



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

**JADSON COSTA NASCIMENTO JÚNIOR**

**ESTRATIGRAFIAS QUE FALAM: Estudo paleoambiental na  
região do Parque Nacional Serra da Capivara por meio do  
depósito sedimentar no Vale da Serra Branca**

**SENHOR DO BONFIM**

**2023**

**JADSON COSTA NASCIMENTO JÚNIOR**

**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 apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Senhor do Bonfim, como requisito parcial para obtenção do título de graduação.**

**Orientador: Prof. Dr. Daniel Vieira de Sousa**

**SENHOR DO BONFIM**

**2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO - UNIVASF**

**Gabinete da Reitoria**

**Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI)**

Av. José de Sá Maniçoba, s/n, Campus Universitário – Centro CEP 56304-917  
Caixa Postal 252, Petrolina-PE, Fone: (87) 2101- 6760, [biblioteca@univasf.edu.br](mailto:biblioteca@univasf.edu.br)

N244e Nascimento Júnior, Jadson Costa  
Estratigrafias que falam: estudo paleoambiental na região do Parque Nacional Serra da Capivara por meio do depósito sedimentar no Vale da Serra Branca / Jadson Costa Nascimento Júnior. – Senhor do Bonfim-BA, 2023.  
x, 43 f.: il.; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Senhor do Bonfim, Senhor do Bonfim-BA, 2023.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Daniel Vieira de Sousa.

Inclui referências.

1. Geologia - Brasil. 2. Paleoclimatologia. 3. Parque Nacional da Serra da Capivara (PI) I. Título. II. Sousa, Daniel Vieira de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 551.0981

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**JADSON COSTA NASCIMENTO JÚNIOR**

**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  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Licenciatura  
Geografia, pela Universidade Federal do  
Vale do São Francisco.

Aprovado em: 09 de Agosto de 2023 .

**Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente



**DANIEL VIEIRA DE SOUSA**

Data: 07/09/2023 17:24:31-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Daniel Vieira de Sousa (Colegiado de Geografia, UNIVASF)

Documento assinado digitalmente



**NATALIA MICHELI TAVARES DO NASCIMENTO SI**

Data: 08/09/2023 14:48:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Natália Micheli Tavares do Nascimento Silva Mendes (Colegiado de  
Geografia, UNIVASF)

Documento assinado digitalmente



**JANAINA CARLA DOS SANTOS**

Data: 08/09/2023 09:31:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Janaina Carla dos Santos (Colegiado de Arqueologia e Preservação  
Patrimonial, UNIVASF)

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Bolsa Permanência do MEC, ao Programa de Iniciação Científica da CAPES (nº 88887.300062/2018-00), FACEPE e FAPESB, que me proporcionou elementos para a construção deste trabalho.

Ao apoio da minha família pela compreensão da distância, cuidado e carinho. Em especial Jadson, Maria, Jaqueline, Andrielle e Anderson e aos meus primos Ronaldo, Raphael, Nelson, Rubia e Diego.

A meu orientador Daniel Vieira, por ter aberto as portas do laboratório de Geografia Física, pela paciência, cuidado e por me guiar em minha formação.

A professora Natália Mendes por ter despertado o meu interesse pelos elementos do geossistema.

Ao professor Sirius de Oliveira por todo apoio e pela oportunidade de frequentar o Grupo de Estudos e Pesquisa das Paisagens Semiáridas Tropicais.

Aos professores Janaina Carla e Marcelo Accioly pelos ensinamentos, discussões e contribuições em minha coleta de campo. A professora Sonia Tatumi e Márcio Yee pelas datações por Luminescência Opticamente Estimulada.

E a todos profissionais que diariamente fazem a manutenção da instituição e mantêm seu funcionamento.

Aos meus colegas de turma, em especial Elenaide, Gessivaldo, Jemima, Deise, Juliana e Luiz Gonzaga pela parceria dos trabalhos que foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico. A Laiane e Luiz que foram imprescindíveis na coleta e análise dos procedimentos.

E todos os colegas univasfianos.

## RESUMO

Os depósitos sedimentares do quaternário confinados no encaixe do Vale da Serra Branca, localizado no Parque Nacional da Serra da Capivara, documentaram as variações das condições climáticas que o ambiente foi submetido, possibilitando fazer interpretações do paleoambiente da região, no entanto, existem poucas pesquisas que tratam dessa problemática na região do parque. Este estudo objetiva identificar e compreender os eventos paleoclimáticos e paleoambientais, seguindo uma sequência cronoestratigráfica para a região do Vale da Serra Branca durante o quaternário. Para tanto, foi aberta uma trincheira de 8,65 m de profundidade, por 1,5 metro de largura e 3 metros de comprimento, até alcançar a rocha intemperizada. Foram identificadas 16 camadas estratigráficas e coletadas 33 amostras para análise de carbono. Para a estratigrafia foram divididos em 5 grupos e duas camadas analisadas isoladamente. Utilizou a Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) em 3 amostras para estabelecimento da geocronologia. O Vale da Serra Branca está situado na província estrutural tectônica do Parnaíba, apresenta rochas da Formação Cabeças originadas no período devoniano, constituem predominantemente em sua estrutura arenitos esbranquiçados, rosados e amarronzados de grãos médios a finos e alguns níveis conglomeráticos. Com base nas 3 datações, foi possível identificar momentos de maior permanência da água no depósito. A sedimentação mais antiga está situada na base do perfil datado de aproximadamente 14 mil anos ( $\pm 0,5$ ) registrado no grupo 1, um ambiente com pouco COS para ser preservado, de solo arenoso extremamente friável, pouco óxido de ferro, sugerindo condição climática, quente e seca. Prosseguindo na análise do perfil, o grupo 2-3 datados entre 14 mil anos ( $\pm 0,5$ ) a 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ) e camada 7, identifica-se a pedogênese incipiente, com formação redoximófica, presença de óxidos de ferro, e maiores teores de carbono orgânico de todo o perfil, indicando episódios de estagnação da água e maior precipitação. No grupo 4 e camada 9 encontram-se entre 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ) a 1,7 mil anos ( $\pm 0,3$ ), de deposição de material arenoso algumas vezes cascalhento, registram menor armazenamento dos teores de COS. No grupo 5 datado entre 1,7 mil anos ( $\pm 0,3$ ), observou-se um aumento dos teores de COS, sendo resultante da constante reposição de material orgânico produzido pela vegetação predominante. Os registros sedimentares do quaternário no Vale da Serra Branca através da análise COS, estratigrafia e geocronologia apontam para várias oscilações climáticas nos últimos 14 mil anos antes do presente, sugerindo a existência de clima úmido.

**Palavras-chave:** Paleoambiente. Paleoclimático. Parque Nacional Serra da Capivara.

## ABSTRACT

The sedimentary deposits of the Quaternary confined in the valley of Serra Branca, located in Serra da Capivara National Park, have documented variations in the climatic conditions that the environment has undergone, enabling interpretations of the paleoenvironment of the region. However, there are few studies addressing this issue in the park's region. This study aims to identify and understand the paleoclimatic and paleoenvironmental events, following a chronostratigraphic sequence for the Serra Branca valley during the Quaternary. For this purpose, a trench of 8.65 meters in depth, 1.5 meters in width, and 3 meters in length was opened until reaching weathered rock. Sixteen stratigraphic layers were identified, and 33 samples were collected for carbon analysis. The stratigraphy was divided into 5 groups, and two layers were analyzed separately. Optically Stimulated Luminescence (OSL) was used in 3 samples to establish geochronology. The Serra Branca valley is situated in the tectonic structural province of Parnaíba, with rocks from the Cabeças Formation originated in the Devonian period, predominantly consisting of whitish, pink, and brown sandstones with medium to fine grains and some conglomeratic levels. Based on the 3 datings, moments of greater water presence in the deposit were identified. The oldest sedimentation is located at the base of the profile, dated to approximately 14,000 years ( $\pm 0.5$ ), recorded in group 1, representing an environment with little organic carbon to be preserved, extremely friable sandy soil, and low iron oxide content, suggesting a hot and dry climate. Continuing with the profile analysis, group 2-3, dated between 14,000 years ( $\pm 0.5$ ) and 11,800 years ( $\pm 0.3$ ), and layer 7, indicate incipient pedogenesis with redoximorphic formation, presence of iron oxides, and higher organic carbon content throughout the profile, suggesting episodes of water stagnation and increased precipitation. In group 4 and layer 9, dated between 11,800 years ( $\pm 0.3$ ) and 1,700 years ( $\pm 0.3$ ), there is deposition of sandy material, sometimes gravelly, with lower storage of organic carbon content. Group 5, dated to approximately 1,700 years ( $\pm 0.3$ ), shows an increase in organic carbon content, resulting from constant replenishment of organic material produced by the predominant vegetation. The sedimentary records of the Quaternary in the Serra Branca Valley, through the analysis of organic carbon, stratigraphy, and geochronology, indicate several climatic fluctuations in the last 14,000 years before the present, suggesting the existence of a humid climate.

**Keywords:** Paleoenvironment. Paleoclimatic. Serra da Capivara National Park.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	Parque Nacional da Serra da Capivara - Mapa de localização	18
-		
<b>Figura 2</b>	Localização da Trincheira Toca do Morcego confinado no encaixe do relevo do Vale da Serra Branca	21
-		
<b>Figura 3</b>	Mapa pedológico do Parque Nacional Serra da Capivara	22
-		
<b>Figura 4</b>	Escavação trincheira Toca do Morcego em 2022. (A) registro do perfil colunar. (B) tela de proteção para impedir a entrada de algumas abelhas. (C) sedimentos da escavação depositados ao lado da trincheira. (D) procedimento de limpeza e coleta das amostras	24
-		
<b>Figura 5</b>	Ilustração vertical da trincheira das Toca do Morcego, indicando aspectos estratigráficos e cronológicos	28
-		
<b>Figura 6</b>	(A) Perfil estratigráfico da trincheira das Toca do Morcego. (B) registro dos horizontes A1 e A2 e camada 14, localizados próximos à superfície. (C) identificação e distinção da camada 9, 10 e 11 (D) Mergulho da camada, (E) identificação da camada 7, 8 e 9, (F) subdivisões da camada 7, (G) identificação das camadas 1 (base) a 6	29
-		
<b>Figura 7</b>	Teores de Carbono Orgânico. (A) perfil da trincheira Toca do Morcego. (B) Teores de Carbono. (C) datação por Luminescência Opticamente Estimulada	32
-		
<b>Figura 8</b>	Imagem do Google earth mostrado o afunilamento e encaixe do Vale da Serra Branca	33



**Figura 9** Subdivisões na camada 7, (A) Variação na concentração de 36 material orgânico na camada 7, (B) Imagem ampliada das subdivisões

