

MONITORAMENTO *IN SITU* DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NO SÍTIO PEDRA DA INSCRIÇÃO, PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES

Ellen Vitoria de Freitas Silva, Carlos Daniel da Cruz Carvalho, Luis Carlos Duarte Cavalcante

Universidade Federal do Piauí, Laboratório de Arqueometria e Arte Rupestre, Campus Ministro Petrônio Portella, Ininga, CEP 64049-550 Teresina, Piauí, Brasil
ellenfreitas@ufpi.edu.br, carlosdaniel.0paciencia@ufpi.edu.br, cavalcanteufpi@ufpi.edu.br

Resumo

O sítio arqueológico Pedra da Inscrição, localizado no Parque Nacional de Sete Cidades, é um grande bloco arenítico em cuja face sudoeste encontram-se 54 pinturas rupestres vermelhas distinguíveis e 33 manchas de tinta sem contorno nitidamente definido. Fragmentos cerâmicos foram recentemente encontrados dispersos na superfície do solo. Este trabalho apresenta os dados do monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais nesse sítio arqueológico, visando a compreensão mais detalhada dos danos que causar à saúde humana e dos problemas de degradação que geram no suporte rochoso e nas pinturas rupestres. Em termos práticos, o trabalho abrangeu (i) o monitoramento da temperatura do ar ambiente e da umidade relativa na área do sítio, (ii) o monitoramento da temperatura atuante no suporte rochoso, tanto em áreas com pinturas rupestres quanto em pontos adjacentes sem a ocorrência de filmes pictóricos, bem como (iii) a aferição da velocidade dos ventos atuantes no entorno do referido sítio arqueológico. As medidas foram efetuadas no auge do período de estiagem, em diversos momentos cronometrados ao longo de um mesmo dia, nos meses de setembro e novembro de 2023.

Palavras-chave: Temperatura do ar. Umidade relativa do ar. Temperatura do suporte rochoso. Velocidade dos ventos. Arqueometria *in situ*.

Área do Conhecimento: Ciências humanas – Arqueologia

Introdução

O sítio arqueológico Pedra da Inscrição está localizado no Parque Nacional de Sete Cidades, uma unidade de conservação criada em 1961 pelo Decreto nº 50.744 (Brasil, 1961), cuja maior parte do território está inserida no município de Piracuruca, no norte do Estado do Piauí, Brasil (Cavalcante, 2013). A relevância histórica e cultural desse parque nacional é acentuada pela ocorrência de uma grande concentração de sítios arqueológicos, acrescentando uma dimensão significativa à riqueza do patrimônio arqueológico e natural do Piauí.

Em um trabalho recente, Cavalcante e colaboradores (2023) reportaram o levantamento do sítio Pedra da Inscrição (Figura 1), no qual indicam sua localização nas coordenadas geográficas 4° 5' 55,74" S e 41° 41' 49,63" O e relatam a ocorrência de pinturas rupestres dispersas por uma extensão de 35 metros de parede rochosa. Nos painéis pictóricos foram inventariadas 54 figuras claramente distinguíveis, além de 33 manchas de tinta sem um contorno nitidamente definido, vestígios discutidos como sendo evidências incontestes de atividades humanas em tempos pretéritos. No mesmo trabalho foram levantados ainda os principais problemas de conservação que, naquele momento, estavam atuando de alguma forma na degradação do sítio arqueológico aqui tratado.

O sítio arqueológico como um todo está orientado de noroeste (290°) para sudeste (122°), enquanto os painéis pictóricos estão voltados para o sudoeste (210°). O grande bloco rochoso no qual os painéis de arte rupestre foram elaborados tem altura estimada em 13 metros.

Prospecções no entorno imediato do sítio revelaram a ocorrência de dois fragmentos cerâmicos dispersos na superfície dos sedimentos da base de um dos painéis pictóricos próximos à extremidade esquerda da face arenítica pintada (Cavalcante *et al.*, 2023).

