



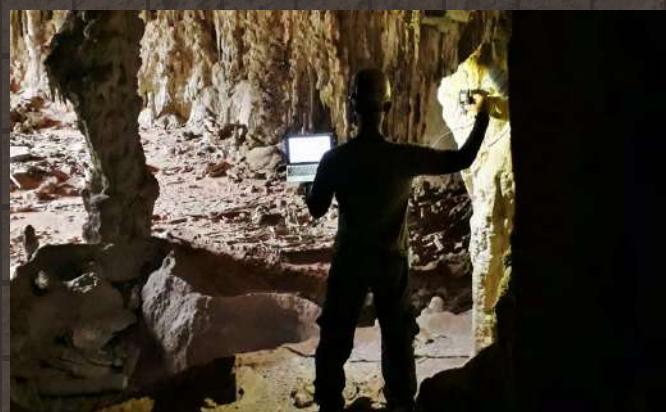
Mauro Gomes

Darcy José dos Santos

Luiz Eduardo Panisset Travassos

Úrsula de Azevedo Ruchkys

Débora Campos Jansen



ESPELEOCLIMA

NO VALE CÁRSTICO DO RIO PERUAÇU

Registros do Monitoramento Contínuo - 2018 a 2024

ESPELEOCLIMA

NO VALE CÁRSTICO DO RIO PERUAÇU

Registros do Monitoramento Contínuo - 2018 a 2024

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

Ministra

Marina Silva

Secretário Executivo

João Paulo Capobianco

Secretaria Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos Animais

Rita de Cássia Guimarães Mesquita

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Presidente

Mauro Oliveira Pires

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade

Marcelo Marcelino de Oliveira

Coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – ICMBio/Cecav

Jocy Brandão Cruz

ANGLO AMERICAN MINÉRIO DE FERRO DO BRASIL S.A.

Presidente

Ana Sanches

Diretor Técnico e Meio Ambiente

Cristiano Cobo

Coordenadora de Desenvolvimento Sustentável

Claudiana Souza

Engenheira de Meio Ambiente

Lorena Pires

© ICMBio 2025. O material contido nesta publicação não pode ser reproduzido, guardado pelo sistema “retrieval” ou transmitido de qualquer modo por qualquer outro meio, seja eletrônico, mecânico, de fotocópia, de gravação ou outros, sem mencionar a fonte.

© dos autores 2025. Os direitos autorais das fotografias contidas nesta publicação são de propriedade de seus fotógrafos.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

ESPELEOCLIMA

NO VALE CÁRSTICO DO RIO PERUAÇU

Registros do Monitoramento Contínuo – 2018 a 2024

Mauro Gomes
Darcy José dos Santos
Luiz Eduardo Panisset Travassos
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Débora Campos Jansen



Brasília, 2025

©ICMBio 2025.
©dos Autores 2025.

AUTORES

Mauro Gomes
Darcy José dos Santos
Luiz Eduardo Panisset Travassos
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Débora Campos Jansen

REVISÃO GRAMATICAL E ORTOGRÁFICA

Cláudia Simone da Luz Alves
Lorene Lima Cunha
Thays Ruas Prado

EDITORAÇÃO

Javiera de la Fuente C. (Editora IABS)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Pedro Costa (Editora IABS)
Javiera de la Fuente C. (Editora IABS)

FOTOS CAPA

Mauro Gomes
Darcy José dos Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Espeleoclima no vale cárstico do Rio Peruaçu [livro eletrônico]: registros do monitoramento contínuo, 2018-2024 / Mauro Gomes ... [et al.]. -Brasília, DF : Instituto Chico Mendes -ICMBio, 2025.
PDF
182 p.; Color.

Outros autores: Darcy José dos Santos, Luiz Eduardo Panisset Travassos, Úrsula de Azevedo Ruchkys, Débora Campos Jansen.
ISBN 978-65-5693-129-6

1. Cavernas - Ecologia - Brasil 2. Clima - Mudanças 3. Espeleologia 4. Parque Nacional Cavernas do Peruaçu 5. Turismo - Aspectos ambientais I. Gomes, Mauro. II. Santos, Darcy José dos. III. Travassos, Luiz Eduardo Panisset. IV. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. V. Jansen, Débora Campos.

25-275034

CDD-551.4470981

Índices para catálogo sistemático:

1. Patrimônio espeleológico : Microclima cavernícola : Geomorfologia 551.4470981
Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

A reprodução total ou parcial desta obra é permitida desde que citada a fonte.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia, Parque Nacional de Brasília
CEP 70635-800 - Brasília/DF - Tel: 61 2028-9792
<http://www.icmbio.gov.br/CECAV>

Esta publicação é resultado do projeto Monitoramento Microclimático de Grutas Turísticas no Estado de Minas Gerais, que foi apoiado pelo Termo de Compromisso Ambiental TCA nº. 01/2016. Esse termo, firmado entre o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e a Anglo American Minério de Ferro do Brasil S.A., contou com a gestão operacional da Fundação para Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP).



AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos sinceros agradecimentos a todos os colegas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, especialmente à Dayanne e à Gilmara, que prestaram o auxílio necessário à realização das atividades, estando sempre disponíveis e não medindo esforços para nos apoiar durante os mais de sete anos de atividades de campo deste projeto.

Agradecemos especialmente ao “Norinho”, que desde 2009 vem nos apresentando cada “cantinho” do parque e suas cavernas, tendo sido de fundamental importância no processo de instalação dos equipamentos.

SUMÁRIO

PREFÁCIO10

INTRODUÇÃO12

**PROJETO DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE
IMPACTOS SOBRE O PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO ..14**

Subprojeto de Monitoramento Microclimático de Grutas Turísticas no Estado de Minas Gerais	16
Lapa de Antônio Pereira	17
Parque Nacional Cavernas do Peruaçu	19
O microclima nas cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu	22

LAPA BONITA.....23

Sequenciamento anual	26
Contagem absoluta dos registros	29
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	29
Temporalidade anual	32
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	32
Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar	35
Zoneamento térmico e higríco	37
Temporalidade mensal	46
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	46

LAPA DO ÍNDIO55

Sequenciamento anual	58
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	58
Contagem absoluta dos registros	61
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	61

Temporalidade anual	62
Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica	62
Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar	63
Zoneamento térmico e hídrico	64
Temporalidade mensal	72
Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica	72
LAPA DOS DESENHOS.....	78
Sequenciamento anual	81
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	81
Contagem absoluta dos registros	84
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	84
Temporalidade anual	84
Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica	84
Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar	86
Zoneamento térmico e hídrico	86
Temporalidade mensal	93
Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica	93
LAPA DO CABOCLO	99
Sequenciamento anual	102
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	102
Contagem absoluta dos registros	105
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	105
Temporalidade anual	105
Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica	105

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar	107
Zoneamento térmico e higríco	107
Temporalidade mensal	114
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	114
LAPA DO CARLÚCIO	120
Sequenciamento anual	123
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	123
Contagem absoluta dos registros	126
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	126
Temporalidade anual	127
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	127
Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar	128
Zoneamento térmico e higríco	129
Temporalidade mensal	136
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	136
LAPA DO REZAR	142
Sequenciamento anual	145
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	145
Contagem absoluta dos registros	148
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	148
Temporalidade anual	149
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	149
Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar	150
Zoneamento térmico e higríco	151
Temporalidade mensal	158
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	158

GRUTA DO JANELÃO	164
Sequenciamento anual	167
Contagem absoluta dos registros	167
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	167
Temporalidade anual	170
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	170
Temporalidade mensal	171
Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca	171
CONSIDERAÇÕES FINAIS	174
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177
SOBRE OS AUTORES	180

PREFÁCIO



Em muitos lugares do mundo, o maior grau de pureza da atmosfera de uma determinada região encontra-se dentro de cavernas. O confinamento espacial e a ausência de luz solar direta estão entre os fatores que permitem que a umidade relativa do ar nesses ambientes seja mais elevada do que os padrões externos, chegando, não raro, a níveis de saturação. A temperatura do ar, por sua vez, conserva o padrão médio de longo prazo da variação térmica regional, conferindo a impressão de estabilidade e baixa variação – o que, de fato, está ligado ao nível tecnológico dos instrumentos de medição, os quais geralmente não captam variações térmicas em escala ínfimas de detalhe. O confinamento também proporciona a concentração de Dióxido de Carbono e Radônio, citando apenas os elementos mais pesquisados em estudos de monitoramento da atmosfera subterrânea. Esses elementos e suas características gerais são os mais relevantes do denominado “espeleoclima”, termo utilizado para designar o microclima em cavidades naturais subterrâneas.

No mundo todo, o monitoramento espeleoclimático vem sendo desenvolvido, sobretudo, focado em duas vertentes de pesquisa. A primeira delas é a caracterização básica de modelos atmosféricos subterrâneos, cujos processos principais estão devidamente descritos na literatura científica internacional, considerando as trocas gasosas com a atmosfera externa à cavidade natural, as interferências dos fluxos de água, quando existentes, o papel da rocha encaixante na estabilização dos parâmetros espeleoclimáticos fundamentais, e até mesmo a interferência da fauna, sobretudo nas denominadas bat caves – cavidades naturais que abrigam colônias com milhares de indivíduos de morcegos. A segunda vertente, que vem ampliando sua importância sobretudo após os anos 1980, versa sobre a interferência da visitação turística no espeleoclima. Essas pesquisas são desenvolvidas em função do evidente e facilmente mensurável nexo causal entre os parâmetros atmosféricos – notadamente a Temperatura e a

Concentração de Dióxido de Carbono – e a presença humana. Sua importância não se justifica apenas pela interferência no espeleoclima por si, mas, sobretudo, dada a importância da manutenção dos padrões regulares dos parâmetros atmosféricos, principalmente para a conservação da fauna e de espeleotemas.

No Brasil, as primeiras medições de parâmetros espeleoclimáticos são datadas entre 1906 e os anos 1980. Os primeiros monitoramentos sistemáticos começaram a ser desenvolvidos nos anos 1990, com o trabalho pioneiro de Silvia M. Carvalho na Gruta Olhos d'Água, em Castro, PR (1991-1992), seguido, anos depois, pelo monitoramento das Grutas do Lago Azul e Nossa Senhora Aparecida, em Bonito, MS. Posteriormente, os trabalhos de monitoramento sistemático foram ampliados, sobretudo motivados pela determinação legal de elaboração de Planos de Manejo Espeleológico em cavernas turísticas, a partir da Resolução 347/2004 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). No final da primeira década do século XXI despontaram também pesquisas de pós-graduação mais robustas, facilitadas pela inovação tecnológica e redução dos custos de instrumentos de monitoramento.

Nada se compara, no entanto, ao esforço amostral e à abrangência espacial da presente obra. Nenhum estudo feito no Brasil até o presente momento (2024) considerou tantas cavernas em monitoramento simultâneo, por um período tão extenso, chegando a sete anos em alguns casos. Os paralelos comparativos mais próximos seriam, em termos de abrangência espacial, os Planos de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR-SP), do Parque Estadual Intervales (PEI-SP) e do Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR-GO), respectivamente com 20, 10 e 13 cavernas cada. No entanto, os monitoramentos espeleoclimáticos foram feitos em períodos amostrais curtos, inferiores a um ano. Em termos de extensão temporal, os estudos realizados em 2011 na Caverna de Santana (PETAR-SP) atingiram dois anos e meio, com algumas interrupções

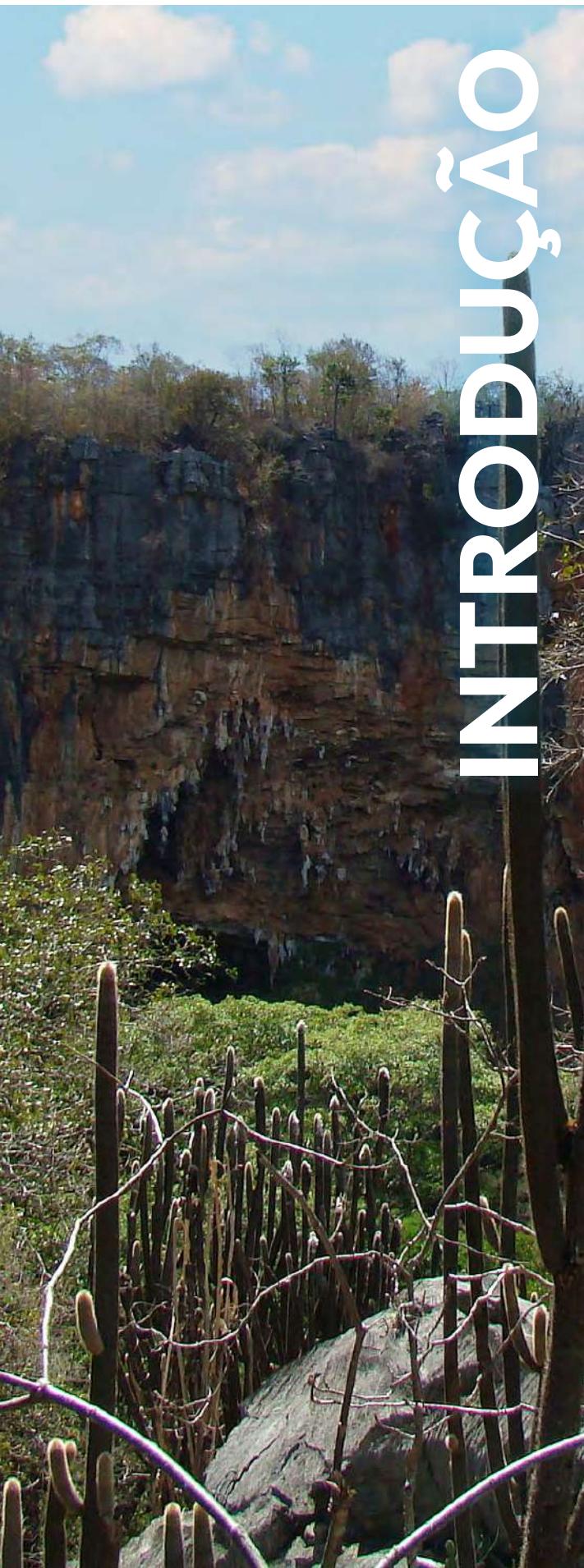
em estações específicas. No entanto, nenhum estudo anterior ao apresentado neste livro uniu de forma tão oportuna a cobertura espacial e a extensão temporal. Assim, destaca-se a primeira grande qualidade desta obra, que é seu caráter pioneiro em nível nacional e com poucos paralelos em todo o continente americano, em sua maioria, em países como Estados Unidos e México.

Entre as qualidades positivas deste estudo estão seus aspectos metodológicos de coleta, tratamento e análise dos dados, além dos excelentes resultados obtidos. A ampla distribuição amostral em cada caverna, a escolha de instrumentos de monitoramento já testados previamente em situações análogas, o intervalo amostral e o esmero no tratamento estatístico são compatíveis com os padrões científicos internacionais utilizados em estudos espeleoclimáticos. Os resultados são apresentados de forma lógica e intuitiva, tornando a leitura leve e didática, com o uso de tabelas e gráficos. Destaca-se a qualidade dos mapas de zoneamento de temperatura e umidade relativa do ar, os quais permitem evidenciar os padrões já conhecidos de variabilidade dos parâmetros do espeleoclima, que são menos conectados com o meio externo à medida que se afastam dos pórticos de acesso e claraboias.

Por fim, ressalta-se a importância do conteúdo deste livro por apresentar dados robustos prévios ao aumento da visitação turística em função da futura e certa consolidação do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Em face de seus atributos ambientais e paisagísticos, bem como dos atributos socioculturais do entorno, não restam dúvidas de sua importância em âmbito mundial, o que deverá atrair cada vez mais visitantes, em um futuro que é cada vez mais presente.

Heros Augusto Santos Lobo

Universidade Federal de São Carlos



INTRODUÇÃO

O território brasileiro abriga um impressionante patrimônio espeleológico, contando atualmente com mais de 25.000 cavernas identificadas nas mais diversas litologias e regiões do país (Cecav, 2024). Consideradas como bens da União (Brasil, 1998), as cavidades naturais subterrâneas contam com um sólido arcabouço legal para sua proteção, e, diante da necessidade de valorização desse patrimônio e da integração de ações setoriais dentro de uma abordagem ecossistêmica para sua gestão, o poder executivo criou, no início do século XXI, o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico (PNCPE) (MMA, 2009). Dentre os eixos orientativos desse programa observa-se uma linha temática que se refere ao monitoramento, avaliação, prevenção e mitigação dos impactos sobre o patrimônio espeleológico, cuja meta inicial é a elaboração de normas para a regulamentação de seu uso. No que se refere especificamente às ações de monitoramento de impactos, o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (Cecav) vem desenvolvendo, ao longo dos anos, ações voltadas à ampliação do conhecimento acerca dessa temática, em especial do monitoramento do clima cavernícola.

As cavernas são espaços subterrâneos confinados em rocha e acessíveis ao ser humano, podendo conter um ou mais acessos ao meio externo, e abrigam, além de água e seres vivos, a atmosfera cavernícola. O envolvimento pela rocha impede que esse singular ambiente subterrâneo seja diretamente afetado pela magnitude das variações climáticas observadas no meio externo (Lobo, 2010). Poulson e White (1969) definem o ambiente cavernícola como sendo formado por três compartimentos distintos, caracterizados por uma zona crepuscular próxima à entrada, uma zona intermediária de temperatura variável e a zona distal, de completa escuridão e temperatura constante.

O confinamento espacial, a ausência de luz e a baixa incidência de energia solar direta, características intrínsecas das cavernas, fazem com que a atmosfera cavernícola seja marcada por singularidades que a diferenciam dos demais sistemas atmosféricos naturais (Lobo, 2012). Diferentemente do que se observa no meio externo,

em sua grande maioria as cavernas apresentam temperaturas relativamente constantes e umidade elevada. No entanto, o comportamento do espeleoclima, ou microclima cavernícola, não é estático nem constante (Magne et al., 2017) e pode ser influenciado por fatores externos que incluem, por exemplo, a localização geográfica, a altitude, a topografia local e a vegetação do entorno.

Nesse contexto, há algumas características climáticas gerais que podem ser observadas na maioria das cavernas. Uma delas é a estabilidade térmica. A temperatura nesses ambientes tende a ser relativamente constante em comparação com as variações que ocorrem na superfície. A qualidade do ar também pode ser diferente se comparada com a do meio externo. A atmosfera cavernícola pode ser rica em dióxido de carbono, metano, radônio e outros gases, dependendo das atividades biológicas e geológicas ali encontradas.

Muitos processos que ocorrem no ambiente interno das cavernas são sensíveis a alterações em seus parâmetros meteorológicos, e a presença humana pode ser um dos fatores responsáveis por essas alterações (Šebela; Prelovšek; Turk, 2013). Essas variações podem afetar a morfologia e a cristalização de espeleotemas, ou até mesmo provocar a dissolução dessas formações. A biota cavernícola também pode ser afetada pelo o aumento da temperatura ou a diminuição da umidade relativa do ar. Além disso, as mudanças no microclima da caverna podem comprometer registros paleontológicos, arqueológicos e culturais (Toomey III, 2009). Dessa forma, o estudo do microclima de uma caverna torna-se um componente chave para a compreensão do ambiente interno, sendo especialmente importante para a gestão de cavernas abertas ao turismo (Freitas, 2010).

No Brasil, dentre as unidades de conservação (UCs) federais com cavernas abertas à visitação, destaca-se o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), com 11 cavidades integradas ao circuito turístico. Considerando o número crescente de visitantes nos últimos anos, e para atender a uma demanda específica do plano de manejo da unidade, foi elaborado em 2014 o projeto de pesquisa “Monitoramento Microclimático de Grutas Turísticas no Estado de Minas Gerais”. Além disso, considerando que, no Brasil, além do

turismo de contemplação em cavernas também ocorre o turismo religioso, e que em Minas Gerais existe uma caverna que recebe peregrinações desde meados do século XVIII, decidiu-se aumentar a abrangência do projeto, inserindo em seu escopo a Gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa, ou Lapa de Antônio Pereira (LAP), localizada no município de Ouro Preto, MG.

O presente trabalho apresenta os principais resultados desse projeto, oferecendo um panorama sobre o histórico do monitoramento microclimático realizado em sete cavernas turísticas do PNCP: Lapa do Carlúcio, Lapa do Caboclo, Lapa dos Desenhos, Lapa Bonita, Lapa do Índio, Lapa do Rezar e Gruta do Janelão, entre os anos de 2018 e 2024. É importante destacar também que, durante a execução do projeto, análises pontuais foram realizadas e divulgadas por meio de publicações científicas (Santos et al., 2018; Gomes et al., 2019, 2021a, 2021b).

Em relação à caverna de Ouro Preto, esclarecemos que os resultados obtidos por meio do monitoramento microclimático foram analisados separadamente e deram origem a uma tese de doutorado. Eles foram apresentados e discutidos por Couto (2021), e, por esse motivo, não estão presentes nesta publicação. Entretanto, a metodologia empregada no desenvolvimento da tese se constitui no principal referencial que orientou a elaboração do conteúdo aqui apresentado.

Durante os sete anos de monitoramento das cavernas do PNCP produziu-se uma quantidade expressiva de informações, o que fez com que a publicação dos resultados fosse feita em dois volumes. O volume atual apresenta o projeto, os principais resultados e discussões, e é ilustrado com os dados coletados no ano de 2024 em todas as cavernas, exceto na Gruta do Janelão. O volume II oferece um compêndio dos resultados obtidos entre 2018 e 2024, e foi elaborado com o objetivo de permitir análises comparativas dos dados.



PROJETO DE
MONITORAMENTO
E AVALIAÇÃO DE
IMPACTOS SOBRE
O PATRIMÔNIO
ESPELEOLÓGICO

Este projeto, desenvolvido pelo Cecav, teve início em 2010 para atender às demandas

do PNCPE; mais especificamente, o Componente 4:

Componente 4 - Monitoramento, Avaliação, Prevenção e Mitigação de Impactos sobre o Patrimônio Espeleológico: visa estabelecer e fortalecer sistemas de monitoramento, de avaliação, de prevenção e mitigação de impactos sobre o patrimônio espeleológico, apoiando inclusive processos de recomposição e recuperação dos ecossistemas degradados e dos componentes da biodiversidade, tendo como meta inicial a elaboração de norma para regulamentação do uso do patrimônio espeleológico com base no diagnóstico espeleológico brasileiro e em consonância com os princípios estabelecidos neste programa (MMA, 2009).

Em linhas gerais, a proposta de monitoramento dos impactos sobre o patrimônio espeleológico (Figura 1) delimita áreas onde exista maior vulnerabilidade a impactos ambientais, identificando as

principais ameaças. A seguir um inventário é realizado para caracterizar seu estado de conservação e permitir a definição de quais atributos devem ser monitorados (Gomes; Jansen; Santos, 2014).

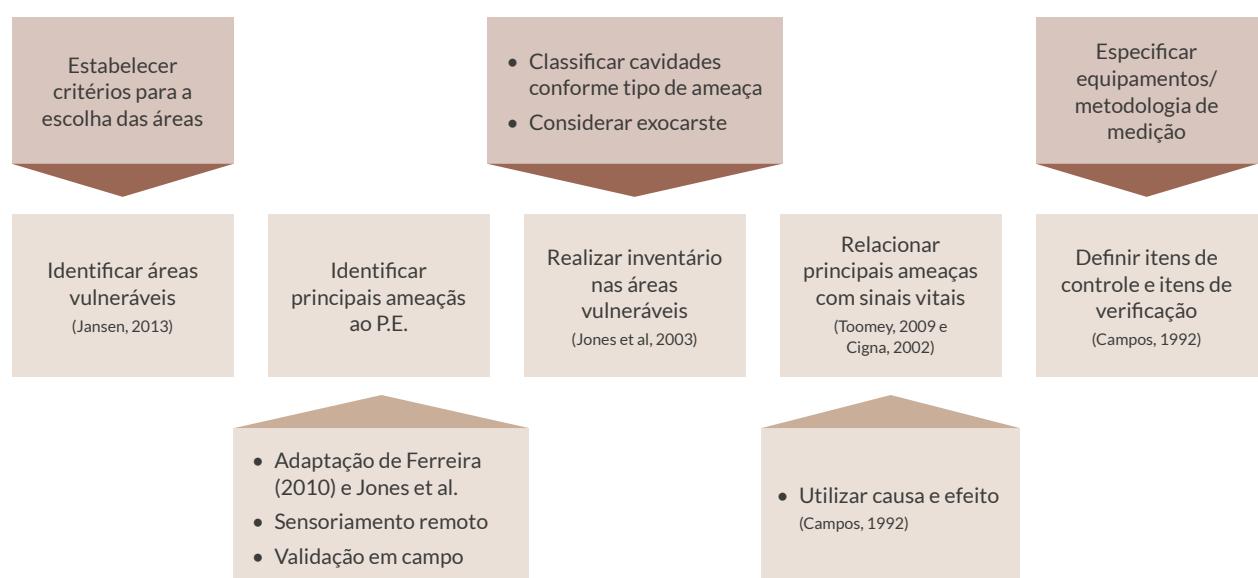


Figura 1: Diagrama em bloco representando a proposta metodológica para realização de atividades de monitoramento dos impactos ambientais sobre o patrimônio espeleológico brasileiro. (Gomes; Jansen; Santos, 2014.)

De acordo com Jansen et al. (2014), as regiões onde se encontram tanto o PNCP quanto a LAP são classificadas com grau de vulnerabilidade ambiental muito alto. A aplicação da metodologia de monitoramento de impactos descrita revelou diversas ameaças às quais o patrimônio espeleológico encontra-se exposto. Dentre elas, destacamos duas: o uso turístico (PNCP) e o uso religioso (LAP). O microclima cavernícola é um indicador

importante para avaliar a qualidade ambiental nesse tipo de ambiente. Partindo desse princípio, e por se tratar de um parâmetro facilmente monitorado (Toomey III, 2009), considerou-se a possibilidade de desenvolver um subprojeto que realizasse o monitoramento das condições microclimáticas cavernícolas e possibilitasse a definição de ações para aperfeiçoar o regramento do uso do patrimônio espeleológico no PNCP e na LAP.

Subprojeto de Monitoramento Microclimático de Grutas Turísticas no Estado de Minas Gerais

Essa linha de ação do PNCPE teve como objetivo geral demonstrar a função do monitoramento microclimático em cavernas abertas à visitação pública no contexto da gestão de UCs. Mais especificamente, visou monitorar e interpretar as variáveis climáticas observadas nessas cavidades, fornecendo uma caracterização microclimática específica para cada caverna, e, desta forma, oferecer subsídios importantes para a gestão dos atrativos. O ICMBio/Cecav planejou e executou grande parte das ações do projeto, cabendo às instituições parceiras, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), o suporte técnico e logístico necessário.

As atividades, iniciadas efetivamente em 2016, foram viabilizadas com recursos provenientes de um Termo de Compromisso Ambiental (TCA) (ICMBio, 2016) celebrado entre o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e a Anglo American Minério de Ferro do Brasil S.A. O TCA destinou R\$ 450.000,00 para aquisição de equipamentos e financiamento das expedições de campo, e foi finalizado em 2022. No entanto, o monitoramento implementado no PNCP foi estendido até 2024 com recursos do ICMBio.

No total, foram realizadas mais de 20 expedições ao PNCP e à LAP para escolha dos locais ideais para a instalação dos equipamentos, ajustes na configuração e posicionamento dos medidores, coleta de dados e treinamento e acompanhamento das equipes da UC que apoiaram as ações de campo. Também foram realizadas visitas técnicas aos municípios mineiros de Cordisburgo e Pains, bem como ao Parque Nacional da Furna Feia, no estado do Rio Grande do Norte, para avaliação de áreas para desdobramentos futuros do projeto. Em relação à possibilidade de sequência dos estudos em parceria com outras instituições, foram realizadas visitas técnicas ao Centro de Estudos de Biologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para verificar possíveis interações entre o monitoramento microclimático e as pesquisas realizadas com a fauna subterrânea.

Para a consolidação do conhecimento relacionado às atividades de monitoramento de impactos ao patrimônio espeleológico, foram realizadas visitas técnicas a Karst Research Institute, Postojnska jama, Park Škocjanske jame e Idrija Mercury Mine, na Eslovênia, onde foram observados os sistemas de monitoramento ambiental utilizados, bem como técnicas e ferramentas para o processamento e análise de dados.

Dentre os diversos parâmetros climáticos passíveis de monitoramento relacionados ao microclima e à composição do ar de uma caverna, a temperatura e a umidade relativa do ar foram os atributos escolhidos para compor este estudo. No PNCP a aquisição dos dados foi realizada com o uso de 41 termo-higrômetros automatizados (Testo 175H1), configurados para realizar o registro diário dos parâmetros observando um intervalo de 10 minutos entre as coletas (Gomes et al., 2021b). Com a mesma configuração de coleta de dados, esses parâmetros foram registrados na LAP utilizando cinco medidores (Couto, 2021). O posicionamento dos equipamentos nas cavernas levou em consideração os diversos ambientes internos, a morfologia dos condutos, a posição e distribuição das entradas e o caminhamento interno utilizado pelos visitantes. No PNCP, para se obter referências mais específicas sobre as condições climáticas na área de entorno das cavernas, dois termo-higrômetros foram instalados externamente, próximo às entradas da Lapa Bonita e da Gruta do Janelão (Gomes et al., 2021b).

Para relacionar eventuais alterações no microclima da caverna com a presença humana no seu interior é necessário que haja um controle preciso da visitação, contendo não apenas o número de visitantes e data da visita, mas também o horário de entrada e de saída da caverna. Em seus estudos na LAP, Couto (2021) destaca diversas limitações inerentes ao registro manual praticado naquela caverna à época. No PNCP, onde atualmente o registro também é manual e pouco detalhado, constatou-se que o formato de

anotação desses dados não atenderia aos objetivos do projeto e inviabilizaria o desenvolvimento da análise. Portanto, em função desse motivo,

não foi possível estabelecer uma relação entre a presença de visitantes nas cavernas do parque e eventuais impactos no microclima.

Lapa de Antônio Pereira

Antônio Pereira é um distrito do município de Ouro Preto, localizado a cerca de 70 km de Belo Horizonte. A região está inserida no Quadrilátero Ferrífero, considerado um dos distritos mineradores mais importantes do Brasil devido à concentração e variedade de minérios. A ca-

verna (Figura 2) possui significativa importância cultural; os primeiros relatos de manifestações religiosas ocorreram entre os anos de 1722 e 1767, quando tiveram início as peregrinações que acontecem até os dias de hoje (Figura 3) (Travassos, 2010).

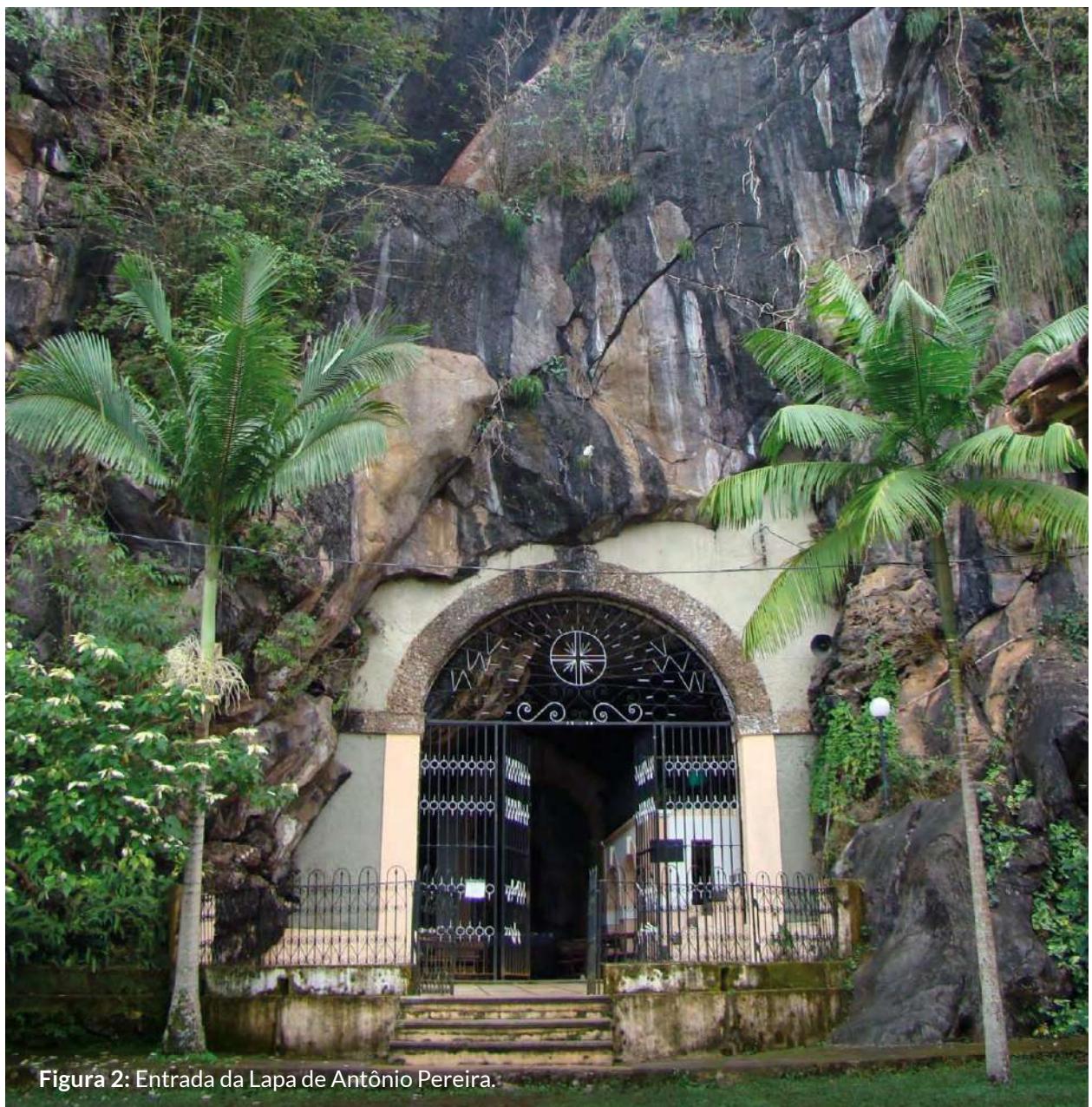


Figura 2: Entrada da Lapa de Antônio Pereira.

Em distância de 2 léguas ao nordeste de Mariana, junto ao Arraial de Antônio Pereira (seu fundador), num morro, que fica no fim dum vale ameno, está uma gruta, obra da natureza, convertida pela devoção em uma capelinha dedicada a N. Senhora da Lapa, onde todos os sábados há missa cantada, e uma festividade a 15 de agosto. No teto, que é de pedra calcária, há vários estalactites, ou como pedaços de cristal formados pela filtração da agua que se congela. (Casal, 1817, p.170).



Figura 3: Interior da Lapa de Antônio Pereira durante a festa da padroeira em agosto de 2018.

A caverna se desenvolve em mármores dolomíticos da Formação Gandarela, e a igreja erguida em seu interior continua em atividade desde meados do século XVIII. Sua entrada está

localizada na base do afloramento, bem próxima à área do vilarejo. No seu entorno e interior são observadas diversas intervenções para facilitar o acesso dos romeiros (Paula et al., 2007).

Não longe da aldeia, encontra-se em aprazível vale uma pedra calcária muito compacta, cinzento-clara, que ocorre em camada espessa, e se estende bastante pela montanha acima. Nessa rocha calcária, provavelmente pertencente à formação primitiva, apresentando, às vezes, nas fendas, uma capa infiltrada de enxofre, encontra-se uma gruta com estalactites, que foi transformada em capela de Nossa Senhora da Lapa (Spix, 1823, p.325).

Parque Nacional Cavernas do Peruaçu

O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu é uma unidade de conservação de proteção integral que abriga uma quantidade expressiva de cavernas, sendo algumas delas de dimensões colossais (Figura 4). A unidade possui uma área

de aproximadamente 56.500 ha e está localizada na porção norte de Minas Gerais, em parte dos territórios dos municípios de Januária, Itacarambi e São João das Missões, a 653km de Belo Horizonte (IBAMA, 2005).

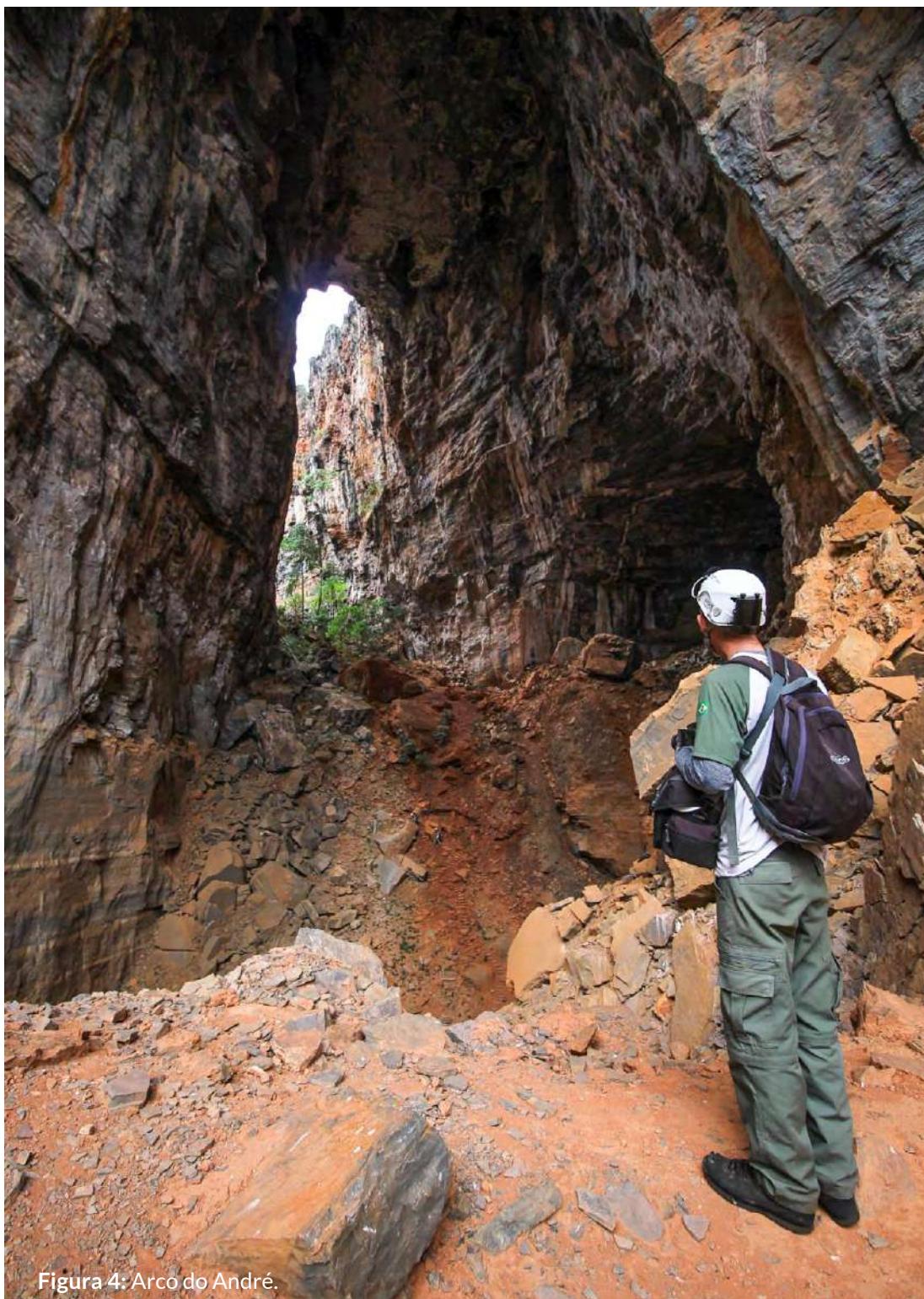


Figura 4: Arco do André.

[...] criada com objetivo de proteger o patrimônio geológico e arqueológico, amostras representativas de cerrado, floresta estacional e demais formas de vegetação natural existentes, ecótonos e enclaves entre estas formações, a fauna, as paisagens, os recursos hídricos, e os demais atributos bióticos e abióticos da região (Brasil, 1999).

O parque fica localizado em uma área de ecótono, na transição entre o Cerrado e Caatinga. A grande riqueza ambiental da região favorece a ocorrência de ambientes diversos (Figura 5), os quais são ocupados por diferentes espécies

vegetais e animais, muitas delas endêmicas e ameaçadas de extinção. De acordo com o plano de manejo, a UC apresenta temperaturas médias oscilando entre 25°C e 29,5°C e umidade relativa média entre 55% e 83% (IBAMA, 2005).

Sob o ponto de vista científico, as cavernas do Peruaçu apresentam-se como “janelas” para um melhor entendimento da paleohidrologia regional. Nessas galerias ocorrem inúmeros registros sedimentares (químicos e clásticos), verdadeiros arquivos para reconstituições paleoambientais do Quaternário continental brasileiro. Salienta-se, ainda, que as cavernas estão inseridas em um ambiente cárstico de grande geodiversidade (...) (Piló; Rubbioli, 2002, p.454).

As cavernas do PNCP integrantes do roteiro turístico (Figura 6) se concentram entre as cotas altimétricas de 500 metros e 720 metros, e se desenvolvem nos calcários e dolomitos do Grupo Bambuí. O relevo é acidentado e, além do rio Peruaçu, não se percebe rede de drenagem contínua. A maior

característica dessa região é a grande variedade de feições cársticas, tais como cavernas, dolinas de abatimento, vales cársticos, maciços fissurados, torres ruiniformes, sumidouros, ressurgências, paredões escarpados e feições de dissolução (lapiás) de variadas formas e dimensões (IBAMA, 2005).

