

Conservação e monitoramento do patrimônio rupestre no microclima da caatinga frente às mudanças climáticas: o caso do Parque Nacional Serra da Capivara (Piauí - Brasil)

Conservation and monitoring of rock art heritage in the caatinga microclimate in the face of climate change: the case of Serra da Capivara National Park (Piauí - Brazil)

David Almeida Eleutério*

Leandro Surya**

Gustavo Nunes Pacheco***

Claudia Cecilia Caro Vera****

Jaciara Andrade Silva*****

Palavras-chave:

Arte Rupestre

Bioma da Caatinga

Mudanças Climáticas

Resumo: O atual contexto de mudanças climáticas impõe novos desafios à conservação preventiva e ao monitoramento integrado do Patrimônio Natural e Arqueológico. Os dados apresentados no IPCC AR6 fazem ressalvas à vulnerabilidade do semiárido brasileiro, sendo o bioma nacional da Caatinga o mais suscetível às mudanças climáticas, podendo registrar um aumento das temperaturas de 2°C à 4°C, maior amplitude térmica e déficit pluviométrico entre 20 à 30% até 2100. O somatório desses fatores ocasionará tanto a redução do nível de água nos reservatórios subterrâneos e consecutiva degradação do solo, como transformações da cobertura vegetal, que enquanto agente termorregulador de temperatura, acarretará o aumento da exposição aos agentes atmosféricos do acervo gráfico e pictórico rupestre do Parque Nacional Serra da Capivara, localizado no sudeste do Piauí. Este artigo aporta dados recentes no âmbito do sensoriamento remoto e da análise de elementos climáticos coletados ao longo do último quadriênio (2002-2025) no Desfiladeiro da Capivara, nos atendo ao caso da Toca da Entrada do Pajaú, e propõe mecanismos em prol da conservação e monitoramento do acervo rupestre.

Keywords:

Rock Art

Caatinga Biome

Climate Changes

Abstract: The current context of climate change poses new challenges for preventive conservation and integrated monitoring of Natural and Archaeological Heritage. The data presented in IPCC AR6 highlights the vulnerability of the Brazilian semi-arid region, with the Caatinga national biome being the most susceptible to climate change, temperatures expected to rise by 2°C to 4°C, greater temperature range and rainfall deficit of between 20 and 30% by 2100. The sum of these factors will cause both a reduction in the water level in underground reservoirs and consequent soil degradation, as well as changes in land cover, which, as a temperature-regulating agent, will lead to increased exposure to atmospheric agents of the graphic and pictorial rock art of the Serra da Capivara National Park, located in southeastern Piauí. This article provides recent data on remote sensing and the analysis of climatic elements collected over the last four years (2002-2025) in the Desfiladeiro da Capivara, focusing on the case of Toca da Entrada do Pajaú, and proposes mechanisms for the conservation and monitoring of the rock art heritage.

Recebido em 15 de agosto de 2025. Aprovado em 11 de novembro de 2025.

* Pós-doutorando em Arqueologia pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: davideleuterio88@gmail.com.

** Professor Associado IV do Colegiado de Ciências Sociais e do Programa de Pós-Graduação em Arqueologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: leandro.surya@univasf.edu.br.

*** Graduando de Engenharia Ambiental e Sanitarista da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). E-mail: pacheco.gustavo@graduacao.uerj.br.

**** Professora Principal de Biologia da Universidade Nacional Agrária La Molina (UNALM). E-mail: ccaro@lamolina.edu.pe.

***** Professora Adjunta IV do Colegiado de Arqueologia e Preservação Patrimonial e do Programa de Pós-Graduação em Arqueologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: jaciara.andrade@univasf.edu.br.

Introdução

O Parque Nacional Serra da Capivara, localizado no sudoeste piauiense (figura 1), ocupa uma área de aproximadamente 130 mil hectares, que abrange os municípios de Brejo do Piauí, Coronel José Dias, João da Costa e São Raimundo Nonato (Figueiredo, 2022). Este vasto território, geomorfologicamente se constitui enquanto um front de Cuesta, de clima atual semiárido e inserido no bioma nacional da Caatinga (Behling *et al.*, 2000; Bélo, 2012; Da Costa, 2017; Griggo *et al.*, 2018; Lourdeau, 2019).

Desde a década de 1970, o Parque Nacional, se tem destacado pelo pioneirismo de Niède Guidon e da criação da Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), cujo amplo investimento, tanto a nível de recursos humanos como das consideráveis frentes de pesquisa tem feito, nas últimas décadas, avançar consideravelmente o processo de identificação e registro dos painéis de arte rupestre, ao que se seguiram pontuais escavações arqueológicas (Guidon *et al.*, 2002; 2007; Lage, 1998a; 2007). É patente o potencial do Parque Nacional da Serra da Capivara na revisão da ocupação humana no continente americano e da sua adaptação num contexto cuja biodiversidade é

singular, sendo prioritário a implantação de um sistema de registro integrado, de rápido e simples acesso, capaz de garantir o monitoramento e respectiva salvaguarda integral do patrimônio reconhecido o impacto das mudanças climáticas no bioma nacional da Caatinga (Bueno *et al.*, 2013; Chaves, 2002; Santos, 2007).

Não obstante, há ausência da implantação do monitoramento dos agentes atmosféricos e biofísicos, possui direto impacto na conservação do vasto e heterogêneo acervo de arte rupestre (Lage *et al.* 2005; 2007). Por monitoramento entendemos o acompanhamento contínuo e sistemático da ação dos referidos agentes sob o patrimônio rupestre, tendo em vista mitigar atempadamente problemas, danos ou riscos acrescidos sobre o acervo gráfico e pictórico (Surya *et al.* 2018; 2019). É certo, que estamos diante de um Parque Nacional que dispõe de quarenta e cinco anos desde a sua criação e cujas dimensões impõe inúmeros desafios de sistematização e de catalogação (Gomes, 2001; Grohmann, 2008). Razão pela qual, é de vital importância iniciativas que estabeleçam seções de análise e busquem identificar as dinâmicas de enquadramento e gestão no território (Pellerin, 2014; Pessis, 2013; Santos, 2007).

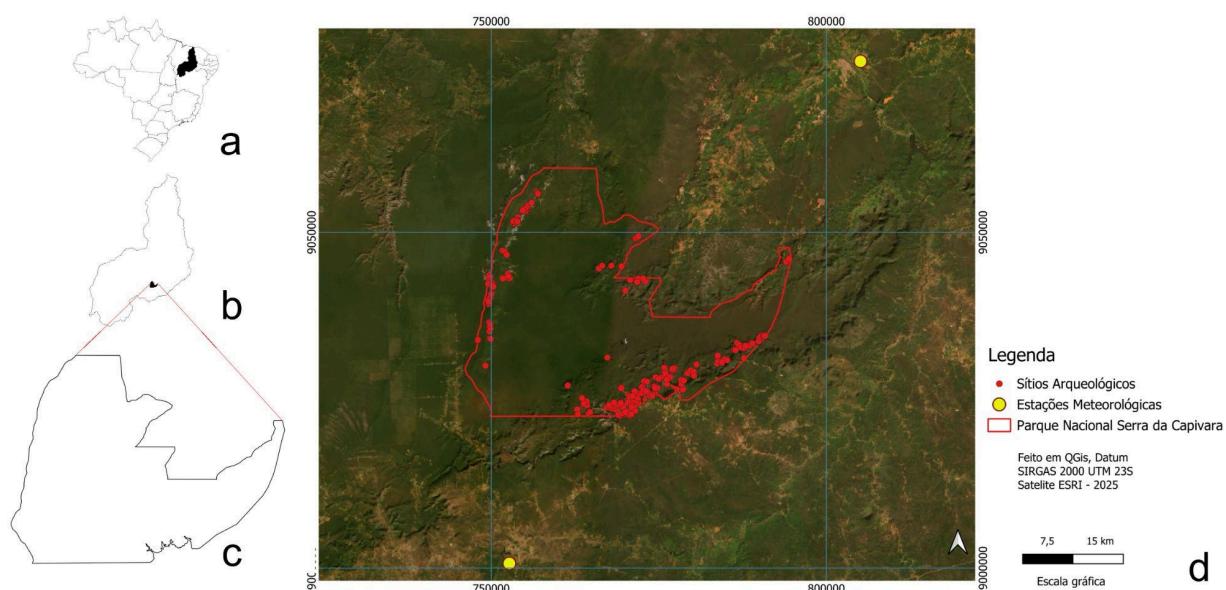


Figura 1 - Parque Nacional Serra da Capivara com a localização dos sítios arqueológicos e das estações meteorológicas de referência do Instituto Nacional de Meteorologia

Fonte: Autores (2025).

