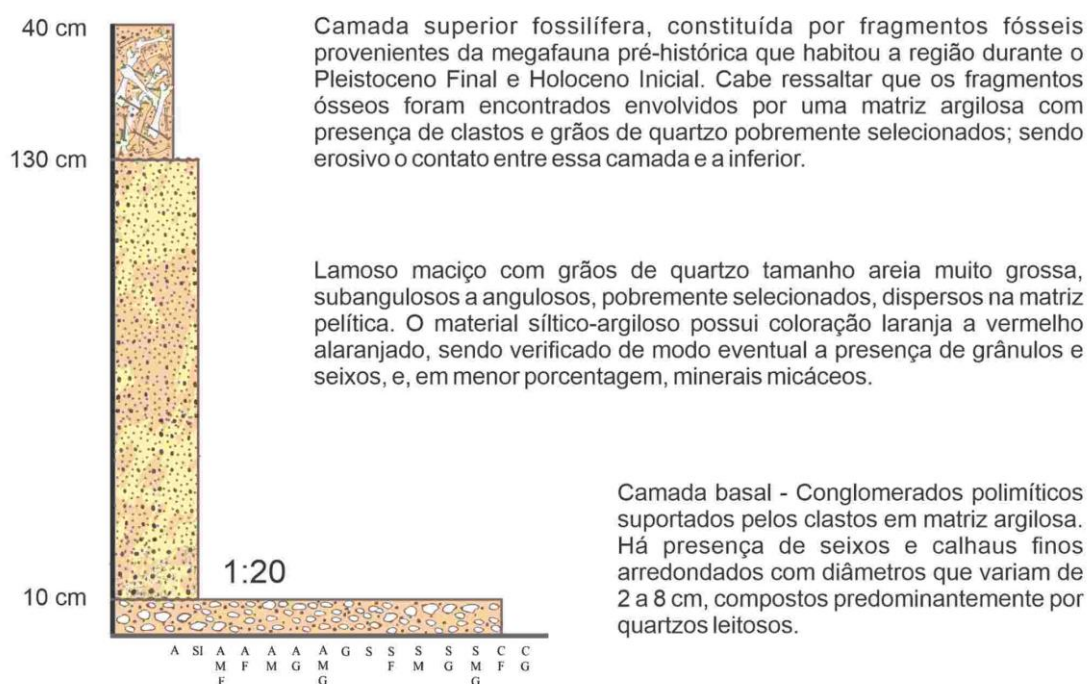


Foto: Felipe Waldherr, Dez./2021.

Em trabalho de campo foram reconhecidas três camadas assentadas no interior do tanque natural. As camadas sedimentares que constituem o depósito de tanque são interpretadas da seguinte maneira (Figura 6): conglomerados sustentados pelos clastos (porção basal); material siltico-argiloso / lamoso maciço (depósito colúvio-aluvial); e camada fossilífera.

**Figura 6.** Perfil sedimentográfico do depósito de tanque no tanque natural Jirau 01.



Organizado pelos autores.

A camada basal sobre o embasamento granítico é constituída por conglomerados polimíticos suportados pelos clastos em matriz argilosa de tonalidade esverdeada a cinza, principalmente no contato com o material saprolítico do embasamento cristalino. Há presença de seixos e calhaus finos arredondados com diâmetros que variam de 2 a 8 cm, compostos predominantemente por quartzos leitosos (Figuras 7 e 8). A camada possui uma espessura de aproximadamente 10 cm. O elevado grau de arredondamento tende a indicar a atuação do transporte longo e a ocorrência de *flash floods* na localidade, seguindo os principais eixos de drenagem até alcançar as proximidades do Sítio Paleontológico Jirau. Uma vez disponível no entorno, os clastos arredondados foram então remobilizados e depositados no interior do tanque natural.

**Figura 7.** Conglomerados suportados pelos clastos reconhecida na base do depósito de tanque.



Foto: Felipe Waldherr, Dez./2021.