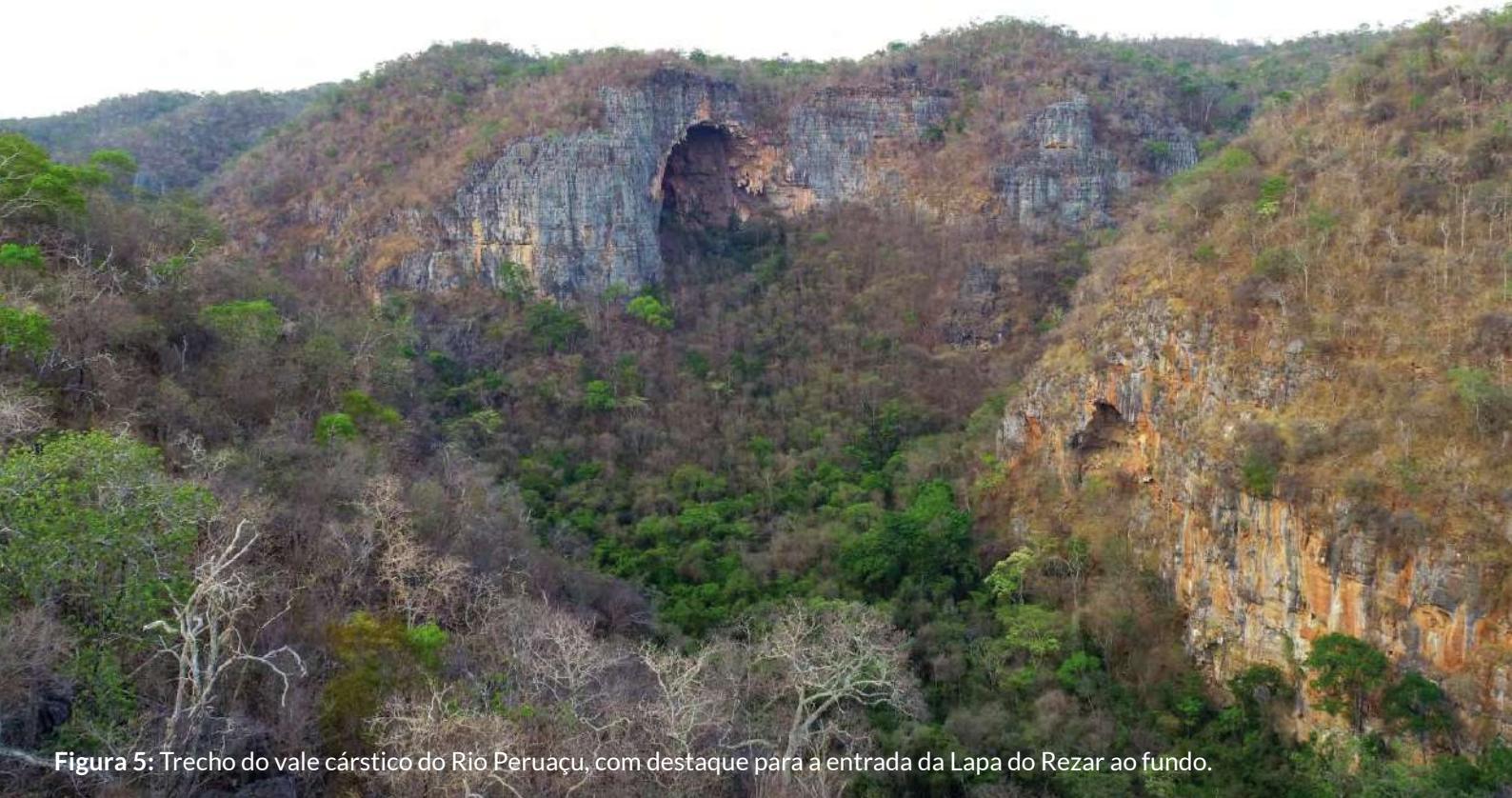


Figura 5: Trecho do vale cárstico do Rio Peruaçu, com destaque para a entrada da Lapa do Rezar ao fundo.

PARQUE NACIONAL CAVERNAS DO PERUAÇU

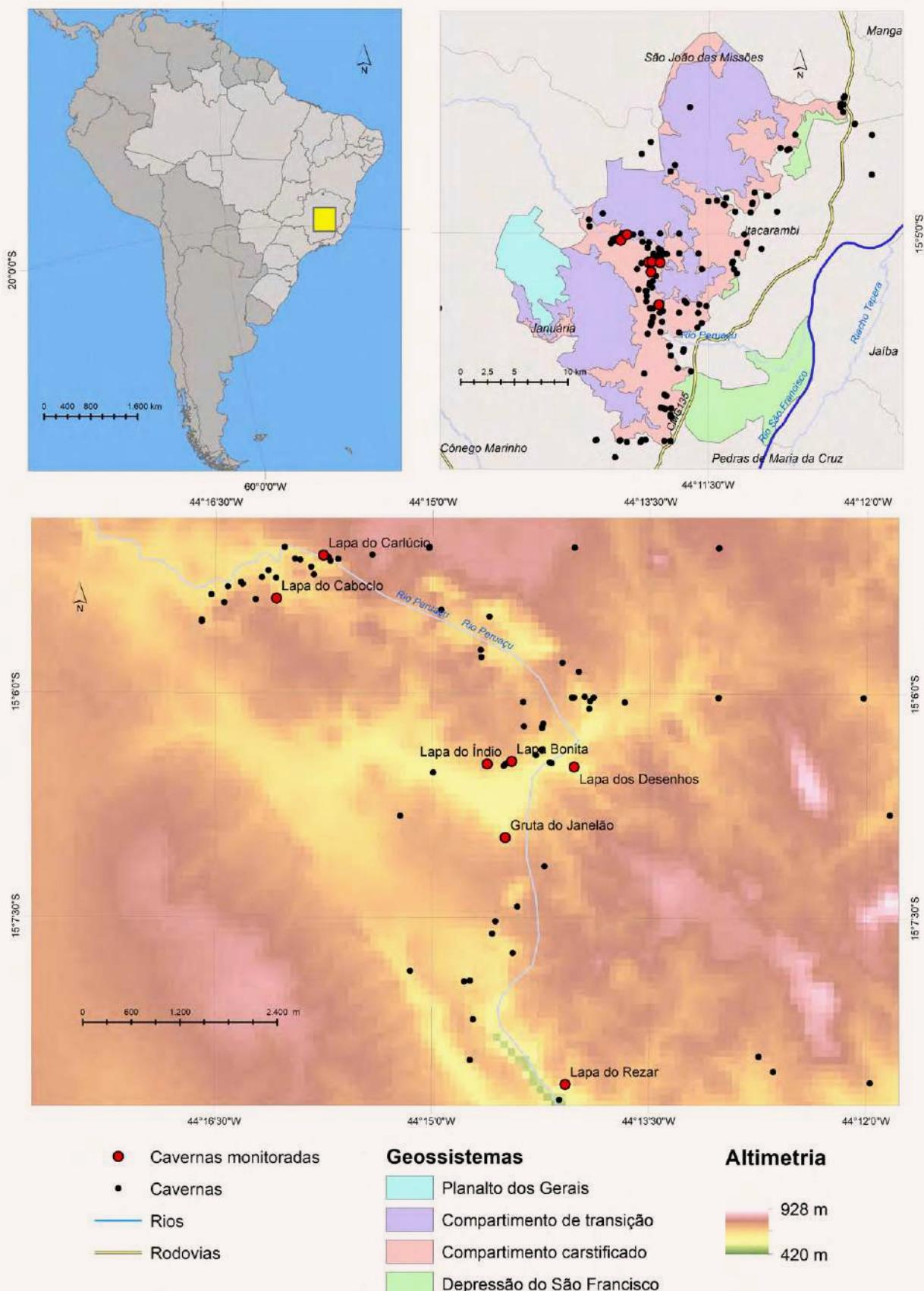


Figura 6: Localização das cavidades monitoradas.

O microclima nas cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu

Na área do PNCP a temperatura média observada é de 25,2°C, com umidade relativa do ar em torno de 74% e ventos de superfície circulando na direção preferencial de SE, Le NE. A distribuição espacial dos pontos de coleta dos dados climáticos à época de elaboração do plano de manejo da unidade demonstra que, ao longo do dia (entre 6:00 e 18:00h), o comportamento desses atributos evidencia a grande influência exercida pelas características ambientais da região em função do uso e ocupação do solo, do tipo de vegetação e de seu grau de degradação (IBAMA, 2005).

As regiões com presença de formações vegetais de maior porte e mais adensadas são caracterizadas por temperaturas médias mais baixas e taxas mais elevadas de umidade relativa do ar. Os locais onde a cobertura vegetal se apresenta mais aberta e com pouca folhagem são um pouco mais quentes que aqueles onde a vegetação é mais densa. Os ambientes onde a ação humana é mais evidente são aqueles que apresentam as temperaturas mais elevadas e as menores taxas de umidade do PNCP (Serafini-Júnior, 2005). O perfil fisiográfico do parque foi utilizado para a delimitação de geossistemas distintos (Figura 6) e a análise dos componentes físicos, bióticos e antrópicos desses ambientes resultou na definição de unidades climáticas locais, denominadas Planalto dos Gerais, Compartimento de Transição, Compartimento Carstificado e Depressão do São Francisco (IBAMA, 2005).

As cavidades monitoradas por esta pesquisa se encontram no cânion formado pelo rio Peruaçu, na unidade climática denominada Compartimento Carstificado, onde a temperatura média na maior parte do ano oscila em torno dos 23°C e a umidade média na faixa dos 50% (Serafini-Júnior, 2005). Devido ao processo de esculturação geomorfológica esse vale cárstico facilita a canalização de ventos carregados de umidade e, com isso, possibilita

o surgimento de grandes áreas com vegetação de porte arbóreo, mantendo temperaturas mais amenas, umidade relativa elevada e baixas amplitudes (IBAMA, 2005). Diversos autores ressaltam a influência que o clima externo exerce no microclima cavernícola (BADINO, 2010; CIGNA, 1993; DOMÍNGUEZ-VILLAR et al., 2015; LOBO, 2013; ŠEBELA; PRELOVŠEK; TURK, 2013). Entretanto, outros fatores tais como a topografia interna, a distribuição espacial, as dimensões e quantidade de entradas, o fluxo de água subterrânea e, no caso das cavernas turísticas, os processos antrópicos também exercem influência nos parâmetros climáticos (Travassos, 2016).

Os primeiros registros do microclima das cavernas do PNCP remontam a década de 70 do século XX (Coura, 1975; Silva, 1975). O presente trabalho pretende dar sequência àqueles estudos, apresentando a seguir, os principais resultados do monitoramento do microclima realizado em sete cavernas do parque.. Para cada caverna são apresentados dois grandes conjuntos de resultados, registrando diferentes comportamentos do microclima em relação à temporalidade. O conjunto anual reproduz a situação geral dos locais monitorados, servindo de referência para a compreensão do espeleoclima no local, enquanto o conjunto mensal permite o reconhecimento das variações sazonais no ambiente cavernícola.

A metodologia utilizada para apresentação dos resultados desta pesquisa está explícita na descrição dos resultados da Lapa Bonita, considerada a mais complexa dentre aquelas que compõem esta pesquisa. O mesmo procedimento foi adotado para as outras seis cavernas, e, para evitar que o texto se tornasse muito repetitivo, optou-se então por uma abordagem menos detalhada em termos metodológicos, dando maior ênfase aos resultados específicos de cada caverna.



LAPA BONITA

A cavidade está localizada na base de um paredão rochoso (Figura 7), nas proximidades da sede velha da Fazenda Terra Brava. A Lapa, com projeção horizontal de 420 metros e desnível de 15 metros, possui uma única entrada (Figura

8) que mede aproximadamente 18 x 16 metros e está envolvida por uma estreita faixa de mata estacional. Imediatamente após a mata, observa-se uma antiga área degradada (pastagem), atualmente em estágio de recuperação.

É possível observar uma gama variada de espeleotemas das mais diversas formas e tamanhos, como stalactites e stalagmites, pérolas de caverna, escorrimientos cristalinos, helictites, colunas, cortinas, travertinos etc. Outro ponto de grande atração são as suas galerias, em especial o Salão Vermelho, onde a grande superfície nivelada de sedimentos vermelhos contrasta com a cor branca dos espeleotemas e o espaço delineado na rocha calcária (IBAMA, 2005, p.37).

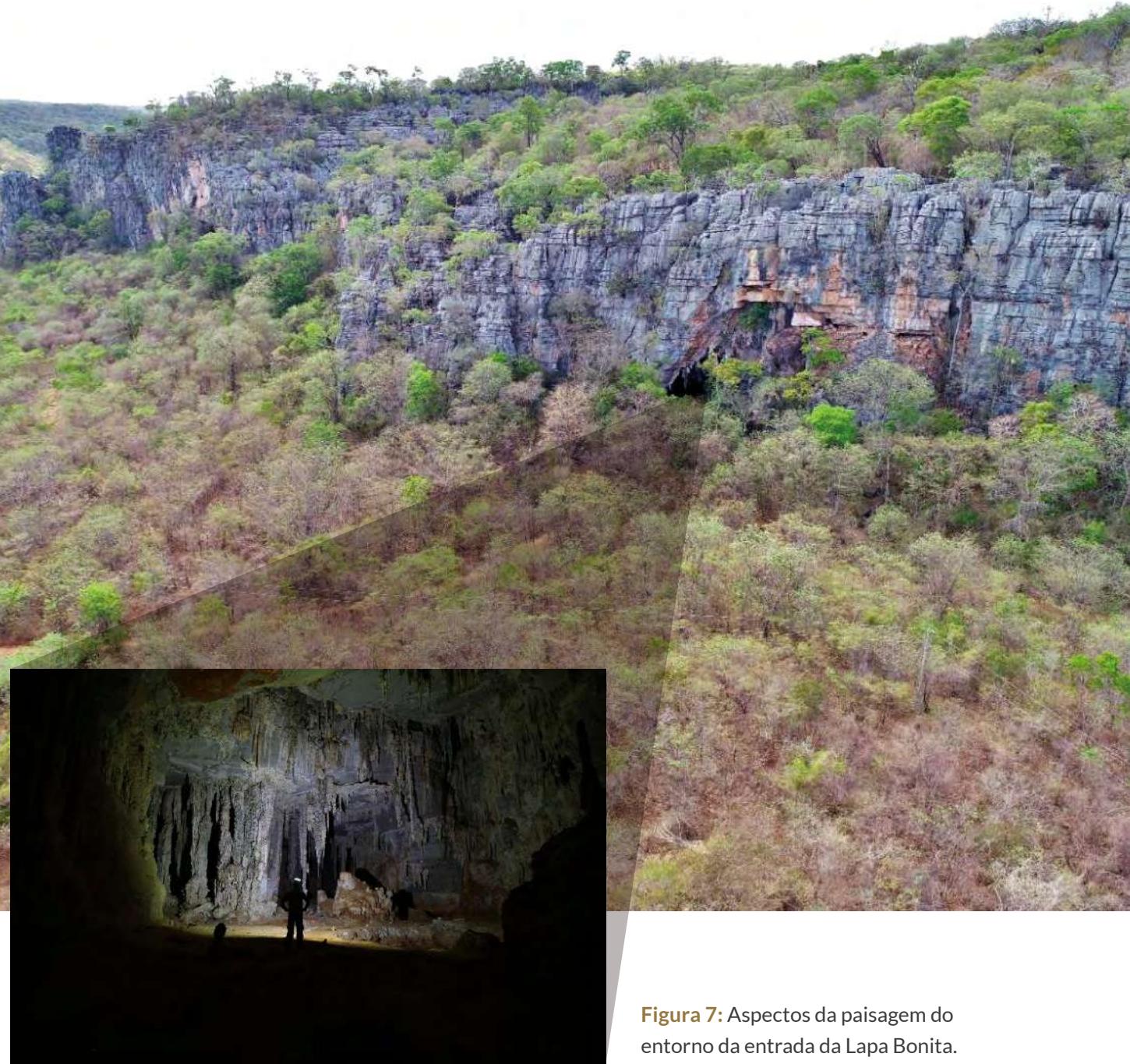


Figura 7: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Lapa Bonita.

LAPA BONITA - MG 32

Município de Januária-Minas Gerais
Localização (UTM23L)
 $x = 581.670$ $y = 8.329.690$
Projeção horizontal: 420 m
Desnível: 15 m

Topografia: 4C-BCRA-Fevereirode1998
Detalhamento: Outubrode2003efevereirode2004
Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas

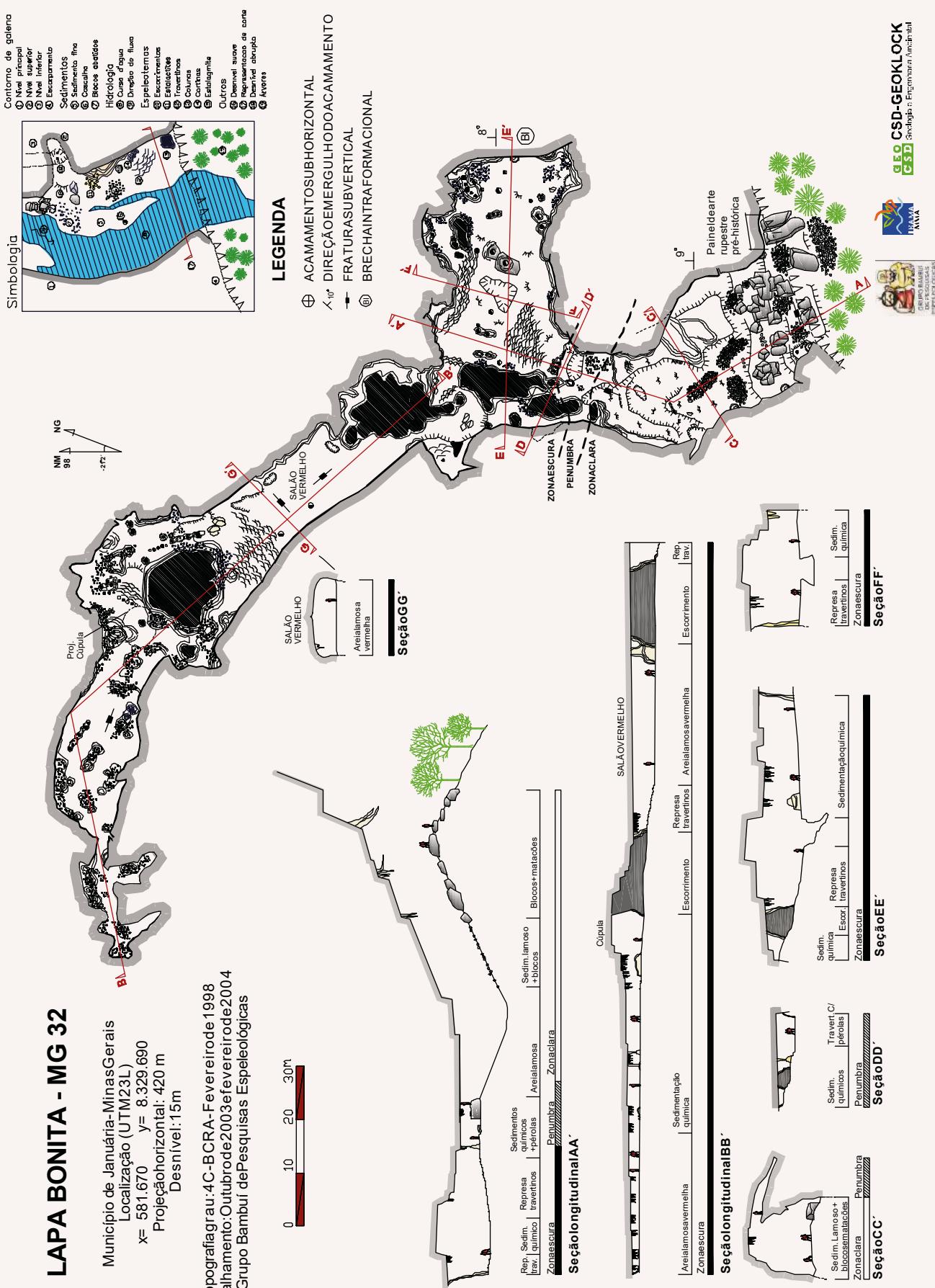


Figura 8: Mapa topográfico da Lapa Bonita (IBAMA, 2005).

Em função de suas características morfológicas e de que se trata de uma das três a receber turistas em seu interior, a Lapa Bonita foi escolhida para a instalação do maior número de equipamentos de medição dentre todas as cavernas monitoradas no PNCP. Ao todo, foram

instalados nove medidores, tanto nas partes visitadas quanto naquelas onde a visitação não é permitida. A fim de obter também dados do exterior, um equipamento foi instalado na faixa de mata próxima à entrada da cavidade (Figura 9).

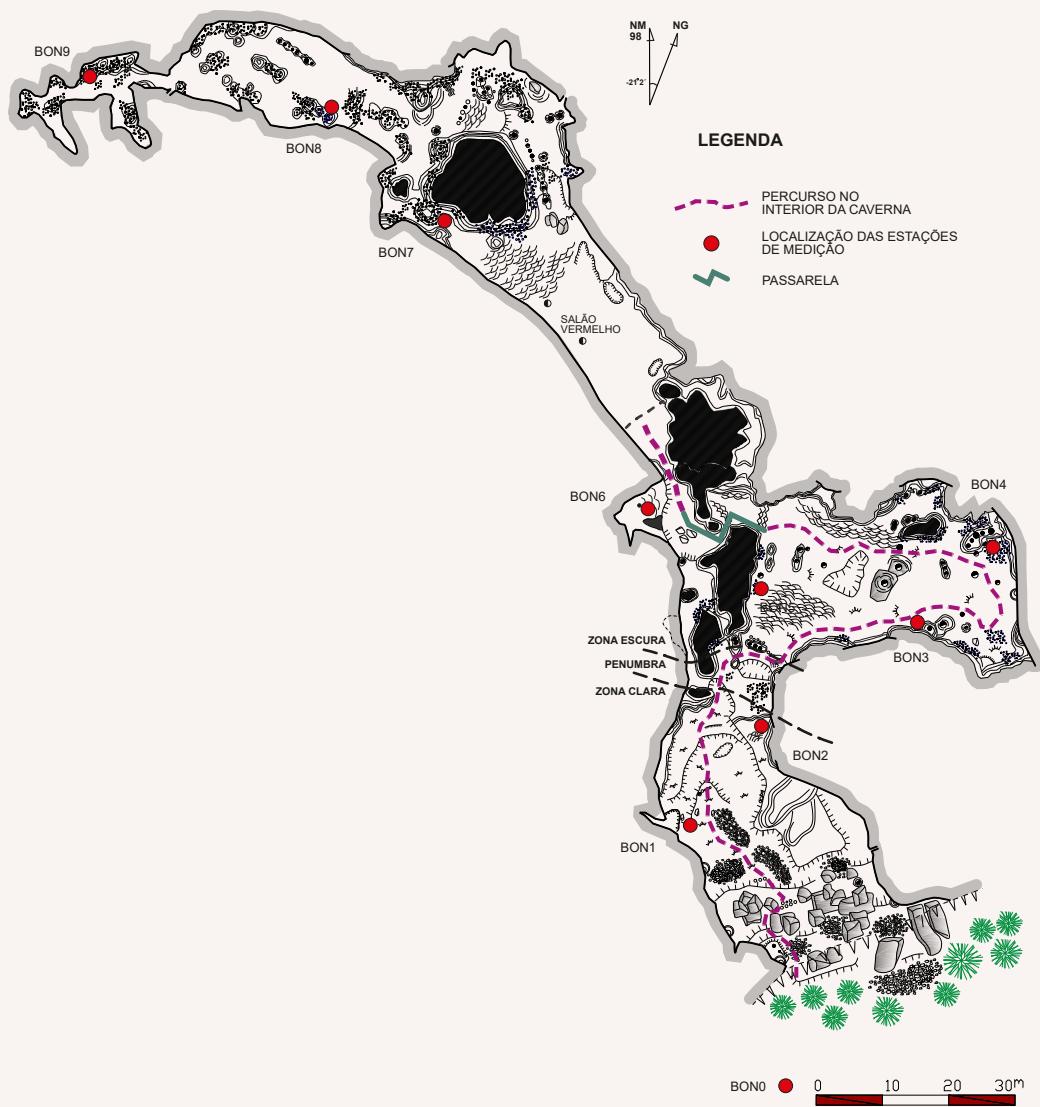


Figura 9: Mapa topográfico apresentando a distribuição espacial das estações de medição de temperatura e umidade no interior da Lapa Bonita (Adaptado de IBAMA, 2005).

Sequenciamento anual

A exemplo de outras cavernas no Brasil e no exterior, a Lapa Bonita também apresenta variações cada vez menores de temperatura e umidade relativa do ar à medida que se adentra a cavidade,

distanciando-se da sua entrada. As Figuras 10 e 11 se referem ao sequenciamento integral dos dados coletados em 2024, e nelas é possível observar essa tendência à estabilidade microclimática.

Lapa Bonita – Temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

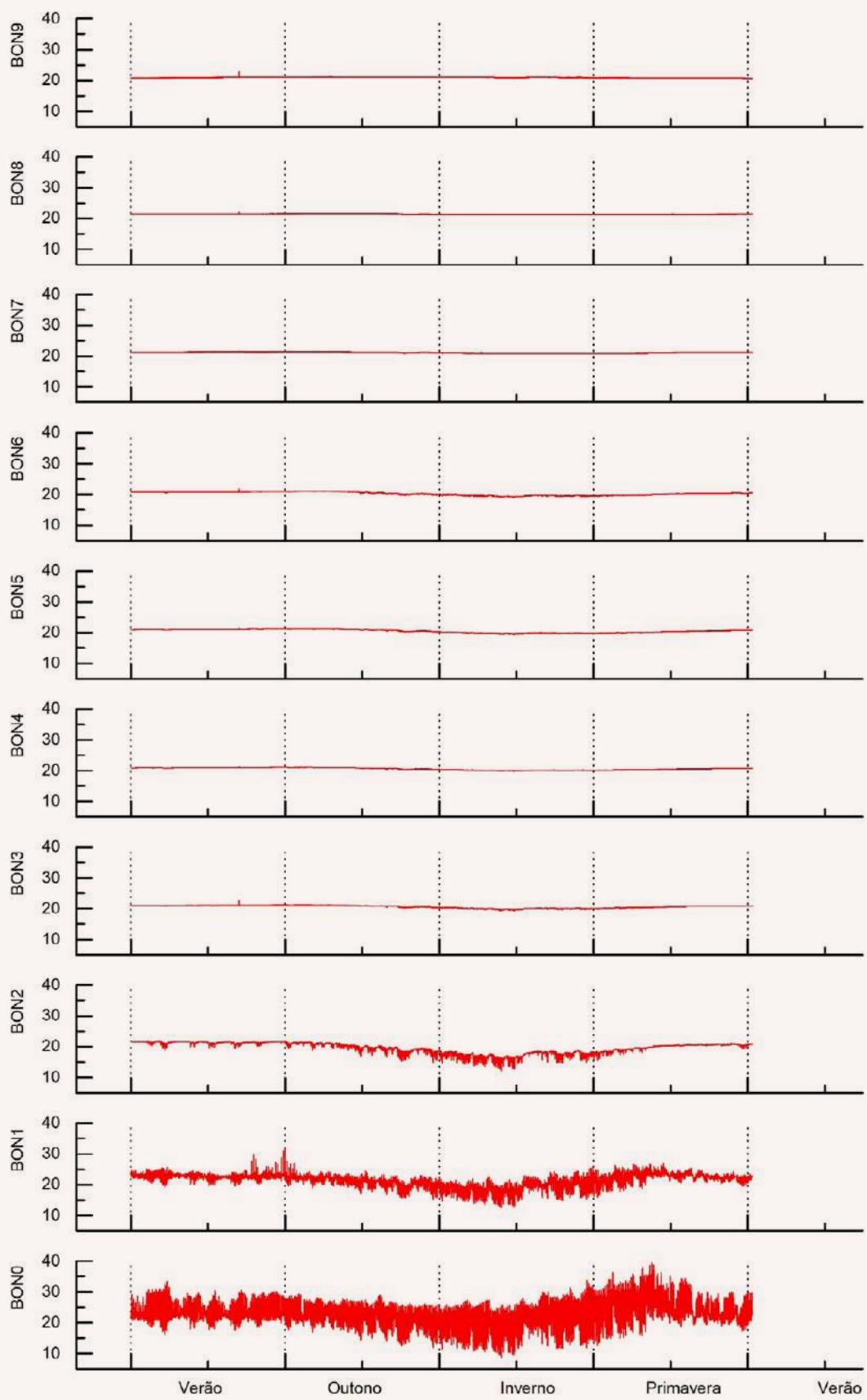


Figura 10: Média anual de temperatura da Lapa Bonita em 2024.

Lapa Bonita – Umidade Relativa do Ar (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

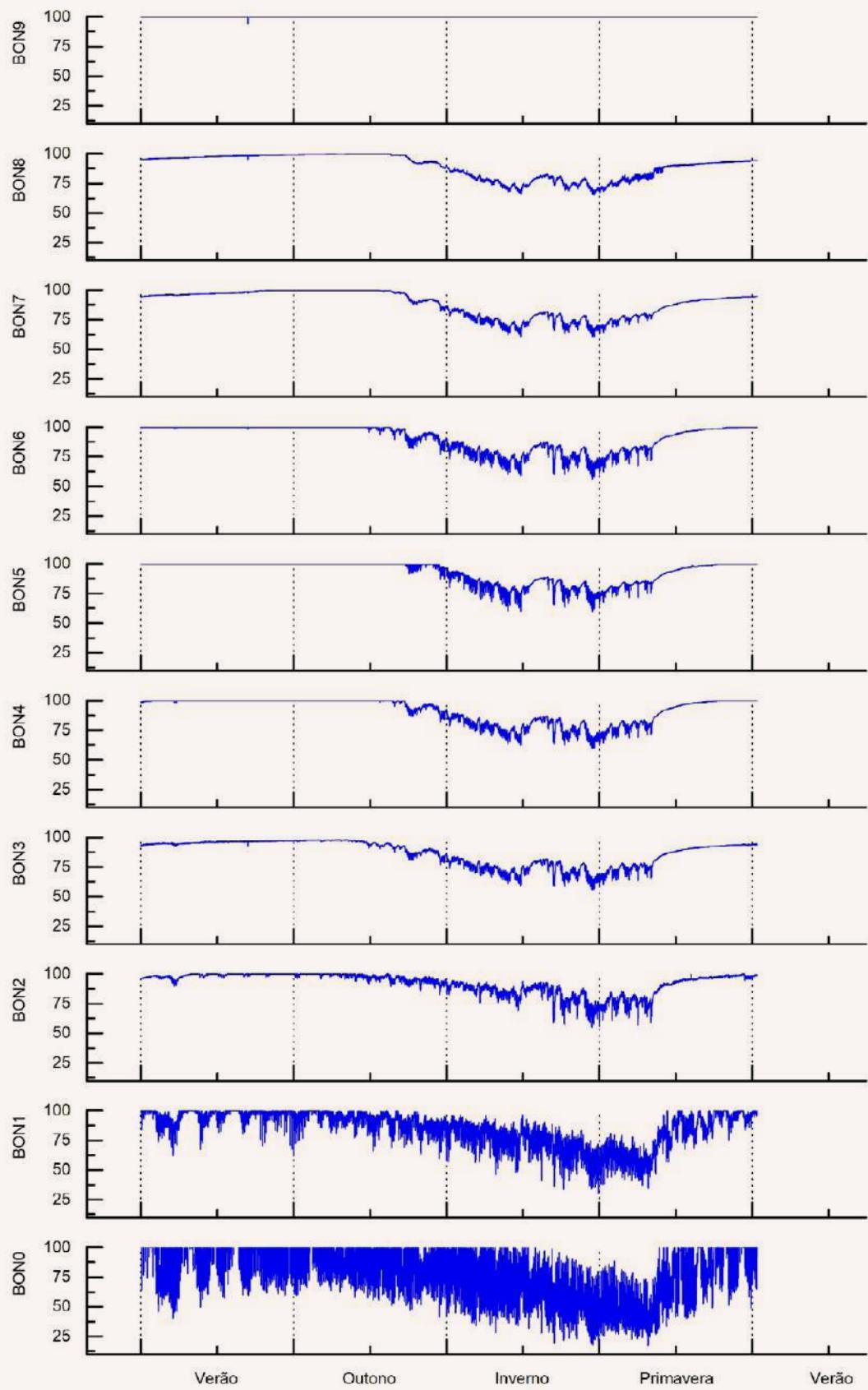


Figura 11: Média anual de umidade relativa do ar da Lapa Bonita em 2024.

A estação de medição BON0 apresenta os dados registrados no exterior da caverna, em área próxima à sua entrada, onde se observam tanto as variações diárias, quanto aquelas que ocorrem devido à sazonalidade. O medidor BON1, localizado internamente, próximo à entra-

da, reproduz as variações externas, porém com menor intensidade que o ambiente da superfície. A estação BON9, localizada no último salão da caverna, praticamente não apresenta variações de temperatura, e as variações de umidade são muito discretas durante todo o ano.

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Para explicitar a gradativa diminuição das variações na temperatura e umidade conforme se adentra a Lapa Bonita, realizou-se a contagem absoluta dos registros monitorados. A seguir são apresentados gráficos com a distribuição de frequência para os valores de temperatura e umidade registrados no interior da caverna. Com a finalidade oferecer mais subsídios à análise, foram inseridos em ambos os gráficos os valores encontrados na estação de medição externa BON0 (violeta).

Especificamente em relação à temperatura (Figura 12), além de permitir a observação de tendência à estabilidade da temperatura, os gráficos indicam o delineamento de diferentes zonas microclimáticas com base na variabilidade térmica: heterotérmica (vermelho), intermediária (laranja) e temperatura constante (verde) (Lobo; Perinotto; Poudou, 2009; Stoewa; Stoew, 2005). Nas figuras pode-se observar a grande variação registrada no meio externo (violeta) e uma variação menor, mas ainda significativa, próxima à entrada da caverna,

onde estão as estações BON1 e BON2. A porção medial da Lapa Bonita, onde estão localizadas as estações BON3, BON4, BON5 e BON6, apresenta variações moderadas de temperatura, enquanto BON7, BON8 e BON9 apresentam temperatura praticamente constante.

A Figura 13 demonstra que as condições de confinamento espacial possibilitam uma maior retenção de umidade, e a grande maioria dos registros é superior a 60% em todos os pontos de medição, exceto naquele mais próximo à entrada da caverna (BON1). O medidor BON2 se localiza na cota topográfica mais baixa da caverna e, apesar de estar relativamente próximo à entrada, não sofre tanta influência da baixa umidade registrada em BON1 e do meio externo. O setor intermediário da caverna, situado entre BON3 e BON8, apresenta amplitudes muito parecidas, e tem a maior frequência de valores acima dos 90%. O último salão, onde se localiza BON9, apresenta amplitude muito pequena e valores próximos à saturação durante todo o ano.

Lapa Bonita – Distribuição de frequência da temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

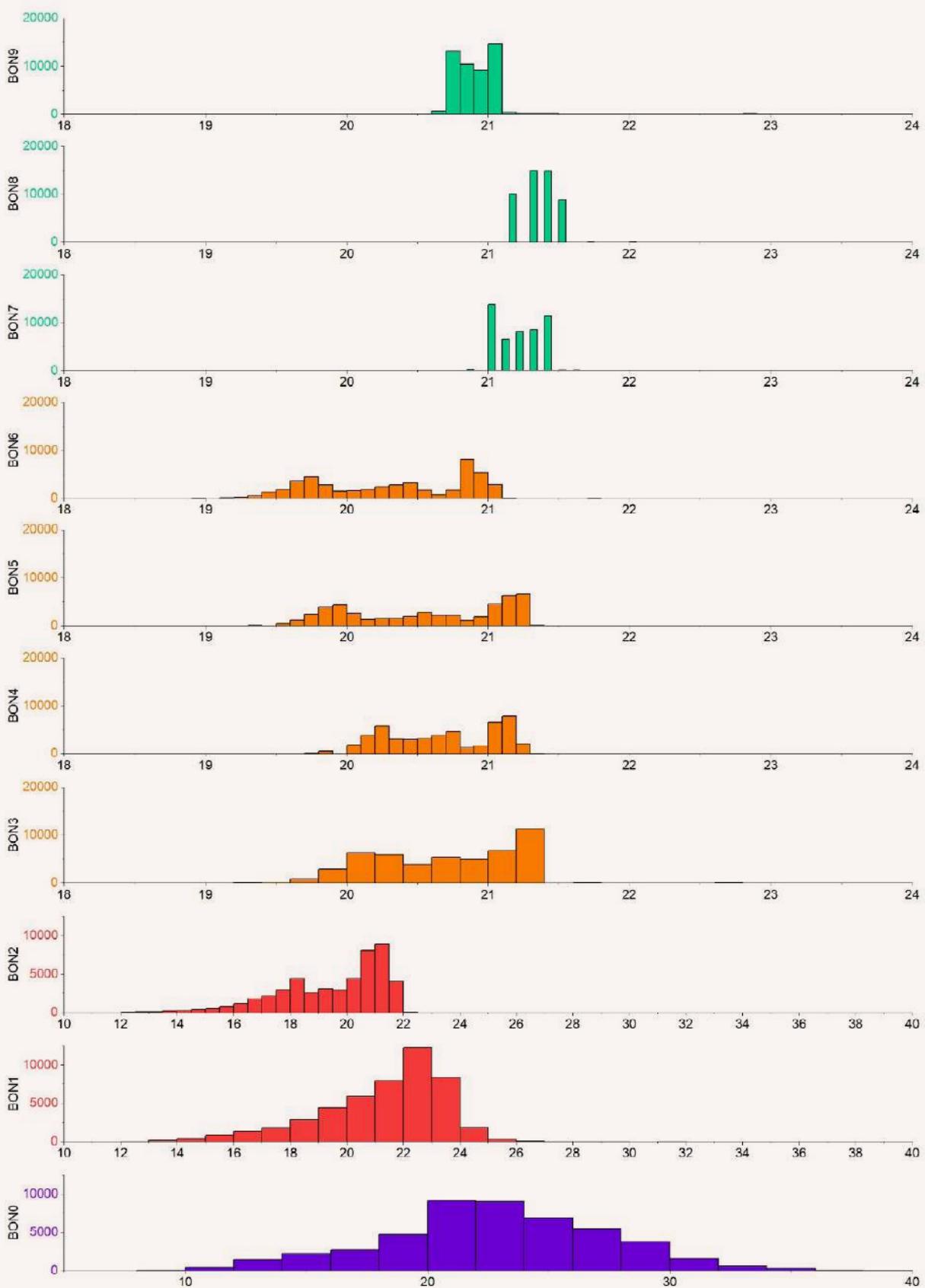


Figura 12: Contagem absoluta de registros de temperatura na Lapa Bonita em 2024.

Lapa Bonita – Distribuição de frequência da umidade relativa (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

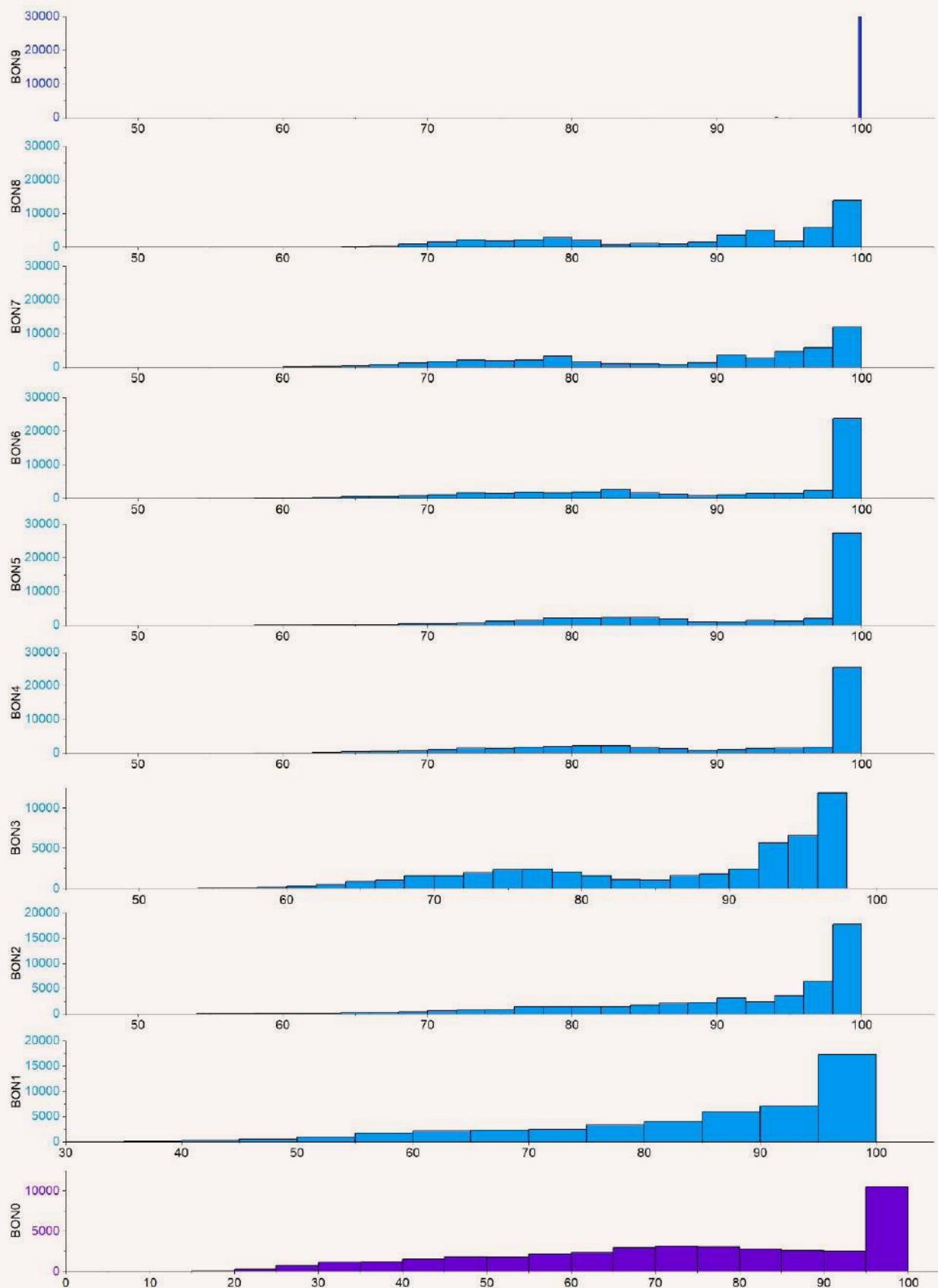


Figura 13: Contagem absoluta de registros de umidade relativa do ar na Lapa Bonita em 2024.

Outro aspecto importante a ser destacado é que, mesmo se tratando de uma “caverna seca, desconectada do aquífero” (IBAMA, 2005), a Lapa Bonita ainda possui pontos esparsos de gotejamento (Figura 14) principalmente em seu

segundo salão, onde se localizam BON3, BON4 e BON5, o que pode ajudar a explicar valores mais elevados de umidade (muitos acima dos 90%) principalmente na temporada de chuvas.



Figura 14: Registro da armadilha fotográfica instalada no 2º salão, entre as estações BON3 e BON5 (segundo plano) identificando umidade proveniente de gotejamentos em diferentes datas de 2018. a) 15/11; b) 16/11; c) 17/11; d) 18/11; e) 19/11; e f) 24/11.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

Medidas estatísticas descritivas (Tabela 1) foram utilizadas para reproduzir a situação geral dos diferentes ambientes onde se localizam as estações de medição. A análise desses dados e das características morfológicas da caverna proporcionam uma melhor compreensão do microclima da Lapa Bonita.