Acresce ainda, a iminente urgência de pôr em prática um quadro metodológico voltado ao monitoramento de sítios arqueológicos visando à conservação preventiva do patrimônio rupestre (figura 2). A coleta de dados, acompanhada do respectivo registro fotográfico, apresenta inúmeras vantagens, sendo promissora na identificação de alterações no suporte rochoso, nas gravuras e pinturas rupestres (Surya *et al.*, 2018). No caso da Arqueologia, o seu potencial começa a ser utilizado (Van Havre *et al.*, 2021). Sem dúvida, as técnicas para um registro adequado no monitoramento segundo esta técnica podem assumir inúmeros contornos, inclusive para uma leitura integrada do Patrimônio Natural e Arqueológico (Surya *et al.*, 2019).

Neste sentido, a integração do mapeamento por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e de avaliação do estado de conservação recorrendo ao Índice de Estabilidade de Arte Rupestre (RASI), nos põe à disposição ferramentas de simples manuseio, que integradas ao monitoramento dos dados atmosféricos, hidrológicos, fenológicos e pedológicos comporão um banco de dados comparativo da evolução do estado de conservação de rápido acesso, passível de novos aportes por grupos de pesquisas e pelos

agentes responsáveis pela tutela (Dorn *et al.*, 2008; Zerboni *et al.*, 2022). Este quadro metodológico atende às atuais diretrizes normativas nacionais e internacionais, respeitando as adequações dos princípios orientadores para a preservação frente às mudanças climáticas.

Adequação da conservação e do monitoramento do patrimônio rupestre face às mudanças climáticas

Na última década os principais organismos internacionais têm buscado instaurar um quadro operativo voltado à gestão do patrimônio face às mudanças climáticas em curso, como é exemplo as novas “Estratégias de ação sobre as mudanças climáticas” (UNESCO, 2017a), instrumento em vista da adoção de medidas urgentes em prol da mitigação dos impactos através da educação, ciências, cultura, informação e comunicação, em conformidade com as obrigações dos Estados-membros ao abrigo do Acordo de Paris (2015) e no contexto geral da Agenda 2030, da ONU, para o Desenvolvimento Sustentável.

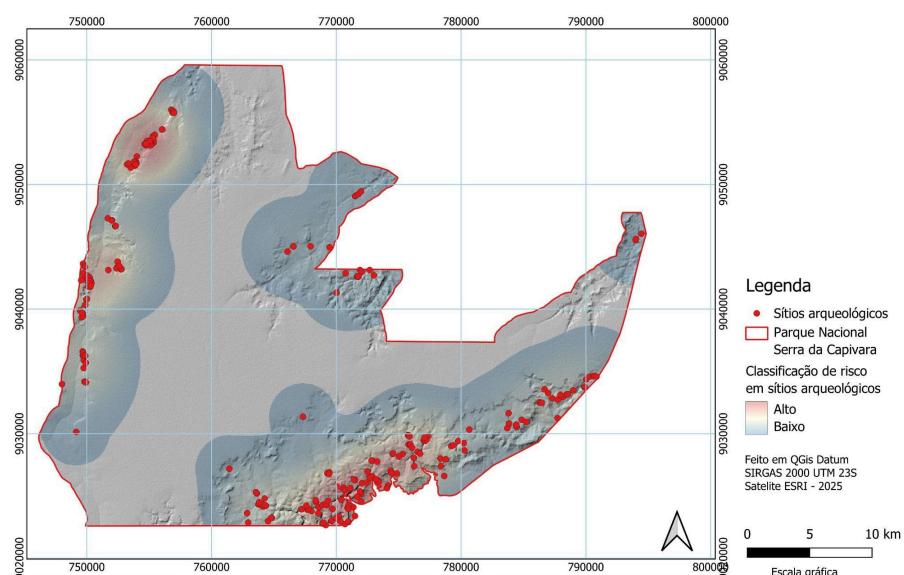


Figura 2 - Dispersão dos sítios arqueológicos no Parque Nacional Serra da Capivara, com a respectiva classificação de risco

Fonte: Autores (2025).

Documento em linha conquanto estabelecido na 39^a sessão da Conferência Geral, na qual foi aprovada a “Declaração sobre os princípios éticos em relação à mudança climática” (UNESCO, 2017b) e na “Decisão 40 COM 7”, apresentada na consecutiva 40^a sessão, relativa ao monitoramento do estado de conservação dos bens do Patrimônio Mundial (UNESCO, 2016). Orientações que devem ser lidas à luz das atualizações que constam no capítulo 4º das Diretrizes Operacionais para a Implementação da Convenção do Patrimônio Mundial (UNESCO, 2025).

Todo o presente quadro normativo pressupõe uma mudança de paradigma, como bem enuncia a própria UNESCO, ao publicar *“changing minds, not the climate”*, apelo à mobilização face a iminente crise climática, que pressupõe uma ação conjunta perante aos novos desafios impostos à conservação e monitoramento do patrimônio classificado (UNESCO, 2019). Razão pela qual a “Avaliação da Estratégia de Ação da UNESCO sobre Alterações Climáticas” (UNESCO 2021), iniciativa conjunta com o Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) e com o Grupo Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC), visa incluir e promover ações locais como elementos fundamentais e recursos potenciais para a mitigação e adaptação às alterações climáticas (ICOMOS, 2019a; 2019b; 2022).

No Brasil, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (2016), os Diálogos sobre Patrimônios e Ações Climáticas, desenvolvido pelo Comitê de Mudanças Climáticas e Patrimônio do Comitê Brasileiro do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS-Br) e pelo Departamento de Articulação, Fomento e Educação do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), realizados em 2023, bem como a recente edição da Carta Brasileira do Patrimônio Cultural e Mudanças Climáticas (2025), apresentam um quadro orientador para a formulação de estratégias de adaptação voltadas à proteção de sítios patrimoniais frente aos riscos climáticos.

De fato, o Artigo 1º, inciso 3º, da Carta Brasileira do Patrimônio Cultural e Mudanças Climáticas, que concerne aos princípios orientadores, diz que:

a pesquisa científica é fundamental para a compreensão de vulnerabilidades, exposição e perigos e para a análise de consequências e a proposição de medidas de mitigação de riscos e de adaptação para os bens culturais, considerando também os impactos das mudanças climáticas, a participação das comunidades locais e o uso de tecnologias para monitoramento e preservação” (ICOMOS-Br, 2025, p. 3).

Já no Artigo 3º, relativo aos desafios e impactos por território, no inciso 6º, atinente ao bioma da Caatinga, os principais perigos aos quais devemos fazer face são: “desertificação, escassez hídrica, aumento de temperaturas extremas, queimadas, degradação do solo” (ICOMOS-Br, 2025, p. 8). Fatores que já começam a ser objeto de consideração em outros contextos com repertórios pictóricos e gráficos rupestres, como é o caso australiano e dos territórios setentrionais do continente africano (Aïn-Séba, 2022; Taçon *et al.*, 2021).