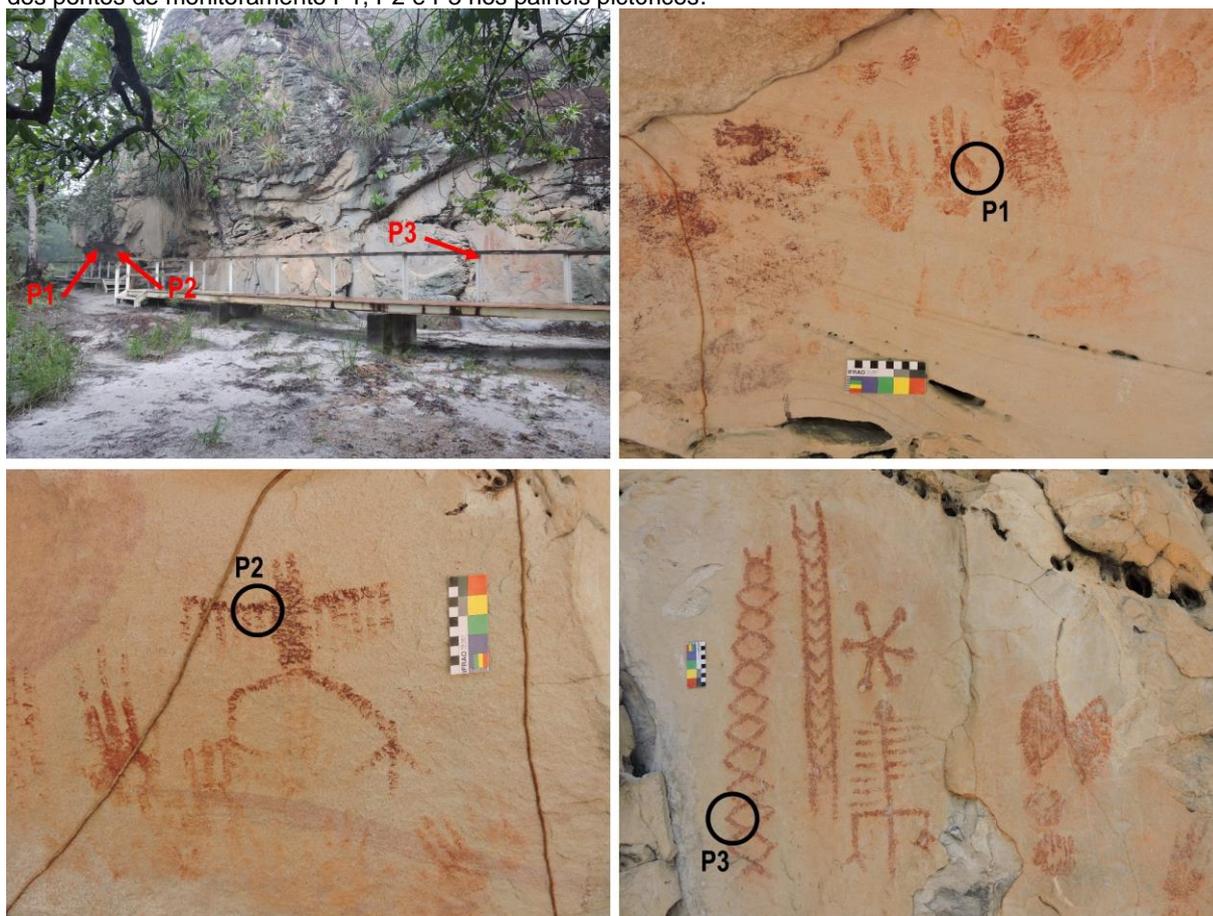
O objetivo primordial deste trabalho foi realizar o monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais no sítio arqueológico Pedra da Inscrição, no período de estiagem, visando a compreensão de danos que tais parâmetros podem causar à saúde humana dos funcionários e de visitantes do Parque Nacional de Sete Cidades, assim como uma compreensão mais aprofundada dos problemas de

degradação que os ditos parâmetros ambientais geram no sítio arqueológico como um todo e especialmente nas pinturas rupestres nele existentes.

Em termos práticos, o trabalho abrangeu (i) o monitoramento da temperatura do ar ambiente e da umidade relativa na área do sítio, (ii) o monitoramento da temperatura atuante no substrato rochoso, tanto em área com pinturas rupestres quanto em pontos adjacentes sem a ocorrência de filmes pictóricos, bem como (iii) a aferição da velocidade dos ventos atuantes no entorno do referido sítio arqueológico.