Em relação à temperatura, os valores do Desvio Padrão (DP), temperatura máxima (Máx.) e temperatura mínima (Mín.) na entrada da caverna (BON1) e no seu salão mais distal (BON9) mostram uma gradativa mudança do padrão heterotérmico para um padrão de temperatura constante. Como esperado, a variação no exterior da caverna (BON0)

é a maior dentre todas as medições relativas a esse parâmetro, porém variações significativas também são observadas no salão de entrada, onde se encontram BON1 e BON2, denotando forte influência do ambiente externo nesse local.

Devido a dois importantes estreitamentos de conduto após o primeiro salão, na região onde estão instalados os medidores BON3, BON4, BON5 e BON6 verificam-se variações muito menores que aquelas observadas no salão de entrada, caracterizando assim a zona intermediária. A zona onde a temperatura tende a ser constante tem início no final do salão vermelho, onde se localizam BON7, BON8 e BON9.

Tabela 1: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa Bonita.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
	2018									
BON9	20,6	0,0	20,4	20,7	24,8	98,6	1,1	77,6	99,9	99,9
BON8	21,2	0,0	21,1	21,2	27,4	85,6	8,5	62,2	95,3	95,4
BON7	21,0	0,1	20,8	21,2	22,7	83,8	9,5	54,6	94,2	94,7
BON6	20,4	0,3	19,3	20,6	25,7	85,9	10,6	51,6	94,8	97,7
BON5	20,5	0,3	19,7	20,8	22,3	88,1	10,0	52,7	95,6	99,9
BON4	20,7	0,2	20,1	20,9	23,7	84,2	11,0	51,6	93,6	96,7
BON3	20,6	0,3	19,8	20,9	27,4	81,1	10,4	51,8	91,2	93,9
BON2	19,8	1,5	13,7	21,0	22,1	85,0	9,7	45,3	95,0	98,1
BON1	21,3	2,0	14,0	22,7	28,1	73,5	14,8	28,8	81,1	99,9
BON0	23,1	4,5	10,5	21,2	39,6	69,3	22,5	17,5	99,9	99,9
2019										
BON9	20,7	0,0	20,5	20,7	21,10	98,5	1,7	94,3	99,9	99,9
BON8	21,2	0,0	21,1	21,3	21,60	88,4	7,8	61,2	94,3	96,6
BON7	21,1	0,1	20,9	21,2	21,60	84,7	9,3	51,6	94,7	95,2
BON6	20,5	0,3	19,4	20,6	21,00	86,7	10,8	46,4	98,2	98,7
BON5	20,6	0,3	19,8	21,0	21,10	88,4	10,4	46,0	99,9	99,9
BON4	20,8	0,2	20,2	20,8	21,20	84,9	11,1	46,8	96,3	97,9
BON3	20,8	0,2	19,7	21,1	21,20	83,2	10,2	46,2	94,3	94,9
BON2	20,2	1,3	12,8	21,3	22,50	83,8	10,9	34,9	97,2	99,6
BON1	22,4	2,0	13,2	22,5	29,00	70,9	15,9	24,4	88,6	99,9
BON0	24,5	4,7	9,2	22,3	40,40	63,7	22,4	11,8	99,9	99,9
2020										
BON9	20,7	0,0	20,6	20,7	21,70	99,2	0,9	96,1	99,9	99,9
BON8	21,2	0,0	21,1	21,2	21,50	87,0	8,3	63,7	96,8	96,9
BON7	21,1	0,1	20,9	21,0	21,40	83,9	10,1	53,6	95,5	95,6
BON6	20,4	0,5	19,2	19,9	21,20	86,6	10,6	47,2	98,7	99,9
BON5	20,5	0,4	19,7	20,1	21,30	89,9	9,4	49,7	99,9	99,9
BON4	20,8	0,3	20,1	20,8	21,40	85,8	10,8	49,3	98,2	99,1
BON3	20,8	0,4	19,8	21,3	21,40	84,0	9,8	48,6	95,3	95,9
BON2	19,7	1,7	12,6	21,7	22,50	88,6	9,0	43,6	95,8	99,9
BON1	21,3	2,1	12,9	22,3	28,50	81,4	15,3	23,1	99,9	99,9
BON0	22,6	4,5	9,2	21,4	41,20	76,7	22,5	13,9	99,90	99,9

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
	2021									
BON9	20,7	0,0	20,5	20,7	22,80	98,5	1,6	91,2	99,9	99,9
BON8	21,2	0,0	21,2	21,2	22,20	80,1	9,8	59,8	92,2	95,8
BON7	21,1	0,0	21,0	21,1	23,00	77,5	11,7	52,8	90,7	98,8
BON6	20,1	0,3	19,4	19,8	21,80	79,6	13,3	44,2	99,9	99,9
BON5	20,4	0,3	19,8	20,7	22,30	86,6	12,1	46,9	99,9	99,9
BON4	20,7	0,2	20,2	20,9	22,30	82,7	13,0	45,3	93,3	99,2
BON3	20,7	0,3	19,7	21,0	22,10	80,9	11,8	43,7	90,9	95,3
BON2	19,5	1,4	13,0	20,9	22,00	84,9	11,7	32,1	96,2	99,9
BON1	21,3	1,8	13,9	21,9	27,90	77,1	16,4	22,5	99,9	99,9
BON0	22,9	4,6	8,9	20,9	40,70	68,6	23,0	11,1	99,9	99,9
2022										
BON9	20,7	0,0	20,6	20,7	22,7	99,0	1,0	88,9	99,9	99,9
BON8	21,3	0,1	21,2	21,2	21,6	86,8	10,8	61,8	98,3	98,5
BON7	21,1	0,1	20,9	20,9	21,7	86,1	12,4	56,1	99,9	99,9
BON6	20,1	0,5	18,9	20,9	21,0	88,1	12,3	49,6	99,9	99,9
BON5	20,3	0,5	19,3	20,9	21,1	90,0	10,8	53,1	99,9	99,9
BON4	20,5	0,4	19,7	20,9	21,2	86,7	12,9	51,0	99,9	99,9
BON3	20,5	0,5	19,2	20,9	21,2	83,8	11,5	49,7	95,7	96,9
BON2	19,0	1,8	10,6	20,9	24,0	88,8	9,6	48,4	99,9	99,9
BON1	20,7	2,2	11,0	20,9	27,6	81,8	15,1	27,5	99,9	99,9
BON0	22,3	4,7	6,6	20,9	37,9	70,7	22,3	13,7	99,9	99,9
2023										
BON9	20,9	0,9	20,6	20,8	35,7	98,6	5,0	55,4	99,9	99,9
BON8	21,3	0,0	21,2	21,3	22,6	91,2	7,7	67,1	94,0	99,9
BON7	21,1	0,0	20,9	21,2	22,6	89,9	9,1	61,1	91,6	99,9
BON6	20,2	0,4	19,3	20,4	21,5	92,1	9,1	57,8	96,1	99,9
BON5	20,4	0,3	19,6	20,6	22,6	94,3	7,4	60,4	98,1	99,9
BON4	20,5	0,2	20,0	20,7	22,5	91,3	9,5	59,0	95,1	99,9
BON3	20,6	0,3	19,6	20,7	22,1	87,5	8,7	57,5	90,1	99,9
BON2	19,6	1,4	13,0	20,1	22,7	90,2	7,5	54,3	91,7	99,9
BON1	21,6	2,1	13,4	21,8	28,5	80,2	13,2	30,2	81,8	99,9
BON0	23,8	4,8	10,3	23,5	39,1	68,8	21,1	14,6	68,7	99,9

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
	2024									
BON9	20,9	0,1	20,6	21,0	22,8	99,9	0,0	94,1	99,9	99,9
BON8	21,3	0,1	21,2	21,3	22,0	89,5	9,9	65,3	99,7	99,8
BON7	21,2	0,2	20,9	21,0	21,6	88,6	10,8	60,5	99,9	99,9
BON6	20,3	0,5	19,0	20,8	21,7	90,9	10,9	55,9	99,9	99,9
BON5	20,5	0,5	19,4	21,2	21,3	93,0	9,2	59,2	99,9	99,9
BON4	20,6	0,4	19,8	21,1	21,3	91,5	10,7	59,2	99,9	99,9
BON3	20,6	0,5	19,4	21,2	22,6	86,7	10,6	55,5	96,8	97,7
BON2	19,5	1,8	12,1	21,5	22,0	92,1	8,9	55,0	99,9	99,9
BON1	21,2	2,2	12,4	22,7	31,8	85,6	14,4	30,1	99,9	99,9
BON0	22,8	4,6	8,8	21,5	39,5	74,6	21,6	17,0	99,9	99,9

A morfologia da Lapa Bonita (Figura 8) contribui para a caracterização de ambientes distintos no que diz respeito ao zoneamento microclimático. Em linhas gerais, considerando-se o desenvolvimento levemente ascendente da caverna em relação ao eixo horizontal, ela pode ser classificada como uma armadilha de ar quente (Cigna, 2004). Os valores mais elevados da temperatura média e moda registrados nas estações BON7 e BON8, muito próximos aos observados na entrada (BON1), corroboram essa classificação.

Por outro lado, a cavidade conta com duas particularidades. Adespeito de estar instalada muito próxima à entrada e sujeita às variações externas, a estação BON2 registrou as menores temperaturas médias da caverna durante todo o período da pesquisa. O desenvolvimento descendente desse trecho do conduto em relação ao eixo horizontal caracteriza nesse local uma armadilha de ar frio.

O salão mais distal da caverna, onde foi instalada a BON9, possui teto baixo (1,5 metros aproximadamente), diferentemente do salão que o antecede, onde a altura média supera facilmente os 2,5 metros, e a conexão entre os dois é realizada por uma passagem extremamente estreita. Essas

condições dificultam a circulação do ar, fazendo com que essa última câmara apresente variabilidade muito baixa e não sofra tanta influência da porção final do salão vermelho.

Assim como verificado nos registros de temperatura, a umidade relativa do ar na estação externa (BON0) foi a que apresentou a maior amplitude e o maior desvio padrão. Em BON0 também foram observadas as menores médias e os valores mínimos mais expressivos. A influência do ambiente externo é muito marcante em BON1, localizada próxima à entrada da Lapa, como pode ser observado pelos baixos valores de média e mínima, bem como elevados valores de desvio padrão e de diferença entre os valores de máxima e mínima (amplitude).

À medida que se distancia da entrada, a umidade vai aumentando e a variabilidade diminuindo, e no último salão (BON9), de acordo com os valores de média, moda, desvio padrão e amplitude, o ambiente se apresenta constantemente saturado. A região onde se encontra a estação BON5 (Figura 9) é o segundo ponto da caverna a registrar as maiores médias (acima de 86%) e com valores de moda em nível de saturação (99,9%, exceto no ano de 2018).

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar

O zoneamento microclimático também fica evidente quando se verifica a dispersão dos dados de média e desvio padrão. A Figura 15 mostra a

dispersão estatística para os valores de temperatura. Nela se observa a discrepância dos valores externos registrados em BON0 em relação aos

demais setores da caverna, onde a temperatura é mais baixa e a variação é menor. Observa-se, também, a influência da variabilidade externa sobre BON1 e BON2, sendo que esse último ponto pode ser caracterizado como uma armadilha de ar frio. A zona de transição também fica bem delimitada, entre as estações BON3 e BON6. A zona de tem-

peratura constante, com desvio padrão próximo de 0,1, abrange os setores onde foram instaladas as estações BON7 e BON8. Nesse local, observam-se características de uma armadilha de ar quente entre o final do salão vermelho e o último salão (BON7 e BON8). O isolamento físico de BON9 é refletido também na dispersão estatística.

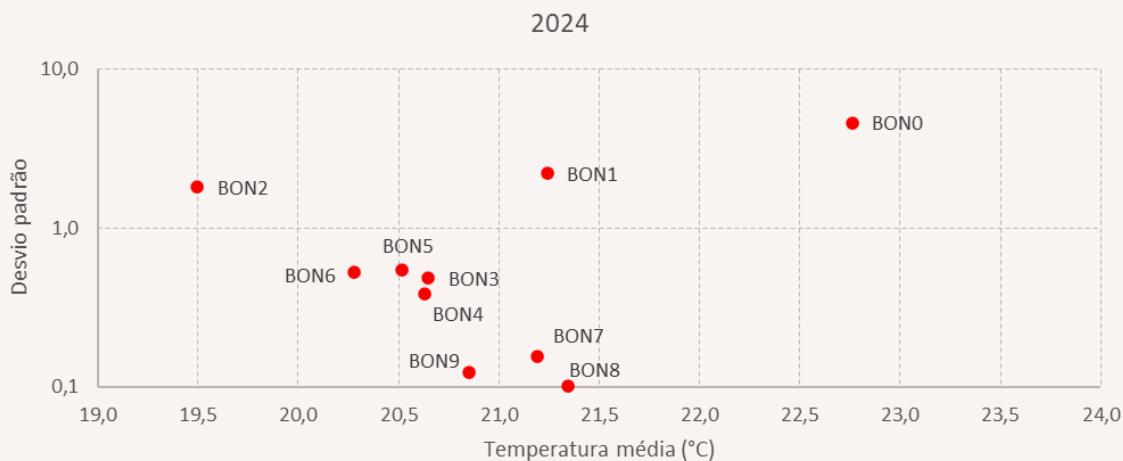


Figura 15: Dispersão dos dados de média e desvio padrão dos registros de temperatura da Lapa Bonita em 2024.

A dispersão estatística dos valores da umidade relativa do ar (Figura 16) aponta para um aumento gradativo dos valores medidos, aliado a uma redução da variabilidade à medida que se distancia da entrada da caverna. No ambiente externo (BONO), verifica-se a maior variabilidade e menores valores de média, enquanto no fundo da caverna (BON9) observa-se a menor variabilidade e valores de média muito próximos à saturação. Na entrada (BON1), verificam-se

variações importantes na umidade, influenciadas pelo ambiente externo, que contribui também para manter médias mais baixas do que as dos demais ambientes internos. Na zona intermediária da caverna, a variabilidade apresenta oscilações discretas, e a tendência central das medições ficou entre 75% e 90%. Nessa região, merece destaque o setor onde foi instalada a estação BON5, que apresenta médias elevadas quando comparadas com as demais.

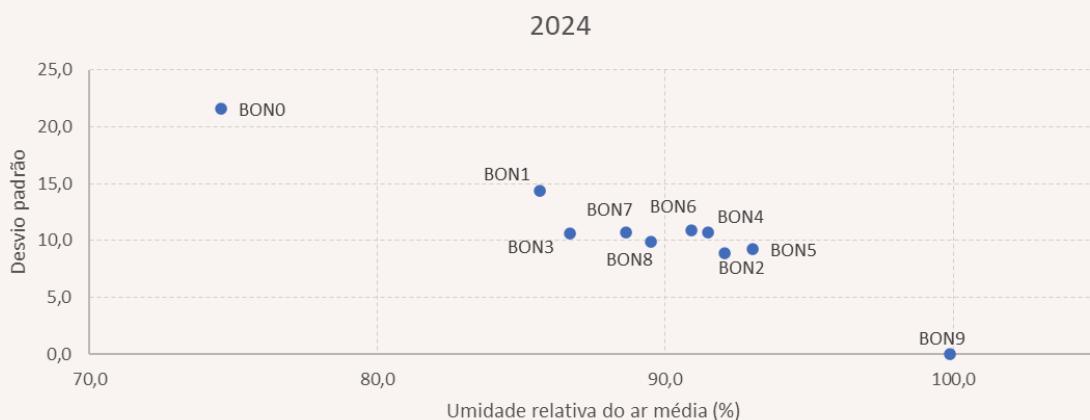


Figura 16: Dispersão dos dados de média e desvio padrão dos registros de umidade relativa do ar da Lapa Bonita em 2024.

Zoneamento térmico e hídrico

A espacialização dos registros de média e desvio padrão realizada por meio da interpolação destes dados produziu diferentes modelos para facilitar a compreensão de características básicas das diferentes zonas climáticas da Lapa Bonita. A barreira física, formada pelos estreitamentos de conduto existentes entre BON2

e BON3 (Figura 17), tem papel importante na caracterização microclimática da caverna, fazendo com que a temperatura interna sofra menos interferência externa e, consequentemente, apresente variações menores. As variações vão ficando cada vez mais discretas, tendendo a zero no último salão (BON9).

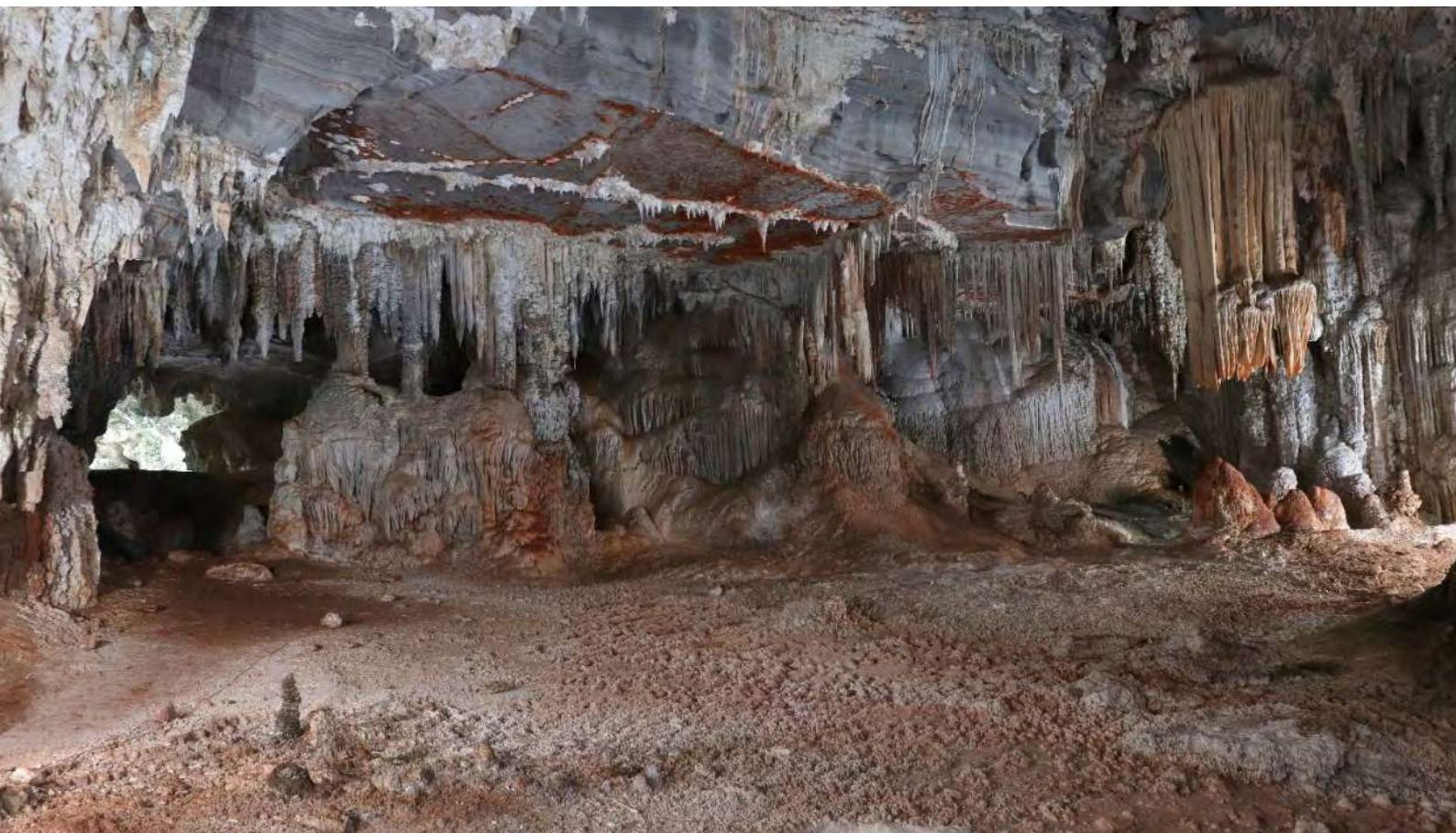


Figura 17: Detalhe do estreitamento do conduto principal da Lapa Bonita entre as estações de medição BON2 e BON3.

No mapa de temperatura (Figura 18), observa-se que as médias mais elevadas foram registradas na região próxima à entrada (BON1), e que, à medida que se avança pelo primeiro salão, descendo os degraus, as médias vão ficando mais baixas até se atingir a região de BON2, que registrou as menores médias da caverna. O pequeno aclive existente no salão vermelho é o responsável pela armadilha de ar quente

evidenciada pelos valores das médias observadas em BON7 e BON8.

A Figura 19 apresenta o modelo relativo à variabilidade dos registros de temperatura, onde é possível notar a tendência à estabilidade nas porções da caverna mais distantes da entrada. Na entrada, onde estão localizadas as estações BON1 e BON2, foram observadas as maiores variações de temperatura.

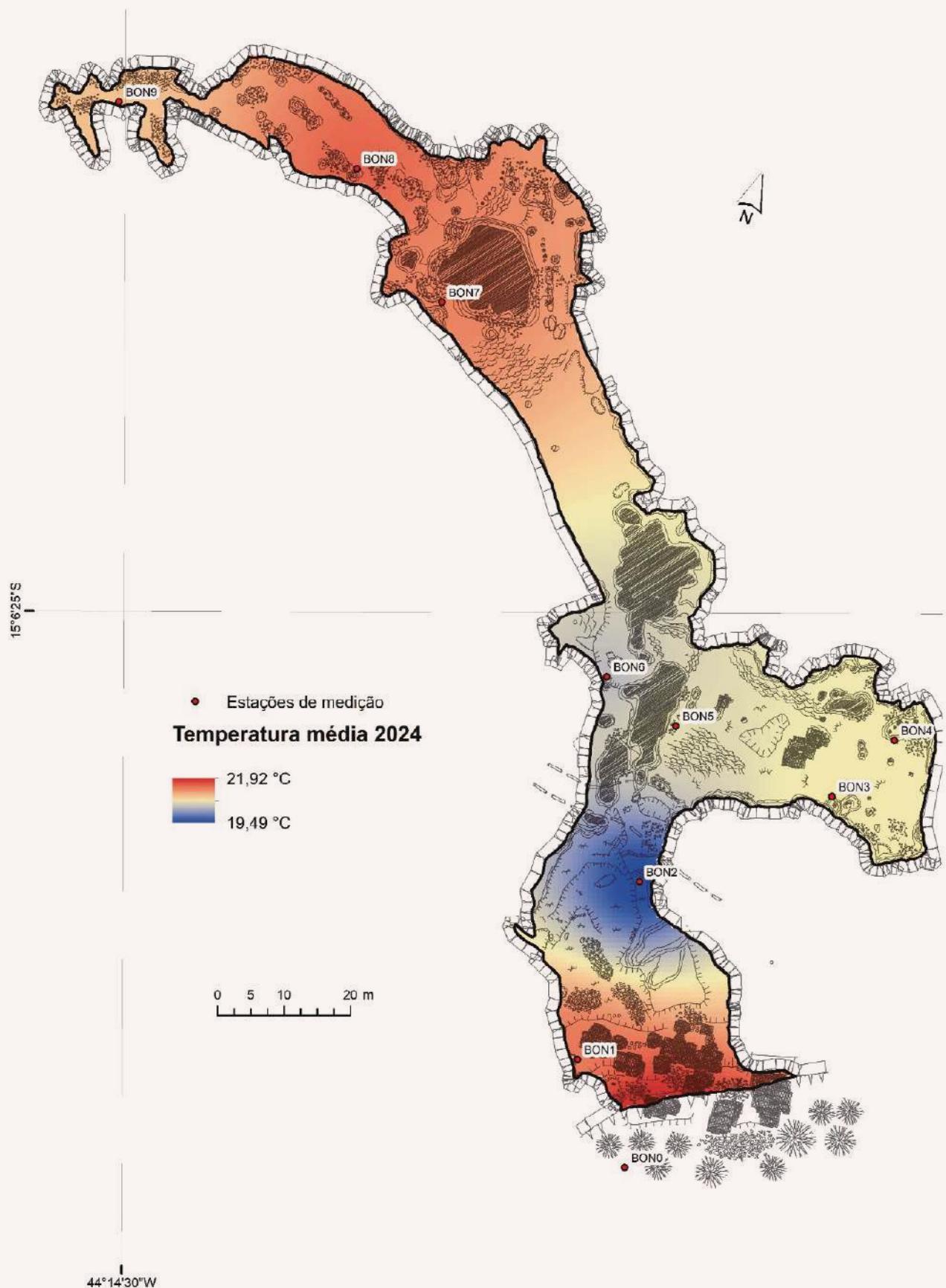


Figura 18: Espacialização dos valores médios da temperatura registrada na Lapa Bonita em 2024.

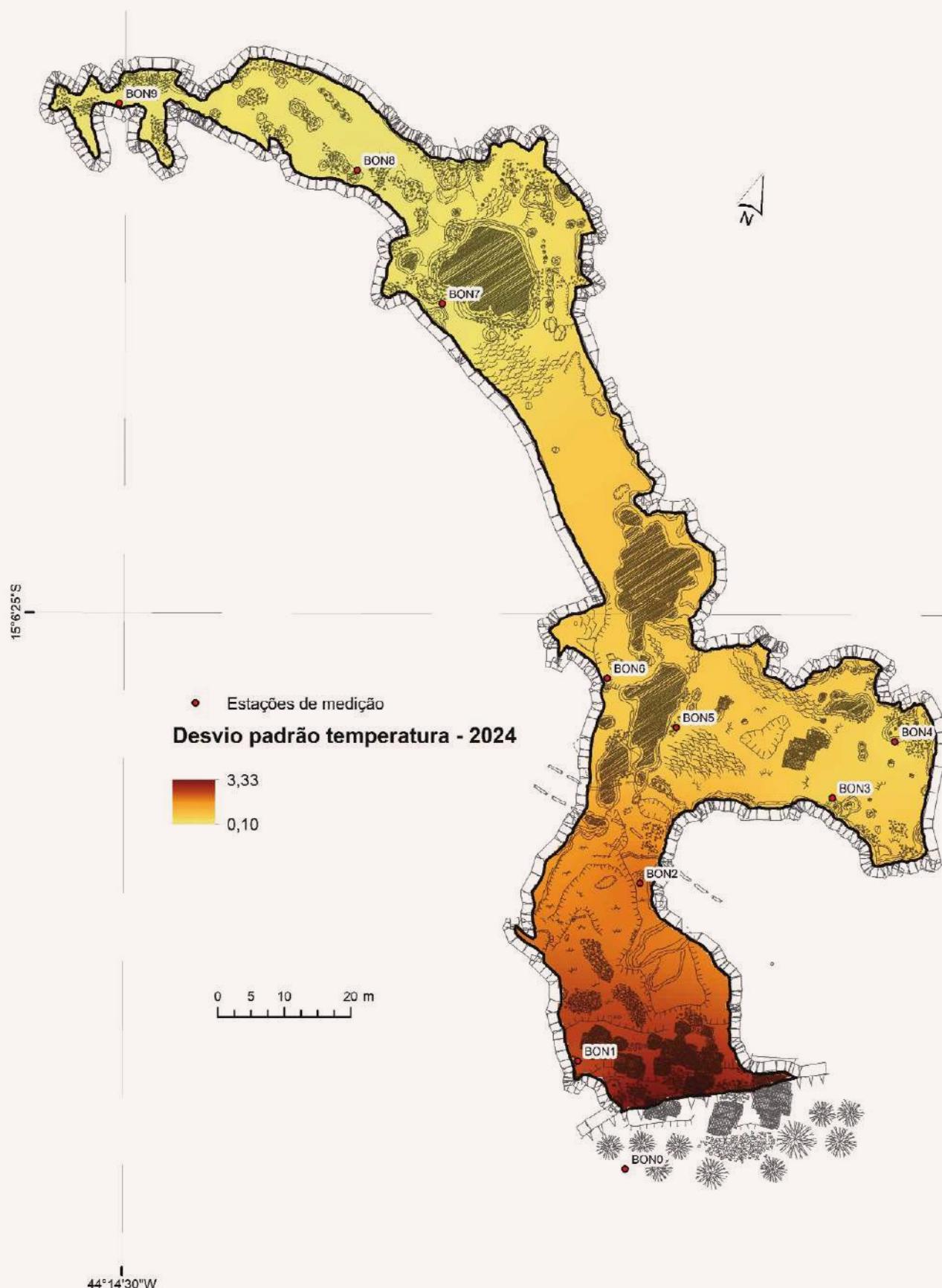


Figura 19: Espacialização dos valores de desvio padrão da temperatura registrada na Lapa Bonita em 2024.

Utilizando-se a álgebra de mapas, realizou-se uma combinação entre os mapas das médias e desvio padrão da temperatura para produzir o mapa de zoneamento térmico da Lapa Bonita (Figura 20). No modelo de zoneamento foram considerados os registros de temperatura do período de 2018 a 2024, e nele verifica-se uma região mais suscetível às variações externas (Zona Heterotérmica), que pode ser dividida em duas seções. A primeira, localizada mais próxima à entrada, é a seção da caverna que apresenta as maiores variações de temperaturas e valores mais elevados. Já na segunda seção, se observa uma armadilha de ar frio. Nesse local, embora existam variações significativas influenciadas pela proximidade com a entrada, as temperaturas são mais baixas devido à morfologia descendente do conduto.

Na sequência, verifica-se a Zona Intermediária, que também pode ser subdividida em duas

seções. Pela proximidade com a Zona Heterotérmica, a primeira seção (Zona Intermediária 1) ainda sofre alguma influência da temperatura externa, porém de modo menos acentuado em função dos estreitamentos de conduto que delimitam a zona escura da caverna (Figura 8). Essa região, possui temperatura mais amena e variações menos acentuadas que o compartimento anterior. A Zona Intermediária 2 apresenta variações discretas, porém valores de média mais elevados e, em função do pequeno aclive existente no salão vermelho, esse setor pode ser caracterizado como uma armadilha de ar quente. Já o teto baixo e um significativo estreitamento do conduto que dá acesso ao último salão, combinados com a maior distância da entrada, caracterizam a região onde foi instalada a estação BON9 como a zona de temperatura constante, ou Zona Homeotérmica da Lapa Bonita.



Lapa Bonita - Salão Vermelho.

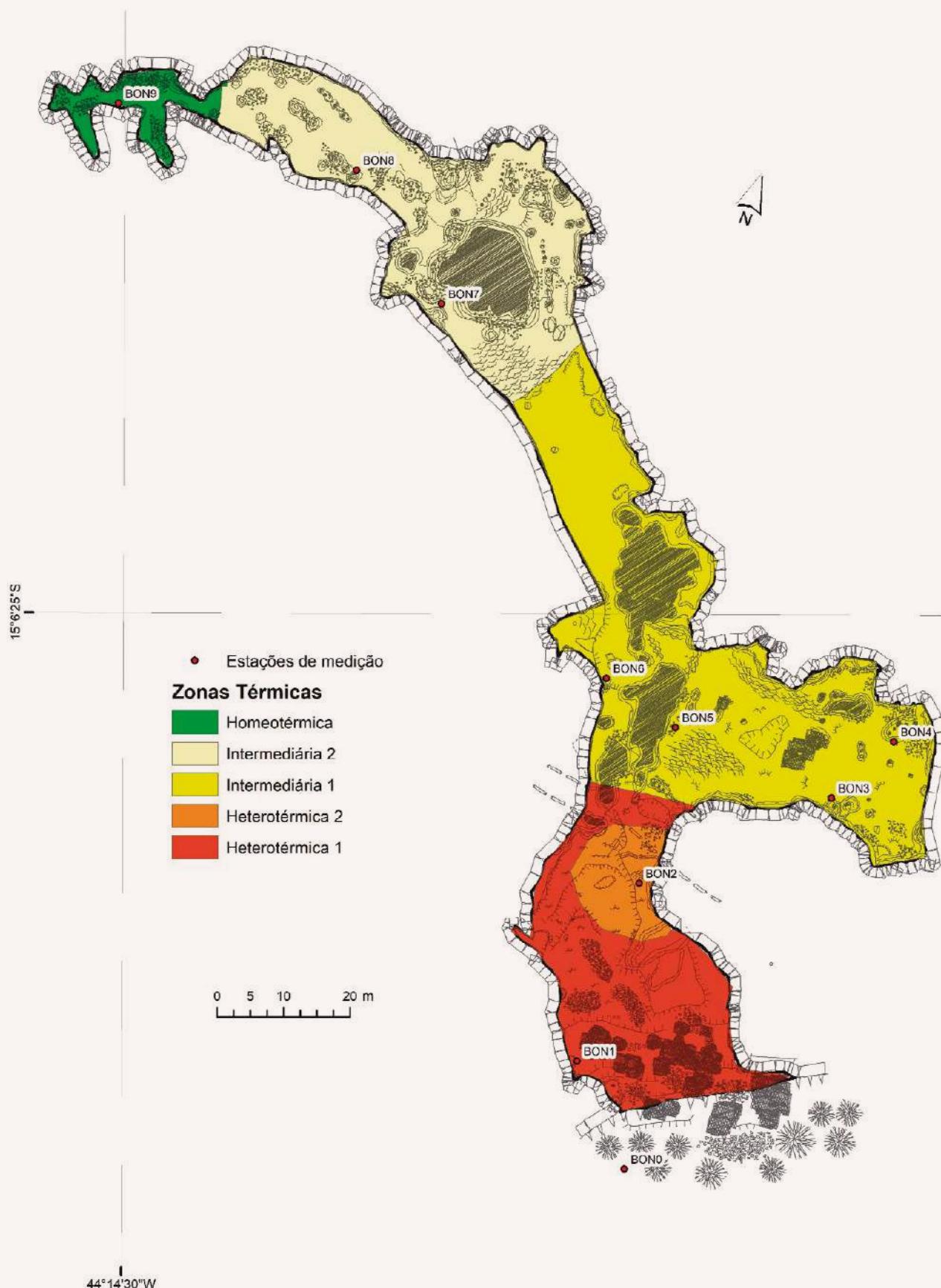


Figura 20: Zoneamento térmico da Lapa Bonita.



Em relação aos modelos que se referem à umidade relativa do ar, observou-se que esse parâmetro apresenta aumento gradual à medida que se aproxima da parte final da caverna. O ambiente da entrada possui as menores médias (Figura 21), enquanto o salão final (BON9) encontra-se muito próximo ao nível de saturação. Valores mais elevados das médias de umidade também foram percebidos na região de BON5 e BON6, muito provavelmente em função dos gotejamentos existentes nessa região (Figura 14).

Assim como os modelos relacionados à temperatura, os modelos de umidade também apresentaram maior variabilidade na região mais próxima à entrada e uma tendência à estabilidade

à medida que aumenta a proximidade com o último salão (Figura 22). Para os parâmetros relativos à umidade, também elaborou-se um modelo que representasse o zoneamento da Lapa Bonita (Figura 23).

As Zonas 1 e 2 são aquelas que sofrem maior influência externa e, portanto, apresentam as variações mais significativas. A morfologia da caverna contribui para haver uma diferenciação entre as duas zonas, fazendo com que a umidade na Zona 2 seja superior à da Zona 1. A Zona 3 é a que apresenta os maiores valores médios e as menores variações anuais. Destaca-se o último salão, com médias muito próximas à saturação, acima de 98%.

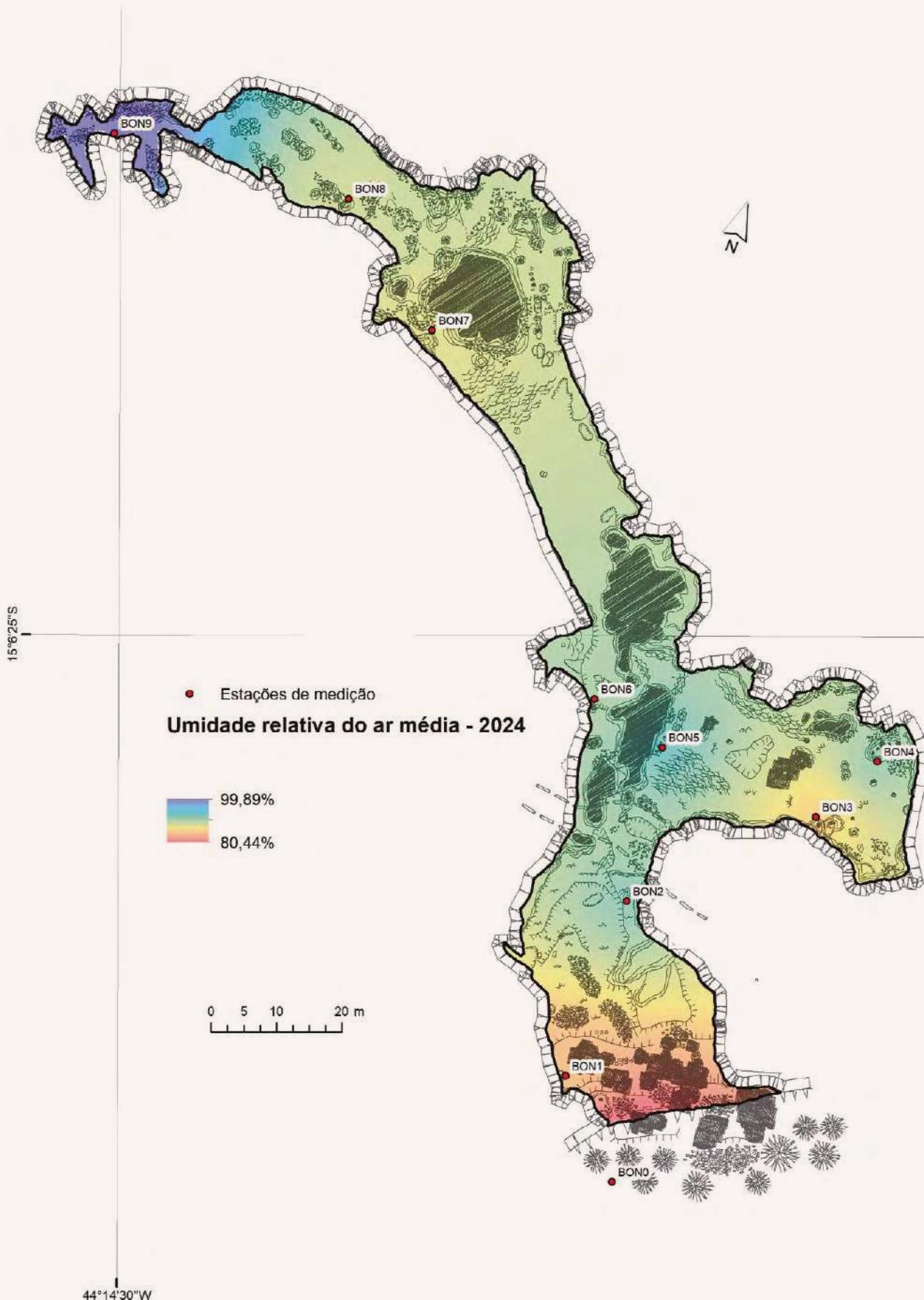


Figura 21: Espacialização dos valores médios da umidade relativa do ar registrada na Lapa Bonita em 2024.

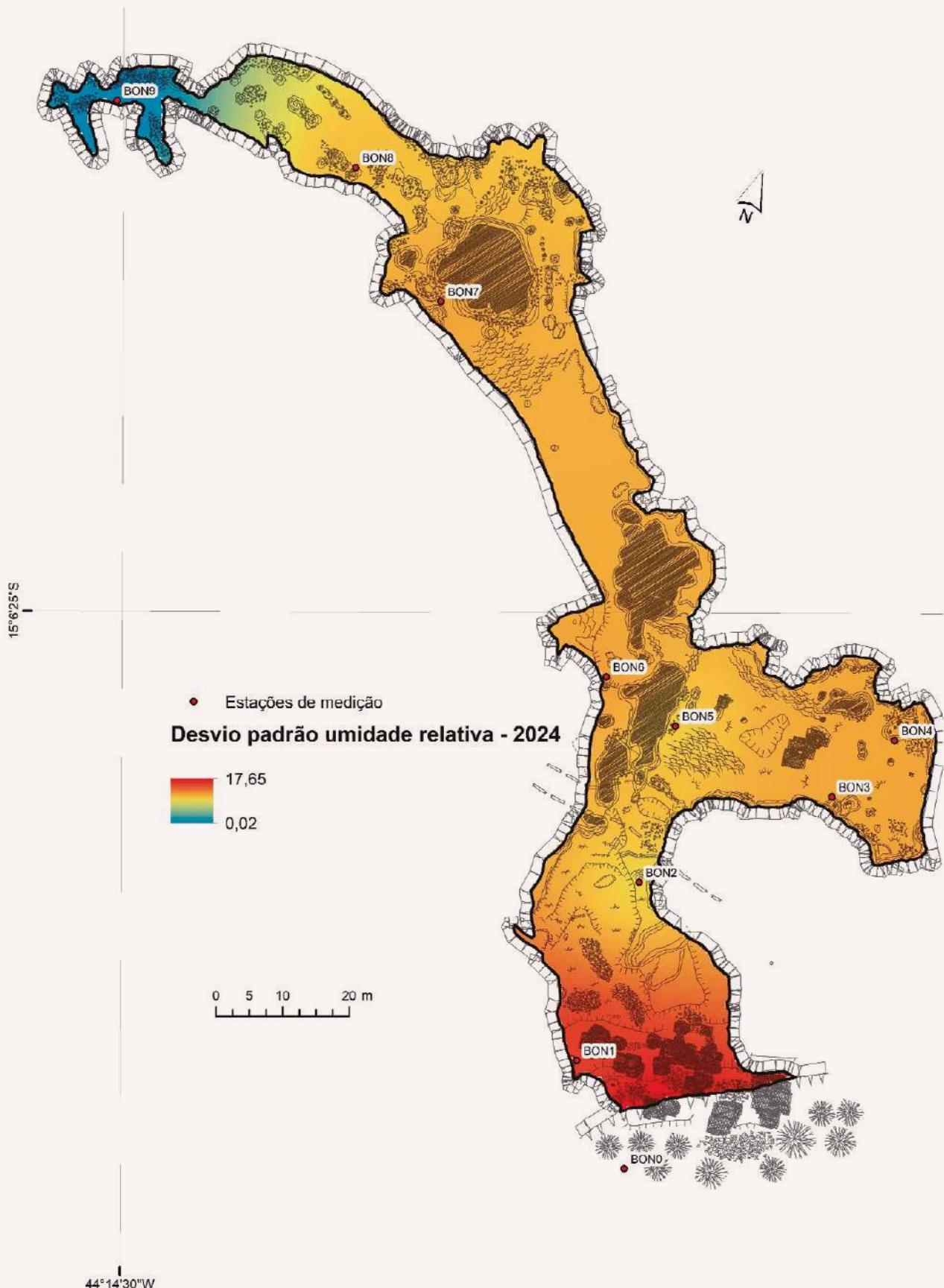


Figura 22: Espacialização dos valores de desvio padrão da umidade relativa do ar registrada na Lapa Bonita em 2024.