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP Antes do Presente

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

HS1 Heinrich Stadial 1

COS Carbono Orgânico do Solo

LOE Luminescência Opticamente Estimulada

PMI Perda de Massa por Ignição

SMAS Sistema de Monção da América do Sul

TFSA Terra Fina Seca ao Ar

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
3.1 ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS NA REGIÃO DO PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA (PNSC), PIAUÍ. ....	14
<b>4. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>18</b>
4.1 GEOLOGIA .....	19
4.2 GEOMORFOLOGIA E SOLOS .....	20
4.3 CLIMA E VEGETAÇÃO .....	22
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
5.1 DESCRIÇÃO ESTRATIGRÁFICA E COLETA DE AMOSTRAS.....	24
5.2 DETERMINAÇÃO DO CARBONO POR PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO - PMI .....	25
5.3 GEOCRONOLOGIA POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE).....	26
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
6.1 DESCRIÇÃO ESTRATIGRÁFICA E GEOCRONOLOGIA .....	27
6.2 TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO (COS) .....	31
<b>7. DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
7.1 INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS.....	33
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os registros em depósitos continentais do Quaternário são originados por diversos processos relacionados a variados ambientes, tais como, eólicos, estuários, fluvial, glacial, paludial e coluvial (NICHOLS, 2009; LOWE; WALKER, 2015). Os depósitos sedimentares do Quaternário foram formados a partir da alteração intempérica do substrato rochoso produzindo materiais inconsolidados que devido a reincidência de processos associados a fluxos gravitacionais, e ações da água, do gelo e do vento, promovem a remobilização e deposição do material, originando sucessivas camadas de sedimentos (SANTOS, 2007). Muitas vezes, essa dinâmica é influenciada pelas mudanças climáticas, e que tem reflexos nas alterações da paisagem. Estas mudanças climáticas podem ser identificadas, muitas vezes, devido a mudanças no padrão de sedimentação, bem como no material que foi sedimentado. Por esta razão que depósitos sedimentares podem ser um bom objeto de estudos paleoambientais (MADEIRA; BORGHI, 1999).

Os trabalhos pioneiros realizados para estudos paleoambientais em depósitos sedimentares do Quaternário continental no Brasil foram os de Bigarella (1965, 1971), apontando eventos de erosão associada a fase climática úmida, precedida por uma fase climática semiárida, na região Curitiba, no Estado do Paraná. Recentemente, o estudo de Cruz Junior *et al.* (2005) investigou os depósitos quaternários associados à formação de espeleotemas na caverna Botuverá, localizada em Ribeirão Preto, Santa Catarina. Através da análise de isótopos de oxigênio e geocronologia U-Th, os pesquisadores identificaram uma estreita relação entre o comportamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). Durante os eventos *Younger Dryas*, o hemisfério norte que estava passando por períodos frios, ocorreu o deslocamento da ZCIT mais ao sul do hemisfério, e como efeito intensificou o SMAS, a interação entre esses dois sistemas exerce influência sobre o clima na região semiárida do Nordeste do Brasil (CRUZ JUNIOR *et al.*, 2005).

Os efeitos do *Younger Dryas* também foram documentados na região do Parque Nacional da Serra da Capivara (PNSC). Em um estudo realizado por

Vieira de Sousa *et al.* (2023), analisando uma coluna estratigráfica datada entre 103 a 7 mil anos antes do presente (AP), na caverna Toca de Cima dos Pilão, localizada fora do PNSC, revelou múltiplos períodos de maior precipitação associados aos intervalos de *Heinrich Stadial 1* (HS1) e ao *Younger Dryas*. Estes dados concordam com estudos anteriores como o de Bouimetarhan *et al.* (2018), que estudando sedimentos quaternários da foz do rio Parnaíba encontraram um intervalo de condições úmidas para o nordeste brasileiro durante o *Younger Dryas*.

Oliveira, Santos e Lemos (2020), conduziram um estudo sobre um cânion encaixado no Vale da Serra Branca, localizado dentro do Parque Nacional Serra da Capivara (PNSC), eles relataram evidências de maiores níveis de precipitação ocorridos há aproximadamente 8.200 e 6.400 anos AP.

Apesar da alta resolução temporal alcançada no estudo de Vieira de Sousa *et al.* (2023), os autores relatam alguns hiatos, especialmente durante o Último Máximo Glacial (UMG) e o Holoceno, salientando a necessidade de mais estudos para que se tenha mais clareza sobre o quadro paleoclimático/ambiental na região do PNSC. Esta é a lacuna que este estudo pretende abordar. Este estudo tem seu foco na análise de um depósito sedimentar de fundo de vale, no Vale da Serra Branca dentro do PNSC. Esta coluna sedimentar encontra-se com ótimas condições de preservação, possibilitando obter informações inerentes à evolução paleoambiental do Vale durante o Quaternário.

## 2. OBJETIVO GERAL

Identificar as variações climáticas e paleoambientais através da análise estratigráfica, do carbono orgânico do solo (COS) e geocronológica do Vale da Serra Branca, localizado no Parque Nacional Serra Capivara.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização estratigráfica do depósito;
- Identificação através das taxas de COS ao longo do perfil estratigráfico, *proxies* que indicam variações climáticas;
- Datação das amostras sedimentares utilizando a Luminescência Opticamente Estimulada (LOE).

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS NA REGIÃO DO PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA (PNSC), PIAUÍ.

O depósito sedimentar Quaternário na região do PNSC, apresenta importantes registros das flutuações climáticas ocorridas no nordeste do Brasil influenciados por eventos de escala global, durante o final do Pleistoceno ao início do Holoceno (VIEIRA DE SOUSA *et al.*, 2023). As variações climáticas foram associadas ao posicionamento médio da ZCIT, devido a diminuição da temperatura média da superfície do mar, que está associada às descargas de Icebergs do Atlântico Norte. Estas descargas de icebergs do Atlântico Norte são denominadas de eventos de *Heinrich* (STRÍKIS *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2004).

Os estudos paleoambientais mais antigos realizados no PNSC, advém de pesquisas arqueo-paleontológicas, tais como, as contribuições de Guérin *et al.* (1996) com descrições de animais da megafauna do Pleistoceno e Holoceno, relacionando registros de animais a vegetação abundante, de paisagens mistas de savanas com porções de áreas florestadas, sob condições climáticas de maior umidade que a atual.

Na interpretação paleoambiental feita por Mutzenberg (2010) para os eventos de formação dos depósitos no Vale do Boqueirão da Pedra Furada, verifica-se que entre o último interestadual e UMG ocorreu uma rápida e sequencial remobilização dos sedimentos sugerindo episódios de grande ocorrência de chuvas torrenciais de maior energia que relacionadas às formações vegetais abertas que possibilitaram o transporte de clastos maiores. Mutzenberg (2010) aponta que no UMG, os intervalos de alto aporte pluviométrico estão associados às massas de ar polar que se deslocam para as baixas latitudes gerando consigo frentes de chuvas frontais intensas. Entretanto, estudos paleoclimáticos utilizando isótopos de oxigênio e geocronologia U-Th para o estado da Bahia e Rio Grande do Norte, apontam que as maiores pluviosidades estão relacionadas aos eventos de *Heinrich*. Mutzenberg (2010) aponta que para transição do Pleistoceno ao Holoceno há

indícios de deposição fluvial do riacho Boqueirão da Pedra Furada, e tamanho reduzido dos grãos no depósito de cascalho, sugerindo um escoamento mais contínuo e adensamento da vegetação, estando associado a uma fase climática mais úmida.

Em um estudo morfoestratigráfico, sedimentológico e geocronológico, feito por Santos, Barreto e Suguio (2012), que trabalharam em depósitos elúvio-coluviais, coluviais e aluviais, dentro e em região circunvizinha do PNSC, identificando flutuações climáticas de maior pluviosidade e quentes datadas de  $135 \pm 16,4$  mil a  $117 \pm 14,3$  mil anos AP, de  $84,7 \pm 13,4$  mil a  $76,2 \pm 9,35$  mil anos AP, de  $36,1 \pm 4,9$  mil a  $21,77 \pm 3,61$  mil anos AP e  $15,8 \pm 1,9$  mil a  $11,15 \pm 1,9$  mil anos AP, que foram intercalados por momentos de menor aporte de umidade.

Mais recentemente, Mendes (2016), em escavações de 35 poços dentro do PNSC e de seu entorno, revelou dois padrões distintos de sedimentação. O primeiro padrão apresentou fácies com estratificação cruzada e predominância de material arenoso, sendo associado a um ambiente com fluxo de drenagem de água perene ou permanente na maior parte do tempo, o segundo padrão configura-se de composição arenosa, maior concentração em argila e de estrutura maciça, estando relacionado a drenagem de água efêmera, a erosão passaria a ocorrer em episódios intensos de grande precipitação e a sedimentação estando associada aos fluxos de detritos coesivos, gerando o formação do material maciço.

Gerando resultados bem próximos a pesquisa de Mendes (2016), em um estudo no curso médio do Vale da Serra Branca em um levantamento de Radar de Penetração do Solo (GPR - sigla em inglês "*Ground Penetrating Radar*"), realizado por Oliveira e Santos (2019) identificaram padrões de reflexão distintos que foram associados a dois tipos de materiais, o primeiro relacionado a sedimentos inconsolidados e o segundo a rochas sedimentares locais. Para completar sua análise, foram divididos em dois grupos diferentes, indicando que a estrutura do solo no grupo 1 de padrão médio de reflexão  $0,10\text{m.n.s}^{-1}$ , apresentam em sua composição areia média a fina, com estrutura maciça, pedogênese incipiente que foram associados a maior retenção da



umidade gravimétrica. No grupo 2 observou o padrão médio de propagação em  $0,17\text{m.ns}^{-1}$ , Oliveira e Santos (2019) identificaram espessuras variadas de areias grossas intercaladas com linhas de cascalho fino, estrutura maciça, sendo associados a maiores taxas de infiltração e evaporação. Mais tarde, Oliveira, Santos, Lemos (2020) aprofundaram os estudos no Vale da Serra Branca, além do uso do GPR e análise estratigráfica, também fizeram um estudo geocronológico. Oliveira, Santos, Lemos (2020) identificaram o aumento na precipitação entre 10.500 a 5.000 anos AP, com dois pontos temporais de maior umidade a 8.200 e a 6.400 anos AP.

Estudos analisando a cronoestratigrafia na Toca do Gongo III, Toca do Gordo do Garrincho, Toca da Janela da Barra do Antonião e na Toca do Sítio do Meio no PNSC, obteve registro de momento seco (35,2 mil anos AP) precedente ao UMG. No intervalo (21 a 20 mil anos AP) do UMG encontrava-se vestígios de vegetação aberta de clima mais frio e seco. Para eventos no HS1 e *Younger Dryas* identifica-se a existência de episódios úmidos (GALVÃO, 2019).