As aferições dos parâmetros ambientais foram efetuadas periodicamente, em diversos momentos cronometrados ao longo de um mesmo dia, em duas expedições realizadas durante o período de estigam.

Figura 1 – Vista panorâmica do sítio arqueológico Pedra da Inscrição, detalhes de pinturas rupestres e localização dos pontos de monitoramento P1, P2 e P3 nos painéis pictóricos.



Créditos das imagens: Luis Carlos Duarte Cavalcante, 2023 e 2024.

Em relação aos efeitos danosos que as temperaturas muito elevadas podem causar, Ebi e colaboradores (2021) explicam que o corpo humano reage ao estresse térmico por meio da vasodilatação e da sudorese, eventos regulados pelo cérebro para dissipar calor e resfriar o corpo. No entanto, os autores destacam que o aumento do fluxo sanguíneo para a pele eleva a demanda cardíaca, sobrecarregando o órgão e tornando-se perigoso para pessoas com doenças cardíacas, fato que contribui para a isquemia e infarto. Ainda segundo os pesquisadores mencionados, a desidratação, resultante da sudorese, pode agravar a tensão cardiovascular e causar danos renais. Em condições extremas, a capacidade de termorregulação pode ser excedida, levando a condições graves como insolação e danos a órgãos vitais. Lesões por calor podem ter efeitos duradouros, com internações hospitalares frequentes nas primeiras 24 horas e risco aumentado de disfunção cognitiva e morte a longo prazo (Ebi *et al.*, 2021).

No que se refere à umidade relativa (UR) do ar, deve-se reconhecer a complexidade que esse parâmetro ambiental abrange, mas, do mesmo modo, é consenso que a faixa ideal é de 40–60%. Valores fora desse intervalo podem gerar impactos significativos à saúde humana, incluindo a facilitação da transmissão infecciosa e o agravamento de doenças respiratórias.

[...] Quando a UR é muito baixa, pode causar ressecamento e irritação do trato respiratório e da pele, tornando os indivíduos mais suscetíveis a infecções. Por outro lado, quando a UR é muito alta, pode criar um ambiente úmido que estimula o crescimento de microrganismos prejudiciais, como mofo, bactérias e vírus. [...] (Guarnieri *et al.*, 2023).

Quanto aos danos térmicos mais diretamente relacionados com a integridade do suporte rochoso e, sobretudo, dos filmes pictóricos de pinturas rupestres, é preciso levar em conta principalmente o efeito destrutivo das elevadas amplitudes e a incidência direta da radiação solar, conforme abordam Hall, Meiklejohn e Arocena (2007). Contudo, além dos efeitos térmicos, a umidade relativa e a amplitude correspondente, assim como as correntes de ar atuantes nos sítios arqueológicos também exercem papel significativo no equilíbrio das tensões sobre os diferentes minerais constituintes da rocha e dos filmes pictóricos. A questão mais crítica talvez seja o fato dos filmes pictóricos situarem-se na interface entre o ambiente rochoso e o ar, locais em que o comportamento dos parâmetros ambientais é criticamente diferenciado (Cavalcante; Beserra; Silva, 2024).

Metodologia

A coleta *in situ* de dados das medidas ocorreu em duas expedições a campo realizadas durante o período mais quente do ano no Parque Nacional de Sete Cidades, a primeira no dia 22 de setembro de 2023 e a segunda no dia 26 de novembro do mesmo ano.

Metodologicamente, o monitoramento objetivou realizar uma avaliação do comportamento dos parâmetros ambientais investigados tanto ao longo do dia quanto em diferentes momentos do período de estiação. Nas duas expedições, o monitoramento iniciou próximo às 6 h e prosseguiu até aproximadamente as 18 h e 30 min.

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente foi realizado usando um termo-higrômetro digital Instrutemp, operando na faixa de -10 °C a +50 °C, para temperatura, e de 15% a 95% para umidade relativa. As resoluções são de 0,1 °C para temperatura e 1% para umidade, enquanto as precisões correspondentes são de ± 1 °C e $\pm 5\%$, respectivamente. O procedimento sistemático considerou a disposição do equipamento em um local fixo no sítio arqueológico investigado e a aferição dos dois parâmetros foi registrada de cinco em cinco minutos.