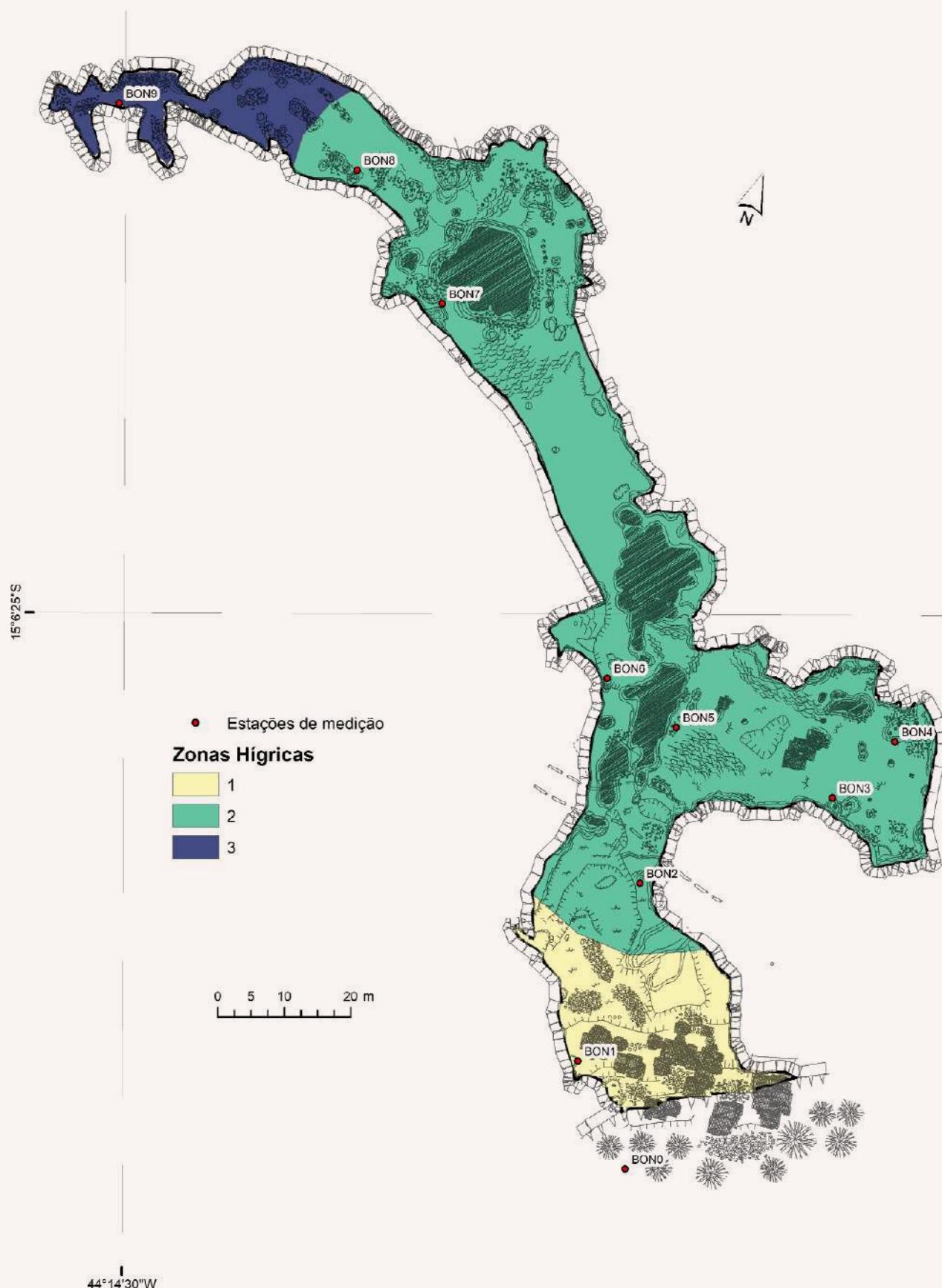


Figura 23: Zoneamento hídrico da Lapa Bonita.

Temporalidade mensal

A situação geral do microclima da Lapa Bonita ficou evidenciada pela análise da temporalidade anual. Os estudos mensais dos dados de temperatura e umidade relativa do ar permitem a

compreensão do comportamento das condições climáticas subterrâneas levando-se em consideração as variações sazonais.

Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica

A sazonalidade da temperatura no PNCP se caracteriza basicamente pela existência de dois padrões térmicos distintos, sendo um com temperaturas mais quentes, de setembro a março (primavera e verão), e outro com temperaturas mais frias, entre abril e agosto (outono e inverno) (IBAMA, 2005). A Tabela 2 registra os valores médios mensais da temperatura em cada uma das estações microclimáticas instaladas na lapa, enquanto as Figuras 24 e 25 apresentam as curvas da sazonalidade anual desse atributo nos diferentes ambientes da caverna. Faz-se necessário esclarecer que em ambas as representações (Tabela e Gráficos) existem lacunas nos registros ocasionadas pela instalação tardia de medidores (2018) e por defeito nos equipamentos (2020 e 2021).

Um fator que merece destaque nestes dados é a época de transição entre os padrões, pois estes variam de acordo com as diferentes zonas da caverna, fazendo com que apareça uma “defasagem” no início de cada período. Na Tabela 2 foram aplicadas cores para facilitar a visualização das

transições em cada ponto de medição, utilizando-se vermelho para as médias mais altas e azul para as mais baixas. No ano de 2024 a transição entre o período das médias mais elevadas para o das médias mais baixas ocorreu entre março e abril no ambiente externo e na Zona Heterotérmica (BON1 e BON2). Na Zona Intermediária, observa-se a transição entre abril e maio, e na Zona Homeotérmica, ainda mais tarde, entre junho e julho. Já a transição do período mais frio para o mais quente ocorre entre agosto e setembro no meio externo (BON0) e em BON1, em BON2, entre setembro e outubro, e na Zona Intermediária, entre outubro e novembro.

A análise dos gráficos revela que os padrões identificados na superfície também se repetem no meio subterrâneo, porém com menor intensidade, devido às características intrínsecas da caverna. Na Figura 24, a curva de variação das temperaturas observada na estação externa (BON0) também é observada nas demais estações, inclusive na mais distal delas (BON9).

Tabela 2: Temperatura – médias mensais registradas nas estações microclimáticas da Lapa Bonita durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA - MÉDIAS MENSais										
	2018										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9	
Jan	25,43	-	21,39	-	20,96	20,84	20,73	21,17	-	20,60	
Fev	23,16	22,30	21,27	21,06	21,08	20,97	20,85	21,20	21,35	20,65	
Mar	23,36	22,29	21,16	21,06	21,17	21,06	20,90	21,22	21,30	20,70	
Abr	22,35	21,42	20,36	20,98	21,02	20,94	20,75	21,21	21,30	20,70	
Mai	21,29	20,42	19,23	20,67	20,75	20,60	20,45	21,09	21,22	20,70	
Jun	20,18	19,29	17,98	20,42	20,53	20,26	20,13	20,99	21,17	20,68	
Jul	19,53	18,52	17,02	20,15	20,26	19,93	19,76	20,91	21,10	20,55	

TEMPERATURA - MÉDIAS MENSAIS

2018

	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Ago	23,28	20,76	18,64	20,31	20,36	20,06	19,89	20,90	21,13	20,59
Set	25,71	22,23	19,52	20,46	20,49	20,21	20,04	20,94	21,16	20,60
Out	27,17	23,95	20,68	20,67	20,66	20,46	20,33	21,02	21,20	20,60
Nov	23,46	22,43	20,91	20,88	20,85	20,76	20,60	21,10	21,23	20,66
Dez	23,06	21,92	20,67	20,89	20,86	20,79	20,63	21,19	21,30	20,70

2019

	BONO	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	25,28	22,70	20,60	20,89	20,84	20,78	20,58	21,20	21,30	20,70
Fev	24,87	23,00	21,13	20,98	20,94	20,85	20,72	21,21	21,30	20,70
Mar	24,34	22,78	21,28	21,11	21,11	21,00	20,91	21,30	21,30	20,73
Abr	23,65	22,03	20,90	21,13	21,14	20,99	20,91	21,30	21,30	20,80
Mai	23,14	21,38	20,01	20,95	20,92	20,78	20,67	21,25	21,30	20,80
Jun	21,89	20,83	19,10	20,62	20,69	20,43	20,36	21,09	21,21	20,79
Jul	20,52	19,40	17,82	20,30	20,48	20,16	20,00	20,99	21,17	20,66
Ago	22,65	20,96	18,82	20,42	20,52	20,21	20,04	21,00	21,19	20,69
Set	25,70	22,71	19,68	20,56	20,61	20,32	20,17	21,00	21,20	20,70
Out	27,84	24,42	20,81	20,79	20,73	20,52	20,42	21,10	21,20	20,65
Nov	28,01	24,95	21,53	20,93	20,86	20,68	20,63	21,12	21,25	20,69
Dez	26,34	24,24	21,72	21,08	21,00	20,87	20,77	21,20	21,30	20,70

2020

	BONO	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	24,27	23,23	21,62	21,19	21,11	20,99	20,91	21,28	21,30	20,70
Fev	24,10	22,86	21,50	21,29	21,19	21,07	21,00	21,33	21,30	20,71
Mar	22,80	22,42	21,44	21,38	21,32	21,20	21,12	21,40	21,32	20,80
Abr	22,34	21,73	20,76	21,30	21,25	21,10	20,99	21,39	21,38	20,80
Mai	19,88	19,51	18,71	20,80	20,79	20,53	20,46	21,18	21,29	20,80
Jun	19,03	18,27	17,22	20,38	20,49	20,12	20,01	21,07	21,20	20,78
Jul	19,48	18,41	16,92	20,18	20,32	19,92	19,73	21,00	21,20	20,67
Ago	22,04	20,24	18,29	20,34	20,41	20,05	19,86	20,99	21,20	20,69
Set	24,98	21,92	19,07	20,45	20,50	20,15	19,96	21,00	21,20	20,70
Out	26,76	23,62	20,42	20,71	20,66	20,40	20,29	-	21,23	20,70
Nov	23,20	22,22	20,66	20,95	20,84	20,64	20,51	-	21,30	20,70
Dez	23,25	21,77	20,33	20,96	20,85	20,68	-	-	-	20,70

TEMPERATURA - MÉDIAS MENSais										
2021										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	24,15	22,39	20,57	21,01	20,89	20,72	-	-	-	20,70
Fev	23,01	22,19	20,92	21,10	20,96	20,81	-	-	-	20,72
Mar	22,72	21,19	19,86	20,98	20,90	20,73	-	-	-	20,80
Abr	23,50	21,71	20,05	20,95	20,86	20,65	-	-	-	20,77
Mai	19,70	20,20	18,63	20,60	20,70	20,37	20,19	21,18	21,23	20,80
Jun	20,70	19,86	18,13	20,42	20,58	20,21	20,08	21,14	21,22	20,76
Jul	20,11	18,87	17,22	20,14	20,37	19,94	19,76	21,05	21,20	20,61
Ago	21,63	20,07	18,02	20,24	20,39	19,98	19,78	21,04	21,20	20,62
Set	26,39	22,61	19,46	20,47	20,53	20,17	19,99	21,10	21,20	20,70
Out	26,56	23,64	20,65	20,76	20,71	20,44	20,38	21,17	21,28	20,70
Nov	22,94	22,00	20,60	20,97	20,86	20,62	20,60	21,27	21,30	20,70
Dez	22,56	21,96	20,94	21,08	20,96	20,80	20,77	21,23	21,33	20,71
2022										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	22,85	21,65	20,63	21,13	21,02	20,90	20,83	21,26	21,40	20,80
Fev	22,74	21,81	20,82	21,19	21,09	20,99	20,92	21,30	21,41	20,80
Mar	22,97	21,43	20,19	21,06	20,99	20,92	20,83	21,29	21,49	20,80
Abr	22,50	21,01	19,68	20,88	20,78	20,75	20,58	21,21	21,42	20,80
Mai	19,76	18,74	17,53	20,27	20,36	20,14	20,02	21,04	21,29	20,77
Jun	18,52	17,28	15,90	19,75	19,99	19,61	19,41	20,93	21,20	20,65
Jul	19,90	18,63	16,73	19,81	19,98	19,58	19,37	20,90	21,20	20,68
Ago	21,67	19,78	17,69	19,96	20,08	19,67	19,48	20,92	21,20	20,66
Set	24,48	21,18	18,48	20,14	20,20	19,83	19,66	20,96	21,21	20,66
Out	27,14	23,62	20,05	20,45	20,42	20,17	20,00	21,07	21,30	20,70
Nov	23,33	22,13	20,37	20,67	20,59	20,42	20,29	21,14	21,30	20,70
Dez	22,37	21,82	20,69	20,89	20,76	20,68	20,54	21,20	21,32	20,73
2023										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	22,85	21,65	20,63	21,13	21,02	20,90	20,83	21,26	21,40	20,80
Fev	22,74	21,81	20,82	21,19	21,09	20,99	20,92	21,30	21,41	20,80
Mar	22,97	21,43	20,19	21,06	20,99	20,92	20,83	21,29	21,49	20,80
Abr	22,50	21,01	19,68	20,88	20,78	20,75	20,58	21,21	21,42	20,80
Mai	19,76	18,74	17,53	20,27	20,36	20,14	20,02	21,04	21,29	20,77
Jun	18,52	17,28	15,90	19,75	19,99	19,61	19,41	20,93	21,20	20,65

TEMPERATURA - MÉDIAS MENSais										
2023										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jul	19,90	18,63	16,73	19,81	19,98	19,58	19,37	20,90	21,20	20,68
Ago	21,67	19,78	17,69	19,96	20,08	19,67	19,48	20,92	21,20	20,66
Set	24,48	21,18	18,48	20,14	20,20	19,83	19,66	20,96	21,21	20,66
Out	27,14	23,62	20,05	20,45	20,42	20,17	20,00	21,07	21,30	20,70
Nov	23,33	22,13	20,37	20,67	20,59	20,42	20,29	21,14	21,30	20,70
Dez	22,37	21,82	20,69	20,89	20,76	20,68	20,54	21,20	21,32	20,73
2024										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	23,9	22,9	21,4	21,1	21,0	21,0	20,8	21,3	21,4	20,7
Fev	23,2	22,4	21,2	21,2	21,0	21,1	20,8	21,4	21,4	20,8
Mar	24,2	22,7	21,2	21,2	21,1	21,2	20,9	21,4	21,4	20,9
Abr	22,9	21,9	20,7	21,2	21,1	21,2	21,0	21,4	21,5	21,0
Mai	21,1	20,2	19,0	20,7	20,7	20,7	20,4	21,2	21,5	21,0
Jun	19,8	19,2	17,9	20,4	20,4	20,3	20,0	21,1	21,3	21,0
Jul	18,7	17,7	16,2	19,9	20,1	19,7	19,5	21,0	21,2	20,8
Ago	22,1	20,0	17,8	20,1	20,2	19,8	19,6	21,0	21,3	20,9
Set	24,4	21,3	18,3	20,1	20,2	19,9	19,7	21,0	21,2	20,8
Out	26,6	23,2	20,2	20,5	20,5	20,3	20,1	21,1	21,3	20,7
Nov	23,4	22,3	20,6	20,8	20,7	20,6	20,4	21,2	21,3	20,7
Dez	24,7	22,4	20,8	20,8	20,7	20,7	20,5	21,3	21,4	20,6

Com relação à umidade relativa do ar, o plano de manejo do PNCP (IBAMA, 2005) destaca a ocorrência de duas situações distintas, com a ocorrência de invernos secos e verões úmidos. Ao observar os valores médios da umidade relativa do ar (Tabela 3), verifica-se que, no interior

da Lapa Bonita, o período seco tem início por volta dos meses de maio e junho, estendendo-se até setembro e outubro. Da mesma forma que a temperatura, a umidade também apresenta um comportamento diferente ao longo do ano, conforme os diferentes ambientes da caverna.

Tabela 3: Umidade relativa do ar – médias mensais registradas nas estações microclimáticas da Lapa Bonita durante os anos monitorados.

UMIDADE RELATIVA DO AR - MÉDIAS MENSais										
2018										
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	65,66	-	85,17	-	90,73	93,70	91,80	90,02	-	97,71
Fev	85,65	82,71	93,82	91,12	93,92	96,66	95,12	92,02	92,45	98,36
Mar	85,92	88,36	95,82	92,68	95,71	98,28	96,65	93,62	94,04	99,43

UMIDADE RELATIVA DO AR - MÉDIAS MENSais										
2018										
	BONO	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Abr	78,32	81,90	91,94	91,49	93,62	96,94	94,84	93,20	95,17	99,90
Mai	71,35	75,14	86,36	83,67	84,59	89,89	85,26	85,65	90,76	99,88
Jun	67,46	71,38	81,22	73,99	74,55	79,38	75,50	75,65	80,80	99,88
Jul	59,07	63,51	73,42	64,38	64,52	69,68	66,34	65,80	70,51	98,89
Ago	51,65	60,81	74,80	71,00	71,58	76,72	75,12	72,72	76,30	98,11
Set	42,70	53,54	70,76	71,21	72,12	77,75	76,36	74,76	78,72	98,62
Out	56,28	65,15	80,82	81,20	83,31	86,74	85,33	82,35	85,69	96,32
Nov	83,36	86,30	93,25	90,08	92,92	95,78	94,06	89,85	91,12	97,50
Dez	85,98	88,70	93,62	91,29	93,80	96,52	95,32	91,51	93,33	98,90
2019										
	BONO	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	64,95	73,78	89,36	90,86	92,98	95,97	94,55	91,63	94,23	99,65
Fev	79,27	84,57	93,59	91,34	94,20	97,24	95,49	92,22	94,45	99,87
Mar	82,75	88,28	96,88	93,81	96,67	99,18	97,64	94,14	95,42	99,90
Abr	83,77	90,25	96,88	94,27	97,02	99,47	98,08	94,87	96,16	99,90
Mai	72,60	80,57	90,95	90,86	92,72	97,10	93,83	92,58	96,39	99,90
Jun	61,41	66,83	80,82	79,46	80,16	85,41	81,28	81,89	87,47	99,90
Jul	56,27	61,51	72,12	66,92	66,83	71,42	68,73	69,03	74,64	99,03
Ago	52,33	58,84	71,83	69,20	69,37	74,48	72,76	71,66	76,45	98,79
Set	44,28	53,46	70,02	70,17	71,02	75,58	74,55	73,48	79,43	97,45
Out	45,87	56,41	77,06	80,77	82,46	85,72	83,31	81,77	86,91	95,01
Nov	55,04	64,08	80,95	83,65	85,42	87,65	88,12	85,28	88,91	95,56
Dez	67,62	73,88	86,66	88,61	90,76	92,97	93,35	89,53	91,74	97,49
2020										
	BONO	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	83,34	86,35	91,51	90,76	93,40	96,51	95,96	91,62	93,27	98,69
Fev	86,63	90,98	96,10	93,32	96,29	99,01	97,31	93,56	94,75	99,76
Mar	92,94	94,35	97,88	94,97	98,10	99,90	99,14	94,59	95,81	99,90
Abr	89,92	92,39	96,51	94,34	97,11	99,68	97,54	94,98	96,60	99,90
Mai	88,34	90,08	92,83	85,82	87,23	93,69	87,30	86,69	92,07	99,90
Jun	81,27	84,92	89,60	76,89	77,42	83,40	78,38	76,86	81,55	99,90
Jul	68,52	73,38	82,17	70,49	70,76	76,58	72,83	70,73	75,12	99,85
Ago	56,85	64,61	77,21	71,49	72,02	77,48	75,54	72,97	76,90	99,69
Set	45,60	55,68	72,28	70,63	71,34	76,86	75,39	73,19	77,41	99,35

UMIDADE RELATIVA DO AR – MÉDIAS MENSAIS

2020

	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Out	59,74	68,91	82,04	80,19	82,39	85,89	85,25	-	85,94	97,18
Nov	84,63	88,10	92,67	89,53	92,22	95,00	93,34	-	90,28	97,93
Dez	83,42	88,36	93,00	90,19	92,67	95,56	-	-	-	99,12

2021

	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	76,89	82,89	92,43	90,87	93,44	96,59	-	-	-	99,71
Fev	90,81	93,85	96,76	91,99	95,10	97,61	-	-	-	99,89
Mar	80,24	85,78	93,15	90,18	92,48	96,76	-	-	-	99,90
Abr	75,14	82,71	92,50	88,96	91,24	94,68	-	-	-	99,84
Mai	64,79	71,37	81,68	77,71	78,70	84,63	76,06	75,92	80,62	99,79
Jun	60,40	67,45	76,90	70,78	71,33	76,10	73,23	72,60	76,79	99,74
Jul	55,76	62,65	70,07	62,05	61,96	66,78	63,81	63,27	67,17	97,60
Ago	52,20	59,70	69,03	63,88	64,01	69,20	66,96	65,59	68,94	96,89
Set	41,17	53,99	70,18	69,78	70,84	75,41	74,66	72,71	76,62	96,80
Out	60,59	73,41	84,58	82,39	84,91	87,83	87,04	83,34	85,99	95,35
Nov	86,52	94,04	94,67	90,02	93,18	96,19	95,40	90,41	91,15	97,50
Dez	91,99	98,79	98,61	93,29	97,00	99,08	98,86	96,21	94,24	99,41

2022

	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	86,04	95,45	98,14	95,27	99,46	99,90	99,89	99,18	96,58	99,90
Fev	89,39	97,25	99,37	96,34	99,90	99,90	99,90	99,86	97,60	99,90
Mar	82,83	91,54	97,30	95,40	99,85	99,90	99,87	99,84	98,18	99,90
Abr	80,81	89,54	95,61	92,86	97,95	99,89	97,89	97,89	98,22	99,90
Mai	75,65	82,49	88,45	80,64	83,65	89,86	83,41	84,15	87,58	99,90
Jun	69,91	77,16	83,85	70,03	70,89	75,98	71,96	70,37	73,47	99,82
Jul	64,24	71,50	80,99	70,11	71,13	77,17	73,52	70,56	72,51	98,94
Ago	54,36	63,96	75,48	68,73	69,87	76,50	73,38	70,63	72,27	98,23
Set	50,87	63,06	75,25	71,28	72,84	77,74	75,60	72,78	74,34	97,58
Out	51,23	65,19	83,18	83,59	86,33	89,77	89,08	84,73	86,58	97,17
Nov	78,12	88,83	91,86	88,98	92,45	95,02	94,86	89,75	91,21	97,86
Dez	87,57	97,35	97,71	93,29	97,57	99,10	98,92	94,60	94,16	99,26

UMIDADE RELATIVA DO AR - MÉDIAS MENSAIS

2023

	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	86,56	96,92	98,95	96,04	99,89	99,90	99,90	98,99	97,04	99,90
Fev	82,47	91,38	96,96	95,89	99,90	99,90	99,90	99,73	98,01	99,90
Mar	78,43	87,26	96,79	95,97	99,90	99,90	99,90	99,86	98,43	99,90
Abr	81,41	90,94	97,22	95,46	99,77	99,90	99,77	99,06	98,63	99,90
Mai	77,04	85,29	91,87	87,87	92,52	98,56	92,54	92,32	94,74	99,90
Jun	70,30	78,45	86,52	78,40	81,23	88,29	81,80	80,64	83,80	99,90
Jul	61,72	70,99	81,57	72,96	75,01	80,56	76,44	74,27	76,79	99,90
Ago	59,79	71,64	81,11	75,42	77,81	82,66	79,68	76,51	78,94	99,51
Set	52,17	66,51	83,51	82,46	85,88	90,72	88,93	84,89	88,26	98,41
Out	55,69	69,77	88,36	88,66	92,93	95,25	93,56	88,85	92,45	98,31
Nov	64,62	77,83	90,68	90,73	95,85	98,50	96,90	91,91	93,91	99,23
Dez	63,22	77,28	89,74	91,03	96,35	98,58	97,03	92,58	94,82	89,28

	2024									
	BON0	BON1	BON2	BON3	BON4	BON5	BON6	BON7	BON8	BON9
Jan	80,6	95,4	97,6	94,5	99,8	99,9	99,9	95,7	96,2	99,9
Fev	83,7	96,5	99,5	96,1	99,9	99,9	99,9	97,3	97,8	99,9
Mar	89,0	97,5	99,8	96,8	99,9	99,9	99,9	99,6	98,8	99,9
Abr	88,3	95,9	99,4	97,2	99,9	99,9	99,9	99,9	99,5	99,9
Mai	85,4	91,2	95,9	91,4	97,7	99,3	96,0	97,0	97,9	99,9
Jun	80,4	85,0	91,4	82,9	88,6	93,3	86,3	85,2	87,8	99,9
Jul	72,5	78,4	85,1	71,5	75,5	78,5	73,7	72,1	74,6	99,9
Ago	60,4	70,2	82,4	74,5	79,1	82,4	79,0	75,8	77,0	99,9
Set	47,8	59,2	74,6	70,5	75,0	78,7	75,4	73,2	74,6	99,9
Out	63,0	78,6	89,2	85,4	91,6	92,2	91,2	86,1	87,8	99,9
Nov	83,3	94,2	97,8	93,0	99,6	99,6	99,1	93,2	92,7	99,9
Dez	83,2	98,5	98,9	94,2	99,9	99,9	99,9	94,6	94,0	99,9

Na região da entrada (BON1 e BON2), o pico do período seco é o mês de setembro, enquanto a região intermediária (BON3 a BON8) atinge esse pico no mês de julho. Já no último salão (BON9), o valor mínimo é observado, na maioria dos anos, somente em outubro. O ambiente desse local fica muito próximo à saturação durante boa parte do ano, atingindo o ápice entre fevereiro e junho. Nos demais setores da caverna, os valores mais elevados da umidade

relativa do ar são observados entre março e abril, coincidindo com a transição entre o período de chuvas e o período seco.

A análise da Figura 25 evidencia que as condições externas de umidade, representadas pelas curvas da estação BON0, influenciam esse parâmetro em toda a cavidade. Variações maiores são observadas na região mais próxima à entrada, enquanto variações muito discretas são percebidas no último salão (BON9).

Lapa Bonita – Médias mensais (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

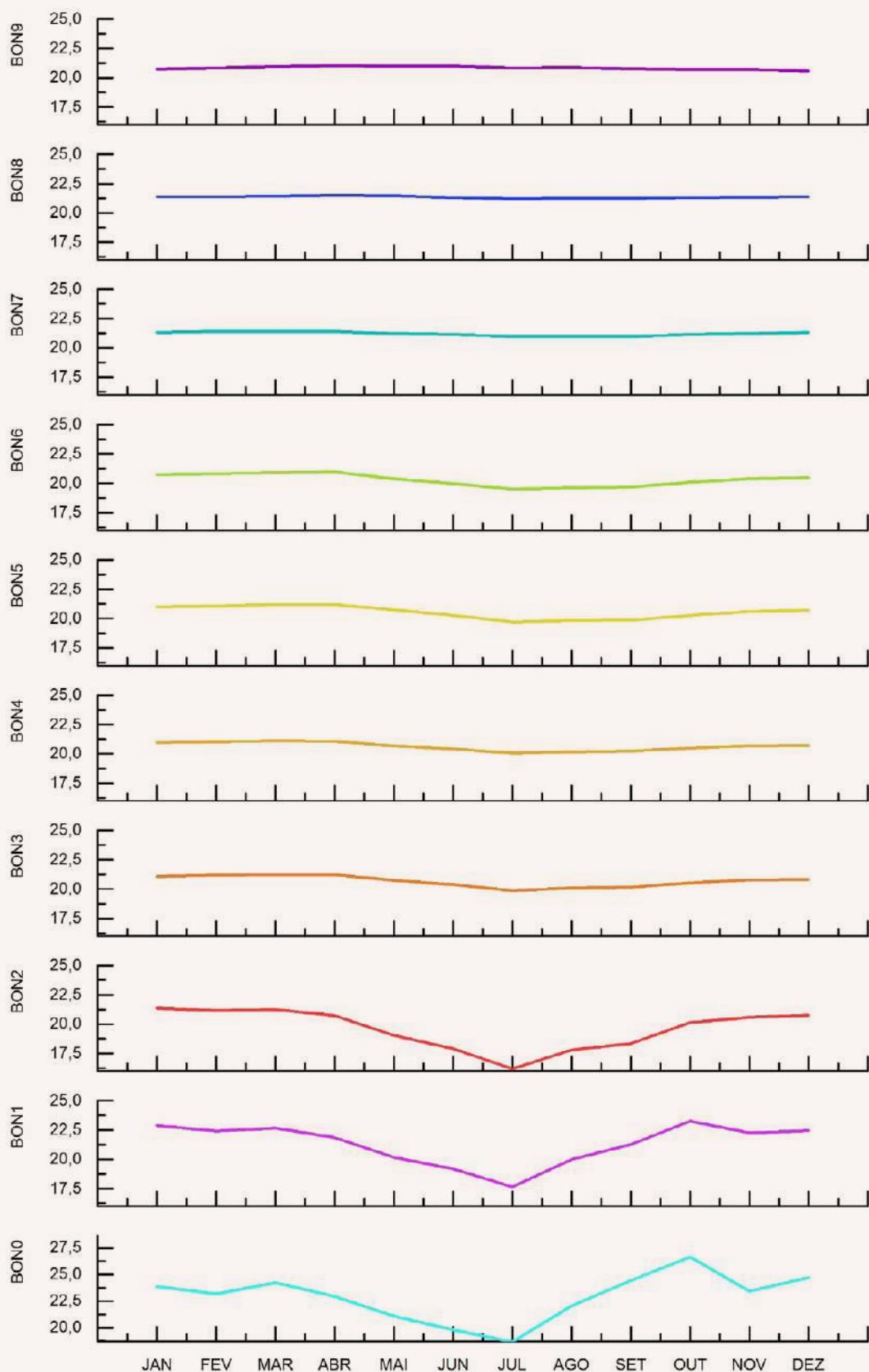


Figura 24: Curvas da sazonalidade anual da temperatura na Lapa Bonita em 2024.

Lapa Bonita – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

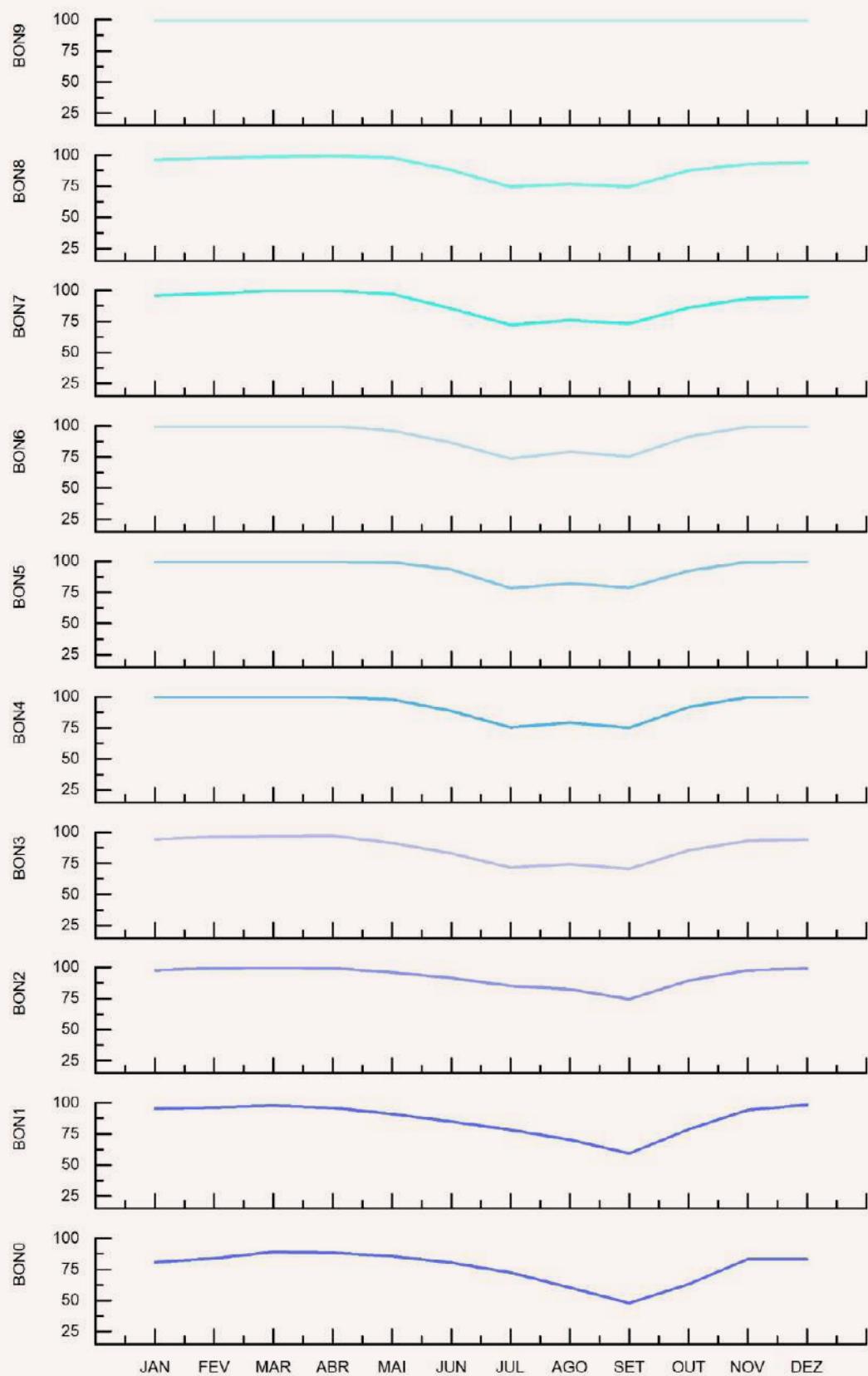


Figura 25: Curvas da sazonalidade anual da umidade relativa do ar na Lapa Bonita em 2024.



LAPA DO ÍNDIO

Essa caverna se localiza na base do mesmo paredão rochoso (Figura 26) onde se encontra a Lapa Bonita. Possui entrada única e sua projeção horizontal é de 150m, com um desnível de 5 metros (Figura 27). A Lapa do Índio recebe visitação apenas em seu salão de entrada, onde estão localizados os painéis de pintura rupestre.

Apesar de possuir painéis de arte rupestre pré-histórica e potencialidade arqueológica, “o maior atrativo da Lapa do Índio é a espetacular visão que se tem a partir da sua entrada, em direção

ao vale, à entrada da Gruta do Janelão, da Gruta do Falso Janelão, os maciços calcários e a vegetação no entorno” (IBAMA, 2005, p.34).

O acesso ao interior da caverna é realizado após a transposição de colunas de calcita, que contribuem para um maior isolamento em relação ao meio externo (Figura 28). No total, foram instalados quatro termo-higrômetros na Lapa do Índio, identificados com o prefixo IND na Figura 27. Um em seu salão de entrada, um na zona de penumbra e os demais ao longo do conduto principal.



Figura 26: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Lapa do Índio.



LAPA DO ÍNDIO - MG 187

Município de Januária - Minas Gerais
Localização (UTM 23 L)
 $x = 581.310$ $y = 8.329.620$
Projeção horizontal: 150 m
Desnível: 5m

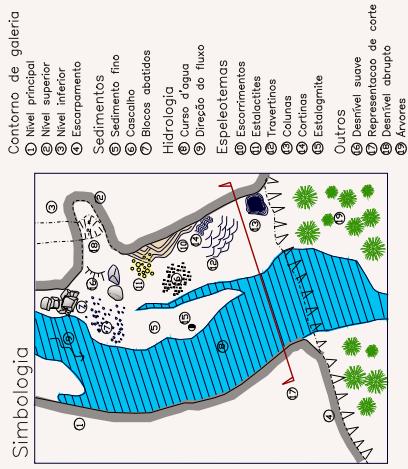
Topografia grau: 4C - BCRA - Fevereiro de 1998
Detalhamento: Outubro de 2003 e Fevereiro de 2004
Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas



Figura 27: Mapa topográfico da Lapa do Índio (IBAMA, 2005).

Lapa do índio

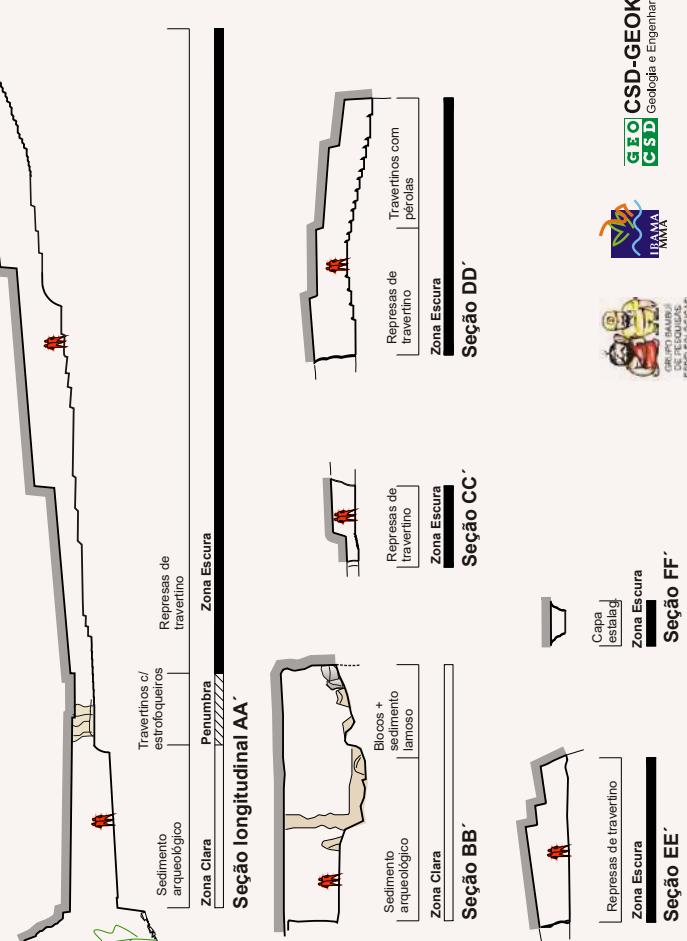
57



Contorno de galeria	① Nível principal	② Nível superior	③ Nível inferior
Sedimentos	④ Escorregamentos	⑤ Cascadões	⑥ Blocos abatidos
	⑦ Deslizamento	⑧ Desprendimento	⑨ Desprendimento de corte
	⑩ Desprendimento	⑪ Desprendimento	⑫ Desprendimento abrupto
	⑫ Desprendimento	⑬ Desprendimento	⑭ Árvores

LEGENDA

- ⊕ ACAMAMENTO SUBHORIZONTAL
- ↖ DIREÇÃO E MARGULHO DO ACAMAMENTO
- FRATURA SUBVERTICAL
- Ⓑ BRECHA INTRAFORMACIONAL



CSD-GEOLOCK
Geologia e Engenharia Ambiental



Figura 28: Detalhe do salão de entrada da Lapa do Índio e de um dos estreitamentos do conduto principal entre as estações de medição IND1 e IND2.

Sequenciamento anual

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Os gráficos das Figuras 29 e 30 apresentam, respectivamente, o comportamento da temperatura e da umidade ao longo do ano de 2024 na Lapa do Índio. Em relação à temperatura, observam-se grandes variações influenciadas pelo ambiente externo em IND1, com primaveras e verões mais quentes e temperaturas mais amenas no outono

e inverno. O isolamento térmico proporcionado pelas colunas de calcita (Figura 28) fica evidente ao compararmos a drástica redução de amplitude entre IND1 e IND2. À medida que se avança para a parte mais distal da caverna, observa-se uma tendência à estabilidade térmica, com valores de amplitude ainda menores.

Lapa do Índio – Temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

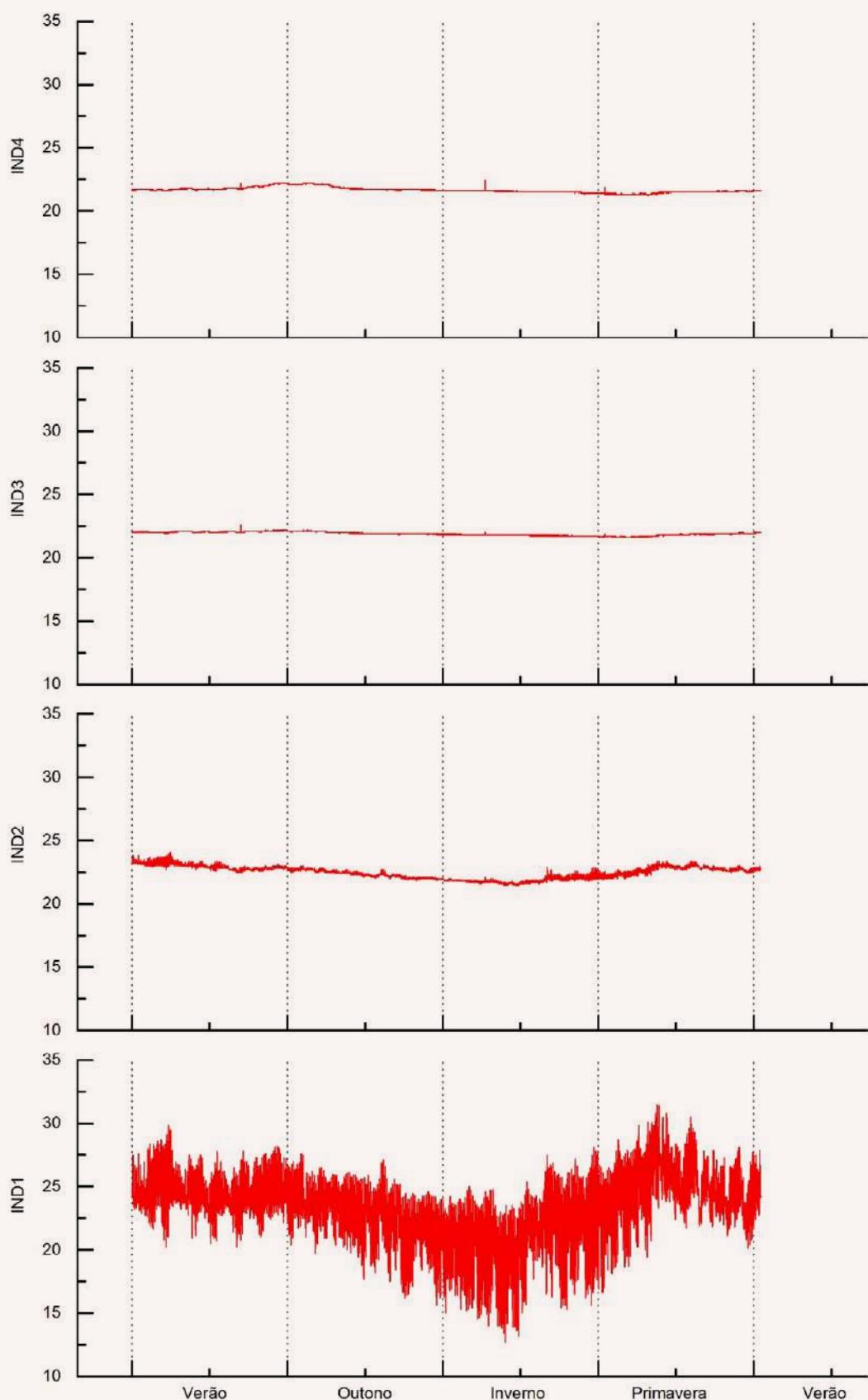


Figura 29: Médias anuais da temperatura na Lapa do Índio em 2018.