No caso australiano, a região de Terra de Arnhem, que contém alguns dos mais notáveis e antigos conjuntos patrimoniais rupestres nacionais, como é referência o sítio arqueológico de Djarrng, estima que mais de 50% das pinturas e cerca de 70% dos pigmentos sofreram degradação desde que o ciclone tropical Mônica, que removeu boa parte da cobertura vegetal no ano de 2006 e deixou os painéis sob a ação direta dos agentes atmosféricos (Taçon *et al.*, 2021, p. 124). É notório o desgaste eólico e pluvial sofrido pelos paredões ao compararmos os registros fotográficos efetuados desde o ano de 1965 (Brandl, 1973; Chaloupka, 1984; 1993; White, 1967;).

Já no caso argelino e demais territórios norte africanos, as mudanças climáticas e o seu impacto direto nos ecossistemas é perceptível nas representações dos períodos figurativos: do Bubalino, com a sua grande fauna do tipo savana, ao Boviano, com os seus extensos rebanhos, ao que sucede o Cabalino, com o aparecimento de cavalos domesticados e, finalmente, o Camelino, com a predominância de camelos, um animal desértico por excelência, o que atesta o desaparecimento de certas espécies com o avanço da desertificação (Aïn-Séba, 2022, p. 315). Fato que também podemos verificar no Parque Nacional Serra da Capivara, no sítio

arqueológico da Toca da Entrada do Baixão da Vaca, onde identificamos a existência outrora de fauna fluvial, com representações pictóricas de peixes e caranguejos, registros rupestres que testemunham a reconfiguração em curso no Desfiladeiro da Capivara (Pessis *et al.*, 2018; Justamand *et al.*, 2022).

O caso do patrimônio rupestre no Desfiladeiro da Capivara

Nos atendo ao contexto do Desfiladeiro da Capivara é importante ter em consideração que, geomorfologicamente, este pertence ao grupo Serra Grande, pelo que se caracteriza por um relevo cuestiforme, se enquadra na Bacia Sedimentar do Rio Parnaíba, e se encontra na sub-bacia hidrográfica dos rios Piauí e Canindé (Santos, 2007). Embora os registros pictóricos do sítio da Toca da Entrada do Baixão da Vaca evidenciem a existência, outrora, de fauna fluvial, atualmente o território em questão não dispõe de nenhum rio permanente, mas apenas de esparsos olhos d'água temporários e, de algumas cavernas, aflora água proveniente das galerias inferiores, ao que acresce os aspectos bióticos característicos do bioma da Caatinga: tapete herbáceo, estratificação arbustiva e arbórea,

composta por espécies caducifólias e subcaducifólias, com a presença de suculentas e xerófilas, abrigando, a nível faunístico, populações da maioria dos endemismos da Caatinga (Behling *et al.*, 2000; Chaves, 2002; Pellerin, 2014; Pessis, 2013; Souza *et al.*, 2023).

Relativamente ao monitoramento do patrimônio rupestre, no ano de 2017, Leandro Surya, iniciou a recolha e o tratamento de dados meteorológicos em quatro sítios arqueológicos: Toca do Paraguaio, Toca do Barro, Toca da Entrada do Pajaú e Toca do Pajaú (Surya *et al.*, 2019). Hoje, já se encontram sob verificação contínua mais três sítios arqueológicos dispersos ao longo do adjacente braço do Desfiladeiro: Toca da Entrada do Baixão da Vaca, Toca do Deitado e Toca das Eminhas Azuis (figura 3). Os sítios elencados pertencem à tradição Agreste e Nordeste, cujos grafismos e pinturas se encontram sob formações areníticas finas e conglomerados, apresentam temáticas antropomórficas, geométricas e zoomórficas, as quais estão distribuídas pelas paredes e tetos dos abrigos, recorrendo a pigmentos de tons amarelo e vermelho, cujos suportes não foram objeto de preparação prévia (Lima *et al.*, 2020; Pessis *et al.*, 2018).

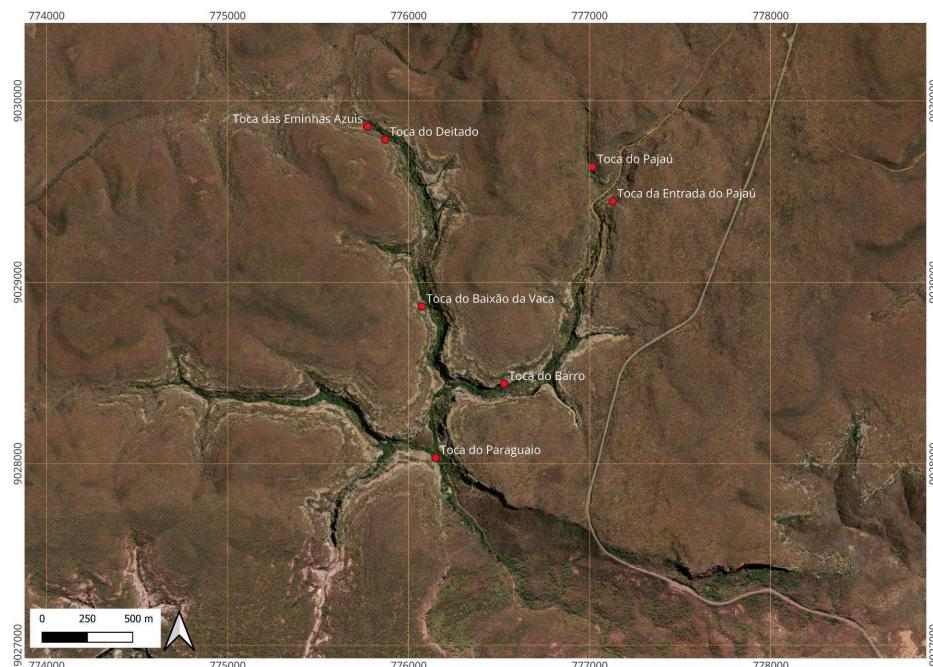


Figura 3 - Localização dos sítios arqueológicos monitorizados no Desfiladeiro da Capivara

Fonte: Autores (2025).

No que concerne a conservação dos grafismos e pinturas, verificamos que os sítios arqueológicos foram objeto de intervenções pontuais de consolidação e restauro. Neste âmbito é importante ter em consideração que a Toca do Paraguaio foi o primeiro abrigo reconhecido por Niède Guidon, aquando da sua visita ao Piauí, em 1970. E, acerca da conservação do acervo rupestre, a mesma afirmou na sua tese de doutoramento, publicada cinco anos depois, que: “*la Toca do Paraguaio contient, au total, 745 figures qui ont été relevées; nous calculons qu'à peu près trente pour cent des peintures ont été abimées ou ont disparu*” (Guidon, 1975, p. 68). Já nos casos dos sítios da Toca da Entrada do Pajaú e da Toca da Entrada do Baixão da Vaca a arqueóloga refere que: “*la Toca da Entrada do Pajaú présentait, à l'époque du relevé, en avril 1973, un total de 504 figures, mais à peu près autant doivent avoir été détruites*” (Guidon, 1975, p. 100). No que concerne ao segundo sítio: “*on trouve dans la Toca da Entrada do Baixão da Vaca, un total de 749 figures; il se peut qu'un nombre égal ait disparu sous l'action du temps ou sous les nids de guêpes*” (Guidon, 1975, p. 110).

Fato é que desde a publicação deste primeiro levantamento do patrimônio rupestre do Desfiladeiro da Capivara, o estado de conservação das gravuras e pinturas continua a sofrer com agravantes de ação natural e antrópica, como são exemplos: cristalização de sais; desplacamento; deposição de sedimentos; erosão eólica; percolação da água pluvial; insolação; marcas de fuligem; oxidação; verniz desértico; ação de cupins e vespas; colmeias de abelhas e marimbondos; fungos e outros animais; acréscimo de elementos gráficos e danos decorrentes da própria fruição turística (Lima et al., 2020, Macedo et al., 2019).