Os resultados obtidos por Parenti *et al.* (2021), a partir da análise palinológica e cronoestratigrafia do complexo de sub-bacias da Lagoa do Quari no PNSC, identificaram episódios úmidos no Holoceno médio e tardio documentando áreas de vegetação aberta, e desde o Holoceno inferior se tem a ocorrência sucessiva de fases de clima seco a úmido intensos. No Pleistoceno tardio, Parenti *et al.* (2021) interpretaram a ocorrência de condições de umidade evidenciado pela grande quantidade e variedade de herbívoros, prosseguido a um clima seco, que possibilitou a expansão da vegetação aberta formando corredores biogeográficos ligando o planalto do nordeste brasileiro a planície amazônica.

Resultados similares foram obtidos por Vieira de Sousa *et al.* (2023), na caverna Toca de Cima dos Pilão. Os autores relataram variações climáticas indicando aumento nas taxas de precipitação, que entre  $16.000 \pm 0,8$  a  $14 \pm 0,4$  anos AP a região do PNSC estava em um intervalo de maior umidade de intenso intemperismo e adensamento da vegetação, que foi associado ao evento HS1, seguida por período de intensa erosão e sedimentação  $14,0 \pm 0,4$

a  $14,3 \pm 1$  anos AP, que foi influenciado pela interestadual *Bølling-Allerød*, sucedida por um ambiente de latossolização relacionado à maior umidade entre  $14,3 \pm 1$  a  $7,9 \pm 0,4$  anos AP que foi associada ao *Younger Dryas*.

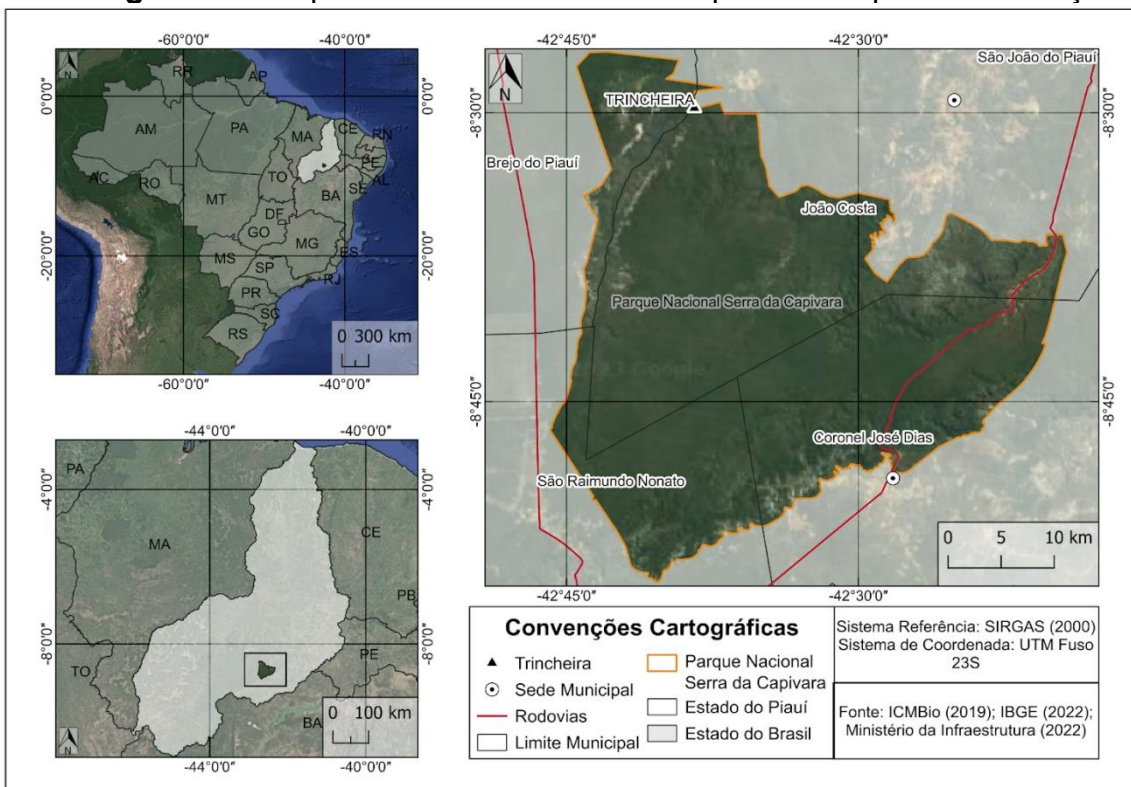
Os estudos paleoambientais e paleoclimáticos na PNSC, evidenciam alternância de fases climáticas úmidas intensas e secas, constantemente sendo associados a eventos de escala global, observados nos estudos de Santos, Barreto e Suguio (2012), Galvão (2019) e Vieira De Souza *et al.* (2023). No Pleistoceno tardio, a grande quantidade de fósseis de herbívoros da megafauna e altas taxas de intemperismo, sugeriram um adensamento da cobertura vegetal e aumento da precipitação, sendo relacionada ao evento HS1 (18.000 a 15.000 anos AP), assim como, documentado por Guérin *et al.* (1996), Galvão (2019), Parenti *et al.* (2021) e Vieira e Souza *et al.* (2023), seguido por um período de intervalos de grande sedimentação e intensa erosão, indicando a expansão da vegetação aberta e de condição climática seca com episódios de chuvas intensas, que foi relacionado ao interestadual *Bølling-Allerød* (14.500 a 13.000 anos AP), assim como descrito por Parenti *et al.* (2021) e Vieira e Souza *et al.* (2023), ao chegar o Holoceno, observou a latossolização e um breve adensamento da cobertura vegetal indicando a ocorrência de episódios sucessivos de fase climática seca e úmida, influenciado pelo evento *Younger Dryas* (12.900 e 11.600 anos AP) (MUTZENBERG, 2010; GALVÃO, 2019; OLIVEIRA, SANTOS, LEMOS, 2020; VIEIRA DE SOUSA *et al.*, 2023).

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

O PNSC situa-se nos municípios de Brejo do Piauí, Coronel José Dias, João Costa e São Raimundo Nonato, sudeste do Piauí (Figura 1). O parque protege 129,140 ha de área, e foi classificado pela Unesco como Patrimônio da Humanidade (BARROS *et al.*, 2012; PROCHOROFF & BRILHA, 2015; OLIVEIRA, SANTOS, LEMOS, 2020).

O depósito sedimentar aqui estudado localiza-se no Vale da Serra Branca (porção norte na faixa 23, 541.321 E, 5.278.983 S), próximo ao sítio arqueológico Toca do Morcego (Figura 2) situado na porção Norte da região da Serra Branca a Noroeste do PNSC. O acesso ao Vale da Serra Branca pode ser feito por duas guaritas, uma turística e outra de pesquisa, às margens da Rodovia PI-140, distante a 503 km de Teresina, capital do Estado do Piauí, no Nordeste brasileiro (BUCO, 2014).

**Figura 1 - Parque Nacional da Serra da Capivara - Mapa de localização.**



Fonte: Adaptado do ICMBio (2019), IBGE (2022) e Ministério da infraestrutura (2022).

#### 4.1 GEOLOGIA

A Área Arqueológica da Serra da Capivara - que inclui o PNSC - encontra-se localizada nas bordas de duas províncias de tectônicas-estruturais: Borborema e Parnaíba.

A Província Borborema está representada pela Faixa de Dobramentos Riacho do Pontal, que exhibe micaxistos expostos da Formação Barra Bonita que estão relacionados ao grupo Casa Nova, que de acordo com Moraes (2015) é composta por micaxistos, muscovita-quartzitos, quartzitos feldspáticos e quartzoxistos. Compreende ainda suíte intrusiva de biotita granito, biotita-hornblenda granito, granodioritos, quartzo monzodiorito, quartzo monzonito, e sienogranitos alcalinos da Supersuíte Intrusiva Tardi a Pós-Orogênica que se situa na borda do embasamento cristalino do Borborema com gênese no Eon proterozoico (CPRM, 2009). É necessário deixar claro que as rochas da Província Borborema não afloram dentro do Parque Nacional.

No que diz respeito a Bacia Sedimentar do Parnaíba, cujas rochas afloram dentro do Parque Nacional Serra da Capivara, Moraes (2015, p. 47), descreve “[...] uma estratigrafia composta de sedimentos clásticos de idades Siluriana e Devoniana localmente intemperizados, constituem as suas litologias, representadas pelos Grupos Serra Grande (Siluriano) e Canindé (Devoniano) [...]”.

A região sul do parque apresenta rochas do Grupo Serra Grande, composta por arenitos amarronzados, cremes, esbranquiçados e rosados, de grãos fino a muito grosseiros podendo atingir 100 m de espessura no *front* da *cuesta*, comumente conglomeráticos, caulínicos, grosseiramente acamadados, com camadas e espessos bancos de conglomerados e raros níveis de siltito e/ou argilito em sua base (CPRM, 2009; SANTOS, 2012; MORAES, 2015).

Já as rochas do Grupo Canindé estão presentes no PNSC pela Formação Pimenteiras ao sul, composta por folhelhos e siltitos, amarronzados, avermelhados e cinza-arroxeados, de lâminas finas, com micromicáceos, por vezes calcíferos, com alternância de arenitos avermelhados e cremes a amarronzados, duros, e pela Formação Cabeças nas adjacências do parque. A