O monitoramento da temperatura do suporte rochoso foi realizado usando um termômetro infravermelho em três pontos (P1, P2 e P3; Figura 1) dispersos pela parede rochosa em que as pinturas rupestres foram elaboradas. Em cada ponto monitorado, as medidas experimentais foram efetuadas em uma pintura rupestre fixa selecionada e em uma área adjacente sem a ocorrência de filme pictórico. A aferição da temperatura nos três pontos foi sistematicamente registrada a cada trinta minutos. Para tanto, utilizou-se um termômetro infravermelho modelo ITTI-550, também da Instrutemp. Este instrumento é especificamente projetado para medição de temperatura de superfícies, abrangendo uma ampla escala térmica de -32 °C a +530 °C, com resolução de 0,1 °C e precisão de $\pm 2\%$.

A velocidade dos ventos foi aferida utilizando um anemômetro digital portátil, modelo ITAN-700, da Instrutemp. Esse dispositivo apresenta uma escala de 0 a 20 m/s, permitindo uma análise detalhada da dinâmica dos ventos na área do sítio em estudo. No caso das correntes de ar, o monitoramento foi feito continuamente, sendo registrada a velocidade dos ventos durante todo o tempo de permanência em campo.

Resultados

A Figura 2 resume os dados obtidos no monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente durante as duas expedições a campo, enquanto a Figura 3 mostra os resultados das medidas de temperatura em áreas com e sem pinturas rupestres nos pontos P1, P2 e P3 do suporte rochoso do sítio Pedra da Inscrição.

A Figura 4 mostra o perfil comparativo da temperatura atuante nas pinturas rupestres dos pontos P1, P2 e P3 em relação a temperatura do ar ambiente, ao passo que a Figura 5 exibe a velocidade dos ventos incidentes no sítio Pedra da Inscrição durante os dois períodos de monitoramento *in situ*.

Figura 2 – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente no sítio arqueológico Pedra da Inscrição.

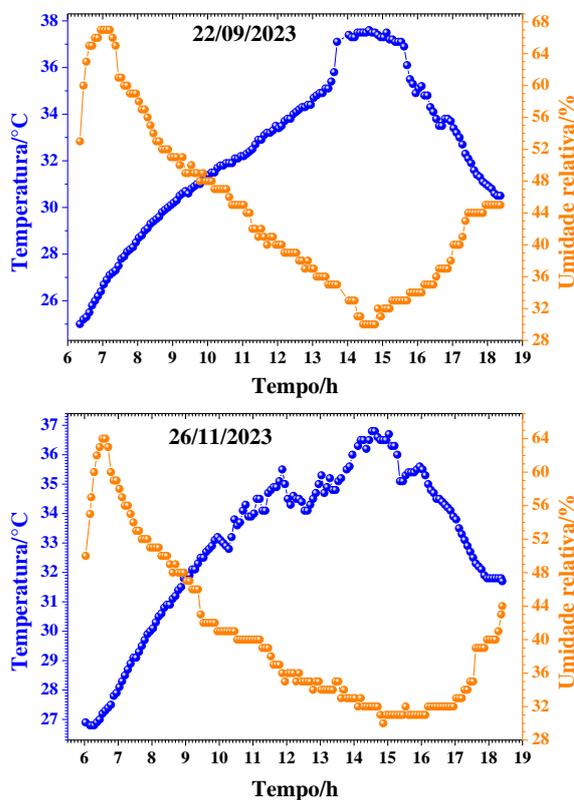
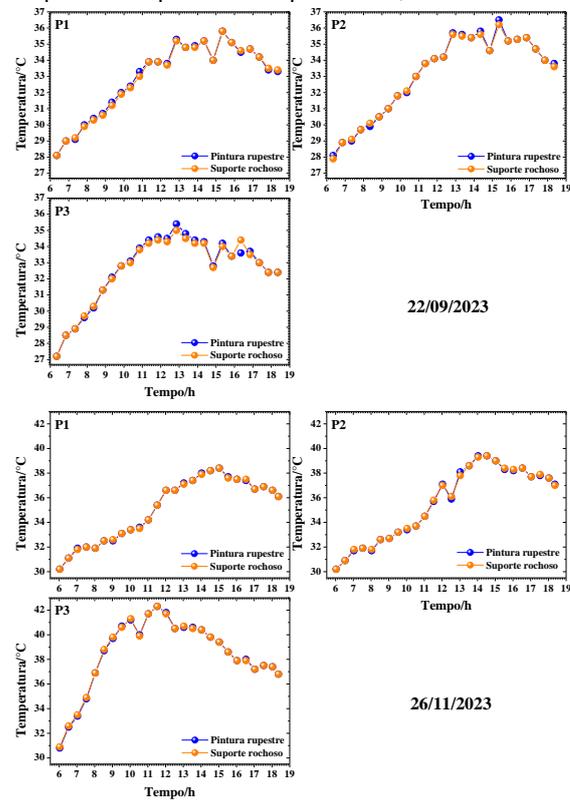