Em âmbito conservativo, nas últimas décadas, no Parque Nacional Serra da Capivara, se destacam os esforços de Lage (1998a, 1998b, 1999), em colaboração com a Missão Francesa (2002) e com Borges, Guidon e Rocha Júnior (2005; 2007). Recentemente, devemos fazer particular referência ao trabalho de Cisneiros, Krempser e Tavares (2021), no quesito diagnóstico do estado de conservação do sítio arqueológico da Toca da Entrada do Pajaú, enquanto sítio piloto escolhido para implementação do plano de ação do grande projeto “Documentação e conservação dos sítios com Arte Rupestre no

Parque Nacional Serra da Capivara” (Cisneiros, 2021, p. 29). É importante considerar, que o referido sítio arqueológico já havia sido objeto de uma primeira intervenção de consolidação dos suportes rochosos em 1993 e, de uma segunda a partir do ano de 2001, no âmbito do projeto “Consolidação estrutural da Toca da Entrada do Pajaú”, executado pela equipe dirigida por Maria Conceição Lage, em parceria com a FUMDHAM e o IPHAN, com um custo total de R\$ 22.941,06 (Da Luz, 2012, p.56; Figueiredo & Puccioni, 2006).

Este histórico de procedimentos de consolidação no sítio da Toca da Entrada do Pajaú, se dá num contexto morfológico sujeito a contínua ação da variação térmica, eólica, hídrica e de intensa incidência solar. De fato, o sítio se localiza numa alta vertente, na cota dos 510 m. Trata-se de um abrigo arenítico conglomerático, que assume a forma de anfiteatro com uma profundidade de 13 m, um comprimento de 20 m e uma altura máxima de 15 m (figura 4). Estamos perante um suporte rochoso sujeito a contínuo estresse físico-químico devido a amplitude térmica do microclima local, com picos de calor e contínua variação de umidade.



Figura 4 - Sítio da Toca da Entrada do Pajaú
Fonte: Autores (2025).

Caso distinto do que verificamos na Toca do Paraguaio, que se localiza numa zona de média vertente, na cota dos 460m, tratando-se de um sítio do tipo parede, cuja cobertura vegetal arbórea do vale lhe garante uma relativa proteção contra a ação direta dos agentes atmosféricos. A profundidade do sítio não ultrapassa os 9 m, possuindo um comprimento de 73 m e uma altura de cerca de 10 m (figura 5). Trata-se de um abrigo de arenito fino conglomerático com registro pictórico em ambas superfícies rochosas, disperso pela parede vertical e o teto, cuja pavimentação se dispõe em dois níveis: o lajeado e o passadiço instalado para a visitação.

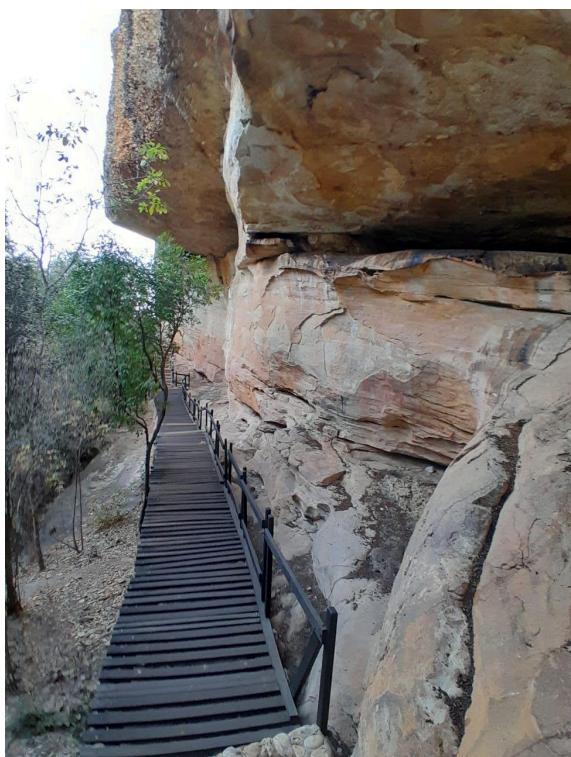


Figura 5 - Sítio da Toca do Paraguaio

Fonte: Autores (2025).

Analizando estes dois contextos arqueológicos, verificamos que há uma considerável diferenciação da ação dos agentes naturais, o que adverte para a necessária verificação da ação decorrente dos fatores microclimáticos aquando da definição da metodologia conservativa a ser adotada em cada sítio. Pelo que é fundamental proceder a coleta de dados em campo tendo por base a contextualização orográfica: 1. Áreas de chapada; 2. Áreas limítrofes ao cânion, 3. Áreas localizadas no interior dos cânions; bem como, a integração no banco de dados dos tipos de cobertura terrestre

(*land covers*) associados aos sítios arqueológicos. A análise integral dos contextos contribui para a elaboração de mapas globais de maior detalhe, os quais devem conter múltiplas variáveis: identificação dos níveis de risco, mapeamento dos habitats e rastreamento das mudanças climáticas.

De fato, o atual contexto climático torna imprescindível o contínuo monitoramento dos dados meteorológicos e biofísicos, considerando que a ciclicidade anual da variação da amplitude térmica e a sazonalidade entre os meses secos e o período do ano chuvoso tende a tornar-se cada vez mais irregular considerando que dentre os biomas brasileiros, a Caatinga é aquele mais suscetível às mudanças climáticas:

the climatic changes under way, causing a tendency for aridization and alteration in the composition and structure of vegetation, combined with the anthropogenic destruction and natural vulnerability, lead to an expectation of total collapse of the diversity of plants in the Caatinga biome by the end of this century, unless effective preventive action is taken (Cavalcante et al., 2020, p. 2)

De fato, tanto o relatório do IPCC AR6 (2022), quanto o relatório 'Mudança do Clima no Brasil - Síntese Atualizada e Perspectivas para Decisões Estratégicas' (2024) apresentam dados alarmantes relativamente à preservação do bioma da Caatinga. Um terço do bioma tem alto potencial de desertificação, reconhecida a suscetibilidade da cobertura vegetal face às variações térmicas e pluviométricas, tendo já perdido aproximadamente 50% da flora original (Coelho et al., 2024; Mirzabaev et al., 2022). Razões que nos levam a considerar impreterível a monitorização dos dados atmosféricos tendo em vista o risco a que estão sujeitos os acervos rupestres.

Método

Nesse contexto, o método de coleta dos dados foi feito com dataloggers da marca Akso modelo 172, foram registrados durante o período de estudo a cada hora a temperatura em graus celsius (°C) e umidade relativa do ar (%), cada registro foi associado ao seu respectivo ano e mês e à hora

visando análises temporais detalhadas. Para avaliar tendências de temperatura e umidade, foram calculadas estatísticas anuais, incluindo máximo, mínimo, média e os percentis 5 e 95. No que diz respeito às análises e apresentação dos dados, estas foram realizadas utilizando linguagem *Python*, com as bibliotecas *pandas* (manipulação de dados), *matplotlib* e *seaborn* (visualização gráfica). Para garantir a reproduzibilidade, todos os códigos utilizados neste estudo estão disponíveis no repositório do GitHub: <https://github.com/GustavoNess/analise-exploratoria-temperatura-umidade>.

Para a identificação de *outliers* e extremos mensais foi construído gráficos *boxplots* mensais de temperatura e umidade. Os *outliers* foram representados por símbolos circulares de cor amarela e os extremos por símbolos circulares vermelhos, permitindo identificar valores atípicos sem prejudicar a visualização da tendência central e da dispersão dos dados, e os extremos foram definidos pelos percentis 5 e 95. Para o cálculo de *outliers* foram definidos pelo intervalo interquartílico -IQR- (eq. 01):

$$\text{IQR} = Q_3 - Q_1, \text{ Outlier se o Valor} < Q_1 - 1.5 \cdot \text{IQR} \text{ ou se o Valor} > Q_3 + 1.5 \cdot \text{IQR} \text{ (eq. 01)}$$

Além disso, a variação horária da temperatura foi obtida como a diferença entre o valor máximo e mínimo registrado em cada hora do dia para cada mês (eq. 02):

$$\text{Variação}_{m,h} = \max(\text{Temperatura}_{m,h}) - \min(\text{Temperatura}_{m,h}) \text{ (eq. 02)}$$

Essa variação foi apresentada em *heatmap*, permitindo identificar meses que tem horários com maior instabilidade térmica ao longo do dia. Essa abordagem é relevante para avaliar potenciais efeitos de dilatação térmica em superfícies sensíveis.