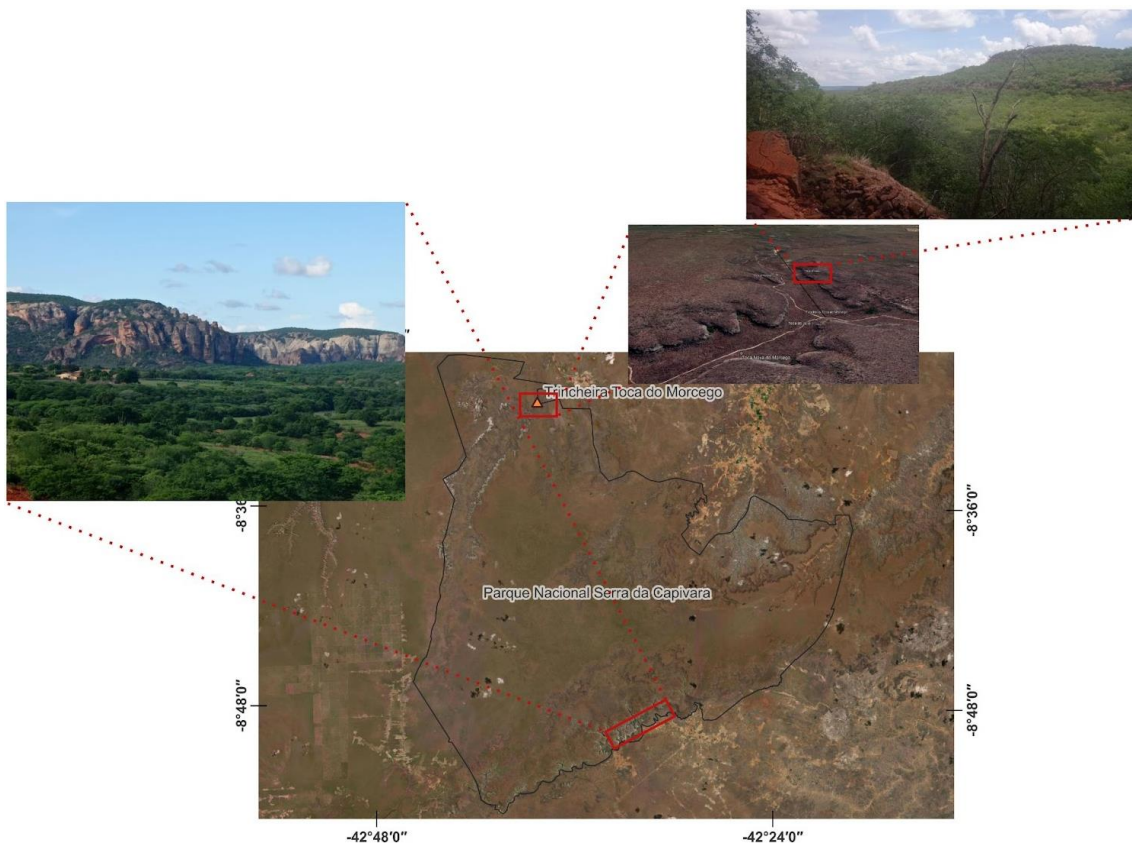
Formação Cabeças é constituída predominantemente por arenitos médios e finos, rosados, esbranquiçados e amarronzados, com frequente estratificação cruzada, siltitos arroxeados, micáceos e presença de níveis conglomeráticos na parcela média a inferior do pacote (CPRM, 2009; MORAES, 2015).

Ao centro do PNSC apresenta coberturas detrítico-lateríticas, que segundo CPRM (2009), são compreendidas como coberturas comumente arenosa, areno-argilosa e/ou argilo-arenosa, com presença frequente de cobertura conglomerática e laterizada ou parcialmente laterizada, com canga laterítica que recobrem grande parte do PNSC.

#### 4.2 GEOMORFOLOGIA E SOLOS

Na Área Arqueológica da Serra da Capivara - que inclui o PNSC - podem ser reconhecidas “[...] três unidades geomorfológicas, [...] planaltos areníticos, *cuestas* e pedimentos” (SANTOS, p. 29, 2007). Os planaltos areníticos localizam-se no oeste do parque, com declividade e dissecção baixa, relevo regular de topos com formas tabulares, e altitudes oscilando entre 520 m a 500 m NE e 600 m a 300 m SE, cortado por vales bem encaixados com orientação N-S. Já as *cuestas* foram esculpidas em rochas do Grupo Serra Grande com predominância de arenito e conglomerados em duas formações, a primeira tem desnível variando de 250 m a 200 m a sua base constituída pelo pedimento, na segunda tem desnível menor que 100 m, em seu front apresenta *canyons* com entalhes exuberantes de morfologia ruiforme-arredondada. Os pedimentos se encontram na base da *cuesta* com inclinação suave e grande área ocupada (PELLERIN, 1984)

**Figura 02** - Localização da Trincheira Toca do Morcego confinado no encaixe do relevo do Vale da Serra Branca.

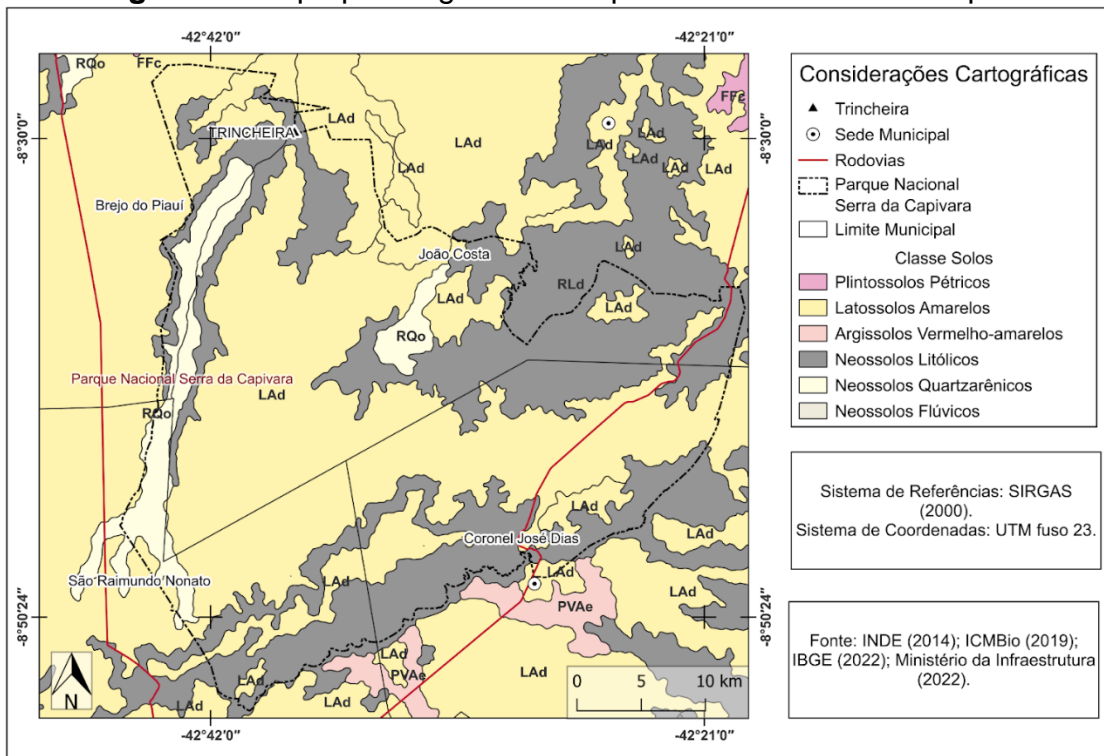


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O Vale da Serra Branca é um vale encaixado de origem estrutural com relevo ruiforme que representa o desmantelamento dos arenitos da formação Cabeças. No fundo do Vale da Serra Branca há um grande depósito de material aluvial, podendo ter alguma contribuição coluvial.

Concernente aos solos, apresenta predominância de grandes áreas de formações de latossolos amarelos distróficos ocupando principalmente o reverso da *cuesta* e os pediplanos, a classe neossolo litólico encontram-se distribuídos na borda norte, leste e sul do parque, enquanto neossolos quartzarênicos podem ser encontrados no fundo do Vale da Serra Branca e a nordeste (Figura 3).

**Figura 3 - Mapa pedológico do Parque Nacional Serra da Capivara.**



Fonte: Adaptado do ICMBio (2019), IBGE (2022) e Ministério da Infraestrutura (2022).

### 4.3 CLIMA E VEGETAÇÃO

O clima na região do PNSC, de acordo com a classificação climática de *Köppen e Geiger*, é do tipo BShw, de clima semi-árido quente, com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é inferior a 700 mm, apresentando chuvas irregulares durante todo o ano e temperatura média anual de 28 °C, o período mais frio tem média de 25 °C com amplitude térmica variando entre 10 °C de mínima e 35 °C de máxima, na estação mais quente do ano a temperatura média de 31 °C com mínimas de 22 °C e máximas de 45 °C, com média da evapotranspiração potencial de 1462 mm (SANTOS, 2007; MORAES, 2015; VIEIRA DE SOUSA *et al.*, 2023).

A estação chuvosa do ano se configura entre os meses de outubro a abril, podendo iniciar mais cedo ou se estender até o mês de maio, no entanto apresenta irregularidades pluviométricas interanuais. O clima semiárido é um fator condicionante da cobertura vegetal que predomina no PNSC, que é a Caatinga com característica caducifólia, podendo ser dividida em quatro subtipos, assim como, exposto por Vieira De Sousa *et al.* (2023, p. 2) “floresta

arbórea seca densa, floresta seca arbustiva, floresta seca arbustiva baixa e floresta semidecídua arbustiva”, a floresta arbórea seca densa tem sua zona de distribuição no reverso da *cuesta*, a floresta seca arbustiva pode ser encontrada nos vales, a floresta seca arbustiva baixa ocupam as bordas das chapadas, e a floresta semidecídua arbustiva é encontrada em ravinas dos vales das chapadas e na frente da *cuesta* (SANTOS, 2007; MORAES, 2015; VIEIRA DE SOUSA *et al.*, 2023).



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 DESCRIÇÃO ESTRATIGRÁFICA E COLETA DE AMOSTRAS.

Foi aberta uma trincheira denominada trincheira Toca do Morcego no fundo do Vale da Serra Branca próxima ao sítio arqueológico Toca do Morcego. A trincheira aberta atingiu a profundidade de 8,65 m, seu comprimento foi de 3 m e largura de 1,50 m, alcançando a rocha alterada (Figura 4).

**Figura 04** - Escavação trincheira Toca do Morcego em 2022. (A) registro do perfil colunar. (B) tela de proteção para impedir a entrada de algumas abelhas. (C) sedimentos da escavação depositados ao lado da trincheira. (D) procedimento de limpeza e coleta das amostras.



Fonte: Acervo pessoal (2022) e Sousa (2022).

O reconhecimento das camadas estratigráficas se deu através da descrição da cor úmida do sedimento, textura, cimentação, diferentes tipos de

estrutura sedimentar, orientação da deposição mensurada em campo com inclinômetro, feições pós-deposicionais, vestígios biológicos, e pedogene. Para as camadas pedogeneizadas foi utilizado o *Manual de descrição e coleta de solos no campo* (SANTOS *et al.*, 2005). As camadas sedimentares foram identificadas como Camadas 1 a 14 seguindo a sequência da base ao topo do perfil. Os horizontes pedogeneizados foram identificados conforme o *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos* (SANTOS *et al.*, 2018). As profundidades foram medidas a partir do centro da parede de azimute 340°. Foram coletadas 32 amostras na base e topo das 16 camadas estratigráficas identificadas. As amostras foram destorroadas e passadas em peneira de malha 2,0 mm para que fosse preparada a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

## 5.2 DETERMINAÇÃO DO CARBONO POR PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO - PMI

Assim, como descrito por Schulte e Hopkins (1996), Escosteguy, Galliassi e Ceretta (2007), a Perda de Massa por Ignição (PMI) inicia seu procedimento com a adequação da TFSA pesando 5 g de solo em um cadinho de 30ml em balança analítica com precisão de 0,0001 g. Após esta pesagem as amostras são secas em estufa com circulação de ar forçada a 105 °C com variação de  $\pm 2$  °C por 24 horas, para identificar a umidade residual de cada amostra. Após essa pesagem as amostras retornaram à estufa para a queima a 450°C por 8h.