Lapa do Índio – Umidade (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

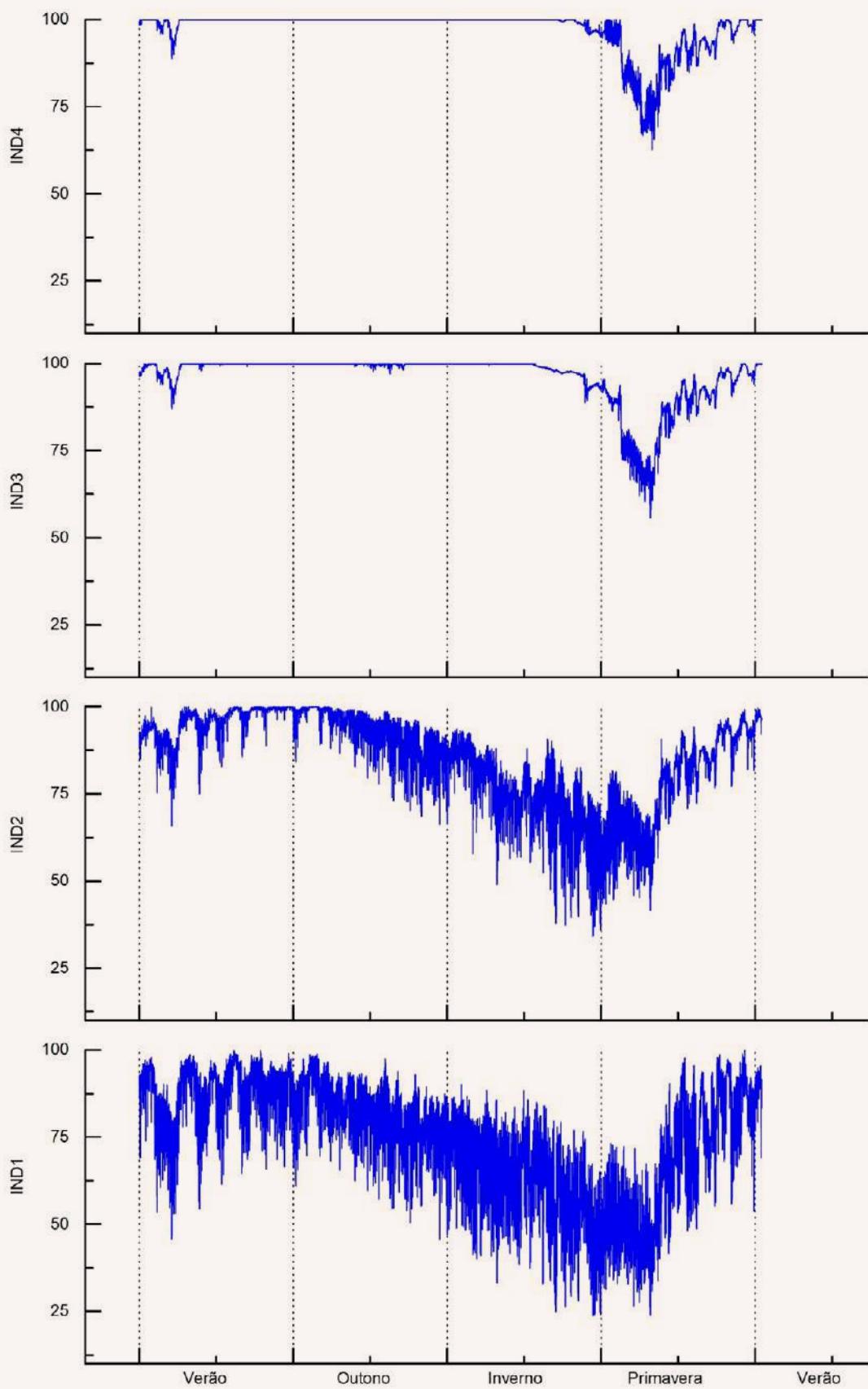


Figura 30: Médias da umidade relativa do ar na Lapa do Índio em 2024.

A umidade relativa do ar observada em IND1 sofre grande influência do ambiente exterior, onde são encontrados os maiores índices na primavera e verão e período mais seco no outono e inverno. O ambiente cavernícola

atenua as variações à medida que se distancia da entrada da caverna; no entanto, as características externas podem ser percebidas em toda a extensão da cavidade.

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A contagem absoluta dos registros apresenta a distribuição de frequência das medidas realizadas (Figura 31), explicitando a diminuição da variação da temperatura e da umidade ao se aproximar da

parte mais distal da caverna. Verifica-se também que o ambiente subterrâneo da Lapa do Índio possui temperatura mais amena do que a superfície e normalmente a umidade fica acima dos 50%.

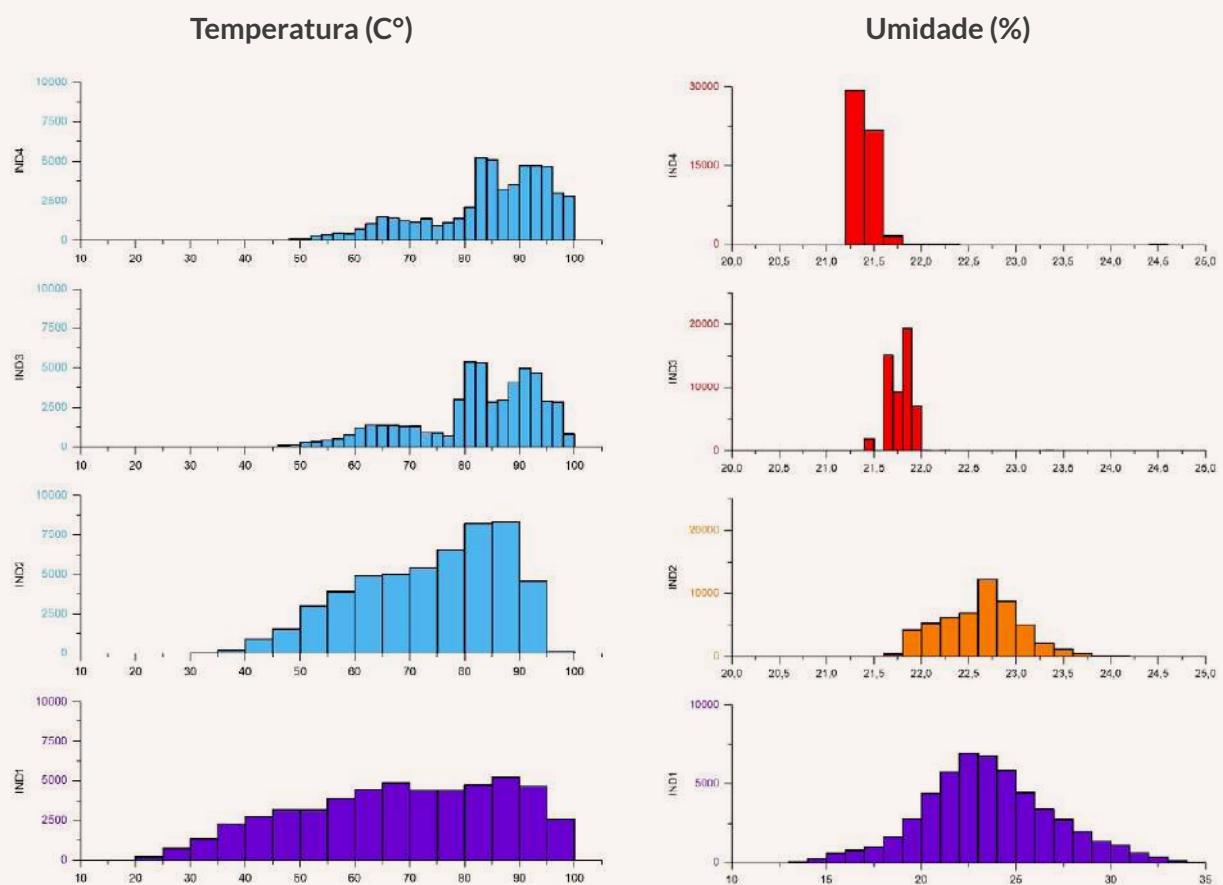


Figura 31: Contagem absoluta de registros de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Índio em 2024.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica

Medidas estatísticas descritivas (Tabela 4) foram utilizadas para reproduzir a situação geral dos diferentes ambientes onde se localizam as estações de medição. A análise desses dados e das características morfológicas da caverna proporcionam uma melhor compreensão do microclima da Lapa do Índio.

Em relação à temperatura, verifica-se maior influência do ambiente externo no primeiro salão

da caverna (IND1), que apresenta maiores valores de temperatura média, desvio padrão (DP), temperatura máxima (Máx.) e menores de temperatura mínima (Mín.). O terço final da caverna (IND3 e IND4) é o segmento onde foram anotados os menores valores de temperatura média e de desvio padrão. A tendência à estabilidade também pode ser observada em função das menores diferenças entre máximas e mínimas.

Tabela 4: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Índio.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2018										
IND4	21,36	0,11	21,20	21,30	24,50	84,42	10,97	48,00	99,90	99,90
IND3	21,73	0,11	21,50	21,80	23,30	82,40	11,25	46,20	81,80	99,70
IND2	22,57	0,41	21,70	22,70	25,30	73,77	13,32	31,30	84,20	98,20
IND1	23,49	3,40	13,70	22,30	35,30	68,33	18,62	20,20	99,90	99,90
2019										
IND4	21,49	0,09	21,30	21,40	21,90	80,07	12,49	45,20	97,50	99,90
IND3	21,79	0,10	21,60	21,80	22,10	78,43	12,72	42,10	96,40	97,90
IND2	22,75	0,42	21,90	22,90	25,20	71,17	13,75	27,40	90,30	98,00
IND1	24,33	3,35	12,30	23,30	35,00	62,95	18,02	16,40	71,80	96,80
2020										
IND4	21,59	0,14	21,30	21,60	22,20	91,45	10,61	47,80	99,90	99,90
IND3	21,87	0,16	21,60	21,70	22,10	88,58	11,62	46,50	99,90	99,90
IND2	22,62	0,59	21,60	22,00	24,90	80,24	14,07	31,60	93,30	99,90
IND1	23,15	3,35	12,00	22,90	38,70	65,34	30,74	20,90	93,60	99,90
2021										
IND4	21,53	0,11	21,30	21,50	22,80	79,73	13,24	43,50	99,90	99,90
IND3	21,83	0,11	21,70	21,70	23,90	78,31	13,97	42,80	99,90	99,90
IND2	22,59	0,45	21,80	22,60	24,80	70,53	16,28	27,50	98,20	99,90
IND1	23,27	3,01	13,70	23,30	32,50	61,12	18,45	13,10	89,90	96,60

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2022										
IND4	21,54	0,16	21,20	21,40	22,50	95,72	8,27	59,00	99,90	99,90
IND3	21,74	0,13	21,40	21,80	22,20	94,76	8,84	56,70	99,90	99,90
IND2	22,18	0,50	21,20	22,50	23,70	81,72	14,75	29,10	99,90	99,90
IND1	22,75	3,05	10,80	22,30	31,70	69,46	17,18	17,30	84,60	98,90
2023										
IND4	21,50	0,12	21,20	21,50	24,30	93,95	9,14	55,90	99,90	99,90
IND3	21,72	0,14	21,40	21,70	22,70	92,64	9,53	55,20	97,50	99,90
IND2	22,47	0,67	21,40	22,30	24,60	81,26	12,72	40,00	82,10	99,90
IND1	23,97	3,25	13,40	24,00	32,50	67,76	15,69	17,30	68,80	98,20
2024										
IND4	21,65	0,22	21,20	21,50	22,40	97,30	5,95	62,70	99,90	99,90
IND3	21,89	0,15	21,60	21,80	22,60	96,18	7,32	55,80	99,90	99,90
IND2	22,46	0,49	21,40	22,70	24,10	85,21	13,40	34,20	99,90	99,90
IND1	23,22	2,90	12,70	23,30	31,50	75,02	16,69	23,60	91,90	99,90

Quanto à umidade relativa do ar, também se observa a grande influência que o ambiente externo exerce sobre o salão de entrada da ca-

verna. Nesse setor foram observados os maiores valores de desvio padrão e as maiores diferenças entre os índices máximo e mínimo.

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar

A correlação estabelecida entre desvio padrão e a temperatura média (Figura 32) permite observar do ponto de vista estatístico o comportamento das diferentes zonas microclimáticas da Lapa do Índio. O salão de entrada (IND1) se destaca dos demais devido à grande influência externa. Já IND3 e IND4 apresentam comportamentos parecidos, embora IND3 registre temperatura ligeiramente superior. IND2 situa-se em uma faixa intermediária, com temperatura e variações

superiores ao agrupamento do final da caverna, porém inferiores àquelas registradas na entrada.

Em situação semelhante à da temperatura, é possível agrupar as duas últimas estações (IND3 e IND4) em um conjunto que registra os maiores índices de umidade e as menores variações desse parâmetro. O salão de entrada (IND1) apresenta as maiores variações e as menores médias, enquanto IND2 se encontra em uma faixa intermediária.

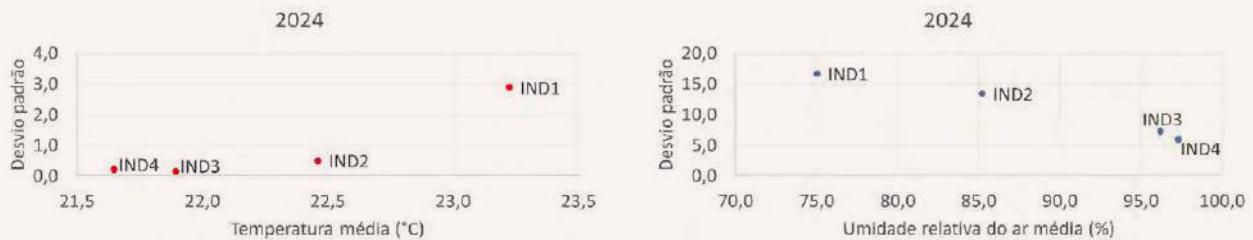


Figura 32: Gráficos de dispersão dos dados de média e desvio padrão da temperatura e umidade relativa do ar da Lapa do Índio em 2024.

Zoneamento térmico e higríco

A espacialização dos registros de média e desvio padrão realizada por meio da interpolação desses dados produziu diferentes modelos para facilitar a compreensão de características básicas das diferentes zonas climáticas. Nos mapas das médias de temperatura (Figura 33) observa-se que as médias mais elevadas foram registradas na região próxima à entrada (IND1), e que, à medida que se avança pelo conduto, as médias vão ficando mais baixas em direção à porção final (IND4), que

registrou as menores médias da caverna.

A barreira formada pelo grande conjunto de espeleotemas onde se encontra a estação de medição IND2 atenua as variações externas, fazendo que o desvio padrão (Figura 34) observado após esse ponto seja menor em relação ao exterior. A combinação desses modelos deu origem ao Zoneamento Térmico da caverna (Figura 35), que levou em consideração o conjunto dos dados coletados entre 2018 e 2024.



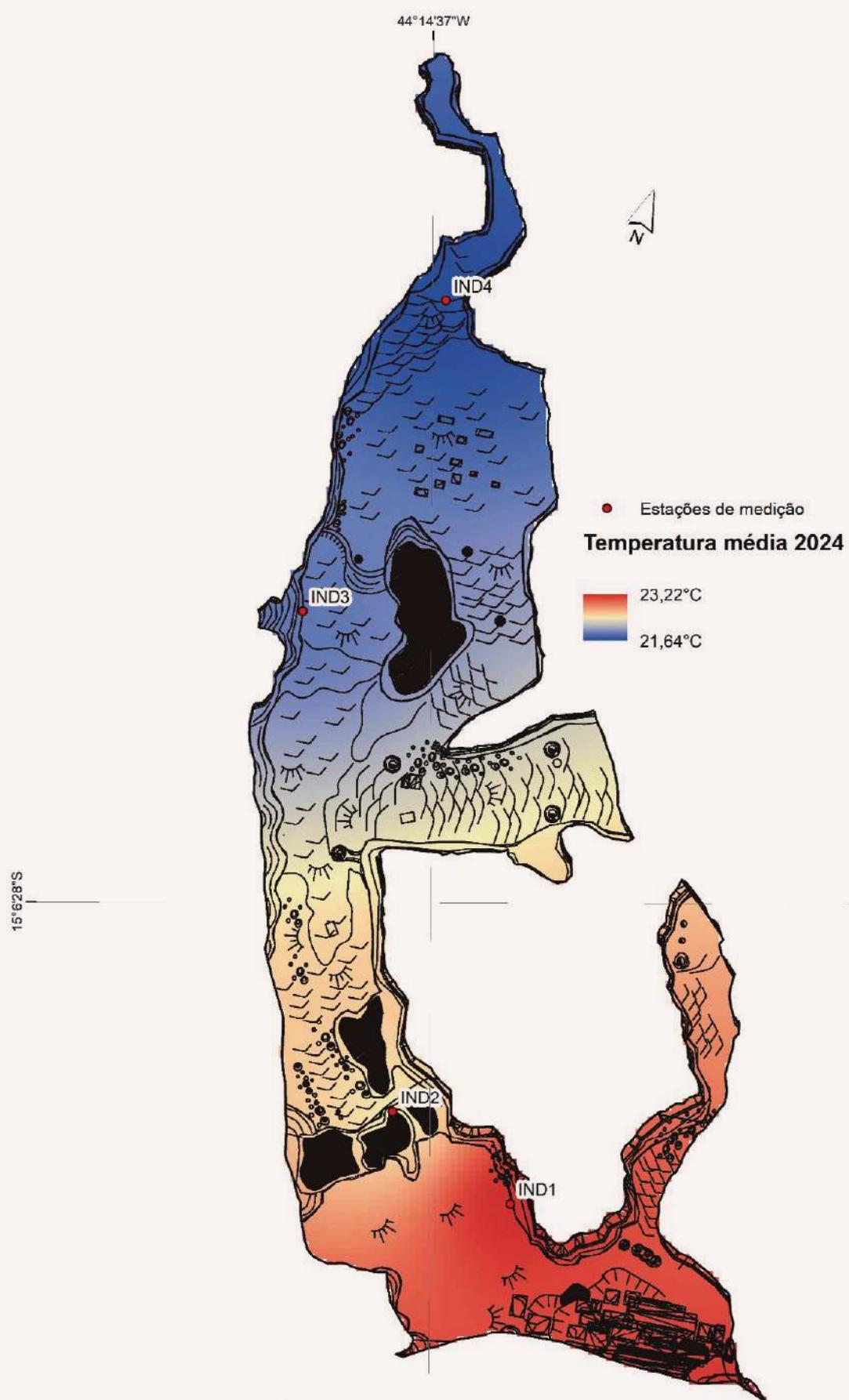


Figura 33: Espacialização dos valores médios da temperatura registrada na Lapa do Índio em 2024.



Figura 34: Espacialização dos valores de desvio padrão da temperatura registrada na Lapa do Índio em 2024.

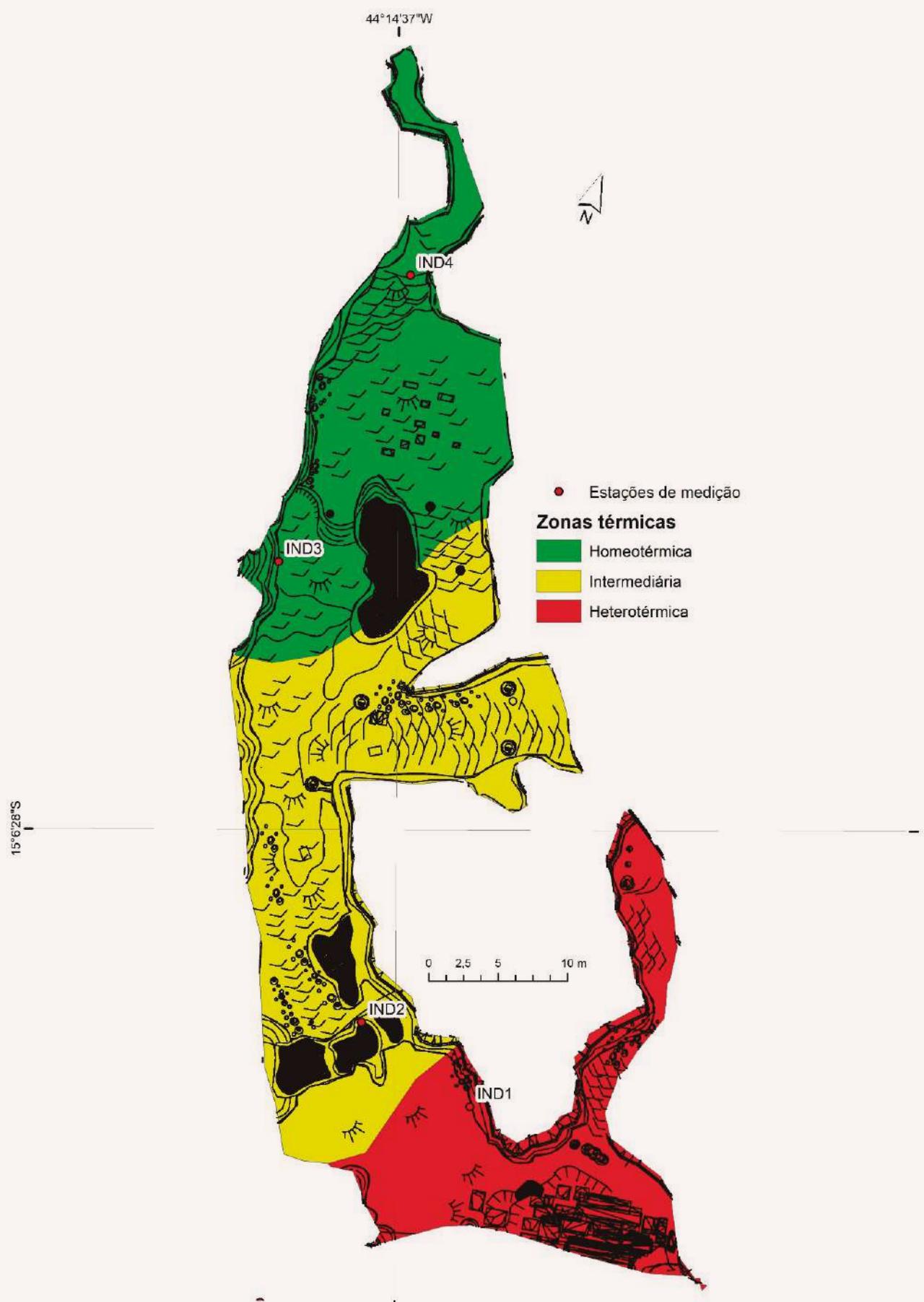


Figura 35: Zoneamento térmico da Lapa do Índio.



Em relação aos modelos que retratam a umidade relativa do ar, observou-se o aumento gradual à medida que se aproxima da parte final da caverna. O ambiente da entrada possui as menores médias (Figura 36), enquanto na porção final da caverna (IND4) observam-se valores mais elevados de umidade.

Assim como os modelos relacionados à temperatura, os modelos de umidade também

apresentaram maior variabilidade na região mais próxima à entrada e uma tendência à estabilidade à medida que aumenta a proximidade com o último salão (Figuras 36 e 37). Para os parâmetros relativos à umidade, também foi elaborado um modelo que representasse o zoneamento hídrico da Lapa do Índio (Figura 38). As Zonas 1 e 2 são aquelas que sofrem maior influência externa e, portanto, apresentam as variações mais significativas.

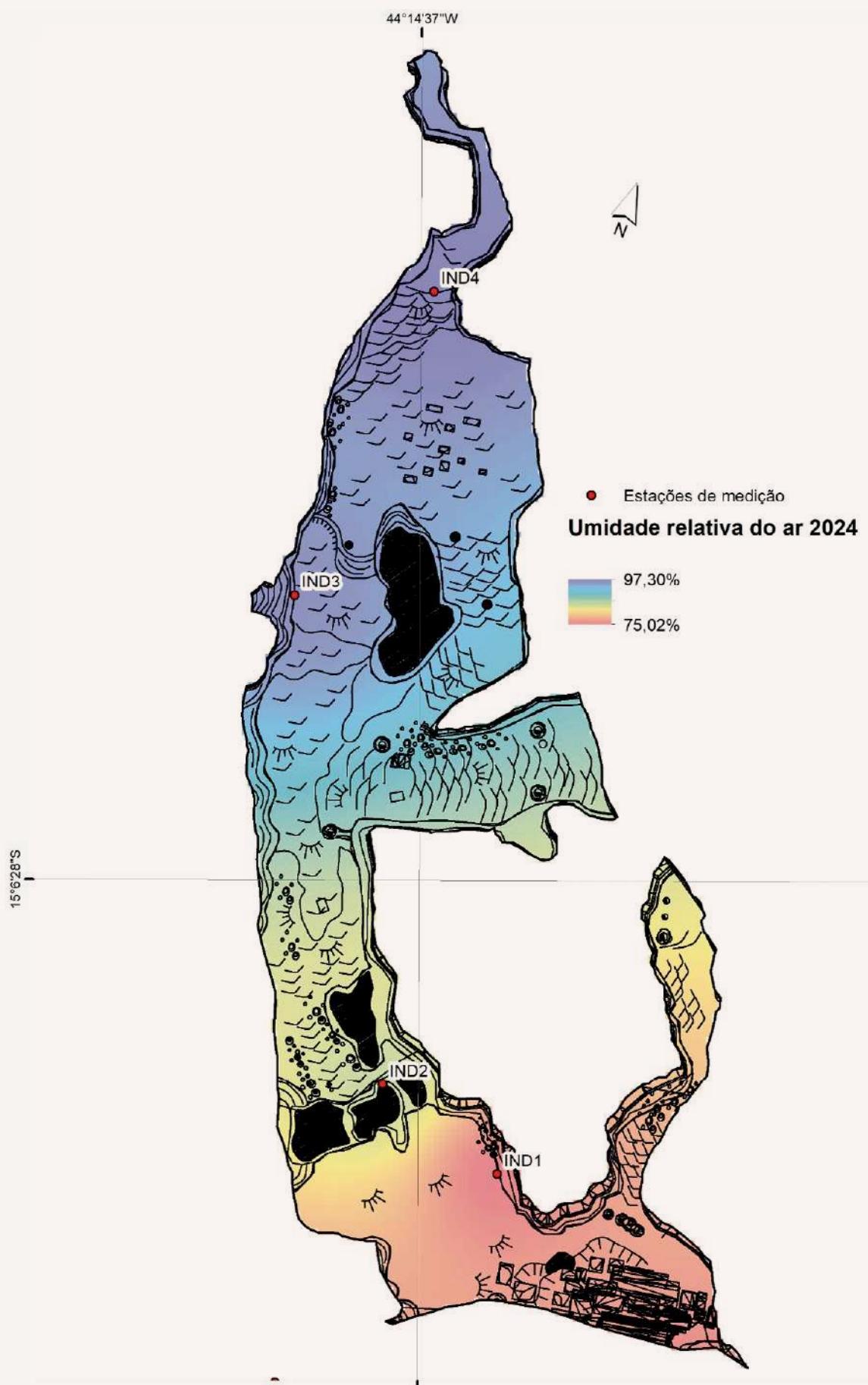


Figura 36: Espacialização dos valores médios da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Índio em 2024.

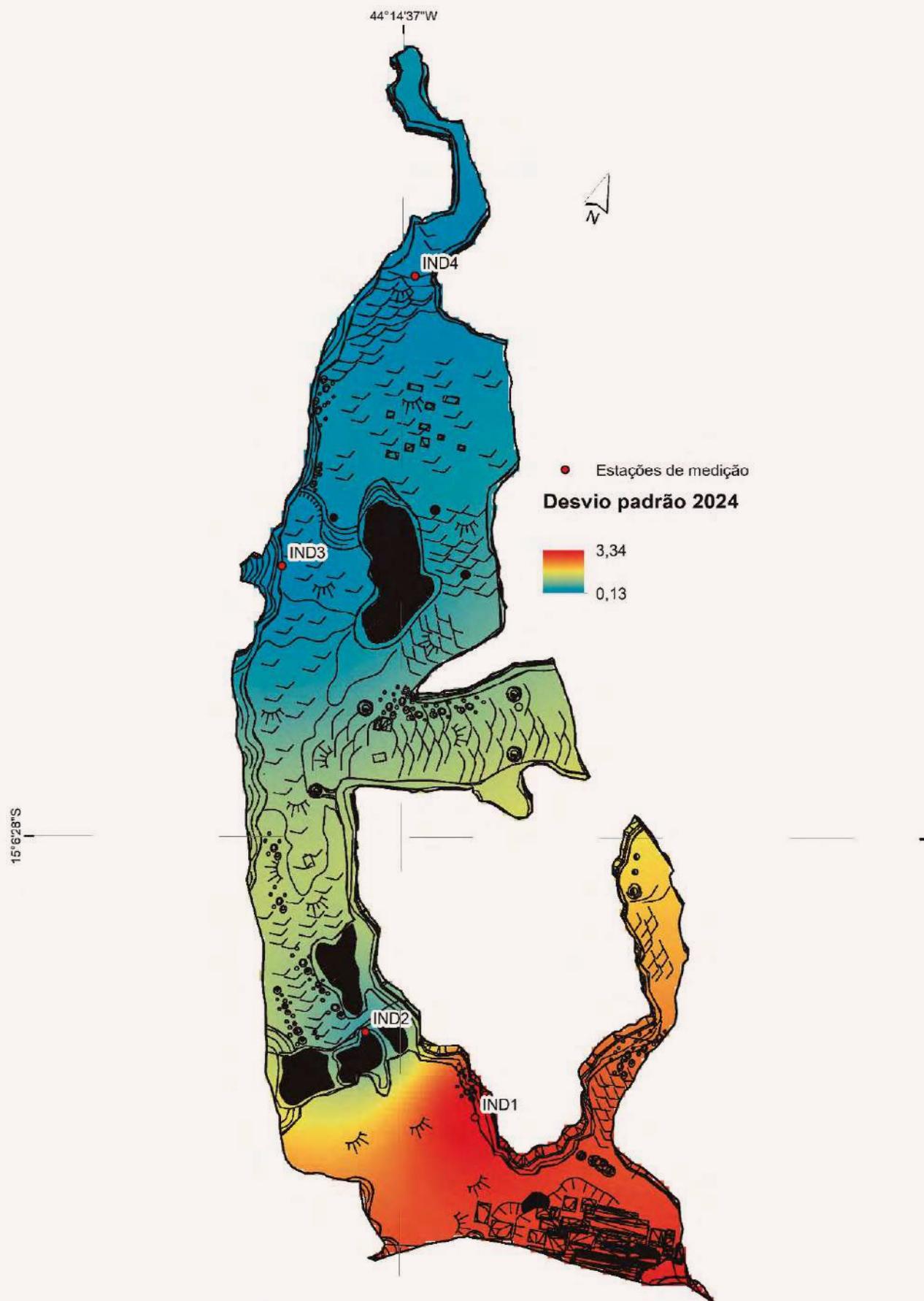


Figura 37: Espacialização dos valores de desvio padrão da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Índio em 2024.

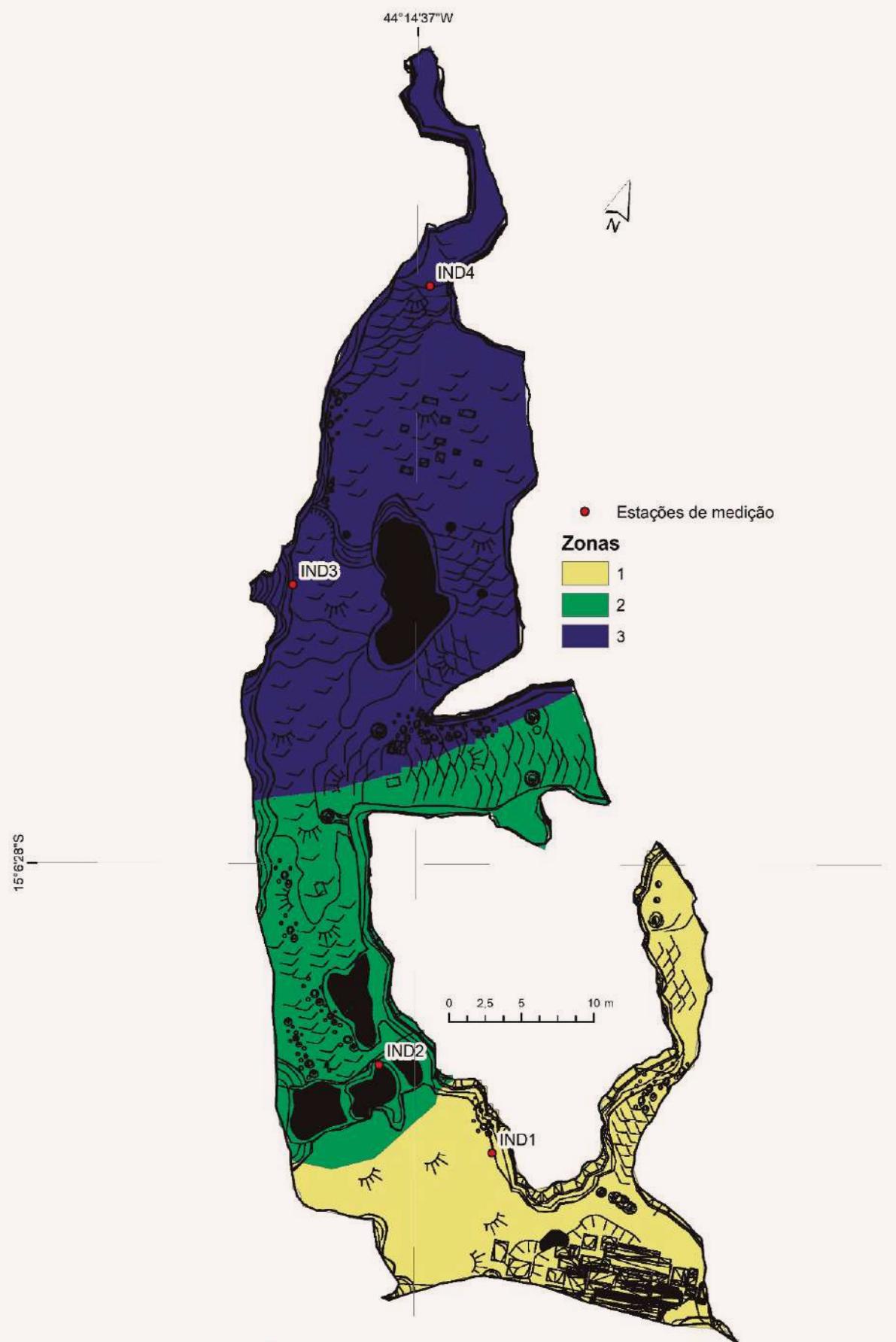


Figura 38: Zoneamento hídrico da Lapa do Índio.

Temporalidade mensal

Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica

A Tabela 5 registra os valores médios mensais de temperatura e umidade em cada uma das estações microclimáticas instaladas na cavidade, enquanto as Figuras 39 e 40 apresentam curvas de sazonalidade anual nos diferentes ambientes da caverna. Faz-se necessário esclarecer que em ambas as representações (Tabela e Gráficos) existem lacunas nos registros ocasionadas por defeitos nos equipamentos.

A sazonalidade da temperatura no PNCP (IBAMA, 2005) caracteriza-se basicamente pela existência de dois padrões térmicos distintos, sendo um com temperaturas mais quentes, de setembro a março (primavera e verão), e outro com temperaturas mais frias, entre abril e agosto (outono e inverno).

Na Tabela 5, chama a atenção a diferença nas datas em que a temperatura atinge seus valores extremos. Enquanto no salão de entrada os meses mais frios são junho e julho, no salão mais distante da entrada os meses mais frios são agosto e setembro. Em relação aos valores mais altos da temperatura, no salão de entrada o mês mais quente é outubro, e, no salão final, o mês mais quente é dezembro (à exceção do ano de 2022, em que o mês mais quente foi fevereiro). Foram aplicadas cores na tabela para facilitar a visualização das transições, sendo utilizado vermelho para as médias mais altas e azul para as mais baixas. Dessa forma, é possível verificar que, dependendo do setor da caverna, a transição entre o período quente e o período frio ocorre em diferentes épocas do ano.

Tabela 5: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registradas nas estações microclimáticas da Lapa do Índio durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)			
	2018				2019			
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
JAN	26,02	23,03	21,83	21,36	64,32	72,33	79,17	81,10
FEV	23,81	22,76	21,86	21,42	83,47	84,59	90,30	92,17
MAR	23,65	22,67	21,86	21,47	85,10	89,74	95,67	97,58
ABR	22,48	22,52	21,75	21,32	79,02	82,23	90,38	93,04
MAI	21,48	22,37	21,69	21,30	72,11	73,08	83,34	86,28
JUN	20,72	22,14	21,61	21,30	65,86	69,41	81,61	83,92
JUL	20,11	21,89	21,58	21,29	57,70	62,38	80,72	82,25
AGO	23,34	22,23	21,58	21,20	52,33	60,69	70,03	73,12
SET	25,13	22,57	21,62	21,23	44,95	55,29	62,57	65,06
OUT	26,95	23,19	21,79	21,38	55,93	65,28	72,25	73,70
NOV	24,25	22,79	21,81	21,50	78,89	84,69	90,86	91,82
DEZ	23,86	22,69	21,78	21,50	81,54	86,46	92,53	93,56

	TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)			
	2019							
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
MAR	24,88	23,02	21,90	21,60	79,00	86,25	93,46	94,58
ABR	24,04	22,81	21,87	21,61	81,19	88,20	94,64	95,77
MAI	23,53	22,69	21,80	21,50	70,88	78,74	85,84	87,01
JUN	22,38	22,43	21,73	21,45	60,21	66,69	74,68	76,54
JUL	21,00	22,19	21,67	21,40	55,26	59,91	72,84	74,88
AGO	22,77	22,26	21,63	21,39	52,76	59,37	66,93	69,17
SET	25,25	22,71	21,70	21,40	46,14	55,81	61,41	63,29
OUT	27,29	23,03	21,83	21,50	47,37	61,15	64,64	65,49
NOV	28,14	23,54	21,95	21,60	52,94	66,45	71,62	75,75
DEZ	27,00	23,66	22,02	21,66	63,93	75,18	82,27	90,64

	2020							
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
JAN	25,43	23,48	22,06	21,70	77,16	82,75	88,78	96,41
FEV	24,99	23,22	22,04	21,72	81,59	89,94	94,70	99,67
MAR	23,53	22,95	22,05	21,80	89,72	94,64	98,59	99,87
ABR	22,87	22,71	22,00	21,76	87,86	94,29	98,44	99,78
MAI	20,49	22,29	21,88	21,60	85,65	88,62	96,12	98,77
JUN	19,49	22,01	21,80	21,54	79,16	81,72	95,33	97,23
JUL	19,96	21,87	21,71	21,50	66,53	72,42	91,51	92,87
AGO	22,17	22,01	21,65	21,40	59,77	64,43	81,10	83,31
SET	24,60	22,46	21,66	21,39	33,09	59,67	66,14	69,88
OUT	26,22	23,18	21,86	21,50	55,35	71,50	74,17	76,14
NOV	24,02	22,83	21,86	21,59	74,25	87,52	90,15	91,59
DEZ	24,20			21,58	71,78			91,68

	2021							
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
JAN	24,89	-	-	21,59	66,80	-	-	88,26
FEV	24,07	-	-	21,64	79,68	-	-	95,29
MAR	23,30	-	-	21,57	70,49	-	-	90,62
ABR	23,81	-	-	21,57	67,68	-	-	85,54
MAI	22,15	22,50	-	21,50	55,65	66,23	-	76,11
JUN	21,70	22,37	21,80	21,50	54,89	64,61	72,74	73,84
JUL	20,74	22,09	21,71	21,46	50,88	61,01	74,14	75,12
AGO	21,76	22,15	21,70	21,40	49,40	57,90	68,95	69,62
SET	25,43	22,89	21,76	21,43	41,27	54,57	60,67	61,68

	TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)			
	2021				2022			
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4

OUT	26,23	23,31	21,92	21,58	59,46	70,90	77,09	78,00
NOV	23,82	22,75	21,93	21,60	81,25	90,27	93,51	95,61
DEZ	23,58	22,63	21,97	21,72	88,08	97,25	99,43	99,87

	2021				2022			
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
JAN	23,65	22,48	21,93	21,76	82,31	96,30	99,82	99,90
FEV	23,61	22,51	21,91	21,80	85,08	98,06	99,90	99,90
MAR	23,36	22,30	21,83	21,76	77,65	93,73	99,55	99,90
ABR	23,00	22,20	21,80	21,61	75,86	90,52	99,34	99,90
MAI	20,64	21,82	21,77	21,57	68,16	85,32	99,78	99,90
JUN	19,30	21,50	21,70	21,50	63,15	75,58	99,90	99,90
JUL	20,31	21,44	21,62	21,42	60,37	70,43	98,61	99,79
AGO	21,76	21,67	21,58	21,38	52,32	63,22	95,04	97,46
SET	23,75	22,17	21,54	21,31	51,04	63,09	84,10	88,32
OUT	26,32	22,95	21,70	21,39	52,09	65,43	72,94	73,99
NOV	23,95	22,72	21,77	21,47	77,83	83,57	89,66	90,77
DEZ	23,41	22,45	21,80	21,55	88,79	96,52	98,73	99,25

	2023							
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
JAN	23,59	22,36	21,83	21,69	86,46	98,23	99,90	99,90
FEV	23,87	22,30	21,76	21,67	78,19	94,71	99,81	99,90
MAR	23,97	22,25	21,70	21,52	74,56	91,34	98,64	99,87
ABR	23,60	22,25	21,69	21,49	77,99	91,83	98,01	99,65
MAI	21,83	21,98	21,67	21,48	72,53	86,07	98,44	99,82
JUN	20,81	21,77	21,60	21,50	66,55	79,54	99,22	99,90
JUL	21,17	21,70	21,59	21,44	59,59	71,29	98,07	99,24
AGO	22,72	22,01	21,53	21,36	60,01	70,10	94,69	97,33
SET	25,33	22,63	21,60	21,30	53,22	68,05	77,12	81,15
OUT	27,32	23,34	21,78	21,44	56,82	72,06	79,80	80,65
NOV	26,64	23,43	21,89	21,53	63,97	76,86	84,71	85,73
DEZ	26,79	23,57	21,98	21,60	63,99	76,12	83,55	84,50

	2024							
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
JAN	24,97	23,23	22,03	21,68	85,31	91,99	97,91	98,83

	TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)			
	2024							
	IND1	IND2	IND3	IND4	IND1	IND2	IND3	IND4
FEV	24,13	22,86	22,04	21,73	87,67	95,89	99,86	99,90
MAR	24,65	22,78	22,11	22,05	88,42	99,05	99,90	99,90
ABR	23,57	22,57	22,03	21,99	86,51	97,19	99,89	99,90
MAI	22,02	22,19	21,90	21,70	79,31	90,91	99,74	99,90
JUN	20,76	21,92	21,85	21,62	73,69	85,98	99,90	99,90
JUL	19,54	21,69	21,80	21,55	66,23	76,11	99,90	99,90
AGO	22,03	21,95	21,73	21,49	58,88	69,46	97,46	99,46
SET	23,47	22,27	21,66	21,35	48,73	62,16	83,68	89,36
OUT	25,96	22,90	21,79	21,45	66,06	77,21	83,89	86,10
NOV	24,28	22,72	21,89	21,53	84,21	91,10	95,70	97,09
DEZ	24,77	22,75	22,00	21,60	88,62	97,02	99,90	99,90

Devido a suas características morfológicas, a Lapa do Índio reflete em sua porção final as mesmas oscilações da umidade observadas em sua entrada (Figura 40), embora mantendo valores mais elevados desse parâmetro na porção final. Ainda em relação à umidade, a análise da Lapa do Índio é ainda pouco conclusiva em termos da identificação de um padrão de transição entre

o período úmido e o período seco. Os anos de 2018, 2019, 2020 e 2022 apresentaram valores similares, com fevereiro, março e abril como os meses mais úmidos e setembro como o mês mais seco. Setembro também foi o mês mais seco em 2021; entretanto, a falta de dados para o ano de 2021 prejudicou a análise para a identificação dos meses mais úmidos.