Resultados

Considerando o monitoramento da Toca da Entrada do Pajaú, verificamos uma tendência de aumento gradual da temperatura máxima, mínima e média para o microclima do sítio, como podemos

verificar em base aos dados estatísticos anuais do último quadriênio (2022-2025). De fato, no ano de 2022, a temperatura máxima foi de 34,9°C, ao que se seguiram dois anos com temperaturas máximas superiores em 2,9°C e 2,5°C, tendo no presente ano de 2025 já sido registada uma temperatura máxima de 35,7°C. As temperaturas mínimas apresentaram, igualmente, uma elevação ao longo dos anos, fatores que indicam um aumento gradual da temperatura média nesta zona de alta vertente do Desfiladeiro do Capivara (tabela 1).

Tabela 1: Estatísticas anuais de temperatura (°C) no sítio da Toca da Entrada do Pajaú

| Ano | Máx. temp. (°C) | Min. temp. (°C) | P95 | P05 | Média temp. (°C) |
|------|-----------------|-----------------|------|------|------------------|
| 2022 | 34.9 | 17.3 | 31.9 | 24.5 | 26.27 |
| 2023 | 37.8 | 19.5 | 34.6 | 22.9 | 28.36 |
| 2024 | 37.4 | 18.8 | 33.3 | 22.8 | 27.38 |
| 2025 | 35.7 | 19.5 | 33.3 | 22.8 | 27.25 |

Fonte: Autores (2025).

Com relação a umidade relativa, verificamos uma grande amplitude com variações entre os 15% e 96%, com mínimas elevadas intercaladas com quedas acentuadas, o que indica uma variabilidade ambiental ao longo do tempo no microclima da Toca da Entrada do Pajaú (tabela 2).

Tabela 2: Estatísticas anuais de umidade relativa do ar (%) no sítio da Toca da Entrada do Pajaú.

| Ano | Máx. umid. (%) | Mín. umid. (%) | P95 | P05 | Média umid. (%) |
|------|----------------|----------------|------|------|-----------------|
| 2022 | 96.1 | 16.8 | 89.5 | 33.5 | 63.70 |
| 2023 | 85.6 | 15.7 | 74.1 | 30.2 | 50.51 |
| 2024 | 94.5 | 15.1 | 88.1 | 33.0 | 61.11 |
| 2025 | 93.8 | 19.1 | 85.9 | 35.2 | 60.61 |

Fonte: Autores (2025).

Em síntese, o aumento gradual da temperatura, ainda que observado em uma série temporal curta, pode potencializar processos de dilatação e contração térmica nas superfícies rochosas, contribuindo para o intemperismo, além do comprometimento do acervo gráfico e pictórico rupestre, caso recentemente objeto de análise em outro contexto semiárido (Almeida *et al.*, 2023).

Discussão

Os dados indicam tendências preliminares de alterações climáticas, que podem afetar a preservação do sítio da Toca da Entrada do Pajaú, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e medidas preventivas. Essa amplitude de umidade também contribui significativamente nos processos de degradação física, uma vez que a alternância entre períodos úmidos e secos acelera a fissuração e a descamação das superfícies rochosas.

Os *boxplots* mensais de temperatura (figura 6) e umidade relativa do ar (figura 7) revelaram variações significativas em todos os meses, com presença de *outliers* e extremos indicando valores atípicos dentro de cada período. Observa-se que, recentemente, há picos de variação de temperatura maiores e mais frequentes, enquanto a umidade apresenta flutuações amplas, com máximos elevados, mas também quedas abruptas. Essas oscilações

podem estar associadas a padrões sazonais naturais, à própria variabilidade típica dessas variáveis meteorológicas, ou ainda a possíveis intensificações decorrentes das mudanças climáticas.

Essas variações abruptas podem intensificar processos físicos nos suportes rochosos do sítio da Toca da Entrada do Pajaú. Em particular, mudanças rápidas de temperatura promovem dilatação e contração térmica dos suportes, enquanto oscilações de umidade podem contribuir para expansão e retração dos minerais e causar microfissuras. Juntas, essas dinâmicas favorecem o desgaste, a descamação e a degradação dos grafismos e superfícies pictóricas, tornando os eventos climáticos extremos agravantes no processo de conservação do acervo rupestre. Além disso, tendências recentes de aumento da frequência e magnitude de variações podem estar associadas às mudanças climáticas, intensificando os riscos de degradação física em períodos críticos do ano.

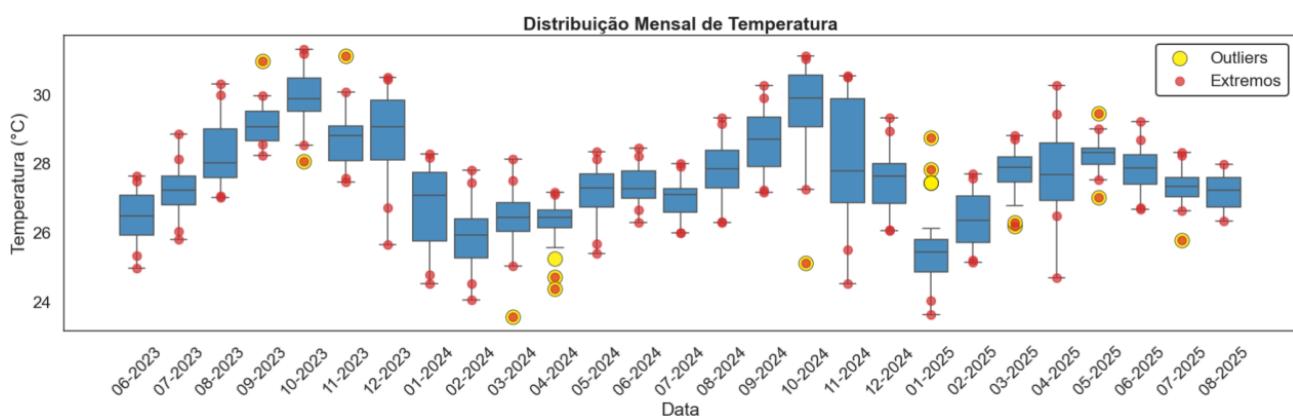


Figura 6 - Distribuição mensal de temperatura na Toca da Entrada do Pajaú, com *outliers* e extremos
Fonte: Autores (2025).

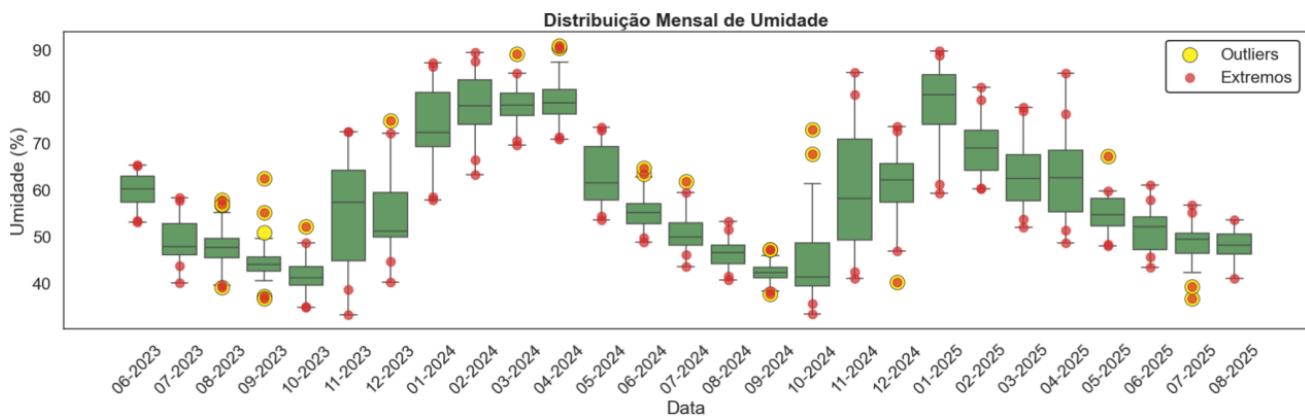


Figura 7 - Distribuição mensal de umidade relativa do ar na Toca da Entrada do Pajaú, com *outliers* e extremos
Fonte: Autores (2025).