**Figura 8.** Ocorrência de seixos de quartzos arredondados na base do depósito de tanque.



Foto: Henrique Sampaio, Fev./2023.

A camada sobreposta é caracterizada por um espesso material inconsolidado de 1,30 m, constituído por um sedimento lamoso maciço com grãos de quartzo tamanho areia muito grossa, subangulosos a angulosos, pobremente selecionados, dispersos na matriz pelítica. O material siltico-argiloso possui coloração laranja a

vermelho alaranjado, sendo verificado de modo eventual a presença de grânulos e seixos, e, em menor porcentagem, minerais micáceos (Figura 9). As características indicam que o material siltico-argiloso pode ser associado a depósitos do tipo colúvio-aluvial.

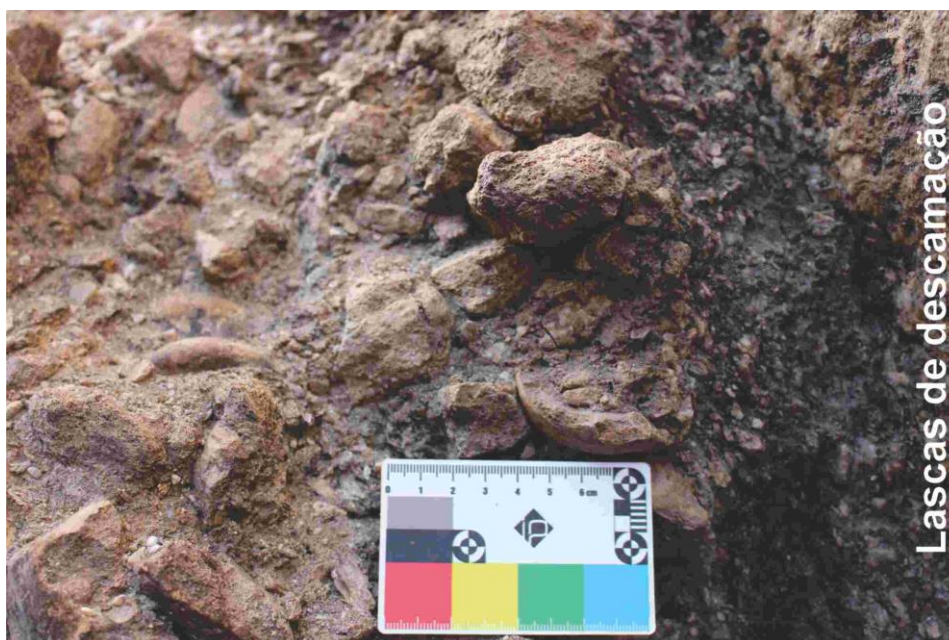
**Figura 9.** Contato entre a camada intermediária siltico-argilosa a esquerda e a rocha alterada a direita.



Foto: Felipe Waldherr, Dez./2021.

A camada superior, fóssilífera, é constituída por fragmentos fósseis provenientes da megafauna pré-histórica que habitou a região durante o Pleistoceno-final e Holoceno Inicial (Figura 10) e possui 40 cm de espessura. Cabe ressaltar que os fragmentos ósseos foram encontrados envolvidos por uma matriz argilosa com presença de clastos e grãos de quartzo pobremente selecionados; sendo erosivo o contato entre essa camada e a inferior. O tipo de material sedimentar e o aspecto de deposição do conjunto fóssil, junto a análise tafonômica (ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013), evidencia o transporte rápido e de elevada energia associado ao papel das enxurradas ou *flash floods* a partir do escoamento superficial concentrado (chuvas torrenciais).

**Figura 10.** Camada fossilífera na porção superior do depósito de tanque no Jirau 01.



Fonte: Felipe Waldherr, Dez./2021.