O cálculo do teor de carbono se dá pela seguinte equação:

$$C = \frac{100(Pc + Ai) - (Pc + Af)}{(Pc + Ai) - (Pc)} \quad (1)$$

C: Teor de carbono;

Pc: Peso do cadinho;

Ai: Peso da amostra a 105° C;

Af: Peso da amostra a 450° C.

### 5.3 GEOCRONOLOGIA POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE)

A geocronologia foi determinada através da Luminescência Opticamente Estimulada. As datações foram realizadas no Laboratório de Cronologia da Universidade Federal de São Paulo coordenado por Sonia Tatum e Márcio Yee. A intensidade LOE será proporcional à quantidade de dose acumulada ( $D_e = [J/kg = Gy]$ ) no cristal pela radiação, que por sua vez é proporcional ao tempo em que a amostra está exposta à essa radiação, a esse tempo denominamos Idade ( $I$ ).

A idade da amostra é calculada segundo a equação:

$$I = \frac{D_e}{DA_\gamma + 0,9DA_\beta + DA_{raio\ cósmico}} \quad (2)$$

$$DA_\gamma = \frac{DA_{\gamma seco}}{1 + 1,14 W_1 F} \quad (3)$$

$$\left[ DA_\beta = \frac{DA_{\beta seco}}{1 + 1,25 W F} \right] \quad (4)$$

Onde:  $DA$  são as taxas de dose naturais oriundas de isótopos radioativos do U, Th, K-40 e seus filhos, além da contribuição da radiação cósmica que atua no local da coleta da amostra. O valor de 0,9, na equação 2, refere-se à contribuição da atenuação da radiação beta. Nas equações 3 e 4 temos os parâmetros de correção da  $DA$  em relação a quantidade de água na amostra e no solo, nestes casos temos  $W_1 =$  massa de água/ massa de solo seca e  $W =$  massa de água/ massa da amostra, e  $F$  é a fração de saturação correspondente ao conteúdo de água médio durante o período em que a amostra esteve enterrada. Os valores de  $D_e$  (Murray e Wintle, 2000) serão determinados pelo Protocolo SAR.

A contribuição da radiação cósmica é calculada teoricamente sabendo os valores das coordenadas geográficas do local da coleta e com a equação de Prescott e Stephan (1982).

Foi utilizada uma leitura TL/LOE da Riso, modelo DA 20 para as medidas de LOE e um espectrômetro de germânio hiper-puro da Camberra para determinação de isótopos radioativos.

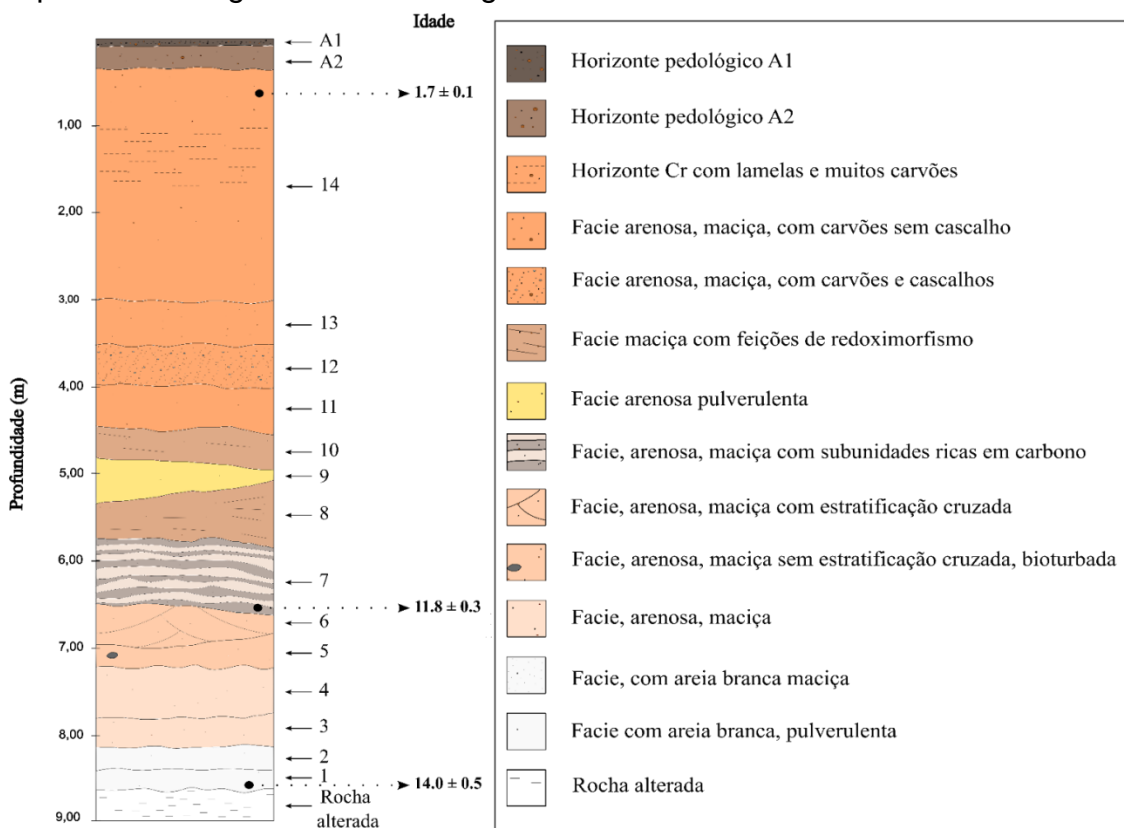
## 6. RESULTADOS

### 6.1 DESCRIÇÃO ESTRATIGRÁFICA E GEOCRONOLOGIA

Foram identificadas 16 camadas estratigráficas nos 8,65 m de profundidade (Figura 5), baseadas nas características morfológicas, tais como, coloração do solo úmido, textura do material, presença e/ou ausência de cimentação, forma, distribuição e tamanho dos grãos, orientação da deposição, formações pós-deposicionais, estrutura e vestígios biológicos (NICHOLS, 2009; VIEIRA DE SOUSA *et al.*, 2023), obtidas em campo. Em toda a sequência estratigráfica foram identificados a presença de carvão, com maior concentração nos horizontes superficiais A1 e A2, diminuindo sua presença nas camadas mais profundas. O mesmo ocorre, para as raízes milimétricas que possuem ocorrência generalizada, exceto na camada 1 há 8,54 m de profundidade. As raízes centimétricas são observadas da superfície até a profundidade 4,84 m. A estrutura do material em toda a estratigrafia varia entre maciça a grão simples, com exceção da camada 6 que apresenta deposição cruzada.

A base do pacote sedimentar (Camada 1) é composta por uma camada (entre 8,65m a 8,54 m) de coloração cinza claro (7.5YR 7/1), composta por areia fina sendo extremamente friável e pulverulenta (Figura 6), sua base foi datada em 14 mil anos ( $\pm 0,5$ ). A transição da camada 1 para a camada 2 é clara e abrupta. A camada 2 apresenta maior coesão (cimentação). No topo da camada 2 há bioporos com raízes milimétricas e coloração variando entre rosa (7.5YR 7/3), a cinza (7.5YR 5/1) (Figura 5).

**Figura 5** - Ilustração vertical da trincheira Toca do Morcego, indicando aspectos estratigráficos e cronológicos.



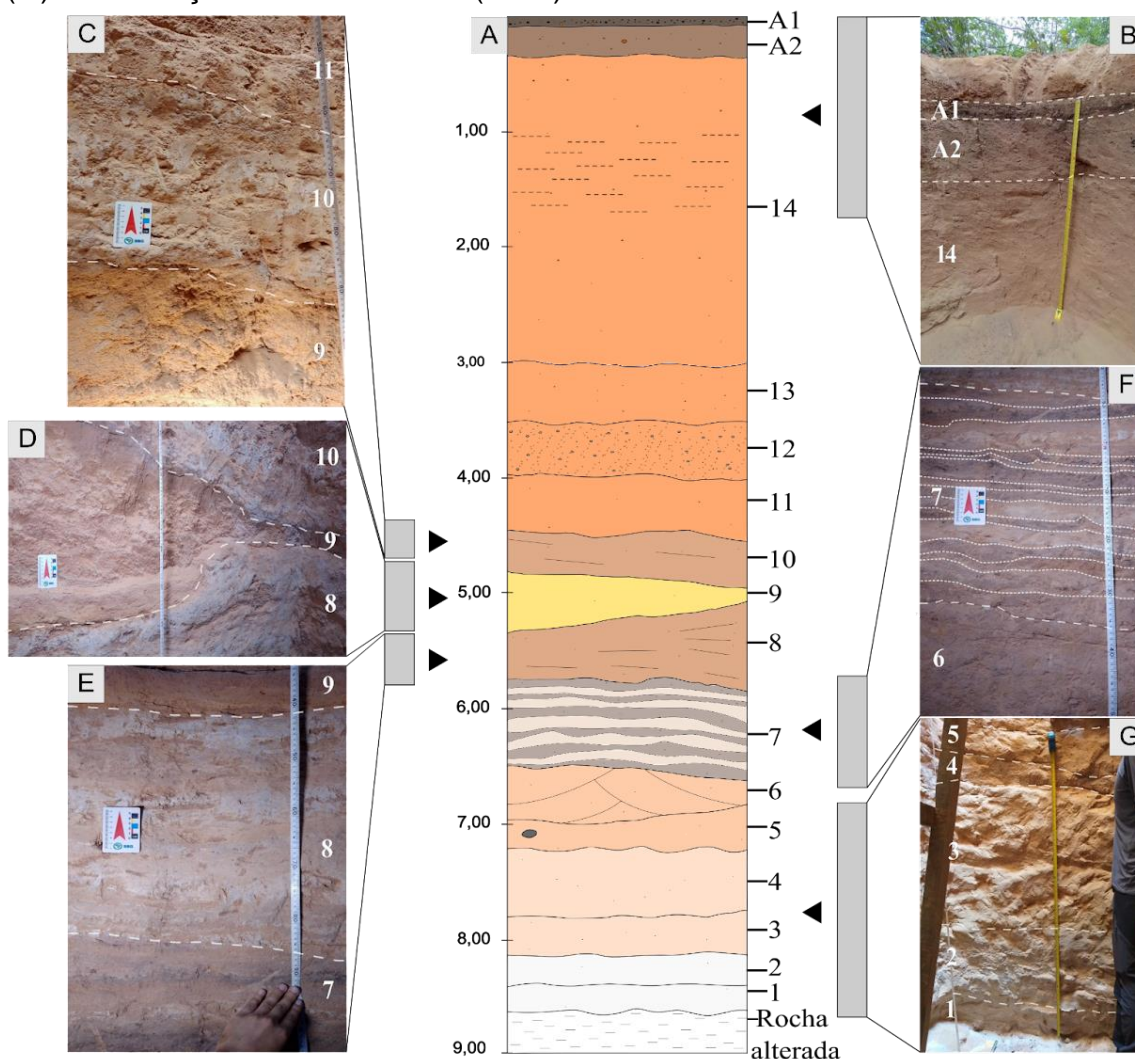
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A camada 3 é mais espessa do que as anteriores (8,11-7,48 m). Não foram observadas nenhuma estrutura de sedimentação, podendo representar alguma camada com certo grau de pedogênese. Sua estrutura é maciça com a cor úmida vermelha amarelada (5YR 5/6) (Figura 6). Bioporos com coloração cinza claro (7.5YR 7/1) e raízes milimétricas, também foram observadas.