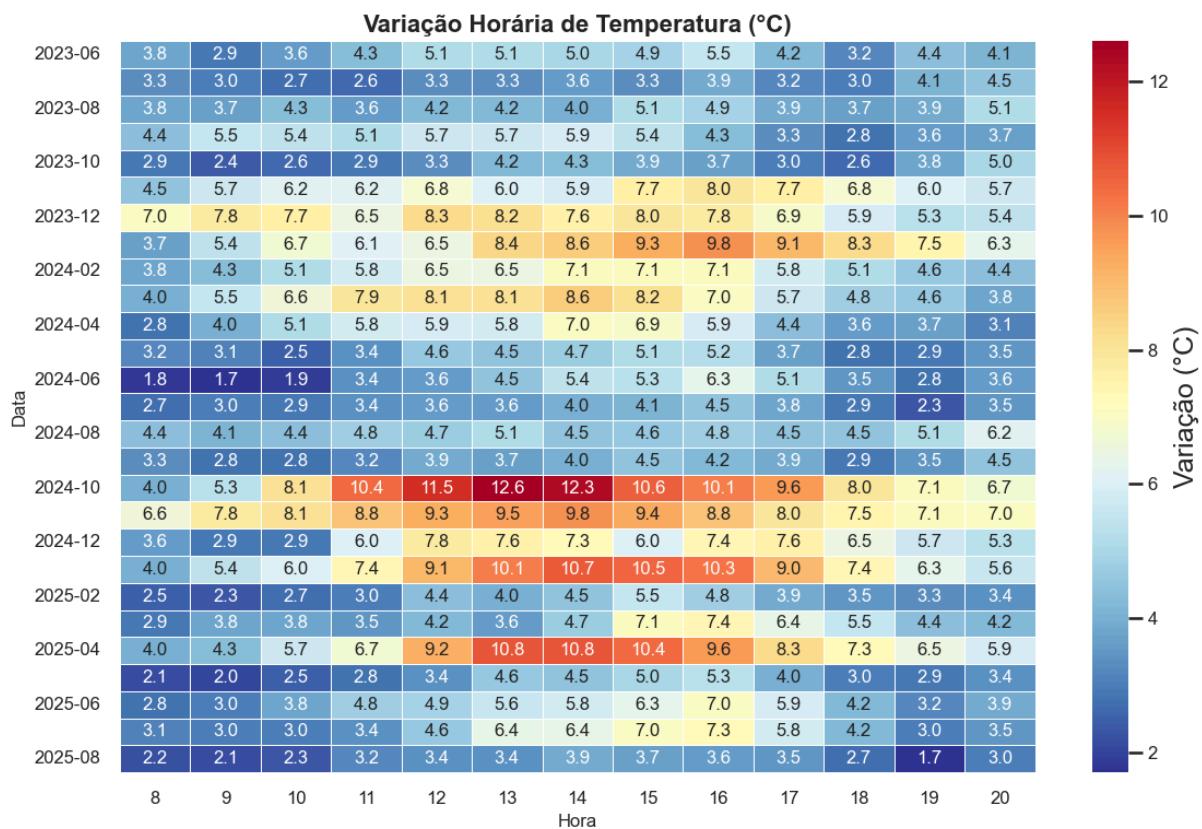


Figura 8 - Heatmap de variação horária de temperatura (°C) por mês na Toca da Entrada do Pajaú

Fonte: Autores (2025).

Em complemento, o *heatmap* de variação horária (figura 8) indica que os picos de instabilidade térmica se intensificaram em outubro de 2024, atingindo até 12,6°C, enquanto no mesmo período e horário de 2023 o máximo foi de apenas 4,3°C. Ao final de 2023, os máximos chegaram a cerca de 8°C, atingindo 9,8°C em janeiro de 2024. Esse aumento na amplitude térmica, que deverá tornar-se cada vez mais frequente mediante a ocorrência de eventos extremos, potencializa a dilatação e a contração térmica das superfícies rochosas e acelera o desgaste de gravuras e pinturas rupestres. Fenômenos climáticos como *El Niño* e *La Niña* podem contribuir para essas variações de temperatura e umidade relativa, alteram padrões regionais de aquecimento e precipitação (Seneviratne *et al.*, 2012). Esses efeitos, aliados às tendências de mudanças climáticas, reforçam o risco de alterações do microclima da Toca da Entrada do Pajaú e, em decorrência, da conservação do acervo rupestre.

Considerações finais

O somatório dos dados apresentados demonstra o quanto necessário é instituir um novo quadro metodológico e normativo em prol da conservação e monitoramento do Patrimônio Natural e Arqueológico frente às mudanças climáticas em curso no Parque Nacional Serra da Capivara. É crucial entender como a degradação acontece para conseguir antecipar o comportamento dos materiais e proceder a conservação preventiva de forma eficaz (Chen *et al.*, 2024). A degradação dos suportes rochosos se intensifica com as mudanças climáticas, que cada vez causam eventos meteorológicos mais frequentes e severos (Hollesen, 2022). Os resultados do tratamento dos dados do último quadriênio (2022-2025) reafirmam que a conservação dos acervos rupestres depende tanto dos mecanismos de transferência e regulação do clima, como de fatores pedológicos, geohidrológicos e fenológicos (Bertolin, 2019).

De fato, o acervo gráfico e pictórico rupestre está intrinsecamente ligado à preservação ambiental.

O patrimônio rupestre presente no Desfiladeiro da Capivara é extremamente sensível a alterações no seu entorno. A cobertura vegetal ao redor dos sítios de arte rupestre atuam como um escudo protetor que regula a temperatura e umidade relativa do ar no interior dos abrigos, criando um microclima mais estável. A perda de vegetação pode levar a um aumento da erosão eólica, da ação pluviométrica, bem como da incidência solar, fatores que acarretam a aceleração de processos de meteorização físico-química dos suportes rochosos (Cisneiros *et al.*, 2022).

Como pudemos verificar no sítio da Toca da Entrada do Pajaú, grandes flutuações de temperatura como as decorrentes no ano de 2024 podem causar a expansão e contração da rocha, gerando fissuras e o desprendimento de camadas superficiais (Lage & Farias Filho, 2018). A ação termorreguladora das plantas cria uma barreira natural, que evita a prolongada incidência de luz solar, causadora do desvanecimento das cores e a degradação dos pigmentos minerais utilizados nas pinturas (Almeida *et al.*, 2023). Por esta razão, a preservação da cobertura vegetal e o monitoramento integral é fundamental nas áreas próximas aos sítios arqueológicos.

Se a vegetação está conservada, esta poderá oferecer serviços ecossistêmicos essenciais associados para a conservação da arte rupestre: termorregulação, prevenção da erosão, controle de pragas e mantimento da integridade do solo (Samuels & Platts, 2022). Um ecossistema saudável regula a qualidade do ar, a água e a temperatura, protegendo o patrimônio rupestre de danos ambientais. A estes serviços de regulação, é necessário o fomento da produção científica e da educação patrimonial, enquanto estratégias de resiliência, uma vez que sítios bem preservados são laboratórios vivos que ensinam sobre a história da humanidade e a evolução dos ecossistemas.

Referências

AÏN-SÉBA, Nagète. Saharan Rock Art, a reflection of climate change in the Sahara. **Revista Tabona**, v. 22, p. 303–317, 2022.