A escavação da cacimba também permitiu evidenciar que no contato entre o material sedimentar e o conjunto de lascas de descamação (*sheet structure*), em estado saprolítico, constituem estruturas rúpteis do embasamento granítico e que permanecem verticalizadas (Figura 11). Na parede lateral, ainda há resquícios de lascas que desprenderam e contribuíram para o próprio preenchimento do depósito de tanque.

**Figura 11.** Presença de lascas de descamação verticalizadas em estado saprolítico, posicionadas de modo paralelo, que delimita o registro sedimentar no interior do tanque natural. A escala está posicionada no contato da parede lateral, conformada rocha granítica (Leucogranito Penedos), e as lascas de descamação saprolitizadas.



Foto: Felipe Waldherr, Dez./2021.

A análise do perfil estratigráfico, junto à descrição sedimentológica, do depósito de tanque indica uma sequência de eventos em relação à dinâmica paleoambiental durante o Quaternário. O primeiro ponto a levar em consideração é a conversão do tanque natural em um eixo preferencial para coalescência de fluxos do escoamento superficial e, conseqüentemente, do aporte de sedimentos. Outra observação reside na ocorrência do pacote sedimentar alóctone (depósito de tanque) no interior do tanque natural que sugere a formação prévia de um espaço de acomodação. O espaço de acomodação é decorrente da remoção através de processos erosivos do material inconsolidado *in situ*, denominado "*grus*", que anteriormente preenchia o interior do tanque natural. O *grus* corresponde ao material granítico alterado e não mobilizado, corresponde na literatura geomorfológica a "*arena in situ*", sendo bastante vulnerável a remoção e ao transporte através da erosão fluvial e pluvial.

Assim, uma vez estabelecido a condição de depocentro em escala reduzida, o tanque natural começou a ser preenchido por sedimentos pleistocênicos. A camada de conglomerado com elevado grau de arredondamento dos clastos que corresponde a porção basal do depósito de tanque sugere um transporte de longa distância, remobilizados a partir de enxurradas que seguiam os principais eixos de drenagem e afluentes (rio Cruxati e riacho Sororó) no entorno do sítio paleontológico. O registro sedimentar indica uma condição paleoambiental distinta, sugerindo uma drenagem volumosa com maior energia e capacidade de transporte, diferente da atual que é caracterizada como drenagem intermitente. A camada sedimentar sobreposta, constituída por um material inconsolidado (depósito colúvio-aluvial), remete a fluxos de escoamento superficial concentrados, típico de chuvas torrenciais em ambientes do semiárido. O conjunto de chuvas



torrenciais seria o responsável por carrear os sedimentos oriundos das áreas adjacentes, no desmantelamento de mantos intempéricos, e o desprendimento de lascas de descamação da parede lateral para o interior do tanque. No topo do depósito de tanque encontra-se a camada fossilífera, constituída por fragmentos ósseos oriundos da megafauna pré-histórica. Os estudos tafonômicos junto a análise da matriz sedimentar, apontaram um transporte rápido a partir de enxurradas que carrearam os fragmentos ósseos para o interior do tanque natural. Cabe ressaltar a característica caótica da camada fossilífera demonstra uma baixa capacidade de deslocamento dos fragmentos fósseis em zonas específicas do tanque em virtude do estreitamento de fundo da feição geomorfológica.