Da parte inferior da estratigrafia a camada 4 é a mais delgada (entre 7,48-7,21 m de profundidade). Possui transições graduais difusas entre as camadas superior e inferior. É composta por sedimento arenoso de cor úmida 7.5YR 5/4 (marrom). Há presença de pedotubulos, bioturbação, raízes carbonizadas e carvões. A camada possui uma certa coesão ou cimentação. Se estreita em direção a parede E. A camada 5 (7,21-6,90m) se diferencia da camada 4 por apresentar menos coesão e pela cor do solo possuir o croma e o valor mais baixo do que a camada 4 (7.5YR 4/3). A transição com a camada superior é ondulada, havendo fragmentos de raízes e carvões no topo da camada. Foi encontrado um artefato lítico disposto de forma horizontalizada nesta camada.



**Figura 6** - (A) Perfil estratigráfico da trincheira das Toca do Morcego. (B) registro dos horizontes A1 e A2 e camada 14, localizados próximos à superfície. (C) identificação e distinção da camada 9, 10 e 11 (D) Mergulho da camada, (E) identificação da camada 7, 8 e 9, (F) subdivisões da camada 7, (G) identificação das camadas 1 (base) a 6.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023) e Sousa (2022).

Estruturas sedimentares de estratificação cruzada foram encontradas na camada 6 (6,90-6,36 m de profundidade). Esta camada é mais espessa na parede N-NW se tornando mais delgada na parede N-NE. Possui estruturas cruzadas de alto ângulo sendo a única deste tipo em toda a sequência estratigráfica. Há carvões, raízes e pedotúbulos (Figura 6). O sedimento possui cor marrom escuro (7.5YR 3/4) e estrutura maciça, há pedotúbulos, bioturbação e bioporos com cor marrom avermelhado escuro (5YR 3/4), os resultados entre a camada 1 e 6 foram datados de 14 mil anos ( $\pm 0,5$ ) a 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ).

A camada 7 (6,36-5,86 m), se destaca entre as demais, nela observou-se a presença de 12 subcamadas com alternância de laminações ricas em material orgânico com cores variando entre marrom forte (7.5YR 4/6) a marrom muito escuro (7.5YR 2,5/3) e material com maior concentração de argila com cores vermelha amarelada (5YR 5/8). Estas subcamadas são horizontalizadas com transições claras e abruptas de orientação preferencial Noroeste-Sudeste. As camadas mais terrígenas apresentam certo grau de coesão, ou cimentação. As subcamadas terrígenas são as que mostram maior variação na disposição de vestígios biológicos. Nota-se também bioporos com raízes mortas misturando o material na vertical (Figura 6).

Com leve orientação Oeste-Leste a camada 8 (5,86-5,38 m) de textura arenosa, possui a cor variando entre marrom amarelado (10YR 5/4) cinza avermelhado claro (7.5YR 7/1) e cinza claro (10YR 6/1). São observados bioporos. De orientação Noroeste-Leste a camada 9 (5,38-4,84 m) se diferencia das demais devido a sua maior concentração de areia grossa com cor vermelha amarelada (5YR 4/6). Esta camada é extremamente friável, pulverulenta, entretanto possui uma fina camada de areia grossa fortemente cimentada em sua base. Adicionalmente esta camada possui cascalhos centimétricos e raízes mortas (Figura 6). A camada 10 (4,84-4,51 m) apresenta morfologia similar à camada 8 com a cor variando entre marrom avermelhado (5YR 5/4) em sua base e topo, enquanto ao centro encontra-se coloração de tonalidade cinza claro (5YR 7/1). De orientação preferencial Oeste-Leste.

Identificado a textura como arenosa em campo e rica em pedotubulus e raízes capilares, a camada 11 (4,51-4,41 m) apresenta as últimas raízes centimétricas, visíveis no perfil, cor vermelha amarelada (5YR 4/6), não sendo possível identificar estratificações e estruturas de sedimentação. Composto por alguns seixos arredondados de tamanho centimétricos, a camada 12 (4,41-3,92 m) tem sua transição ondulada, sem cimentação, possuindo textura arenosa e coloração vermelha amarelada (5YR 4/6, 5YR 4/6).

Com presença de raízes centimétricas a milimétricas, sem cimentação e estrutura grão simples, a camada 13 (3,92-3,66 m), tem cor vermelha amarelada (5YR 4/6, 5YR 4/6) e textura arenosa. De coloração vermelha

amarelada (5YR 4/6), a camada 14 (3,66-0,35 m) diferencia da camada anterior, por contér raízes decimétricas a milimétricas, pedotubulus, maior quantidade de carvões, e lamelas (1,72-0,90 m), os dados entre a camada 7 até o topo da camada 14 foram datados na faixa temporal de 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ) a 1,7 mil anos ( $\pm 0,3$ ).

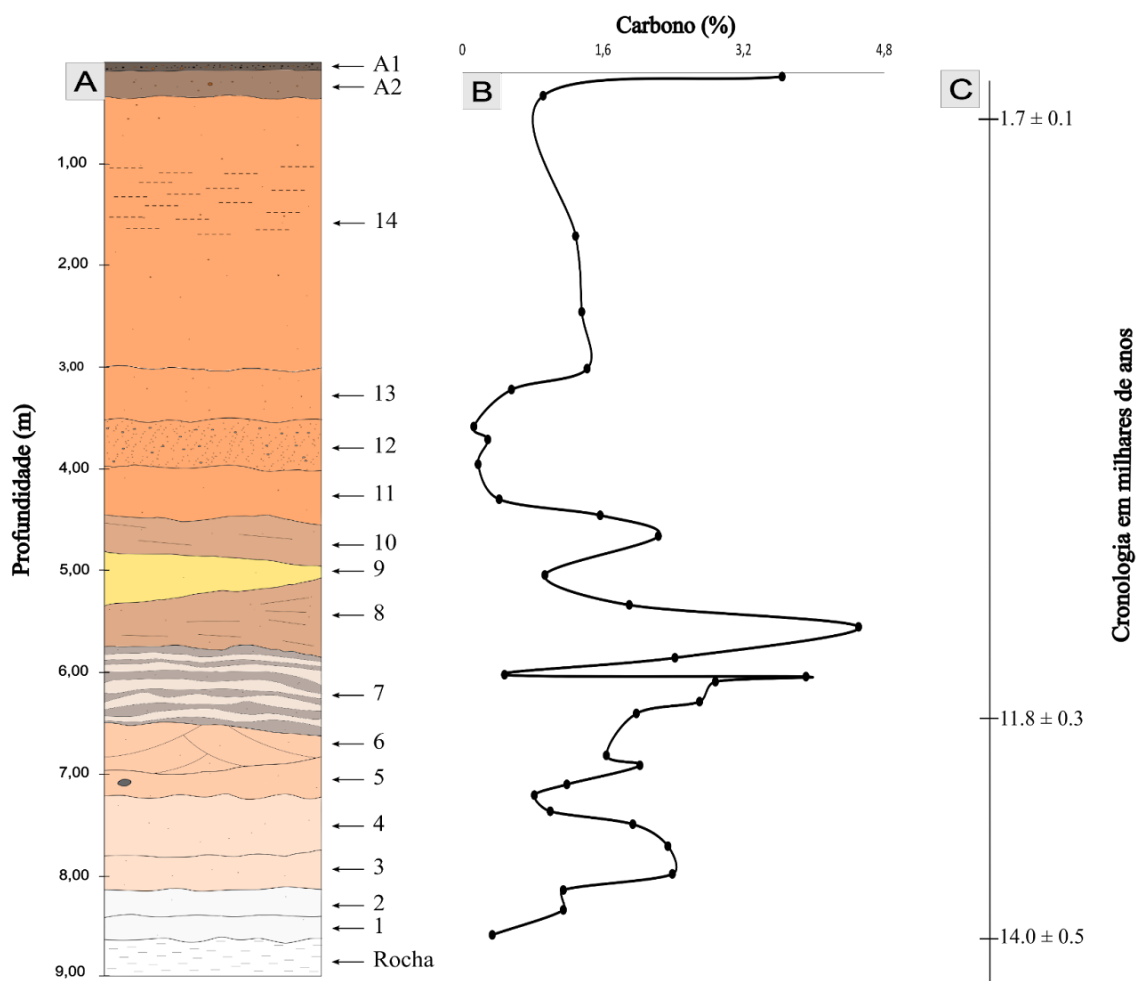
Com estrutura em grão simples e sem cimentação, o horizonte A2 (0,35-0,08 m) de cor marrom escuro (7.5YR 3/3), possui grande quantidade de raízes decimétricas a milimétricas, bioporos, rico em material orgânico, apresenta uma linha com grande quantidade de carvões na transição para o próximo horizonte (0,09-0,15 m) e lamelas (0,20-0,25 m). A unidade de estudo que se inicia na superfície o horizonte A1 (0,00-0,08 m), de cor marrom muito escuro (7.5YR 2.5/3), apresenta a maior quantidade de raízes do perfil de diâmetros centimétricas a milimétricas, contém muita presença de carvão em sua base, estrutura em grãos simples, não cimentado e atividade de fauna (Figura 6).

## 6.2 TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO (COS)

Os teores para o estoque de COS obtidos a partir da coleta de 32 amostras das 16 camadas estratigráficas apresentaram valores entre 0,13% e 4,51%, como pode ser observado na figura 4. O COS encontrado nas camadas 1 e 2 iniciais apresenta teores entre 0,34% a 1,15%, obtendo um aumento expressivo de seus valores entre as camadas 3 e 4 com pontos de maior concentração na camada 7 e 8, com seus valores respectivos, 3,91% e 4,51%, contendo alguns pontos com baixa presença de COS, tal como, a camada 5 e uma subcamada da camada 7, no qual obteve-se valores 0,82% e 0,48%. Logo após a camada 10 os valores diminuem expressivamente para os menores teores de todo o perfil com 0,18% e 0,13% nas camadas 12 e 13 obtendo um aumento gradativo à medida que a profundidade diminui, o horizonte A2 e A1 encontram as deposições mais recentes (Figura 7).