ALMEIDA, Danyel; LAGE, Maria Conceição; FILHO, Benedito; BARROS, Wilkins. Aplicação de ferramentas arqueométricas no estudo e na conservação do sítio Morro do Letreiro, Palmeiras, Piauí: um estudo de caso. **Revista de Arqueologia**, v. 36, n. 2, p. 83–102, 2023.

BEHLING, Hermann; ARZ, Helge.; PÄTZOLD, Jürgen; WEFER, Gerold. Late Quaternary Vegetational and Climate Dynamics in Northeastern Brazil, Inferences from Marine Core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, Amsterdam, v. 19, n. 10, p. 981-994, 2000.

BÉLO, Pétrius. **Alterações Antrópicas em Restos Fósseis da Megafauna: Tafonomia do Sítio Arqueológico e Paleontológico “Toca da Janela da Barra do Antonião”, Área Arqueológica do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Arqueologia). Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2012.

BERTOLIN, Chiara. Preservation of Cultural Heritage and Resources Threatened by Climate Change. **Geosciences**, v. 9, n. 6, p. 1-11, 2019.

BRANDL, Eric Joseph. **Australian Aboriginal Paintings in Western and Central Arnhem Land, Temporal Sequences and Elements of Style in Cadell River and Deaf Adder Creek Art**. Canberra: Australian Institute of Aboriginal Studies, 1973.

BUENO, Lucas; DIAS, Adriana; STEELE, James. The late Pleistocene/Early Holocene Archaeological Record in Brazil: a Geo-refenced Database. **Quaternary International**, v. 301, p. 74-93, 2013.

CAVALCANTE, Arnóbio; DUARTE, Aryberg; OMETTO, Jean Pierre. Modeling the potential distribution of *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw

under future climate scenarios in the Caatinga biome. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 2, p. 1–12, 2020.

CISNEIROS, Daniela; TAVARES, Bruno; KREMPSER, Eduardo. Documentação e diagnóstico de conservação do sítio Toca da Entrada do Pajaú, Parque Nacional Serra da Capivara – PI, Brasil. **Revista Noctua – Arqueologia e Patrimônio**, v. 2, n. 6, p. 27–53, 2021.

CISNEIROS, Daniela; TAVARES, Bruno; COSTA, Hercules. A utilização do ocre na pré-história da Serra da Capivara, Piauí, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 17, n. 3, 2022.

CHALOUPKA, George. **From Palaeoart to Casual Paintings**. Darwin: Northern Territory Museum of Arts and Sciences (Monograph Series, 1), 1984.

CHALOUPKA, George. **Journey in Time: The World's Longest Continuing Art Tradition: The 50,000-Year Story of the Australian Aboriginal Rock Art of Arnhem Land**. Chatswood, Reed, 1993.

CHAVES, SÉRGIO. História das Caatingas: a Reconstituição Paleoambiental da Região Arqueológica do Parque Nacional Serra da Capivara através da Palinologia. **Fundamentos**, v. 1, n. 2, p. 85-103, 2002.

CHEN, Guolong; FU, Bo; JIANG, Yunwei; SUO, Xinhao; LAI, Yuqin; CHEN, Zhiwei; LI, Jingyi; LI, Longsheng; LU, Mengmeng; TANG, Yunwei; GUO, Huadong; YANG, Ruixia; LI, Bengang. Natural World Heritage Sites are at risk from climate change globally. **Communications Earth & Environment**, v. 5, n. 760, p. 1–8, 2024.

COELHO, Cíntia; MOLLETA, Danielly; OMETTO, Jean; ROGÉRIO, Josicleia; CALDAS, Julia; CRUZ, Márcio; COPERTINO, Margareth; ARAÚJO, Moacyr; CARMO, Sofia. **Mudança do clima no Brasil: síntese atualizada e perspectivas para decisões estratégicas**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024.

DA COSTA, Amélie. **Rupture technique et dynamiques d'occupation au cours del'Holocènem oyen au Brésil**. Tese (Doutorado em Pré-História). Universidade de Paris Nanterre, Paris 2017.

DA LUZ, Carolina. Sítios arqueológicos de registro rupestre: gestão compartilhada e as ações de preservação do IPHAN no Parque Nacional Serra da Capivara e entorno – Piauí, Brasil. Dissertação (Mestrado em Preservação do Patrimônio Cultural). Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Piauí, 2012.

DORN, Ronald; WHITLEY, David; CERVENY, Niccole; GORDON, Steven. The Rock Art Stability Index: a new strategy for maximizing the sustainability of rock art. **Heritage Management**, v. 1, n. 1, p. 37–70, 2008.

FIGUEIREDO, Diva; PUCCIONI, Silvia (orgs.) **Consolidação Estrutural da Toca da Entrada do Pajaú: diagnóstico e proposta de intervenção**. Cadernos do Patrimônio Cultural do Piauí. Teresina: IPHAN, 2006.

GOMES, Otávio. **Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais**, Dissertação (Mestre em Ciências da Engenharia Metalúrgica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

GROHMANN, Carlos. **Introdução a análise digital de terreno com GRASS-SIG.** Instituto de Geociências, USP: São Paulo, 2008.

GRIGGO, Christophe; DE SOUZA, Ideerlan; BOËDA, Éric; FONTUGNE, Michel; HATTÉ, Christine; LOURDEAU, Antoine; GUIDON, Niède. La Faune du Pléistocène Supérieur - Holocène Ancien de la Toca da Pena (Piauí, Brésil) - Étude Paléontologique. **Quaternaire**, v. 29, n. 3, p. 205-216, 2018.

GUIDON, Niède. **Peintures rupestres de Varzea Grande Piauí, Brésil. Cahiers d'Archéologie d'Amérique du Sud**, n. 3. França: Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, 1975. p. 1-174.

GUIDON, Niède; VIDAL, Irma; BUCO, Cristiane; SALVIA, Eliany; FELICE, Gisele; PINHEIRO, Patricia. Notas sobre a pré-história do Parque Nacional Serra da Capivara. **Fundhamentos**, v. 1, n. 2, p. 105-141, 2002.

GUIDON, Niède; BUCO, Cristiane; IGNÁCIO, Elaine. Escavações em três abrigos da Serra Branca. **Fundhamentos**, v. 6, p. 52-73, 2007.

HOLLESEN, Jørgen. Climate change and the loss of archaeological sites and landscapes: a global perspective. **Antiquity**, v. 96, n. 390, p. 1382-1395, 2022.

ICOMOS. (a) Climate Change and Cultural Heritage Working Group, “**The Future of Our Past: Engaging cultural heritage in climate action**”. Paris, 1 jul. 2019a.

ICOMOS. (b) “**ICOMOS work on Climate change**”. 13 set. 2019b.

ICOMOS. ICOMOS Working Groups, “**Climate Action Working Group**”. 23 mar. 2022.

ICOMOS-Br. **Carta Brasileira do Patrimônio Cultural e Mudanças Climáticas**. 2025.

JUSTAMAND, Michel; BALBINO, Ana; BUCO, Cris.; OLIVEIRA, Gabriel; ALMEIDA, Vitor.; PAIVA, Leandro. A economia ancestral e os registros rupestres. **Anuário de Arqueología**, v. 14, p. 65-77, 2022.

LAGE, Maria da Conceição. (a) **Preservação de sítios de arte rupestre do Parque Nacional Serra da Capivara – Piauí – Brasil**. In: Congresso Internacional de Arte Rupestre, 1998, Vila Real, Portugal. Anais do Congresso Internacional de Arte Rupestre. Vila Real: Editora da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, v. 1. p. 58, 1998a.

LAGE, Maria da Conceição. (b) **Datações de pinturas rupestres da área do Parnaíba Serra da Capivara**. CLIO. Série arqueológica (UFPE), Recife, v. 1, n. 13, p. 203-213, 1998b.