Lapa do Índio - Entrada.

Lapa do Índio – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 03/12/2044

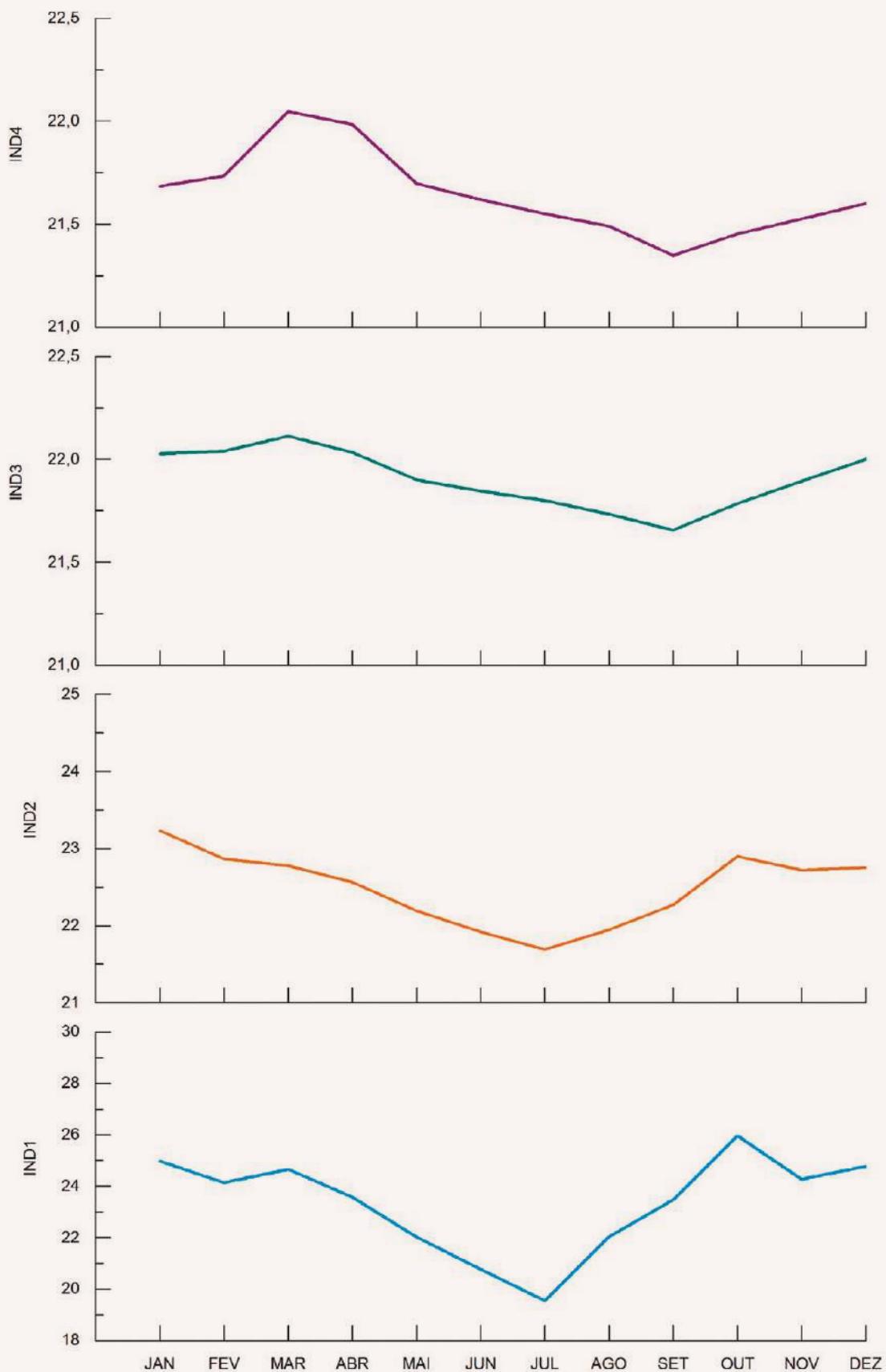


Figura 39: Curvas da sazonalidade anual da temperatura na Lapa do Índio em 2024.

Lapa do Índio – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 03/12/2044

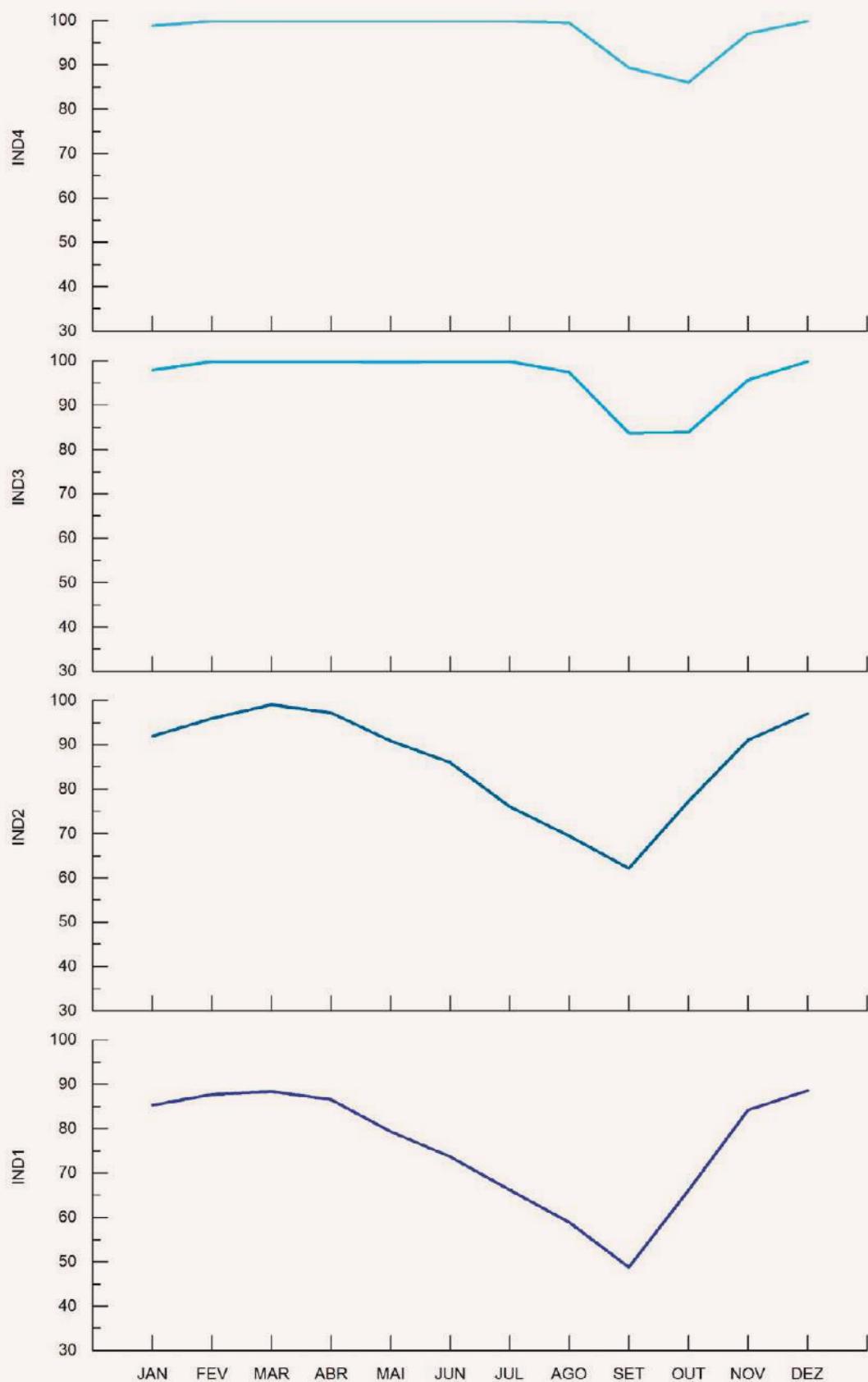


Figura 40: Curvas da sazonalidade anual da umidade relativa do ar na Lapa do Índio em 2024.



LAPA DOS DESENHOS

Esta caverna se localiza em um vale seco, afluente da margem esquerda do vale do rio Peruaçu (Figura 41). Atualmente, a Lapa dos Desenhos recebe visitação apenas na parte abrigada

da sua entrada, onde estão localizados os painéis de pintura rupestre. A caverna possui entrada única e projeção horizontal de 140 metros com desnível de 13 metros (Figura 42).

“Os maiores atrativos da Lapa dos Desenhos são os fabulosos painéis de arte rupestre pré-histórica, que se encontram na entrada da caverna.” (IBAMA, 2005, p.43).

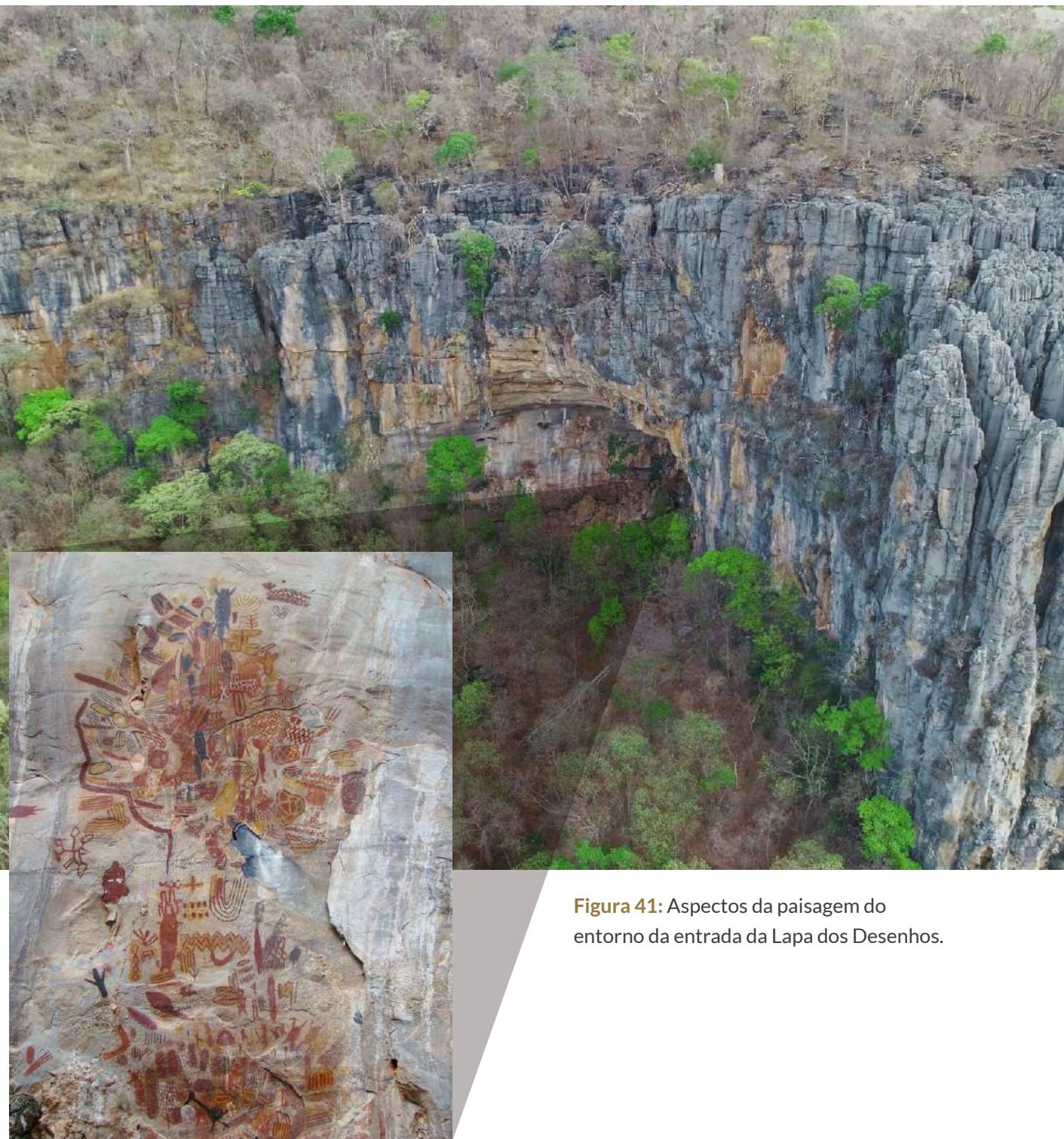


Figura 41: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Lapa dos Desenhos.

LAPA DOS DESENHOS - MG 123

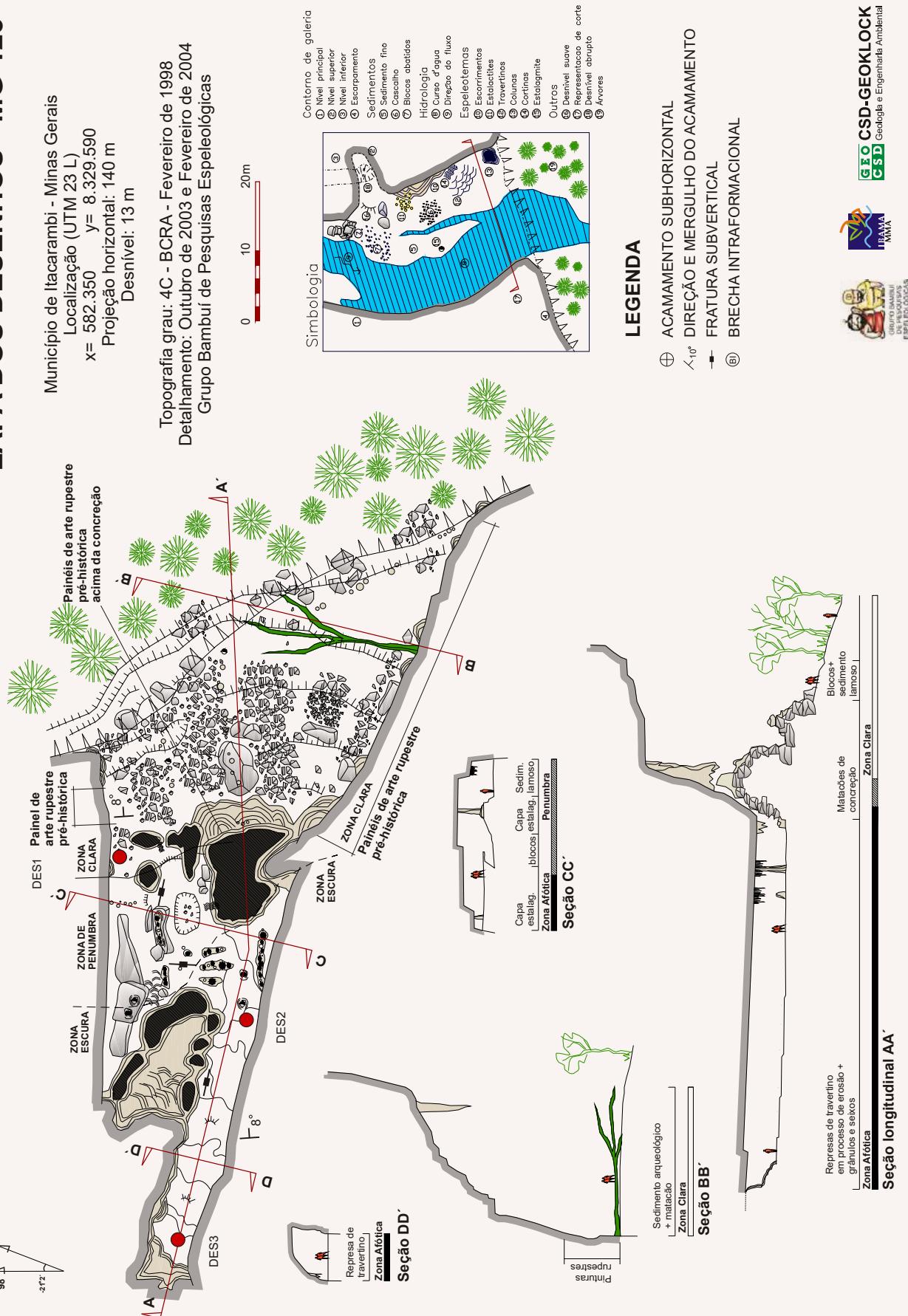


Figura 42: Mapa topográfico da Lapa dos Desenhos (IBAMA, 2005).

O acesso ao interior da caverna é realizado por aberturas em um conjunto de espeleotemas (Figura 43), quase imperceptíveis quando se olha a partir do deck de observação das pinturas. O interior da gruta (zona de penumbra e zona escura) é composto por uma única galeria de proporções medianas, considerando o padrão das cavernas do PNCP.

Devido a suas dimensões e morfologia,

optou-se pela instalação de apenas três termo-higrômetros (indicados pelo prefixo DES na Figura 42), sendo um na zona de penumbra e dois na zona escura. Merece destaque a localização do medidor DES1 (imediatamente atrás da pessoa na Figura 44) que, apesar de estar tecnicamente no interior da caverna, registrou as condições de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente externo.



Figura 43: Espeleotemas situados no acesso à zona de penumbra da Lapa dos Desenhos.

Sequenciamento anual

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Conforme pode ser observado nas Figuras 44 e 45, verifica-se que tanto a temperatura quanto a umidade no interior da Lapa dos Desenhos

sofrem grande influência das condições externas, reproduzindo, em menor amplitude, as variações percebidas em DES1.

Lapa dos Desenhos – Temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

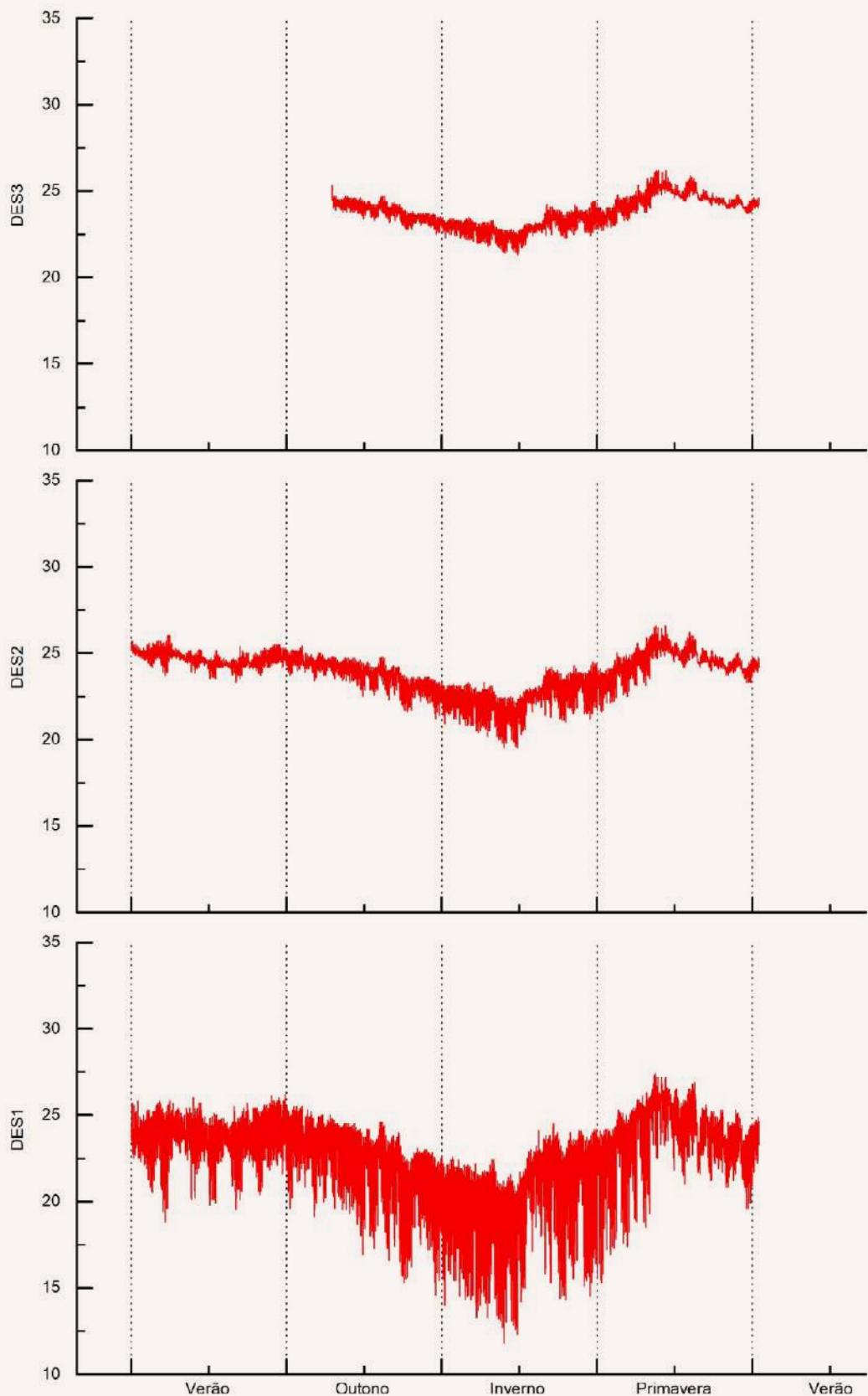


Figura 44: Médias anuais da temperatura na Lapa dos Desenhos em 2024.

Lapa dos Desenhos – Umidade (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

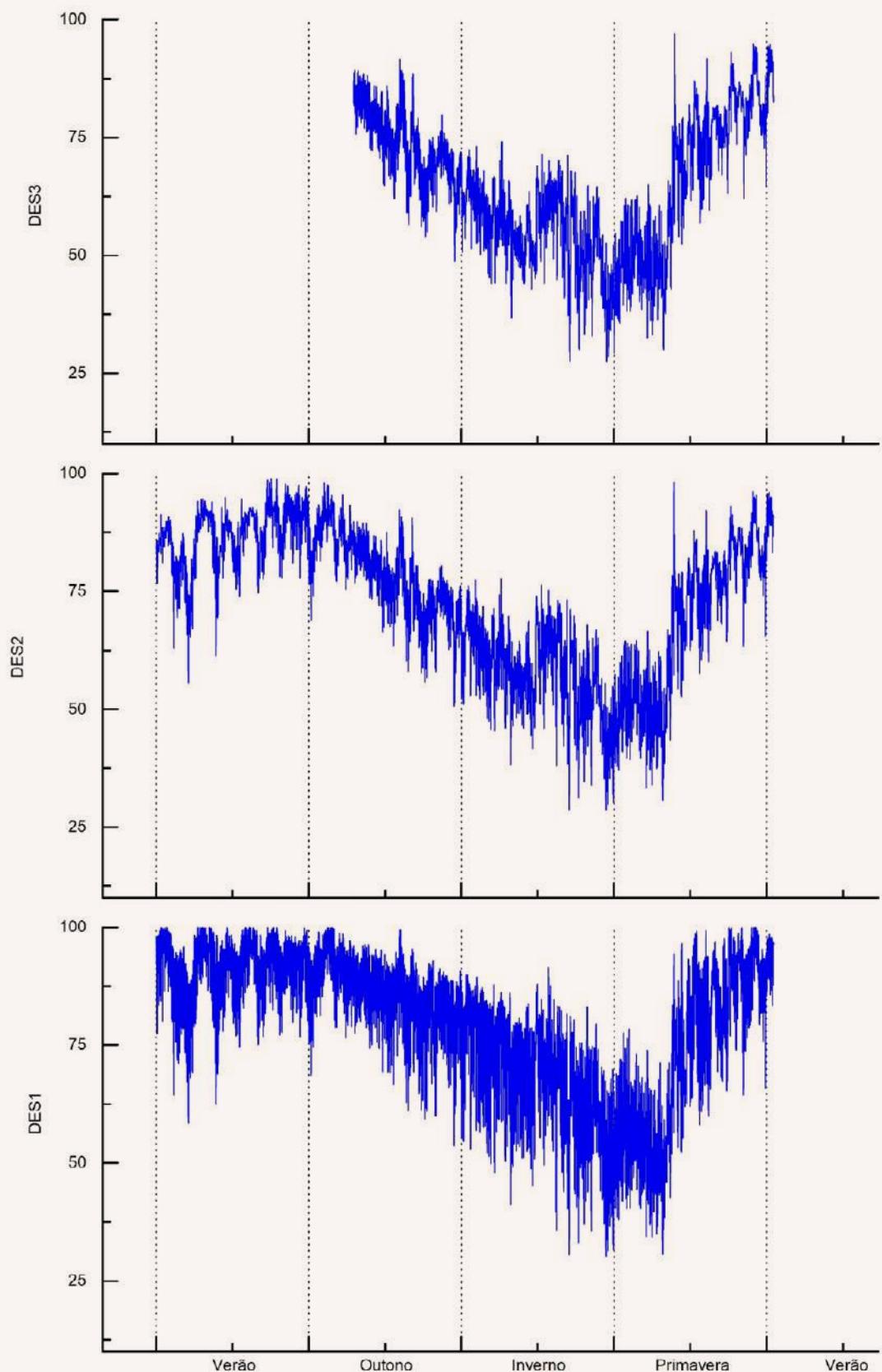


Figura 45: Médias anuais da umidade relativa do ar na Lapa dos Desenhos em 2024.

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A contagem absoluta dos registros apresenta a distribuição de frequência das medidas realizadas (Figura 46), explicitando a diminuição da variação da temperatura e da umidade à medida que nos distanciamos da entrada. Em relação à temperatura,

os registros em DES1 apresentam maior variação devido à influência externa, enquanto variações menores são observadas no setor medial (DES2) e distal (DES3) da Lapa dos Desenhos, sendo que a variação percebida entre essas duas é bem discreta.

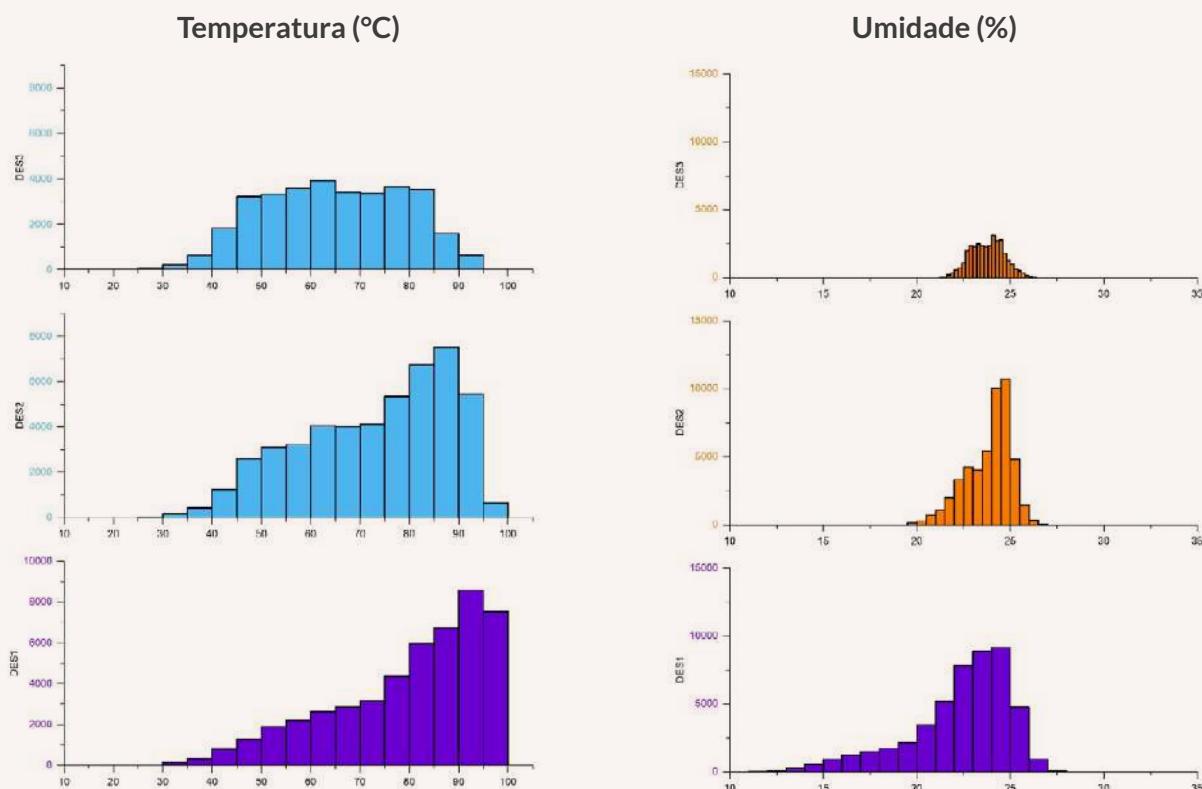


Figura 46: Contagem absoluta de registros de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa dos Desenhos em 2024.

Diferentemente da temperatura, a umidade relativa do ar observada nos três setores da caverna apresenta uma variação mínima, com tendência a uniformidade desde DES1 até

o final do conduto principal. Outro ponto que merece destaque em relação à umidade é que são raros os registros próximos à saturação em DES2 e DES3.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica

Medidas estatísticas descritivas (Tabela 6) foram utilizadas para reproduzir a situação geral dos diferentes ambientes onde se localizam as estações de medição. A análise desses dados e das

características morfológicas da caverna proporcionam uma melhor compreensão do microclima da Lapa dos Desenhos.

Tabela 6: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa dos Desenhos.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2018										
DES3	24,12	0,81	21,80	24,20	28,60	63,53	14,46	25,40	78,70	94,60
DES2	23,99	1,11	20,20	24,30	27,50	63,68	14,20	24,60	77,30	93,70
DES1	22,97	2,65	14,60	23,40	35,10	69,24	16,78	22,10	91,30	99,60
2019										
DES3	24,50	0,76	22,10	24,60	27,40	59,98	14,99	20,10	84,30	90,90
DES2	24,44	1,01	20,40	24,50	27,90	60,25	14,78	20,10	48,20	90,60
DES1	23,45	2,07	13,80	24,60	28,70	65,70	16,24	21,60	52,50	95,50
2020										
DES3	24,05	0,92	21,70	24,40	27,10	67,83	14,64	21,80	80,30	93,60
DES2	23,86	1,26	19,80	24,30	27,70	68,86	14,37	22,10	80,10	93,50
DES1	22,51	2,39	13,80	23,50	28,10	75,89	16,55	24,50	91,90	99,90
2021										
DES3	24,02	0,87	21,80	23,90	27,00	60,47	17,84	16,40	41,70	96,10
DES2	23,87	1,19	20,10	23,90	27,60	61,44	17,22	16,90	44,80	95,80
DES1	22,46	2,72	12,70	23,00	28,50	66,91	18,29	17,50	99,90	99,90
2022										
DES3	23,54	0,82	21,30	23,60	26,00	68,19	16,20	22,80	90,60	99,30
DES2	23,31	1,18	19,20	23,70	26,40	69,36	15,45	23,80	89,60	99,90
DES1	21,88	2,74	10,30	23,90	28,10	76,18	16,16	24,70	99,90	99,90
2023										
DES3	24,12	1,06	21,70	23,90	26,80	66,88	13,44	23,40	66,50	96,80
DES2	24,06	1,35	20,10	23,90	27,30	68,49	12,96	23,90	68,70	97,90
DES1	22,72	2,69	12,50	23,00	28,60	74,90	14,37	25,00	76,30	99,90
2024										
DES3	23,72	0,87	21,30	24,10	26,20	64,71	14,01	27,50	81,00	97,10
DES2	23,81	1,19	19,50	24,40	26,60	73,19	15,01	28,70	91,20	98,90
DES1	22,30	2,68	11,80	23,50	27,40	79,88	15,37	30,20	99,90	99,90

Em relação à temperatura, a principal característica é que as maiores médias foram observadas na parte mais distante da entrada, onde também

foram registradas as menores variações. Este setor da caverna é também o mais seco, onde se encontram os menores valores médios de umidade.

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar

A correlação estabelecida entre desvio padrão e temperatura média (Figura 47) permite observar do ponto de vista estatístico o comportamento das diferentes zonas microclimáticas

da Lapa dos Desenhos. A zona clara da caverna (DES1) se destaca dos demais setores devido à grande influência externa. Já os setores DES2 e DES3 possuem comportamentos semelhantes.

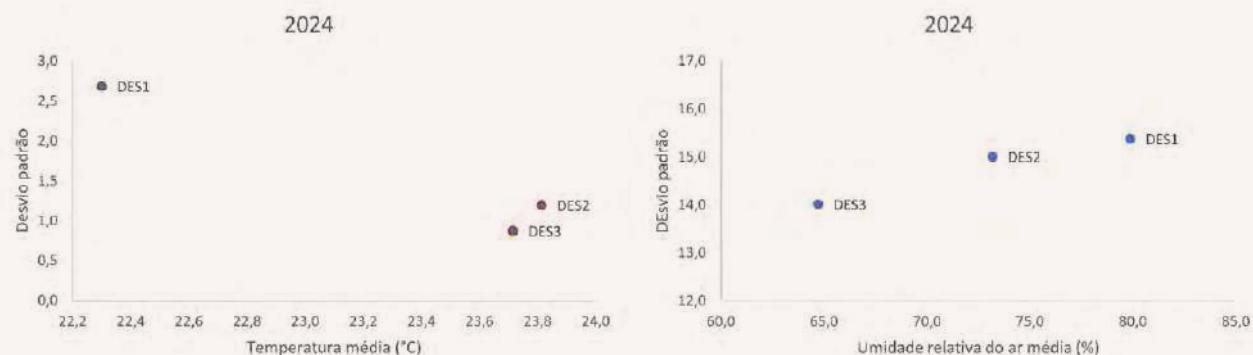


Figura 47: Gráficos de dispersão dos dados de média e desvio padrão da temperatura e umidade relativa do ar da Lapa dos Desenhos em 2024.

O comportamento da umidade em DES1 também difere daquele observada na zona de penumbra (DES2) e na zona escura (DES3), sendo registrados ali os maiores valores médios

e as maiores variações em torno da média. Já nos demais setores da caverna, observam-se variações menores e índices de umidade mais baixos.

Zoneamento térmico e hígrico

A interpolação dos valores das médias (Figura 48) e desvio padrão (Figura 49) mostra a distribuição espacial da temperatura do ar para o ano de 2024. A combinação desses mapas deu origem ao Zoneamento Térmico (Figura 50). Os valores interpolados das médias da umidade (Figura 51) e desvio padrão (Figura 52) foram combinados e deram origem ao Zoneamento Hígrico (Figura 53) da Lapa dos Desenhos.

Tanto Zoneamento Térmico quanto o Zoneamento Hígrico foram elaborados considerando os dados coletados em todo o período

desta pesquisa, que podem ser verificados no material complementar.

O zoneamento microclimático da Lapa dos Desenhos apresenta três zonas distintas, tanto para a representação das zonas térmicas, quanto para as hígricas. A leitura desses mapas, aliada à análise dos gráficos de dispersão (Figura 47), destaca que a zona de entrada, com maior influência externa, apresenta um comportamento microclimático distinto das demais. As zonas onde se encontram DES2 e DES3 também apresentam comportamentos distintos, porém com variações muito discretas.



Figura 48: Espacialização dos valores médios da temperatura registrada na Lapa dos Desenhos em 2024.



Figura 49: Espacialização dos valores de desvio padrão da temperatura registrada na Lapa dos Desenhos em 2024.



Figura 50: Zoneamento térmico da Lapa dos Desenhos.

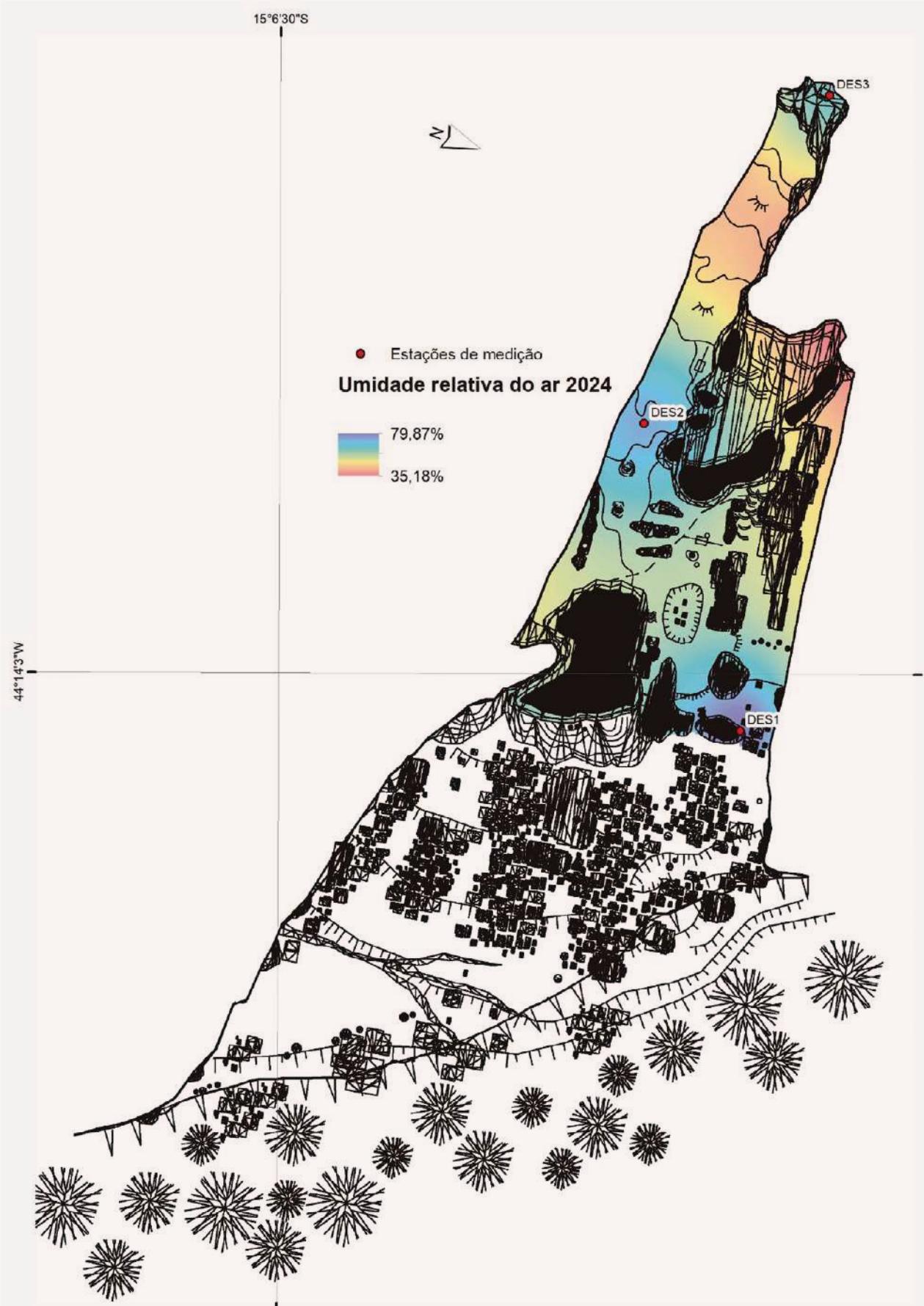


Figura 51: Espacialização dos valores médios da umidade relativa do ar registrados na Lapa dos Desenhos em 2024.