**Figura 7** - Teores de Carbono Orgânico. (A) perfil da trincheira Toca do Morcego. (B) Teores de Carbono. (C) datação por Luminescência Opticamente Estimulada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1 INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS

O perfil da trincheira Toca do Morcego próximo ao sítio arqueológico Toca do Morcego está em uma área onde o Vale da Serra Branca sofre um encaixe abrupto (Figura 8), ou seja, exibe uma captura de drenagem. O substrato do material de origem dos sedimentos, são derivados de rochas areníticas, conglomerados, folhelhos e siltitos (SANTOS, 2007), por esta razão que os sedimentos se encontram em sua grande maioria na fração areia.

**Figura 8** – Imagem do Google earth mostrado o afunilamento e encaixe do Vale da Serra Branca



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os aspectos similares da distribuição dos grãos, coloração do solo úmido, formações pós-deposicionais, estrutura e vestígios biológicos das 14 camadas e 2 horizontes foram levados em consideração para agrupá-los em 5 grupos nomeados de 1 a 5 e duas camadas (7 e 9) analisadas isoladamente, por terem características únicas de formação. Critério similar foi usado por Vieira de Sousa *et al.* (2023) e Haddad-Matin (2017).

O primeiro grupo (camadas 1 e 2) apresenta material de areia fina bem selecionada e baixos valores de carbono. No segundo grupo (camadas 3, 4, 5

e 6), compreende camadas de coesão moderada, que respectivamente diferenciam em presença de manchas de coloração cinza claro, raízes carbonizadas, transição de sedimentação ondulada e estratigrafia cruzada. A camada 7 encontra-se 12 subcamadas de transição abrupta com alternância de laminações ricas em material orgânico e de maiores concentrações de argila de coloração clara. No terceiro grupo (camada 8 e 10), encontra-se material fortemente cimentado. A camada 9 apresenta composição arenosa com presença de cascalho, muito friável. O quarto grupo (camadas 11, 12, 13 e 14) compreende solos de coloração vermelha amarelada. No quinto grupo (Horizontes A1 e A2) apresentam as maiores concentrações de carvões de toda a coluna estratigráfica.

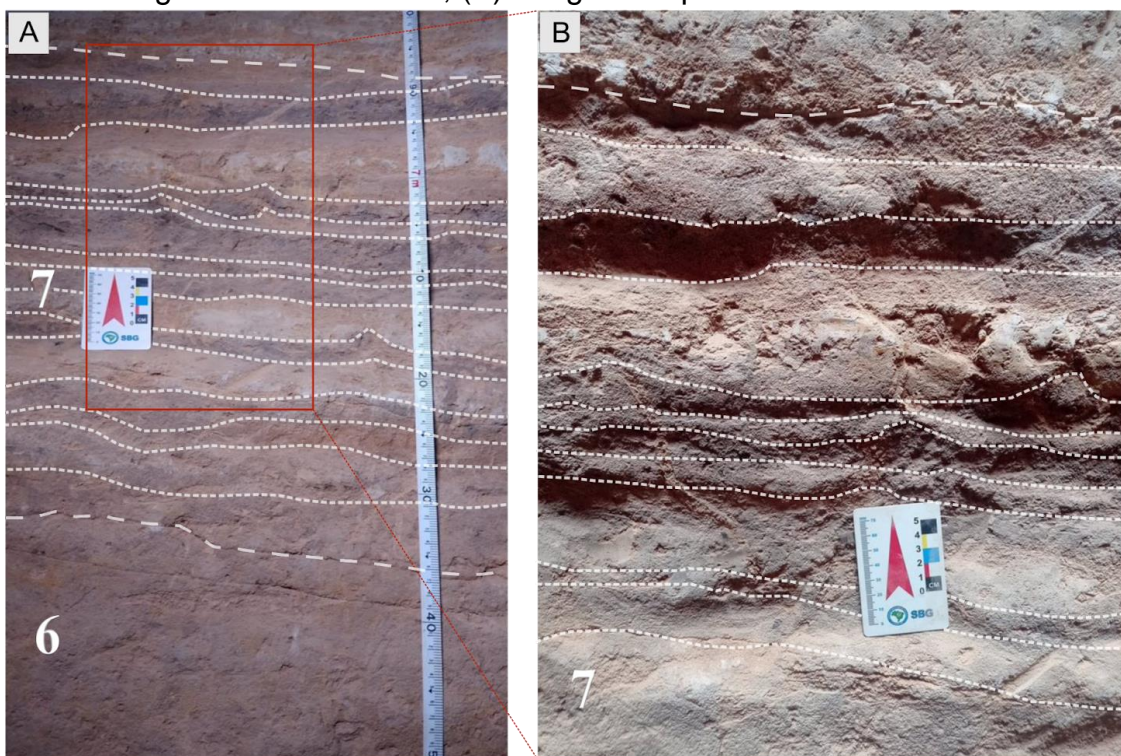
A sedimentação de material arenoso muito friável (pulverulento) do grupo 1, são as deposições mais antigas presentes com 14 mil anos ( $\pm 0,5$ ), a coloração cinza claro (7.5YR 7/1) a cinza (7.5YR 5/1) indicando baixos teores de óxido de ferro, observa-se também em sua composição baixos percentuais de COS, sugerindo um período de regime pluviométrico seco na região com pouca umidade no sistema, concordando com o resultado estudos de Utida *et al.* (2020), Vieira de Souza *et al.* (2023) para as condições paleoclimáticas na região deste período.

Prosseguindo na estratigrafia, no grupo 2, há maiores teores de carbono e óxidos de ferro, que de acordo com Schwertmann (1993) podem ser observados através de suas cores marcantes que podem variar entre amarelo a vermelho. O aumento do teor do Carbono pode sugerir a expansão do porte da vegetação a montante do vale, fazendo com que mais Carbono fosse transportado e sedimentado, ou, pode indicar aumento da vegetação no local, por consequência, da pedogênese sob os sedimentos. De toda a forma, em ambas as hipóteses o aumento do teor de Carbono pode indicar um aumento no regime de chuvas. Os resultados do grupo 1 e 2 sugerem a influência do interestadual *Bølling-Allerød* no depósito Quaternário do Vale da Serra Branca entre 11.8 e 14 mil anos. No mesmo período na camada 5, foi encontrado um artefato lítico registrando um momento de presença humana pleistocênica no vale.

Observando-se também na última camada do grupo 2 uma estratigrafia cruzada, que pode ser interpretada pela ocorrência de um curto intervalo de tempo da atuação intensa de agentes erosivos (ROSSETTI, TRUCKENBRODT, GÓES, 1989; WARREN, 2008)

Em toda a estratigrafia o que mais chama a atenção é a presença de subcamadas intercaladas de laminações alternando entre materiais com maior e menor presença de matéria orgânica na camada 7, sua formação teve início a aproximadamente 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ) e apresenta registros das maiores concentrações de COS de todo o perfil. Foram encontradas feições redoximórficas, o que pode sugerir um ambiente com presença de água estagnada lagunar ocasionado por algum barramento encontrado em seu percurso (LINDBO; STOLT; VEPRASKAS, 2010; BEIRIGO, 2013). A alternância entre camadas com alto teor de Carbono com camadas com baixo teor de Carbono e maior presença de óxidos de Fe pode indicar diferentes momentos de sedimentação, e não necessariamente estar relacionado com alternância de fases climáticas. Também podem estar relacionadas com períodos curtos de estabilização da paisagem onde acumulou-se Carbono no fundo do vale devido o desenvolvimento da vegetação e por consequência da pedogênese, posteriormente houve algum momento de desestabilização da paisagem e aumento dos processos erosivos que levou ao soterramento desta camada rica em Carbono. Outra hipótese pode estar relacionada a uma fase climática mais úmida, onde o relevo atuando como uma soleira, fez com que se desenvolvesse um ambiente com maior umidade no fundo do vale, talvez um ambiente saturado, onde o Carbono pudesse ser acumulado (Figura 9).

**Figura 9** - Subdivisões na camada 7, (A) variação na concentração de material orgânico na camada 7, (B) Imagem ampliada das subdivisões.



Fonte: Acervo pessoal (2022).

O resultado no grupo 3, sugere a presença de um período com maior presença de água no fundo do vale, visto que apresentam altos teores de COS, formações redoximórficas, que foi interrompido por um evento de sedimentação de material arenoso, extremamente friável, da camada 9. A camada 7 e o grupo 3 sugerem registros de maior umidade no vale que podem ser relacionados ao evento *Younger Dryas*, concordando com a análise em ambiente de caverna ao sul do PNSC elaborado por Vieira de Sousa *et al.* (2023). A camada 5 e o grupo 3 Os resultados obtidos no grupo 4, registram os menores teores de COS, estando associados às camadas 11 a 14, coincidindo com a deposição de um material mais arenoso, podendo ser associado a diminuição do porte vegetacional. Tendo um aumento gradual dos teores de COS, com datação de 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ). Os resultados do grupo 5, registram os momentos mais atuais do perfil, apontando para uma baixa acumulação de COS em sua base, devido à condição quente e seca da região.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados, foi possível considerar que:

- Durante o final do Pleistoceno na região do Vale da Serra Branca ocorreram episódios de clima semelhantes ao atual, evidenciado pela baixa preservação e armazenamento do COS nas camadas do grupo 1 (camada 2 e 3);

- Os resultados do grupo 2 e 3 sugerem que após o período seco foi sucedido por episódios de maior umidade e aumento do porte da vegetação a montante o que proporcionou a pedogênese incipiente, o acúmulo maior de COS e formações associadas a redoximorfismo;

- Registros de estratificação cruzada na camada 6, no qual duas hipóteses foram formuladas. A primeira, descreve um período de intensa erosão, estando associados a chuvas torrenciais entalhando o relevo do vale que posteriormente foi recoberto por novos sedimentos. O segundo, está associado à mudança no trajeto do rio.

- A partir de 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ), o fundo do Vale da Serra Branca passou por vários intervalos sucessivos de ambiente de água estagnada lagunar formado através de algum barramento no vale, surgiu a ocorrência de diferentes momentos de sedimentação não estando associados a mudanças climáticas, mas sim a estabilização da paisagem.