Figura 3 – Temperatura do suporte rochoso do sítio Pedra da Inscrição em áreas com e sem a ocorrência de pinturas rupestres nos pontos P1, P2 e P3.



Discussão

Conforme se observa na Figura 2, os perfis de temperatura e umidade relativa do ar são relativamente similares nos dois períodos de monitoramento. As temperaturas mais baixas concentram-se nas primeiras horas da manhã e as mais elevadas foram verificadas, de modo geral, entre as 14 e as 15 h, a partir de quando se inicia um lento e gradual arrefecimento térmico do ar. O comportamento da umidade relativa do ar é exatamente o oposto, com exceção do momento de máximo, que variou ligeiramente nos dois períodos de monitoramento, situando-se próximo de 7 h no mês de setembro e próximo de 6h30min no mês de novembro.

Em setembro de 2023 a amplitude térmica do ar foi de 12,6 °C, com temperatura máxima de 37,6 °C, as 14h37min, e mínima de 25,0 °C, as 6h21min. No mês de novembro daquele mesmo ano a amplitude térmica do ar diminuiu para 10,0 °C, tendo sido verificada uma temperatura máxima de 36,8 °C, próxima das 14h35min, e uma mínima de 26,8 °C, entre as 6h10min e as 6h17min.

No que se refere à umidade relativa do ar, em setembro de 2023 a amplitude encontrada foi de 37%, com umidade máxima de 67%, verificada no período das 6h57min até as 7h12min, enquanto a umidade mínima foi de 30%, observada das 14h32min até as 14h47min. No mês de novembro do mesmo ano a amplitude da umidade relativa do ar diminuiu para 34%, tendo sido aferida uma umidade máxima de 64%, no período das 6h32min até as 6h37min, enquanto a umidade mínima foi de 30%, registrada as 14h52min.

Pela avaliação da Figura 3, observa-se claramente que não há diferenças significativas na temperatura atuante nas áreas com pinturas rupestres e nas adjacências não pintadas de nenhum dos três pontos monitorados no sítio Pedra da Inscrição.

Face ao observado e para maior clareza da comparação entre os perfis térmicos do ar ambiente e dos três pontos investigados nos painéis de arte rupestre, optou-se pelo uso dos dados somente das temperaturas nos três filmes pictóricos e pela remoção dos dados das áreas não pintadas, conforme se observa na Figura 4.

Figura 4 – Temperatura dos filmes pictóricos das pinturas rupestres nos pontos P1, P2 e P3 do sítio Pedra da Inscrição, em comparação com a temperatura do ar ambiente.