A presença de fósseis de megamamíferos (mamíferos com peso acima de 1.000 kg) e grandes mamíferos (acima de 44kg) preservados no depósito de tanque constitui uma forte evidência de um antigo mosaico de vegetação composto por campos abertos, savanas e florestas na caatinga, assim como de maior ou menor quantidade de cursos de água durante o Pleistoceno. E, em vista disso, os registros paleontológicos que se encontram resguardados nos tanques naturais correspondem a áreas relevantes no que se refere a informações sobre atuação de paleoclimas e que podem ter viabilizado condições ambientais apropriadas ao desenvolvimento desse conjunto faunístico pré-histórico.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os depósitos de tanque constituem importantes registros de informações que podem auxiliar na interpretação da dinâmica paleoambiental local durante o Quaternário. O tanque natural fossilífero Jirau 01, área de referência no Sítio Paleontológico Jirau, resguarda em seu interior relevante material. A importância do registro sedimentar reside no recorte preservado que ele detém e, portanto, do próprio quadro paleopaisagístico. O perfil sedimentográfico realizado evidenciou a ocorrência de sedimentos alóctones, culminando na camada fossilífera tida do Pleistoceno final - Holoceno inicial. A análise das camadas que constituem o depósito de tanque, junto a interpretação estratigráfica, sedimentológica e tafonômica, permite assim elaborar apontamentos iniciais sobre as condições ambientais e os processos erosivos e deposicionais envolvidos no preenchimento do tanque natural Jirau 01. O levantamento sistemático em relação aos depósitos de tanque no Sítio Paleontológico Jirau, além de fornecer novas informações sobre a dinâmica paleoambiental local, demonstrando distintos pulsos erosivo-deposicionais bem como condições de distinta variação de regime morfoclimático, a partir da distribuição geográfica dos tanques, constitui sobremaneira em um importante capítulo sobre a Geomorfologia do Quaternário, em especial no que se refere ao semiárido brasileiro.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) pela Bolsa de Doutorado Nota 10 (Matrícula: 2021013531); e ao Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos (UFRJ) pelos comentários que auxiliaram na elaboração do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO-JÚNIOR, Hermínio Ismael de. *et al.* Unveiling the taphonomy of natural tank deposits: A case study in the Pleistocene of Northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 378, p. 52-74. 2013.
- BLAIR, Terence; MCPHERSON, John. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary. **Journal of Sedimentary Research**, v. 69, n. 1, p. 6-19, 1999.
- GODARD, Alain. **Pays et paysages du granite**. Paris: Presses Universitaires de France. 1977. 232p.
- OLIVEIRA, P. E. *et al.* Paleoclimas da Caatinga brasileira durante o Quaternário Tardio. In: CARVALHO, Ismar. *et al.* (org.). **Paleontologia: Cenários de Vida - Paleoclimas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 638p, p. 501-516.
- TERRY, James P.; GOFF, James. Megaclasts: Proposed revised nomenclature at the coarse end of the Udden-Wentworth grain-size scale for sedimentary particles Grain-size and textural classification of coarse sedimentary. **Journal of Sedimentary Research**, v.84, n. 3, p. 192-197. 2014.
- TWIDALE, Charles Rowland; VIDAL-ROMANÍ, Juan Ramón. **Landforms and geology of granitic terrains**. Leiden: Balkema. 2005. 352p.
- WALDHERR, Felipe Rodrigues; ARAÚJO-JÚNIOR, Hermínio Ismael; RODRIGUES, Sérgio Wilians de Oliveira. Origem e morfologia de tanques naturais do Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v.44, n. 3, p. 467-488, 2017.
- WALDHERR, Felipe Rodrigues. *et al.* La importancia de los tanques naturales (mega gnammas) en la preservación de fósiles de la Megafauna cuaternaria en el Noreste de Brasil. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n.41, p. 99-122, 2019.
- WALDHERR, Felipe Rodrigues. *et al.* Geomorphological aspects of the Jirau 01 fossiliferous natural tank, municipality of Itapipoca, Ceará state, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.23, n. 2, p. 1317-1333, 2022.
- XIMENES, Celso Lira. **Proposta metodológica para um programa de micro-reservatórios alternativos de água nos sertões semiáridos brasileiros, associado ao resgate de fósseis**. 2003, 146f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 2003.
- XIMENES, Celso Lira. Tanques fossilíferos de Itapipoca, CE: Bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica. In: WINGE, Manfredo. *et al.* (org.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, 2009. 516p., p. 465-478.