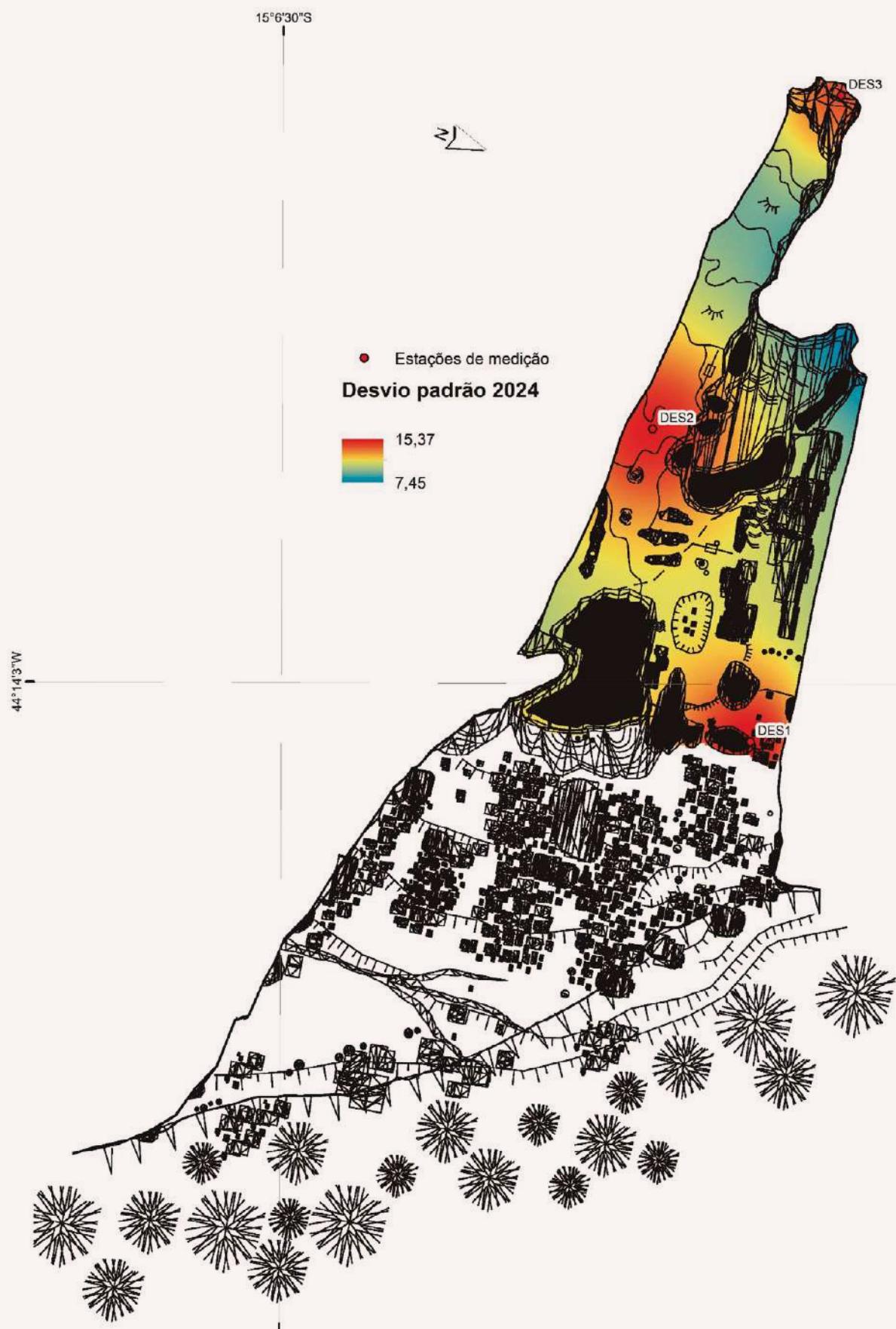


Figura 52: Espacialização dos valores de desvio padrão da umidade relativa do ar registrados na Lapa dos Desenhos em 2024.



Figura 53: Zoneamento hídrico da Lapa dos Desenhos.

Temporalidade mensal

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

A sazonalidade da temperatura no PNCP (IBAMA, 2005) se caracteriza basicamente pela existência de dois padrões térmicos distintos, sendo um com temperaturas mais quentes, de setembro a março (primavera e verão), e outro com temperaturas mais frias, entre abril e agosto (outono e inverno). A Tabela 7 registra os valores médios mensais da temperatura e umidade em cada uma das estações microclimáticas instaladas na Lapa dos Desenhos, enquanto as Figuras 54 e

55 apresentam as curvas da sazonalidade anual nos diferentes ambientes da caverna. Nessas figuras, que representam graficamente os dados da Tabela 7, é possível verificar que o comportamento da temperatura observado em DES1 se repete nos demais setores, porém com variações um pouco menos acentuadas. Em relação à umidade, percebe-se que ao longo do ano, as variações apresentadas entre as diferentes estações de medição são muito discretas.

Tabela 7: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registradas nas estações microclimáticas da Lapa dos Desenhos durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
	2018			DES1	DES2	DES3
JAN	25,55	24,85	24,79	65,34	63,60	64,20
FEV	24,02	24,41	24,43	82,65	76,04	76,16
MAR	23,52	24,34	24,30	84,21	79,60	80,64
ABR	22,53	23,84	23,98	78,50	72,21	72,22
MAI	21,64	23,36	23,65	70,49	63,18	62,55
JUN	20,52	22,74	23,24	65,41	56,85	55,51
JUL	19,60	22,05	22,72	57,61	49,23	47,52
AGO	22,55	23,56	23,70	53,84	50,05	49,77
SET	23,93	24,56	24,52	46,93	44,72	45,02
OUT	25,63	25,82	25,60	59,42	56,22	56,89
NOV	23,43	24,47	24,49	82,53	75,79	75,69
DEZ	22,75	23,93	24,04	85,06	77,60	77,17

	2019					
	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JAN	23,36	24,28	24,35	70,99	65,42	65,05
FEV	24,16	24,80	24,75	79,84	74,45	74,61
MAR	24,14	24,85	24,79	82,77	77,11	77,31
ABR	23,60	24,57	24,56	83,64	77,48	77,70
MAI	22,97	24,37	24,47	73,23	66,20	65,78
JUN	22,08	23,75	24,00	60,90	54,03	53,10

TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
2019					

	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JUL	20,90	22,96	23,42	54,90	47,69	46,63
AGO	22,32	23,54	23,74	53,38	48,43	47,55
SET	24,15	24,75	24,71	48,01	44,91	44,84
OUT	25,81	25,84	25,61	51,41	48,52	48,77
NOV	26,33	26,32	26,05	58,82	55,45	55,86
DEZ	24,96	25,66	25,53	72,09	65,56	65,57

2020						
	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JAN	24,09	25,16	25,11	82,54	73,57	73,11
FEV	23,95	24,80	24,75	87,17	79,96	79,80
MAR	23,48	24,44	24,43	91,30	83,99	84,08
ABR	22,95	24,13	24,23	88,94	81,48	81,31
MAI	20,81	22,92	23,42	85,95	74,36	72,26
JUN	19,56	22,04	22,79	79,58	66,74	63,63
JUL	19,66	21,90	22,60	67,96	57,33	54,89
AGO	21,83	22,97	23,25	58,70	52,80	51,57
SET	23,36	24,13	24,18	50,82	46,30	45,47
OUT	25,22	25,56	25,41	63,96	59,15	59,02
NOV	23,28	24,33	24,37	83,79	76,22	75,53
DEZ	-	23,95	24,06	-	75,18	74,15

2021						
	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JAN	-	24,27	24,32	-	71,56	70,76
FEV	-	24,20	24,22	-	81,87	81,32
MAR	-	23,85	24,00	-	71,54	70,45
ABR	-	24,16	24,21	-	70,01	69,21
MAI	21,50	23,52	23,81	62,09	54,21	52,76
JUN	20,97	23,18	23,57	61,69	52,76	51,00
JUL	20,00	22,44	23,00	57,37	48,38	46,21
AGO	21,24	22,90	23,24	54,67	48,09	46,41
SET	24,26	24,86	24,78	47,50	44,62	43,91
OUT	25,36	25,67	25,48	67,02	62,86	62,52
NOV	23,08	24,26	24,28	89,19	81,74	81,13
DEZ	23,00	23,87	23,81	94,00	88,79	89,56

TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
2022					

	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JAN	22,64	23,54	23,57	89,80	84,83	85,25
FEV	22,90	23,65	23,72	92,19	87,98	87,93
MAR	22,63	23,63	23,75	85,05	79,87	79,30
ABR	22,30	23,70	23,86	83,51	76,18	75,29
MAI	19,85	22,50	23,10	76,23	65,09	62,95
JUN	18,31	21,50	22,37	70,91	57,94	54,65
JUL	19,45	21,79	22,39	66,64	57,05	54,39
AGO	20,87	22,59	22,94	58,54	51,63	49,71
SET	22,60	23,64	23,76	56,89	52,77	51,50
OUT	25,15	25,22	25,03	58,55	56,24	55,59
NOV	23,24	24,29	24,29	83,85	76,82	76,14
DEZ	22,71	23,71	23,76	93,20	87,34	87,08

2023					
------	--	--	--	--	--

	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JAN	22,58	23,53	23,56	92,49	87,60	87,41
FEV	22,63	23,65	23,73	85,46	80,67	79,86
MAR	23,00	23,96	24,01	81,84	76,99	76,10
ABR	22,75	24,03	24,09	85,38	78,54	77,45
MAI	20,90	23,21	23,53	79,87	69,58	67,54
JUN	19,75	22,49	23,00	73,46	62,01	59,16
JUL	20,08	22,40	22,86	66,12	56,94	54,28
AGO	21,66	23,26	23,46	66,21	59,55	57,71
SET	23,98	24,74	24,67	59,88	56,28	55,27
OUT	25,95	26,04	25,81	63,47	61,38	60,79
NOV	24,71	25,72	25,60	72,57	66,48	65,59
DEZ	24,67	25,70	25,68	72,81	66,23	59,68

2024					
------	--	--	--	--	--

	DES1	DES2	DES3	DES1	DES2	DES3
JAN	23,82	24,95	-	90,74	84,09	-
FEV	23,43	24,40	-	91,13	86,13	-
MAR	23,92	24,65	-	92,09	89,67	-
ABR	23,03	24,30	24,26	90,71	85,53	81,79
MAI	21,26	23,50	23,82	84,67	74,75	72,87
JUN	19,89	22,56	23,12	79,29	67,72	64,92

	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
	2024			DES1	DES2	DES3
JUL	18,46	21,66	22,46	71,74	59,01	55,43
AGO	21,14	22,86	23,18	63,45	56,85	54,57
SET	22,15	23,59	23,79	53,58	48,80	46,87
OUT	24,77	25,14	25,02	72,07	68,88	67,57
NOV	23,38	24,33	24,34	88,77	83,12	81,74
DEZ	23,66	24,30	24,24	93,95	90,73	91,23

Faz-se necessário esclarecer que em ambas as representações (Tabela e Gráficos) existem lacunas nos registros ocasionadas por defeitos nos equipamentos.

A análise dos dados permite concluir que as temperaturas mais altas e as mais baixas foram

registradas nos mesmos períodos, independentemente das zonas da caverna. As mais quentes em outubro e as mais frias em julho. Já em relação à umidade, observou-se o período mais seco em setembro e o mais úmido variando entre fevereiro e abril.

Lapa dos Desenhos – Médias mensais (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

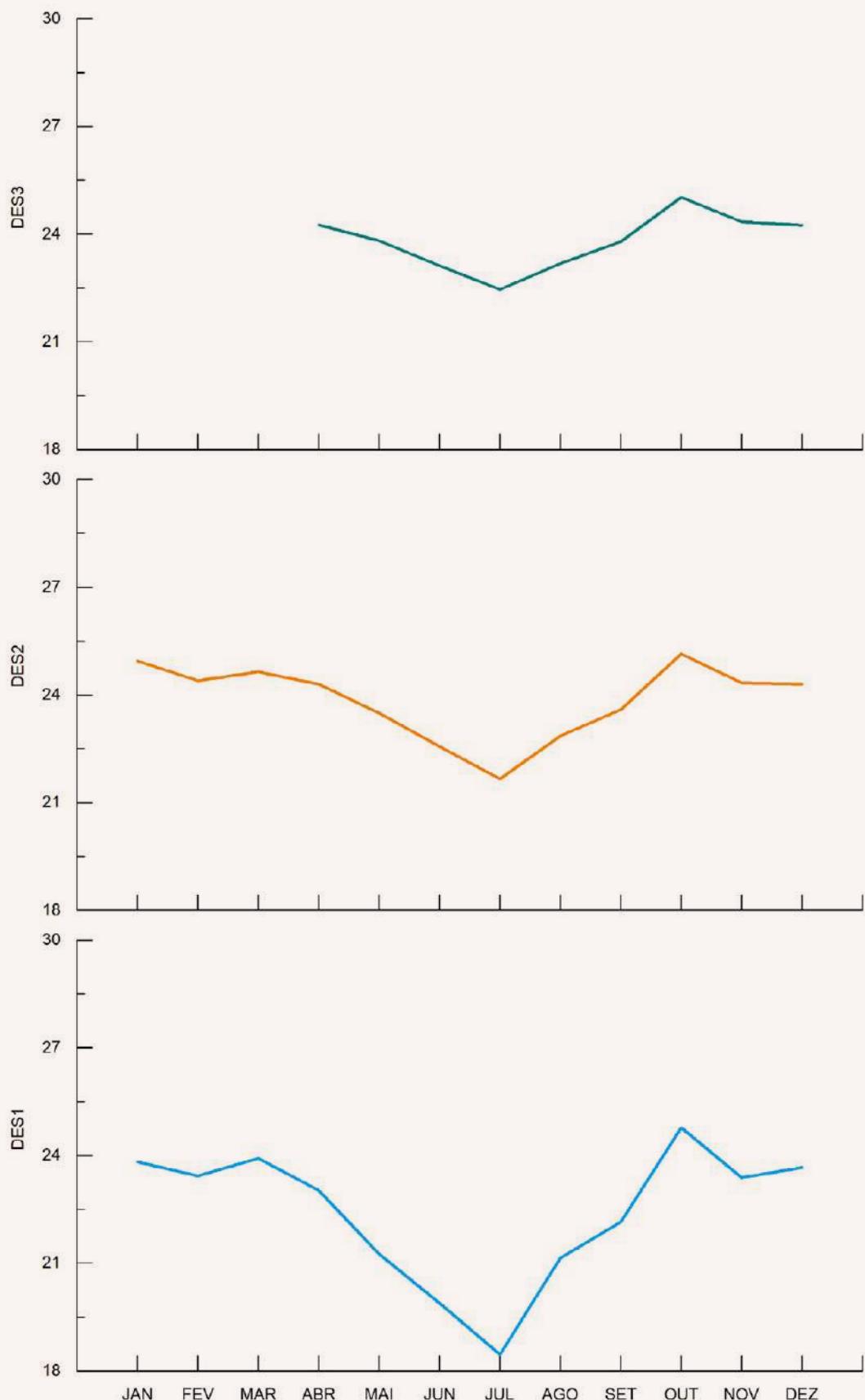


Figura 54: Curvas da sazonalidade anual da temperatura na Lapa dos Desenhos em 2024.

Lapa dos Desenhos – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

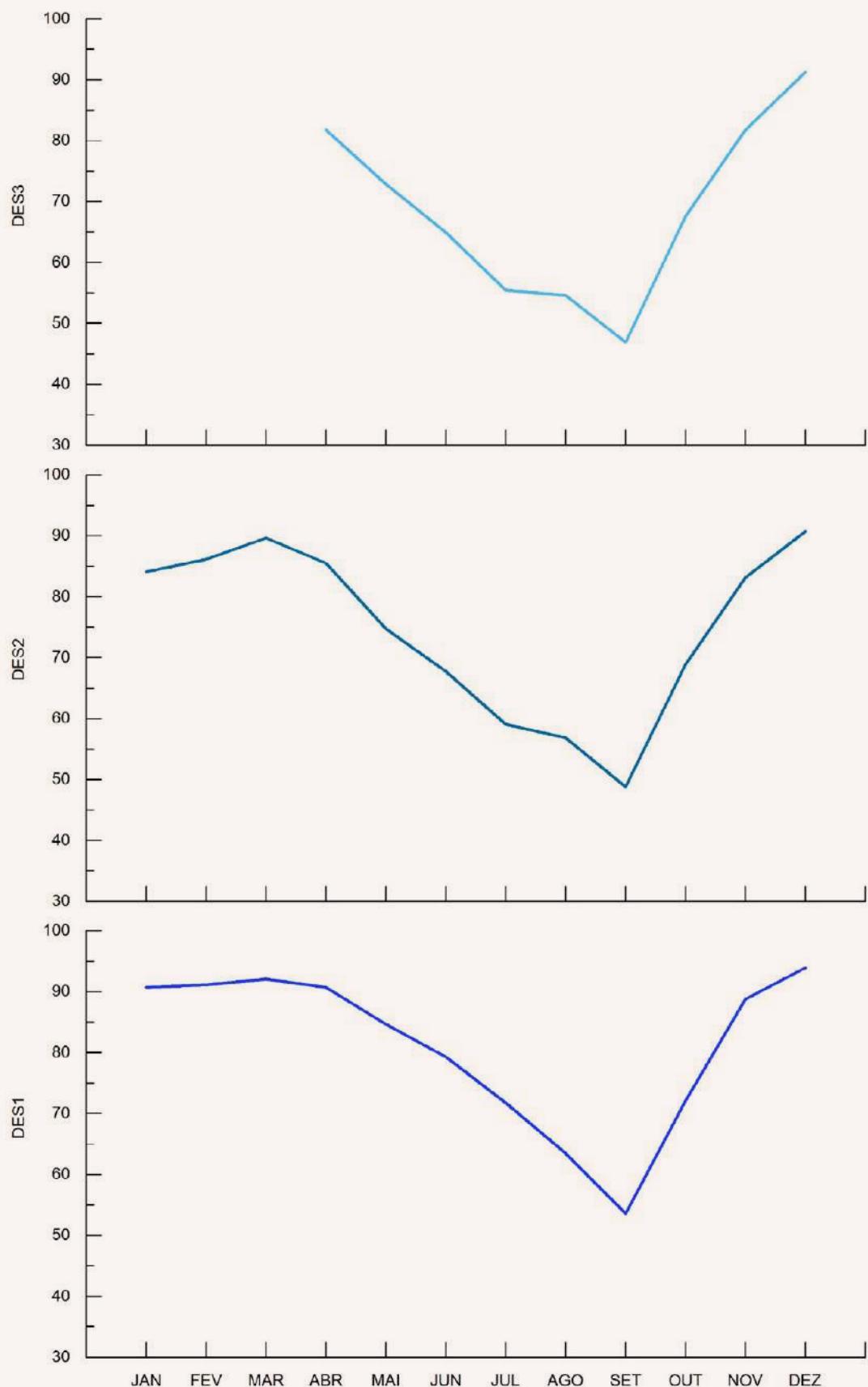


Figura 55: Curvas da sazonalidade anual da umidade relativa do ar na Lapa dos Desenhos em 2024.



LAPA DO CABOCLO

A lapa se encontra em um paredão recuado, na margem direita rio Peruaçu (Figura 56). Possui entrada única, projeção horizontal de 100 metros e desnível de 20 metros (Figura 57). Assim

como a Lapa dos Desenhos, a Lapa do Caboclo recebe visitação somente na parte abrigada da sua entrada, onde estão localizados os painéis de pintura rupestre.

Os maiores atrativos da Lapa do Caboclo são os fabulosos painéis de arte rupestre pré-histórica e o sedimento do piso com potencialidade arqueológica que se encontram na entrada da caverna (IBAMA, 2005).



Figura 56: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Lapa do Caboclo.

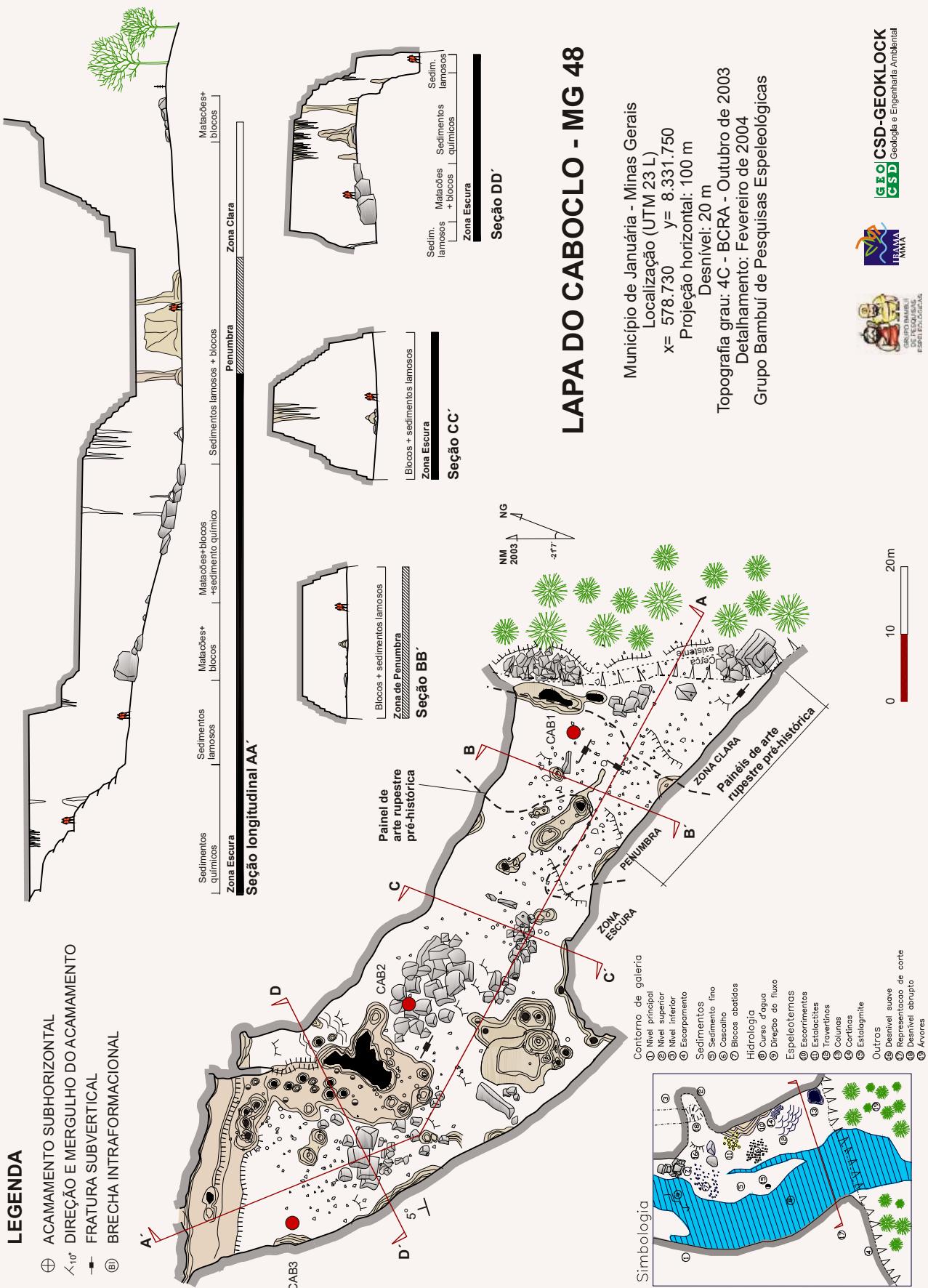


Figura 57: Mapa topográfico da Lapa do Caboclo (IBAMA, 2005).

O acesso ao interior da gruta é realizado por uma grande abertura retangular que mede aproximadamente 30 x 15 metros (Figura 58), localizada logo após o grande painel de arte rupestre.

No terço médio da cavidade, o piso torna-se mais inclinado e o teto mais alto. As proporções do conduto vão aumentando até atingir

a parte final e mais elevada da lapa, onde se encontram complexos conjuntos de espeleotemas. Devido a suas dimensões e morfologia, optou-se pela instalação de apenas três termo-higrômetros (indicados com o prefixo CAB), sendo um na zona de penumbra e dois na zona escura (Figura 57).



Figura 58: Aspectos da entrada da Lapa do Caboclo.

Sequenciamento anual

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A influência externa é muito grande na Lapa do Caboclo. Ao longo do ano, tanto a temperatura (Figura 59) quanto a umidade (Figura 60) no interior da caverna (CAB2 e CAB3) tem comportamentos muito parecidos com aquele registrado na região da entrada (CAB1). No

caso da temperatura, verifica-se que a amplitude vai diminuindo à medida que se atinge o setor mais distal. Em relação à umidade, a diminuição da amplitude é bem mais discreta e tende a uma certa homogeneidade em todos os setores da caverna.

Lapa do Caboclo – Temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

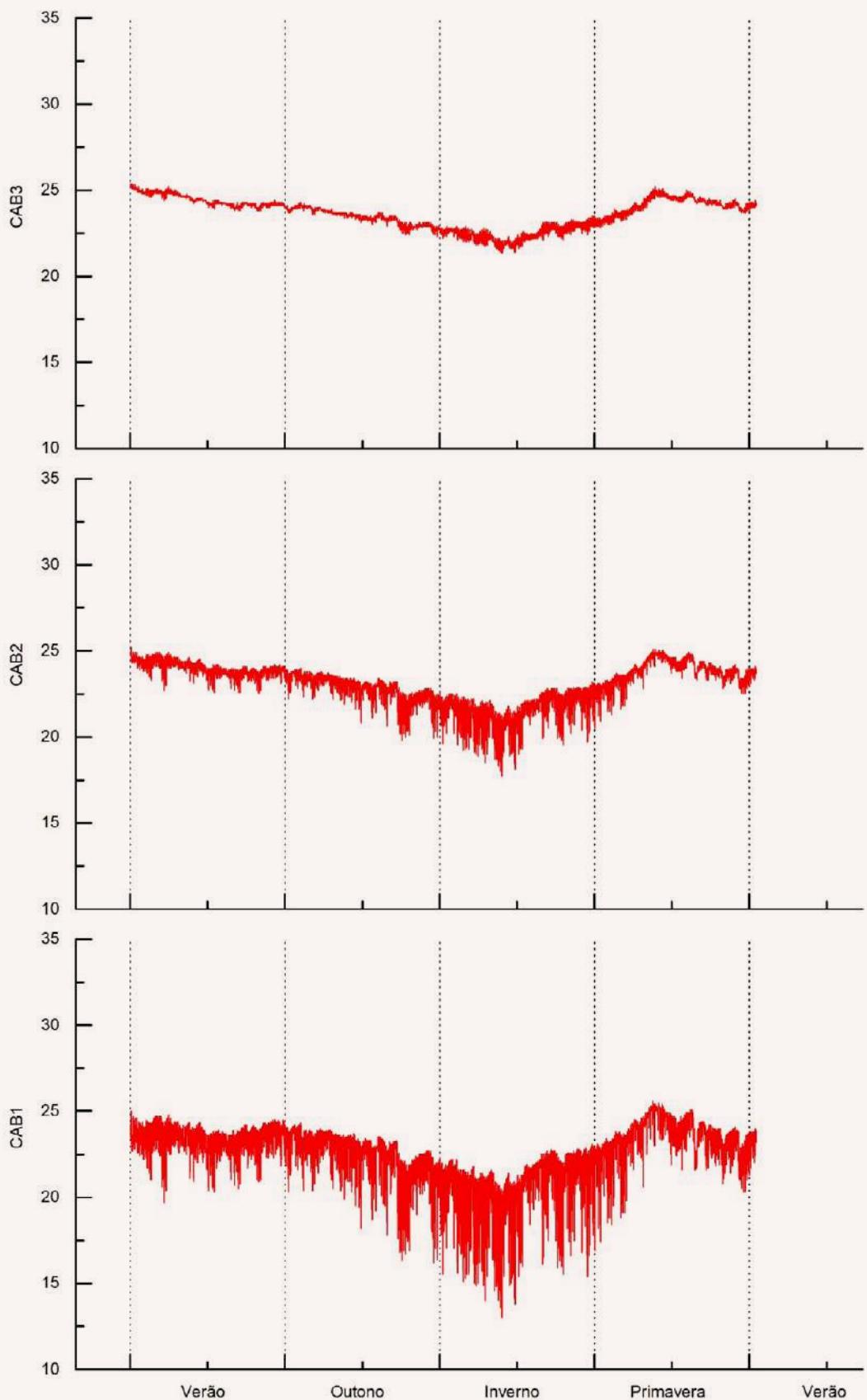


Figura 59: Médias anuais da temperatura na Lapa do Caboclo em 2024.

Lapa do Caboclo – Umidade (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

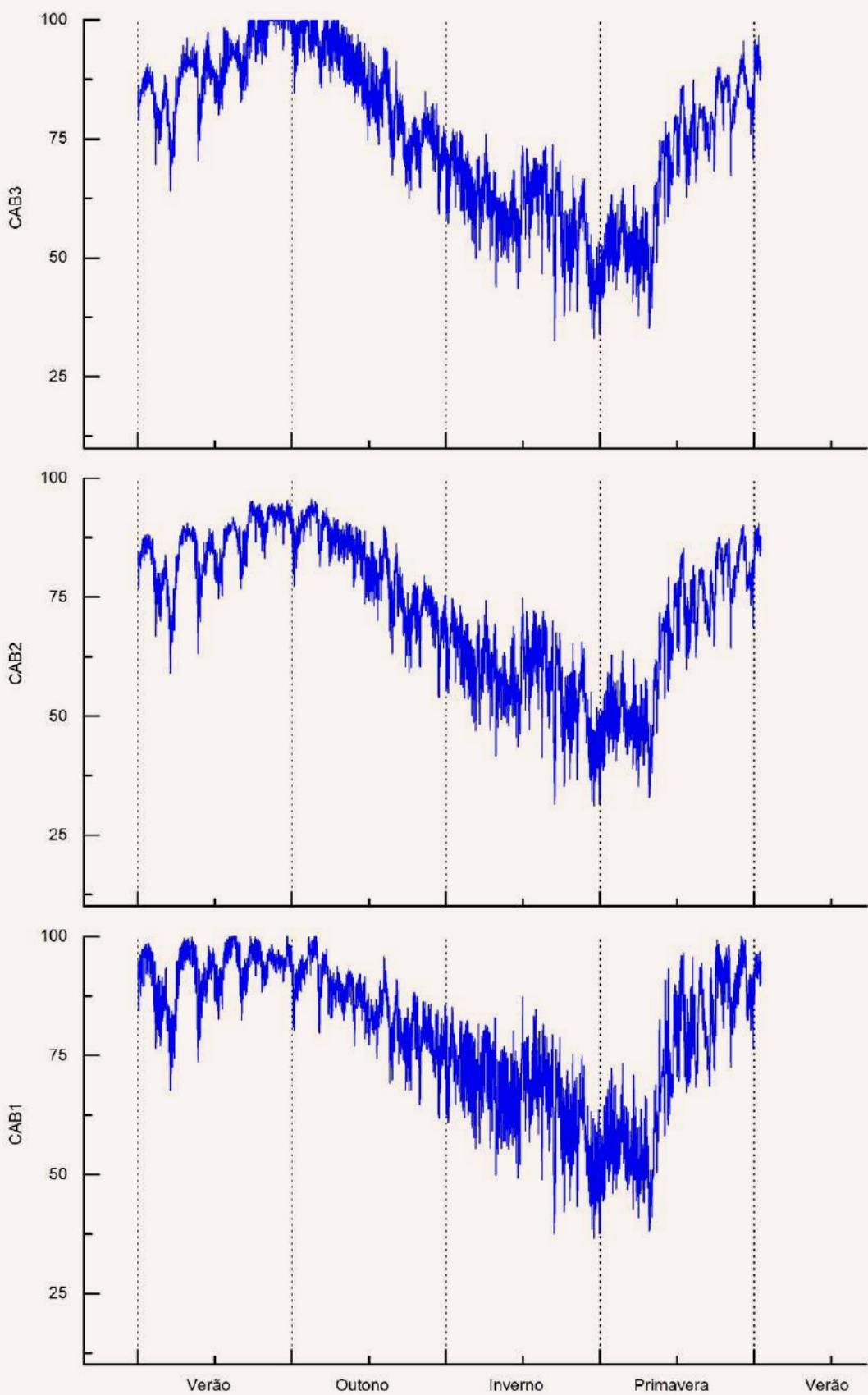


Figura 60: Médias anuais da umidade relativa do ar na Lapa do Caboclo em 2024.

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A contagem absoluta dos registros apresenta a distribuição de frequência (Figura 61) das medidas realizadas, explicitando a diminuição da variação da temperatura e da umidade à medida que se distancia da entrada. Em relação à temperatura, os registros em CAB1 apresentam maior variação devido à influência externa, enquanto variações menores são observadas

nos setores medial (CAB2) e distal (CAB3) da Lapa do Caboclo.

Diferentemente da temperatura, a umidade relativa do ar observada nos três setores da caverna apresenta variação bem pequena, com tendência à uniformidade. Outro ponto que merece destaque em relação à umidade é que são raros os registros próximos à saturação em CAB2 e CAB3.

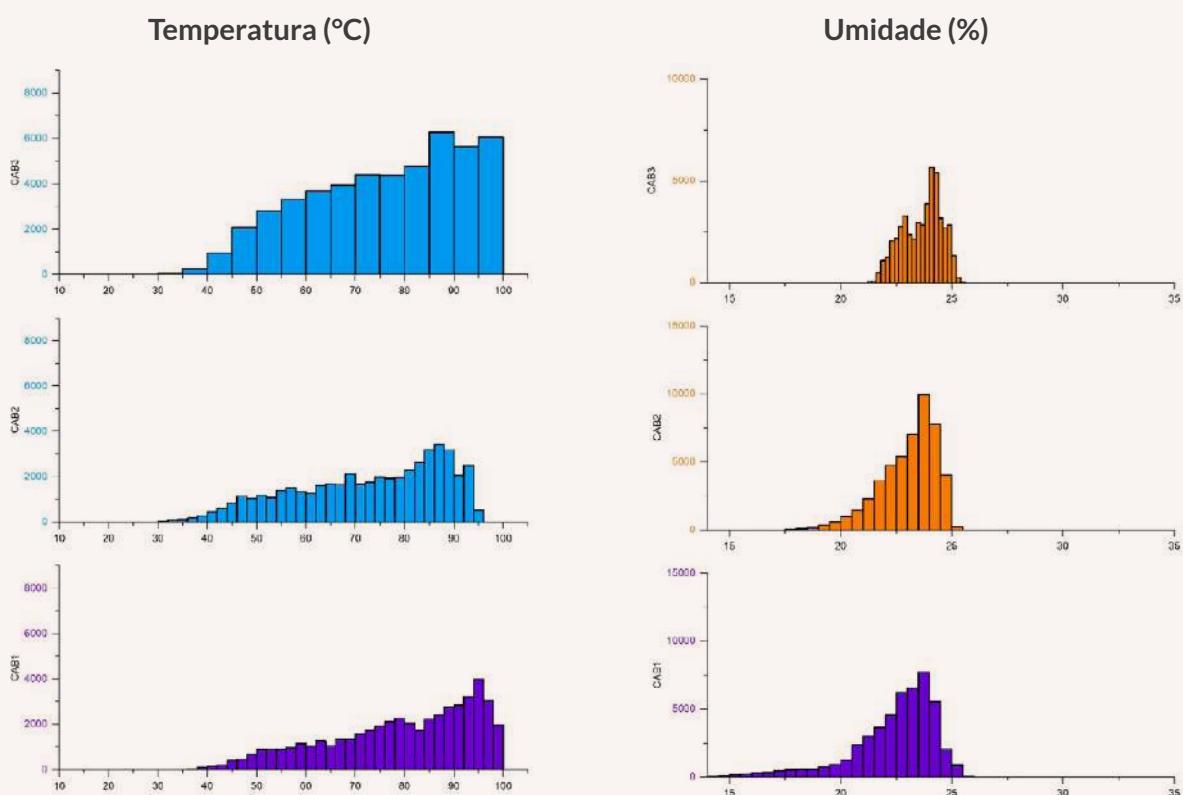


Figura 61: Contagem absoluta de registros de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Caboclo em 2024.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

Medidas estatísticas descritivas (Tabela 8) foram utilizadas para reproduzir a situação geral dos diferentes ambientes onde se localizam as estações de medição. A análise desses dados

e das características morfológicas da caverna proporcionam uma melhor compreensão do microclima da Lapa do Caboclo.

Tabela 8: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Caboclo.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2018										
CAB3	24,24	0,72	22,40	24,40	28,30	62,70	13,58	29,20	77,00	91,50
CAB2	23,75	0,98	20,10	24,00	27,50	62,99	14,24	27,60	79,50	92,20
CAB1	22,89	2,26	14,20	23,80	33,90	69,81	16,76	21,80	99,90	99,90
2019										
CAB3	24,53	0,67	22,70	24,70	26,60	59,38	13,96	23,20	50,00	90,10
CAB2	24,18	0,92	20,80	24,50	26,80	61,54	14,26	23,50	49,90	93,00
CAB1	23,25	1,83	13,60	24,20	27,10	66,51	15,80	24,90	52,60	97,90
2020										
CAB3	24,00	0,93	21,90	24,40	26,00	68,37	13,97	27,10	81,40	93,80
CAB2	23,52	1,19	20,00	23,90	27,10	76,64	12,40	27,10	86,10	96,20
CAB1	22,37	1,94	13,20	23,50	26,20	76,43	15,42	31,60	94,40	99,40
2021										
CAB3	23,99	0,78	22,40	24,00	26,10	61,01	16,92	20,90	52,30	98,70
CAB2	23,22	1,22	18,90	23,00	26,10	60,61	16,81	20,30	46,50	94,60
CAB1	22,44	1,94	14,10	22,60	26,50	67,84	18,02	22,00	54,60	99,90
2022										
CAB3	23,15	0,76	21,20	23,20	25,20	72,07	16,25	28,20	91,00	99,90
CAB2	22,43	1,24	16,80	22,90	24,90	70,04	15,95	26,90	86,70	95,50
CAB1	21,82	1,97	11,40	23,00	25,60	76,48	15,74	32,00	99,90	99,90
2023										
CAB3	23,71	1,02	21,80	23,30	25,80	70,27	14,22	27,90	69,10	99,90
CAB2	23,27	1,31	18,70	23,00	25,70	67,51	13,63	26,90	66,80	94,80
CAB1	22,84	1,85	14,10	22,90	26,30	73,61	13,35	33,20	73,50	99,90
2024										
CAB3	23,61	0,88	21,30	24,20	25,40	76,19	16,03	32,50	99,90	99,90
CAB2	23,01	1,25	17,70	24,00	25,20	72,69	15,00	31,10	87,90	95,60
CAB1	22,39	1,90	13,00	23,60	25,60	79,22	14,80	36,50	94,60	99,90

Em relação à temperatura, a principal característica é que as maiores médias foram observadas na parte mais distante da entrada, onde também

estão registradas as menores variações térmicas. É importante destacar que esse setor da caverna é o que apresenta o maior gradiente altimétrico.

No que se refere à umidade, percebeu-se uma discreta alternância em relação às taxas de umidade mais baixas entre os setores CAB2 e CAB3 durante o período do monitoramento. O local inicialmente escolhido para a instalação de CAB2 apresentou grande vulnerabilidade ao ataque de mocós (*Kerodon rupestris*). Por esse

motivo, diversos recursos e reposicionamentos do equipamento no mesmo local foram testados, porém sem sucesso. Um novo local, mais seguro, foi encontrado para a instalação do equipamento; entretanto, acredita-se que as características físicas desse ponto tenham afetado a medição da umidade.

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar

A correlação estabelecida entre desvio padrão e temperatura média (Figura 62) permite observar, do ponto de vista estatístico, o comportamento das diferentes zonas microclimáticas da Lapa do Caboclo. A região próxima à entrada (CAB1) se destaca dos demais setores devido à grande influência externa. Nesse setor da caverna

são observadas as maiores variações de temperatura e umidade.

A região medial da lapa, assim como a distal, apresentou variações menores dos parâmetros climáticos, caracterizados por serem mais quentes e mais secos do que na região da entrada.



Figura 62: Gráficos de dispersão dos dados de média e desvio padrão da temperatura e umidade relativa do ar da Lapa do Caboclo para o ano de 2024.

Zoneamento térmico e hídrico

A interpolação dos valores das médias (Figura 63) e desvio padrão (Figura 64) mostra a distribuição espacial da temperatura do ar para o ano de 2024. A combinação desses mapas deu origem ao Zoneamento Térmico (Figura 65). Os valores interpolados das médias da umidade (Figura 66) e desvio padrão (Figura 67) foram

combinados e deram origem ao Zoneamento Hídrico (Figura 68) da Lapa dos Desenhos.

Tanto Zoneamento Térmico quanto o Zoneamento Hídrico foram elaborados considerando os dados coletados em todo o período desta pesquisa, que podem ser verificados no material complementar.

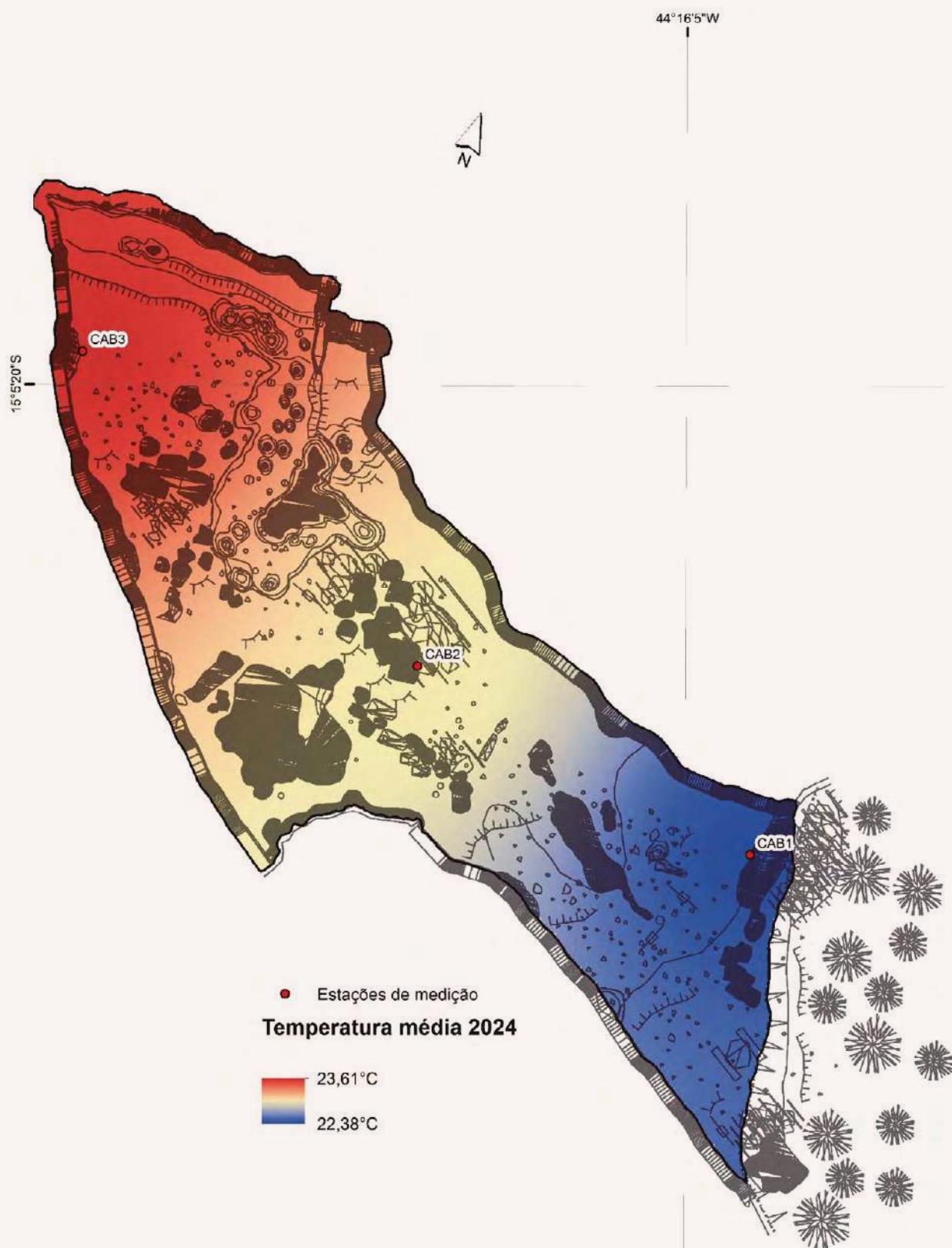


Figura 63: Espacialização dos valores médios da temperatura registrada na Lapa do Caboclo em 2024.