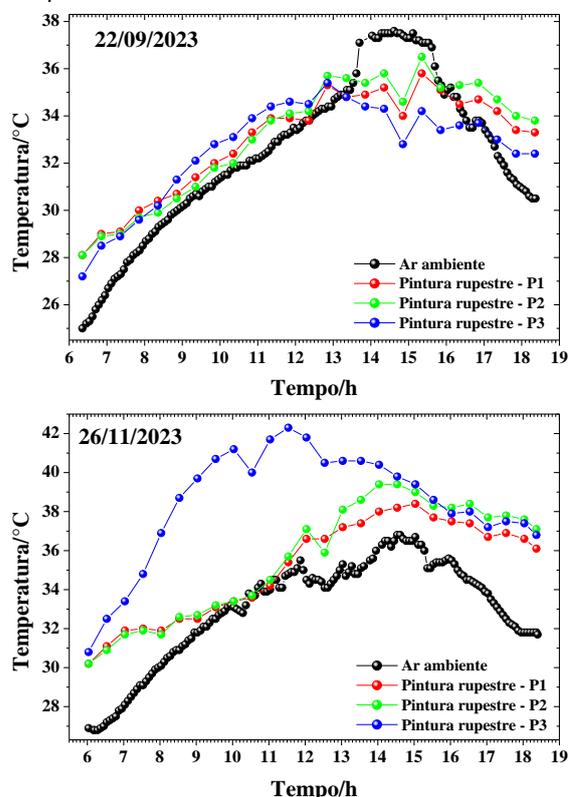
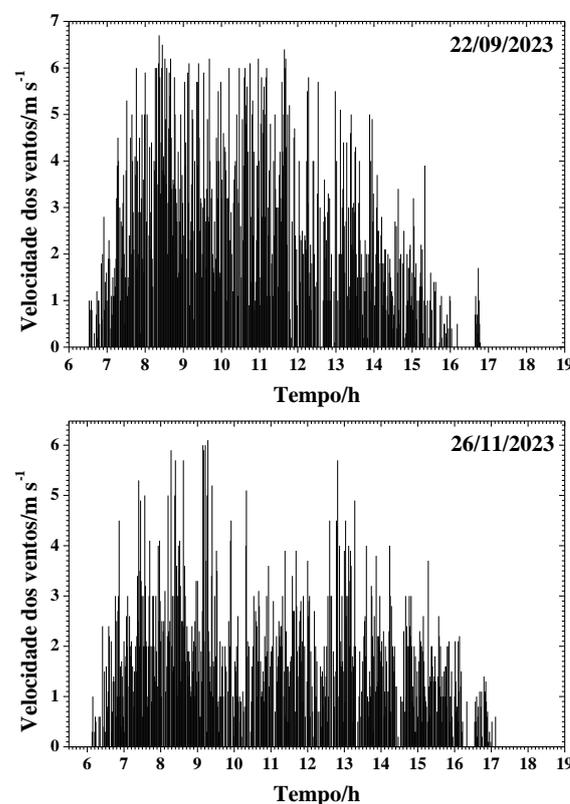


Figura 5 – Velocidade dos ventos incidentes no sítio Pedra da Inscrição.



O principal aspecto que se destaca é o fato do ar mostrar-se, de modo geral, comparativamente menos aquecido do que os filmes pictóricos dos três pontos monitorados, com exceção de um pequeno intervalo de tempo que vai das 13h40min até as 15h40min, no dia 22/09/2023, quando o inverso foi verificado. Outro dado que se sobressai é o aquecimento expressivamente mais elevado no ponto P3, em relação aos pontos P1 e P2, no dia 27/11/2023, resultado que foi atribuído à incidência solar direta na pintura rupestre do P3, aspecto que não foi verificado nas pinturas rupestres dos pontos P1 e P2, ambas localizadas em painéis mais protegidos.

Quanto às amplitudes térmicas aferidas nos filmes pictóricos das pinturas rupestres dos três pontos investigados, encontrou-se que durante o tempo de monitoramento realizado em 22/09/2023, o ponto P1 sofreu uma amplitude de 7,7 °C, exibindo uma temperatura máxima de 35,8 °C, as 15h21min, e uma mínima de 28,1 °C, as 6h21min. O ponto P2 apresentou uma amplitude térmica de 8,4 °C, com temperatura máxima de 36,5 °C, as 15h21min, e mínima de 28,1 °C, as 6h21min, enquanto o ponto P3 sofreu uma amplitude correspondente de 8,2 °C, com temperatura máxima de 35,4 °C, as 12h51min, e mínima de 27,2 °C, as 6h21min.

Em relação ao monitoramento realizado no dia 26/11/2023, encontrou-se uma amplitude térmica de 8,2 °C no filme pictórico da pintura rupestre do ponto P1, com temperatura máxima de 38,4 °C, as 15h2min, enquanto a mínima foi de 30,2 °C, as 6h2min. Na pintura rupestre do ponto P2, a temperatura máxima aferida foi de 39,4 °C, as 14h2min, enquanto a mínima foi de 30,2 °C, as 6h2min, resultando uma amplitude térmica de 9,2 °C. No ponto P3, a amplitude da temperatura atuante no filme pictórico foi de 11,5 °C, com máxima de 42,3 °C, as 11h32min, e mínima de 30,8 °C, as 6h2min.