LAGE, Maria da Conceição. Dating of the prehistoric paintings of the archaeological area of the Serra da Capivara National Park. In: Matthias Stuecker; Paul Bahn (orgs.). **Dating and the earliest known rock art**. 1. ed. Londres: Oxford, 1999. v. 1. p. 49-52.

LAGE, Maria da Conceição. A conservação de sítios de arte rupestre. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, v. 33, p. 95-107, 2007.

LAGE, Maria da Conceição; BORGES, Jóina; ROCHA JÚNIOR, Simplicio. **Sítios de registros rupestres: monitoramento e conservação**. Mneme (Caicó. Online), Recife, v. 1, n. 1, p. 1-24, 2005.

LAGE, Maria da Conceição; GUIDON, Niède; BORGES, Jóina. Safeguard and conservation of the rock art at the Serra da Capivara National Park. **Fundhamentos**, v. 1, p. 47–56, 2007.

LAGE, Maria da Conceição; PUCCIONI, Sívia; FIGUEIREDO, Diva Maria; ARRAES, Maria das Graças; FERREIRA, Marco Antônio; PÁDUA, Luís; CARVALHO, Eulália Maria; MEDEIROS, Elizabeth. Intervention de Conservation sur un site: la Toca da Entrada du Pajaú – Parc National de la Serra da Capivara (Piauí, Brésil). In: Régine Hocquette; Marcel Stefanaggi; Pascal Bieret; Jacques Brunet (orgs.). **L'Art avant l'Histoire: la conservation de l'Art Préhistorique**. 1. ed. Paris: Éditions SFIIC, 2002. v. (não especificado). p. 159–163.

LAGE, Maria Conceição; FARIA FILHO, Benedito. Arqueometria aplicada à conservação de sítios de arte rupestre. **Cadernos do Lepaarq**, v. 15, n. 30, p. 327–343, 2018.

LIMA, Dhara; SANTOS, Janaína; LINKE, Vanessa. Contexto paisagístico de sítios arqueológicos do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil: o circuito turístico do Desfiladeiro. In: Mageste, L. E. C.; Amaral, A. M.; Cardoso, R. A. (orgs.). **Arqueologia e Patrimônio**. Vol. I – Experiências, Métodos e Teorias. São Raimundo Nonato: UNIVASF, 2020. p. 52–76.

LOURDEAU, Antoine. A Serra da Capivara e os primeiros povoamentos sul-americanos: uma revisão bibliográfica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 14, n. 2, p. 367-398, 2019.

MACEDO, Andréia; BARBOSA, Maria Fátima; FELICE, Gisele. Agentes naturais de degradação em sítios rupestres: exemplos no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí – Brasil. **Fundhamentos**, v. 16, n. 1, p. 89–125, 2019.

MIRZABAEV, Alisher; STRINGER, Lindsay; BENJAMINSEN, Tor; GONZALEZ, Patrick; HARRIS, Rebecca; JAFARI, Mostafa; STEVENS, Nicola; TIRADO, Cristina; ZAKIELDEEN, Sumaya. Cross-Chapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner et al. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 2195–2231.

PELLERIN, Joel. **Unidades de relevo e formações superficiais**. In: PESSIS, A.M.; MARTIN, G.; GUIDON, N. (org.). Os biomas e as sociedades humanas na pré-história: região do Parque Nacional Serra da Capivara, Brasil. São Paulo: A&A, v. II-A, p. 58-67, 2014.

PESSIS, Anne-Marie. **Imagens da Pré-história: os biomas e as sociedades humanas no Parque Nacional Serra da Capivara**. São Paulo: FUMDHAM: Ed. São Paulo, 2013.

PESSIS, Anne-Marie; CISNEIROS, Daniela; MUTZEEENBERG, Demétrio. **Identidades gráficas nos registros rupestres do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil**. FUMDHAMMentos, v. 15, n. 2, p. 33–54, 2018.

SAMUELS, Kathryn; PLATTS, Ellen. **Global climate change and UNESCO World Heritage**. International Journal of Cultural Property, Cambridge University Press, v. 29, n. 4, p. 409–432, 2022.

SANTOS, Janaíma. **O Quaternário do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil: morfoestratigrafia, sedimentologia, geocronologia e paleoambientes**. Tese (Doutorado em Geociências) Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2007.

SENEVIRATNE, Sonia; NICHOLLS, Neville; EASTERLING, David; GOODESS, Clare; KANAE, Shinjiro; KOSSIN, Janes; LUO, Yali; MARENKO, Jose; MCLNNES, Kathleen; RAHIMI, Mohammad; REICHSTEIN, Markus; SORTEBERG, Asgeir; VERA, Carolina; ZHANG, Xuebin. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation** [Field, C. B. et al. (Orgs.)]. Cambridge; New York: Cambridge University Press, pp. 109–230, 2012.

SOUZA, Daniel.; SPINOLA, Diogo; SANTOS, Janaina; TATUMI, Sonia; YEE, Marcio; OLIVEIRA, Raquel; ELTINK, Estevan; LOPES, Davi; SPÖTL, Christoph; CHERKINSKY, Alex; REIS, Hilda; SILVA, Jhonathan; AULER, Augusto; CRUZ, Francisco. Relict soil features in cave sediments record periods of wet climate and dense vegetation over the last 100 kyr in a presente-day semiarid region of northeast Brazil. **Catena**, v. 226, p. 107092, 2023.

SURYA, Leandro; CARRÉRA, Mércia; FLOQUET, Sérgio. Avaliação de uma metodologia de monitoramento com imagens digitais para a conservação preventiva de pinturas rupestres. **Cadernos do Lepaarq**, v. 15, n. 30, p. 147–161, 2018.

SURYA, Leandro; MAGALHÃES, Danilo; MACÊDO, Renê; ARRUDA, Jota. Dados de elementos climáticos para a conservação de sítios arqueológicos na área do Parque Nacional Serra da Capivara – PI. **Revista de Geologia**, v. 32, n. 2, p. 269–276, 2019.

TAÇON, Paul; MAY, Sally; WESLEY, Daryl; JALANDONI, Andrea; ROXANNE, Tsang. MANGIRU, Kenneth. History disappearing: the rapid loss of Australian contact period rock art.

Journal of Field Archaeology, v. 46, n. 2, p. 119–131, 2021.

UNESCO. “**Decision 40 COM 7 State of Conservation of World Heritage Properties**”. 40th Session of the World Heritage Committee (40 COM), 2016.

UNESCO. (a) “**UNESCO Strategy for Action on Climate Change**”. 39th Session General Conference. Paris, 2 out. 2017a.

UNESCO. (b) “**Declaration of Ethical Principles in relation to Climate Change**”. 39th Session General Conference. Paris, 13 nov. 2017b.

UNESCO. “**Changing minds, not the climate: UNESCO mobilizes to address the climate crisis**”. Paris, 2019.

UNESCO. “**Evaluation of UNESCO’s Strategy for Action on Climate Change**” (2018–2021), IOS/EVS/PI 196. Paris, mai. 2021.

UNESCO. “**Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention**”. World Heritage Centre. Paris, 3 jul. 2025.

VAN HAVRE, Grégoire; BARBOSA, Rute; MONTEIRO, Kleython. Modelos Preditivos Espaciais: Arqueologia e Geografia em Perspectiva. In: NETTO, C.X.A.; VAN HAVRE, G. (Orgs.). **De Ingá a Arqueologia Inclusiva: Novas Linguagens**. V. 2. Arqueologia e Humanidades Digitais, p. 46-73, 2021.

WHITE, Carmel. “**Plateau and Plain: Prehistoric Investigations in Arnhem Land, Northern**

Territory.” PhD diss., Australian National University, Canberra, 1967.

ZERBONI, Andrea; VILLA, Federica; WU, Ying-Li; SOLOMON, Tadele; TRENTINI, Andrea; RIZZI, Alessandro; CAPPELLI, Francesca; GALLINARO, Marina. The Sustainability of Rock Art: Preservation and Research. **Sustainability**, v. 14, p. 6035, 2022.