- O clima de condição quente e seca se tornou predominante após 11,8 mil anos ( $\pm 0,3$ ) visto a baixa acumulação de COS, indicando a redução do porte vegetacional.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Review**, v. 17, 1977. 1–29 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/284664191\\_Provincias\\_estruturais\\_br\\_asileiras\\_Actas#:~:text=Do%20ponto%20de%20vista%20geol%C3%B3gico,diretamente%20nas%20formas%20de%20relevo](https://www.researchgate.net/publication/284664191_Provincias_estruturais_br_asileiras_Actas#:~:text=Do%20ponto%20de%20vista%20geol%C3%B3gico,diretamente%20nas%20formas%20de%20relevo). Acesso em: 21 de maio de 2023.
- BARROS, J. S. *et al.* Geoparque Serra da Capivara: proposta. In: Schobbenhaus, C. and Silva, C.R. (Org.). **Geoparques do Brasil: propostas**. CPRM, Brasília, 2012. 745 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/17165/1/serracapivara.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2023.
- BEIRIGO, R. M. **Formação e degradação de feições redoximórficas em solos do Pantanal-MT**. Orientador: Pablo Vidal Torrado. 2013. 126 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade de São Paulo, USP, Piracicaba, 2013. Disponível em: [10.11606/T.11.2013.tde-09122013-163435](https://repositorio.usp.br/handle/11363-4/111111). Acesso em: 13 de julho de 2023.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H.E. Jr. & FREY, D.G. (eds.) **International Studies on the Quaternary**. Geol. Soc. Am. Spec. Papers. New York, v. 84, 1965. 433-451 p.
- BIGARELLA, J. J. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do Carbono 14. **Paleoclimas**, v. 1, 1971. 1-22 p.
- BOUIMETARHAN, I.; CHIESSI, C. M.; GONZ´ALEZ-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**. *Quat. Sci. Rev.*, v. 192, 2018. 86-96 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.05.026>. Acesso em: 19 de julho de 2023.
- BUCO, C. de A. O Vale Da Serra Branca. Um Santuário Da Pré-História. **Revista Santuários, Cultura, Arte, Romarias, Peregrinações, Paisagens e Pessoas**. v. 1, 2014. 87-96 p. Disponível em: [https://www.academia.edu/8673518/O\\_Vale\\_Da\\_Serra\\_Branca\\_Um\\_Santu%C3%A1rio\\_Da\\_Pr%C3%A9\\_Hist%C3%B3ria](https://www.academia.edu/8673518/O_Vale_Da_Serra_Branca_Um_Santu%C3%A1rio_Da_Pr%C3%A9_Hist%C3%B3ria). Acesso em: 21/05/2023.
- CPRM. **Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba**. Teresina: Serviço Geológico do Brasil, 2009. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10980/11/mapa\\_geologico\\_blest.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10980/11/mapa_geologico_blest.pdf). Acesso em: 22/05/2023.
- CRUZ JUNIOR, F. W.; BURNS, S. J.; KARMANN, I.; SHARP, W. D.; VUILLE, M.; CARDOSO, A. O.; FERRARI, J. A.; SILVA DIAS, P. L.; VIANA, O.

Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, v. 434, 2005. 63-66 p. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature03365>. Acesso em: 19 de julho de 2023.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; GALLIASSI, K.; CERETTA, C. A. Determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição, em amostras do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31 2007. 247-255 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000200007>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

GALVÃO, Diogo Cavalcanti. **Evolução do paleoambiente e da paisagem quaternárias no Sudeste do Piauí**. Orientador: Antônio Carlos de Barros Corrêa. 2019. 146 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43150>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

GUÉRIN, Claude *et al.* A fauna pleistocênica do Piauí (Nordeste do Brasil): relações paleoecológicas e biocronológicas. **Fundamentos**, v. 1, 1996. 55-103 p. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43150>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

HADDAD-MARTIM, Paulo M. *et al.* Quaternary depositional facies in cave entrances and their relation to landscape evolution: the example of Cuvieri Cave, eastern Brazil. **CATENA**, v. 157, 2017. 372-387 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.029>. Acesso em: 16 de maio de 2023.

HADJAS, I.; BONANI, G.; MORENO, P. & ARIZTEGUI, G. Precise radiocarbon dating of Late-Glacial cooling in mid-latitude South America. **Quaternary Research** v. 59, 2003. 70-78 p.

LINDBO, D. L.; STOLT, M. H.; VEPRASKAS, M. J. Redoximorphic Features. In: **Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths**. 2010. 129-147 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53156-8.00008-8>. Acesso em: 13 de julho de 2023.

LOWE, J. J.; JOHN WALKER, M. **Reconstructing quaternary environments** /. — Third edition. ISBN: 978-0-415-74075-3 Routledge, Taylor & Francis Group, 2015. 569 p.

MADEIRA, Claudio Valdetaro; BORGHI, Leonardo. Estrutura dos depósitos sedimentares quaternários da bacia hidrográfica do rio Santana, Miguel Pereira, Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 22, 1999. 8-22 p. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/1779>. Acesso em: 19 de julho de 2023.

MENDES, Vinícius Ribau. **Registro sedimentar quaternário na Bacia do Rio Parnaíba, Piauí: um estudo multi-indicadores voltado à investigação de mudanças climáticas**. Orientador: Paulo César Fonseca Giannini. 2016. 118 f.



Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Universidade de São Paulo, USP, 2016. Disponível em: [10.11606/T.44.2017.tde-27032017-090701](https://repositorio.usp.br/handle/11363/442017). Acesso em: 25 de julho de 2023.

MORAES, B. C. **Geoquímica e Geomorfologia de Sedimentos Arqueológicos como Fundamentos na Indicação de Níveis de Ocupação Humana Pré-histórica no Parque Nacional Serra da Capivara - Piauí, Brasil**. Orientador: Antonio Carlos de Barros Corrêa. 2015, 180 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29348>. Acesso em: 22 de maio de 2023.

MOTA, Leidiana Alves da. **Paleoambiente e arqueologia no nordeste do Brasil: Uma proposta de estudo antracológico do Boqueirão da Pedra Furada (Piauí, Brasil)**. Orientadores: Ethel Allué, Rita Scheel-Ybert, Fabio Parenti. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em arqueologia pré-histórica e arte rupestre) - Instituto Politécnico de Tomar – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/20951>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. Luminescence Dating of Quartz Using an Improved Single Aliquot Regenerative-Dose Protocol. **Radiation Measurements**, v. 32, 2000. 57-73 p. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(99\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(99)00253-X). Acesso em: 24 de julho de 2023.

MUTZENBERG, Demétrio da Silva. **Ambientes de ocupação pré-histórica no boqueirão da pedra furada, Parque Nacional Serra da Capivara-PI**. Orientador: Antonio Carlos de Barros Corrêa. 2010. 258 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/459?locale=es>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. Blackwell, Oxford, 2009. Disponível em: <https://raregeologybooks.files.wordpress.com/2014/09/sedimentology-and-stratigraphy-by-gary-nichols.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2023.

OLIVEIRA, M. A. T.; SANTOS, J. C. Estratigrafia GPR e morfogênese quaternária no semiárido brasileiro. **MERCATOR (FORTALEZA. ONLINE)**, v. 18, 2019. 01-22 p.

OLIVEIRA, M. A. T.; SANTOS, J. C.; LEMOS, R. 80,000 years of geophysical stratigraphic record at the Serra da Capivara National Park, in northeastern Brazil: *Uncovering hidden deposits and landforms at a canyon's floor*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 104, Dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981120302340>. Acesso em: 21 de maio de 2023.

PARENTI, Fabio *et al.* Valli Lagoa do Quari (São Raimundo Nonato, Piauí): Palaeoenvironment and wetland archaeology in Northeastern Brazil.

**Geoarchaeology**, v. 36, n. 6, 2021. 829-853 p. Disponível

em: <https://doi.org/10.1002/gea.21855>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

PELLERIN, J. Les bases physiques. In: L'aire archéologique du sud-est du Piauí. GUIDON, N. (org). **Editeur Recherche sur les Civilisations**, Paris, 1984. p.11-22.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; RIBEIRO, A. S.; DE OLIVEIRA, P. E.; ARAVENA, R. Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 297, 2010. 597-608 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.09.008>. Acesso em: 25 de Julho de 2023.

PRESCOTT, J. R.; STEPHAN, L.G. the contribution of cosmic radiation to the environmental dose for thermoluminescent dating, latitude, altitude and depth dependence. **PACT**, v. 6, 1982. 17-25 p.

PROCHOROFF, R.; BRILHA, J. Preliminary study in Serra da Capivara National Park (Piauí, Brazil): Integrating geological and archaeological heritage in a world heritage site. In: HILARIO, A. *et al.* **Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos**. Cuadernos del Museo Geominero, n. 18. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2015. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/35280>. Acesso em: 21 de 05 de 2023.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. **Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra, v. 1, n. 1, 1989. 25-74 p. Disponível em: <https://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/623>. Acesso em: 13 de julho de 2023.

SANCHEZ GOÑI, M. F.; & HARRISON, S. P. Millennial-scale climate variability and vegetation changes during the Last Glacial: Concepts and terminology. **Quaternary Science Reviews**, v. 29, 2010. 2823-2827 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.11.014>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

SANTOS, H. G dos *et al.* **Embrapa: Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2018. Disponível em: [978-85-7035-817-2](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.11.014). Acesso em: 21 de maio de 2023.

SANTOS, Janaina Carla dos. **O Quaternário do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil: morfoestratigrafia, sedimentologia, geocronologia e paleoambientes**. Orientadora: Alcina Magnólia Franca Barreto. 2007. 182 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2007. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6387>. Acesso em: 23 de 05 de 2023.

SANTOS, J. C.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. **Quaternary deposits in the Serra da Capivara National Park and surrounding area, Southeastern Piauí state, Brazil (2012)**. *Geologia USP. Série Científica*. v. 12, n. 3, dezembro 2012. 115-132 p. Disponível em: [10.5327/z1519-874x2012000300008](https://doi.org/10.5327/z1519-874x2012000300008). Acesso em: 23 de 05 de 2023.

SANTOS, R. D. dos *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SCHULTE, E.; HOPKINS, B. G. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In: MAGDOFF, F. R.; TABATABAI, M. A.; HANLON Jr., E. A. **Soil organic matter: Analysis and interpretation**. Madison, SSSA-ASA, 1996. 21-31 p. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub46.c3>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

SCHWERTMANN, U. **Relations between iron oxides, soil color, and soil formation**. *Soil color*, v. 31, 1993. 51-69 p.

STRÍKIS, Nicolás M. *et al.* South American monsoon response to iceberg discharge in the North Atlantic. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 15, 2018. 3788-3793 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1717784115>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

UTIDA, G. *et al.* Climate changes in Northeastern Brazil from deglacial to Meghalayan periods and related environmental impacts. **Quaternary Science Reviews**. v. 250, 2020. 106625 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106655>. Acesso em: 13 de julho de 2023.

WANG, Xianfeng *et al.* Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, n. 7018, 2004. 740-743 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/gea.21855>. Acesso em: 25 de julho de 2023.

WARREN, Lucas Veríssimo *et al.* Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, 2008. 213-227 p. Disponível em: [0375-7536](https://doi.org/10.375-7536). Acesso em: 16 de maio de 2023.

VIEIRA DE SOUSA, D. *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. 01-16 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107092>. Acesso em: 16 de maio de 2023.