Conforme se observa na Figura 5, a velocidade das correntes de ar nas imediações do sítio Pedra da Inscrição mostrou-se consideravelmente variável durante todo o período de monitoramento tanto no mês de setembro quanto em novembro de 2023, verificando-se, de modo geral, uma maior frequência de ventos na parte da manhã. Em setembro, a velocidade máxima aferida foi de 6,7 m/s, o que equivale a 24,12 km/h, registrada as 8h22min. Em novembro, a velocidade máxima chegou a 6,1 m/s

(21,96 km/h), aferida as 9h17min. De modo geral, os ventos em setembro são mais intensos do que em novembro.

Considerando-se as condições ambientais mais agressivas à saúde humana, desaconselha-se a visitação do sítio arqueológico Pedra da Inscrição, no período de estiagem, nos horários entre as 10 h e as 16 h, mais criticamente no intervalo das 11 h às 15 h, pois a temperatura do ar é muito elevada e a umidade relativa encontra-se abaixo da faixa ideal, podendo causar mal-estar físico e mental.

De modo geral, observa-se que a variação da frequência e da velocidade dos ventos não parece exercer forte influência na temperatura do ar e dos filmes pictóricos das pinturas rupestres, mas tem a vantagem de amenizar a sensação térmica, favorecendo o bem-estar físico.

Do ponto de vista da conservação das pinturas rupestres e em decorrência dos filmes pictóricos se encontrarem na interface entre o suporte rochoso e o ar ambiente, considera-se que as discrepâncias significativas das amplitudes térmicas nesses dois meios exercem um efeito intensamente destrutivo, especialmente no mês de setembro. No caso da pintura rupestre monitorada no ponto P3, verifica-se que as altas temperaturas decorrentes da incidência solar direta exercem efeitos destrutivos mais extremos do que nos pontos P1 e P2.

Conclusão

O monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais no sítio Pedra da Inscrição mostrou-se uma excelente estratégia para a avaliação dos efeitos potencialmente nocivos dos parâmetros investigados à saúde humana dos funcionários e de visitantes do Parque Nacional de Sete Cidades, sendo útil também para a avaliação dos danos que podem causar às pinturas rupestres encontradas nesse exemplar do patrimônio arqueológico brasileiro.

A partir dos dados obtidos foi possível propor horários mais favoráveis à visitação turística do local no período de estiagem e melhor avaliar a degradação das camadas de tintas das pinturas rupestres.

Referências

BRASIL. Decreto nº 50.744, de 8 de junho de 1961. Cria o Parque Nacional de Sete Cidades, integrante da Seção de Parques e Florestas Nacionais do Serviço Florestal, do Ministério da Agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 8 jun. 1961. p. 5188.

CAVALCANTE, L. C. D. Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil: biodiversidade, arqueologia e conservação de arte rupestre. **Mneme – Revista de Humanidades**, v. 14, n. 32, p. 1-22, 2013.

CAVALCANTE, L. C. D.; BESERRA, A. L. N.; SILVA, H. K. S. B. Monitoramento *in situ* de parâmetros ambientais no sítio arqueológico Caminho da Caiçara II, Brasil. **Arqueología Iberoamericana**, v. 53, p. 134-145, 2024.

CAVALCANTE, L. C. D. *et al.* Pedra da Inscrição: arte rupestre no Parque Nacional de Sete Cidades, Brasil. **Arqueología Iberoamericana**, v. 52, p. 135-143, 2023.

EBI, K. L. *et al.* Hot weather and heat extremes: health risks. **Lancet**, v. 398, n. 10301, p. 698-708, 2021.

GUARNIERI, G. *et al.* Relative humidity and its impact on the immune system and infections. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 11, p. 9456, 2023.

HALL, K.; MEIKLEJOHN, I.; AROCENA, J. The thermal responses of rock art pigments: implications for rock art weathering in southern Africa. **Geomorphology**, v. 91, n. 1-2, p. 132-145, 2007.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelos benefícios concedidos a E. V. F. Silva (Processo 135686/2023-7) e L. C. D. Cavalcante (Processo 315709/2020-0). À Universidade Federal do Piauí (UFPI), pelo apoio com transporte nas expedições a campo.