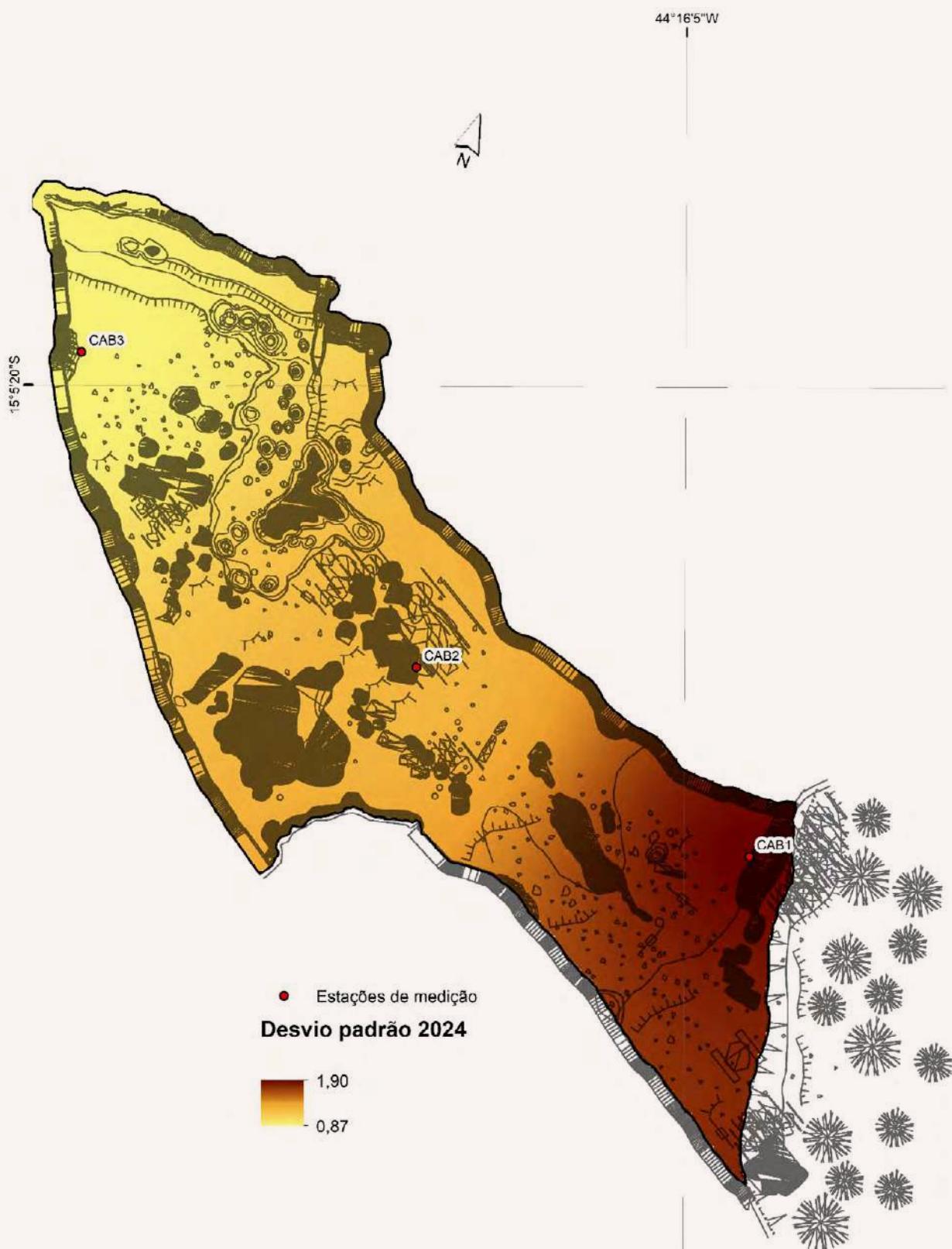


Figura 64: Espacialização dos valores de desvio padrão da temperatura registrada na Lapa do Caboclo em 2024.

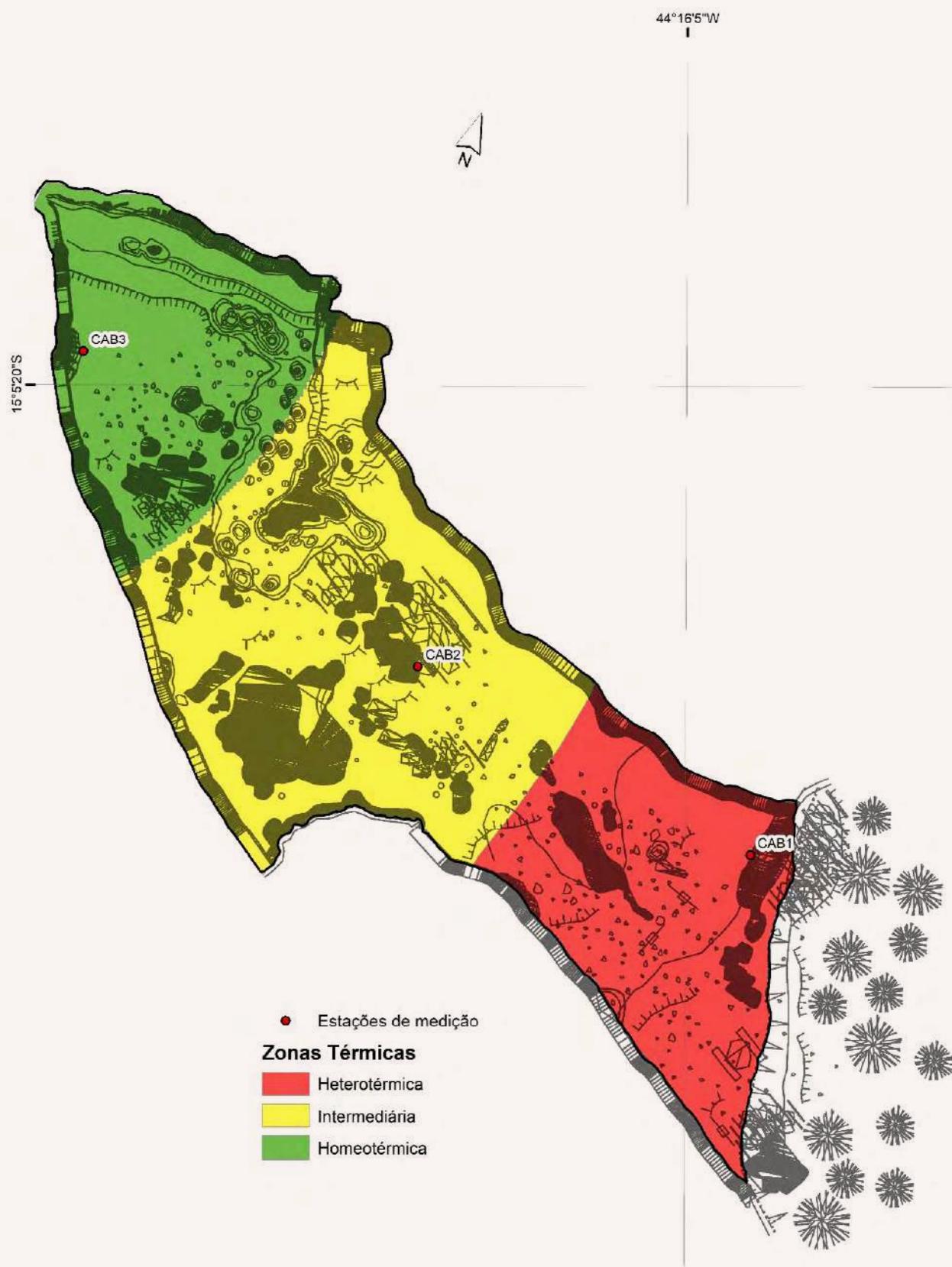


Figura 65: Zoneamento térmico da Lapa do Caboclo.

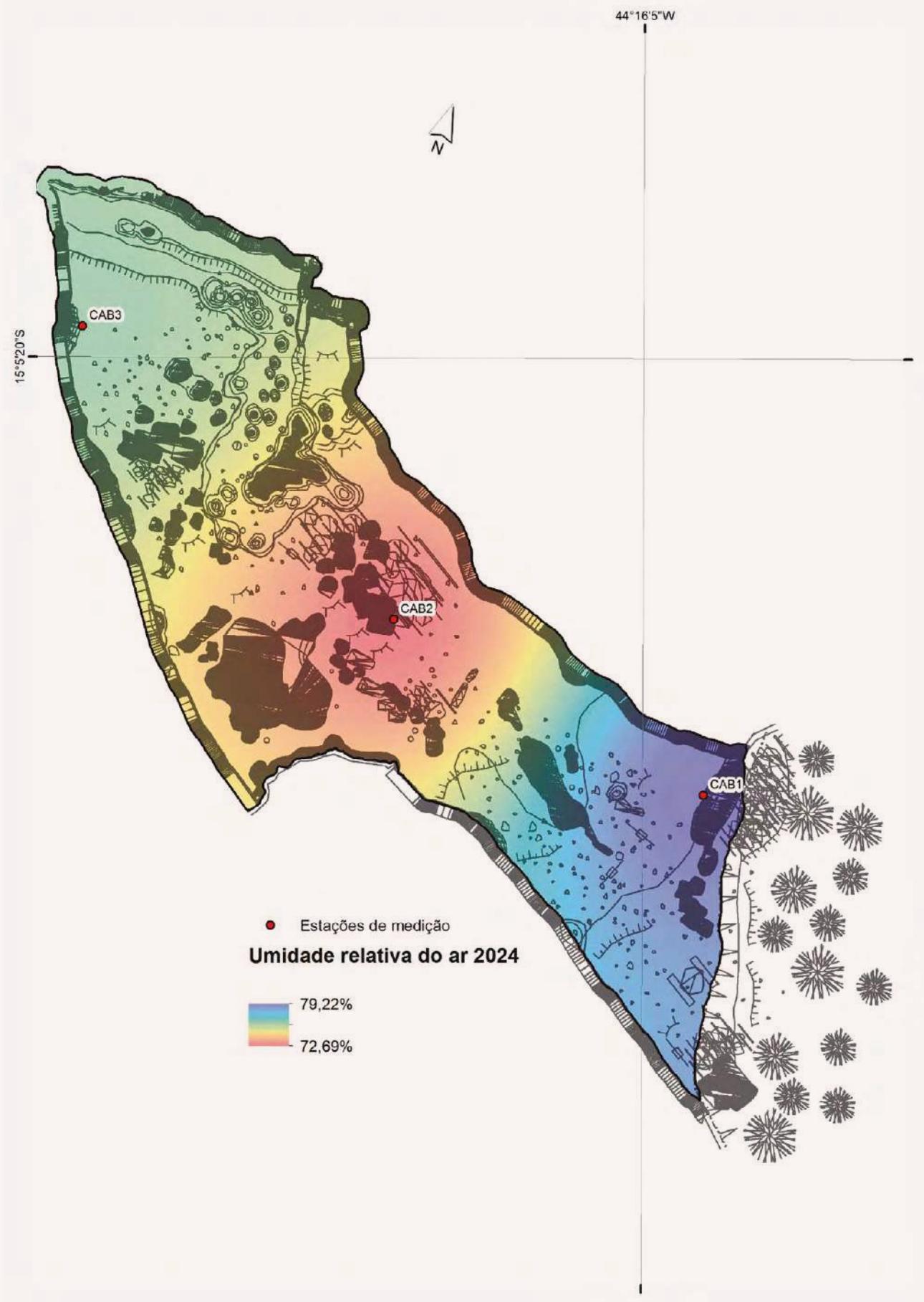


Figura 66: Espacialização dos valores médios da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Caboclo em 2024.

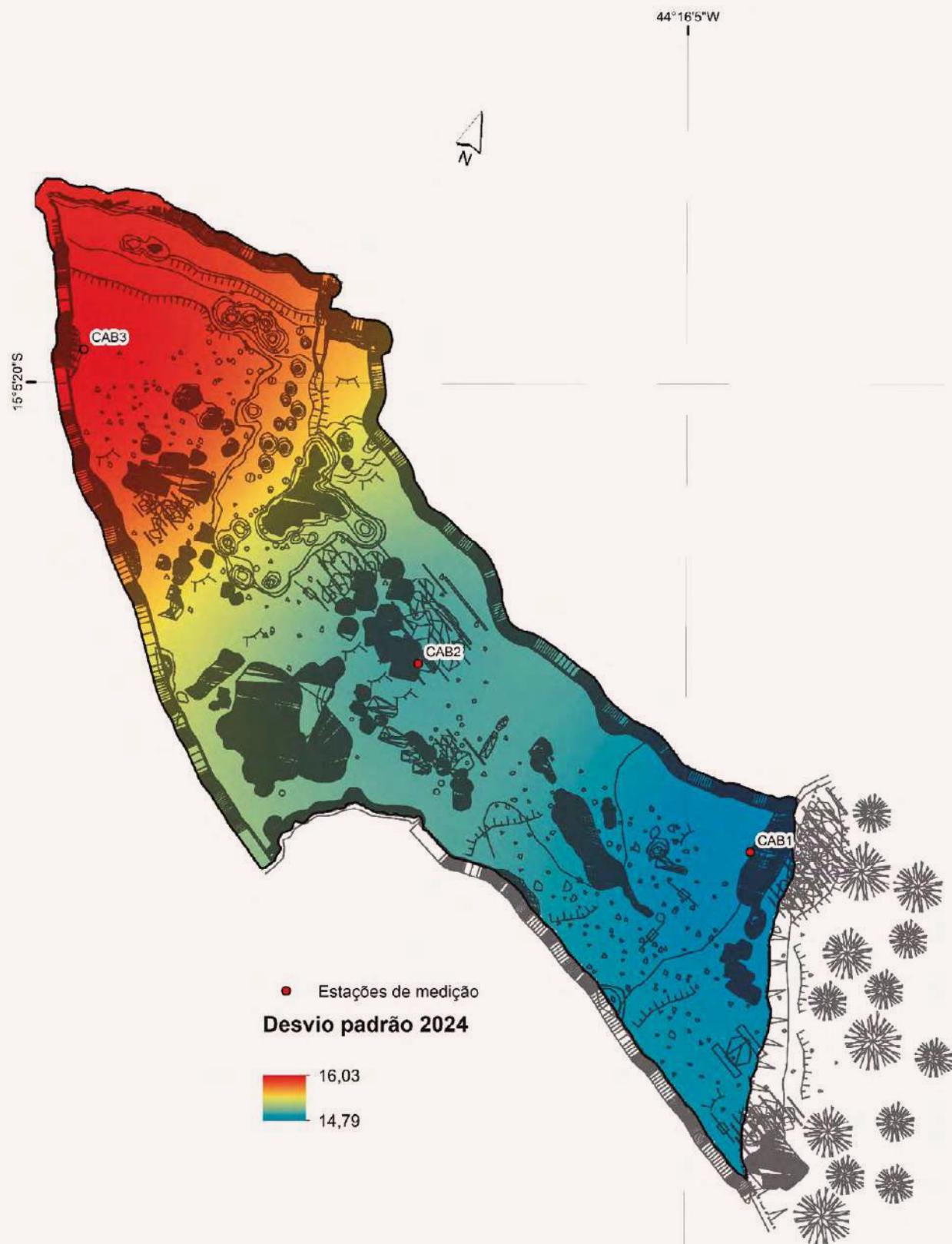


Figura 67: Espacialização dos valores de desvio padrão da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Caboclo em 2024.

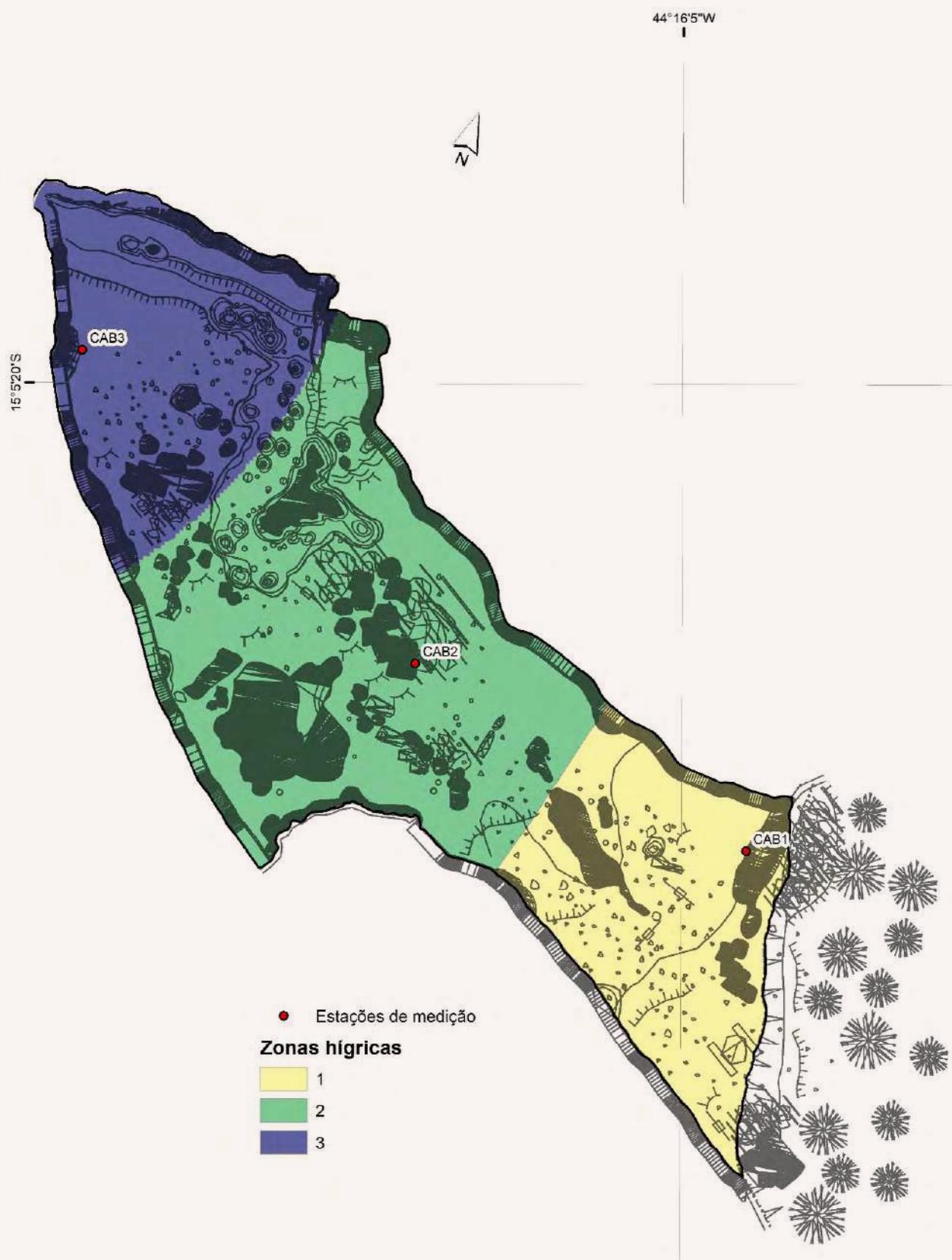


Figura 68: Zoneamento higríco da Lapa do Caboclo.

O zoneamento microclimático da Lapa do Caboclo apresenta três setores distintos, tanto para a representação das zonas térmicas, quanto para as higricas. A leitura dos mapas aliada

à análise dos gráficos de dispersão (Figura 62) destaca que a zona de entrada, com maior influência externa, apresenta um comportamento microclimático diferente das demais.

Temporalidade mensal

Tendências centrais e variabilidade térmica e higrica

A sazonalidade da temperatura no PNCP (IBAMA, 2005) se caracteriza basicamente pela existência de dois padrões térmicos distintos, sendo um com temperaturas mais quentes, de setembro a março (primavera e verão), e outro com temperaturas mais frias, entre abril e agosto (outono e inverno). A Tabela 9 registra os valores médios mensais da temperatura e umidade em cada uma das estações microclimáticas instaladas na Lapa do Caboclo, enquanto as Figuras 69 e 70 apresentam as curvas da sazonalidade anual nos diferentes ambientes da caverna para o ano de

2024. Faz-se necessário esclarecer que em ambas as representações (Tabela e Gráficos) existem lacunas nos registros ocasionadas por defeitos nos equipamentos.

A análise dos dados permite concluir que as temperaturas mais altas e as mais baixas foram registradas nos mesmos períodos, independentemente das zonas da caverna. As mais quentes em outubro e as mais frias em junho e julho. Já em relação à umidade, observou-se o período mais seco em setembro e o mais úmido variando entre fevereiro e março.

Tabela 9: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registradas nas estações microclimáticas da Lapa do Caboclo durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
	2018			CAB1	CAB2	CAB3
JAN	25,08	24,48	24,89	68,05	64,42	64,20
FEV	23,17	24,01	24,55	85,58	76,56	75,82
MAR	23,18	23,97	24,43	86,30	79,01	79,31
ABR	22,60	23,55	24,08	77,99	70,63	71,14
MAI	21,84	23,11	23,79	69,61	61,27	61,32
JUN	20,95	22,56	23,37	64,38	55,48	55,09
JUL	20,42	22,14	22,98	56,69	48,18	48,20
AGO	22,53	23,35	23,79	55,07	49,44	49,47
SET	23,82	24,27	24,50	48,60	44,76	44,94
OUT	25,14	25,43	25,53	60,26	55,87	55,47
NOV	23,32	24,31	24,72	81,63	74,50	73,14
DEZ	22,66	23,83	24,29	84,83	76,74	75,26

TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
2019					

	CAB1	CAB2	CAB3	CAB1	CAB2	CAB3
JAN	23,73	24,37	24,60	68,07	62,34	61,91
FEV	23,92	24,69	24,96	79,80	73,70	71,86
MAR	23,67	24,51	24,83	84,35	78,37	76,48
ABR	23,27	24,20	24,58	85,06	78,89	76,88
MAI	22,76	24,00	24,44	74,65	67,89	65,58
JUN	22,11	23,47	24,01	61,91	56,08	53,98
JUL	20,71	22,69	23,44	56,42	49,48	47,36
AGO	22,26	23,29	23,76	54,72	50,32	48,03
SET	23,84	24,44	24,64	49,59	46,98	44,90
OUT	25,27	25,44	25,46	52,96	51,61	48,46
NOV	25,67	25,88	25,92	59,13	59,61	54,67
DEZ	24,58	25,32	25,59	72,83	70,22	65,12

2020					
------	--	--	--	--	--

	CAB1	CAB2	CAB3	CAB1	CAB2	CAB3
JAN	23,68	24,80	25,20	83,34	78,57	72,93
FEV	23,47	24,41	24,81	87,58	83,25	79,33
MAR	23,06	24,04	24,47	91,31	86,79	83,97
ABR	22,77	23,78	24,22	87,78	84,02	82,13
MAI	20,68	22,57	23,31	84,29	75,69	74,16
JUN	19,68	21,82	22,65	77,40	-	65,88
JUL	19,92	21,74	22,50	66,29	-	56,55
AGO	21,53	22,57	23,04	59,41	-	52,72
SET	23,30	23,82	24,00	51,05	-	46,38
OUT	24,59	25,26	25,19	63,91	57,20	58,47
NOV	23,06	23,98	24,45	83,07	73,77	74,74
DEZ	22,69	23,45	24,14	82,19	73,90	73,91

2021					
------	--	--	--	--	--

	CAB1	CAB2	CAB3	CAB1	CAB2	CAB3
JAN	23,21	23,79	24,30	78,40	70,79	71,33
FEV	22,86	23,56	24,19	89,99	81,25	81,24
MAR	22,21	23,09	23,89	80,88	71,85	71,74
ABR	22,81	23,44	24,02	77,75	70,14	70,70
MAI	21,39	22,51	23,69	63,45	55,19	54,51
JUN	21,43	22,54	23,56	60,50	52,80	52,62

TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
2021					

	CAB1	CAB2	CAB3	CAB1	CAB2	CAB3
JUL	20,57	21,82	23,04	55,45	47,91	47,72
AGO	21,47	22,32	23,20	54,08	47,58	47,61
SET	24,00	24,20	24,59	48,09	43,56	44,60
OUT	24,77	25,03	25,35	66,68	60,74	61,49
NOV	22,83	23,74	24,41	88,57	79,04	79,90
DEZ	22,57	23,23	23,92	95,48	79,04	79,90

2022					
	CAB1	CAB2	CAB3	CAB1	CAB2

JAN	22,20	22,61	23,36	93,04	87,98	89,67
FEV	22,38	22,70	23,33	95,01	90,43	92,79
MAR	22,38	22,57	23,11	87,78	83,73	87,47
ABR	22,33	22,63	23,21	83,71	78,46	80,86
MAI	20,37	21,51	22,62	73,30	65,60	69,05
JUN	18,91	20,47	21,99	68,09	58,61	59,63
JUL	20,07	21,07	22,08	64,82	57,31	58,15
AGO	21,17	21,88	22,63	57,75	51,21	52,20
SET	22,38	22,83	23,34	58,23	52,54	54,19
OUT	24,36	24,33	24,43	60,50	55,19	57,41
NOV	22,92	23,59	24,10	83,68	75,53	76,96
DEZ	22,42	23,59	24,10	93,27	75,53	76,96

2023					
	CAB1	CAB2	CAB3	CAB1	CAB2

JAN	22,26	22,65	23,27	94,20	89,34	90,94
FEV	22,29	22,51	22,97	88,32	84,27	90,57
MAR	23,00	22,99	23,26	82,00	77,66	82,32
ABR	22,73	23,13	23,46	83,78	77,43	81,04
MAI	21,51	22,41	23,08	76,12	68,32	70,91
JUN	20,95	21,92	22,71	68,30	60,58	62,66
JUL	20,77	21,75	22,61	63,17	55,49	57,06
AGO	22,01	22,59	23,16	63,95	57,70	59,62
SET	23,95	24,02	24,19	59,72	54,48	57,34
OUT	25,24	25,15	25,17	64,17	59,28	62,15
NOV	24,54	24,95	25,24	70,71	63,67	65,27
DEZ	24,78	25,17	25,42	69,87	62,53	64,35

	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)		
	2024			CAB1	CAB2	CAB3
	CAB1	CAB2	CAB3			
JAN	23,6	24,3	24,9	90,6	81,8	84,4
FEV	23,1	23,8	24,3	92,4	84,2	88,9
MAR	23,5	23,7	24,1	94,4	91,1	98,4
ABR	23,0	23,2	23,8	91,0	88,2	94,0
MAI	21,8	22,4	23,2	82,3	77,0	79,8
JUN	20,8	21,8	22,7	75,3	67,7	70,4
JUL	19,3	20,8	22,1	68,5	59,1	60,8
AGO	21,3	22,0	22,7	63,4	56,4	58,6
SET	22,5	23,0	23,4	53,6	47,8	50,3
OUT	24,3	24,4	24,6	71,8	65,7	68,7
NOV	23,1	23,7	24,2	87,8	80,1	83,2
DEZ	23,3	23,7	24,1	93,4	87,1	91,7

As duas figuras a seguir representam graficamente os dados da Tabela 9, onde é possível verificar que o comportamento da temperatura observado em DES1 se repete nos demais setores,

porém com variações um pouco menos acentuadas. Em relação à umidade, percebe-se que as variações apresentadas entre as diferentes estações de medição ao longo do ano são muito discretas.

Lapa do Caboclo - Entrada.



Lapa do Caboclo – Médias mensais (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

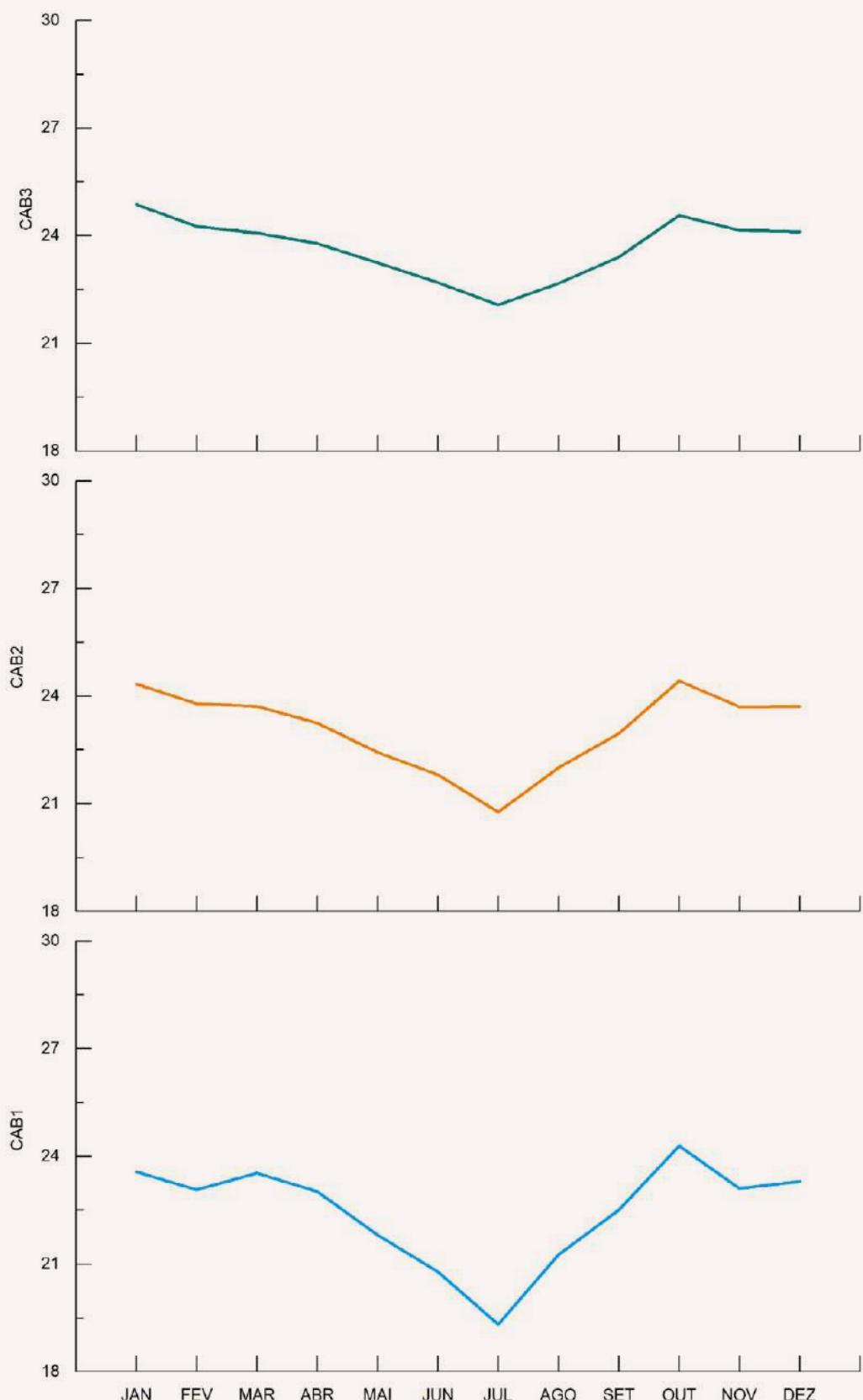


Figura 69: Curvas da sazonalidade anual da temperatura na Lapa do Caboclo em 2024.

Lapa do Caboclo – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

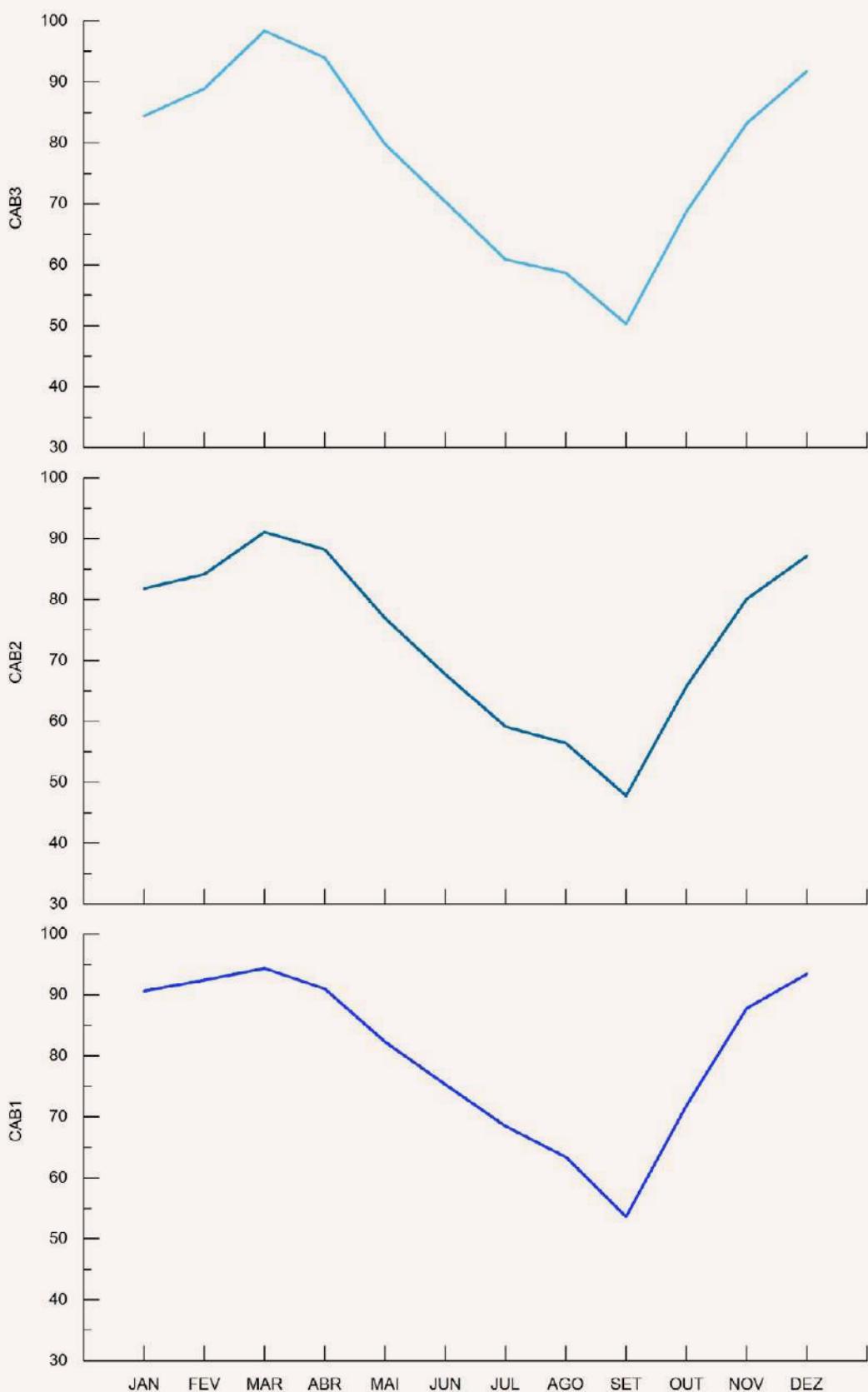


Figura 70: Curvas da sazonalidade anual da umidade relativa do ar na Lapa do Caboclo em 2024.



LAPA DO CARLÚCIO

A caverna se encontra na margem esquerda do rio Peruaçu, em um dos paredões do cânion (Figura 71). Possui entrada única, com projeção horizontal de 160 metros e desnível de 12 metros (Figura 72), e recebe visitação em todo o seu salão de entrada.

Além da beleza cênica encontrada na Lapa do Carlúcio e seu entorno, a caverna é também um importante sítio fossilífero, com registros que datam até 9.380 anos antes do presente (Oliveira, 2008).

Encontrou-se um total de 1.479 ocorrências de subfósseis na Lapa do Carlúcio, sendo a grande maioria relativas a conchas de moluscos terrestres das famílias *Megalobuliminidae* e *Bulimulidae* (Oliveira, 2008)

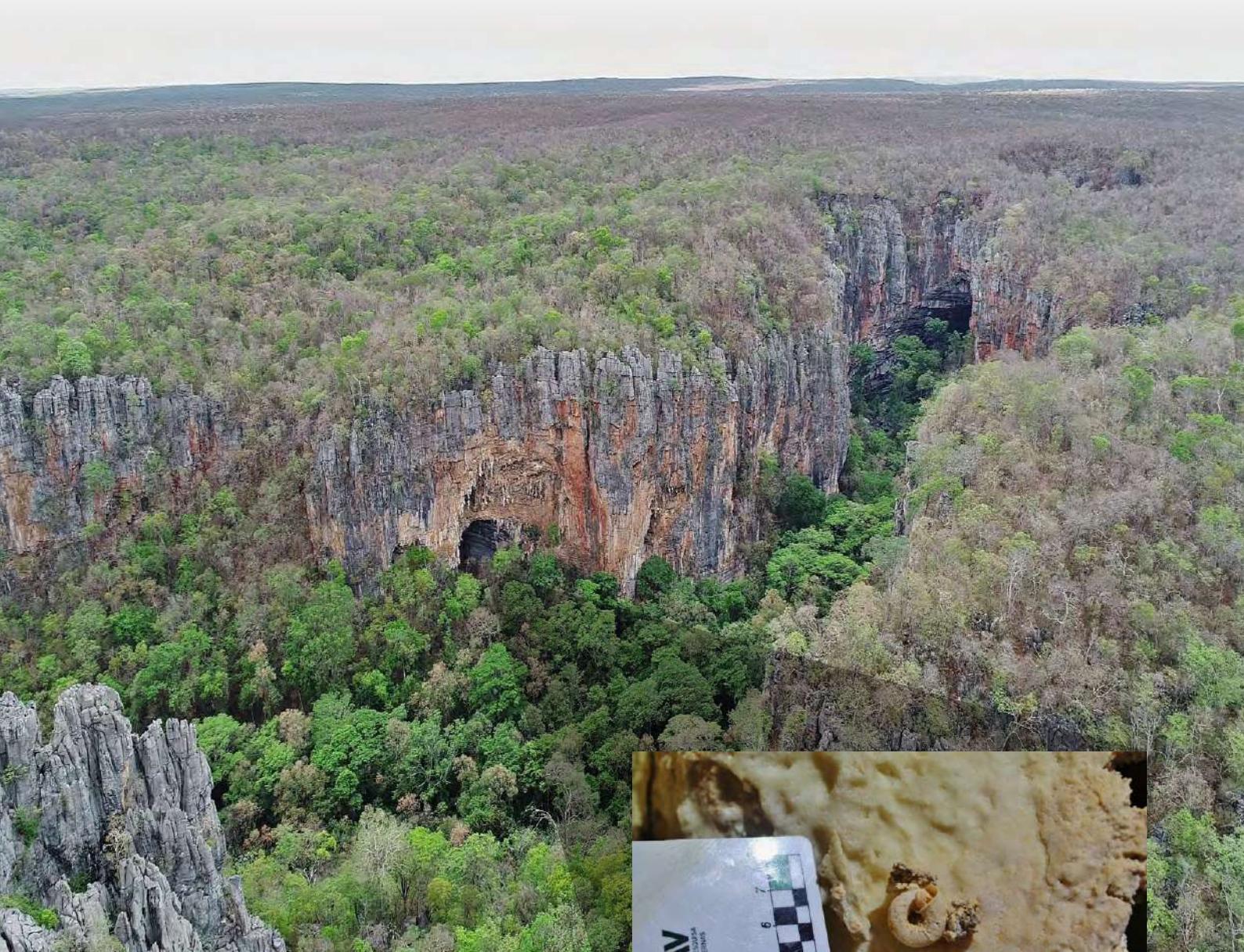


Figura 71: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Lapa do Carlúcio em primeiro plano e entrada da Lapa do Brejal ao fundo do cânion.



LAPA DO CARLÚCIO - MG 67

LEGENDA

- ⊕ ACAMAMENTO SUBHORIZONTAL
- ↖ DIREÇÃO E MERGULHO DO ACAMAMENTO
- FRATURA SUBVERTICAL
- Ⓑ BRECHA INTRAFORMACIONAL

Município de Itacarambi - Minas Gerais
 Localização (UTM 23 L)
 X=579.224 y=8.332.151
 Projeção horizontal: 160 m
 Desnível: 12 m

Topografia grau: 4C - BCRA - Outubro de 2003
 Detalhamento: Fevereiro de 2004
 Grupo Bambu de Pesquisas Espeleológicas

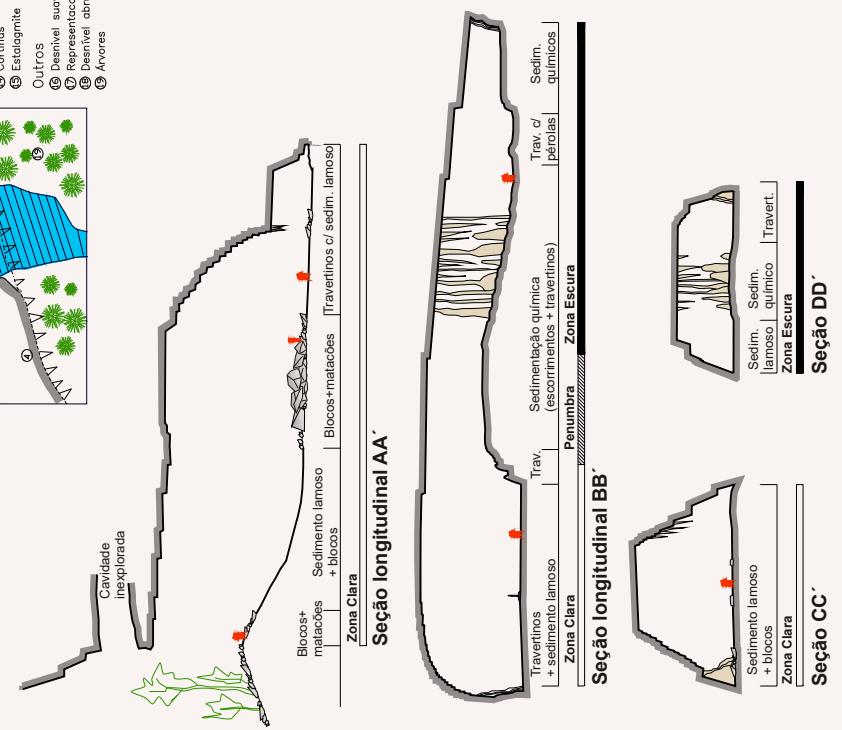
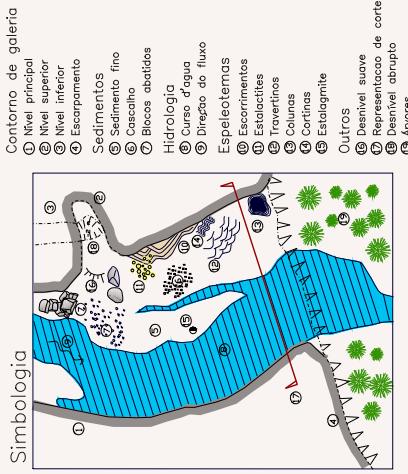
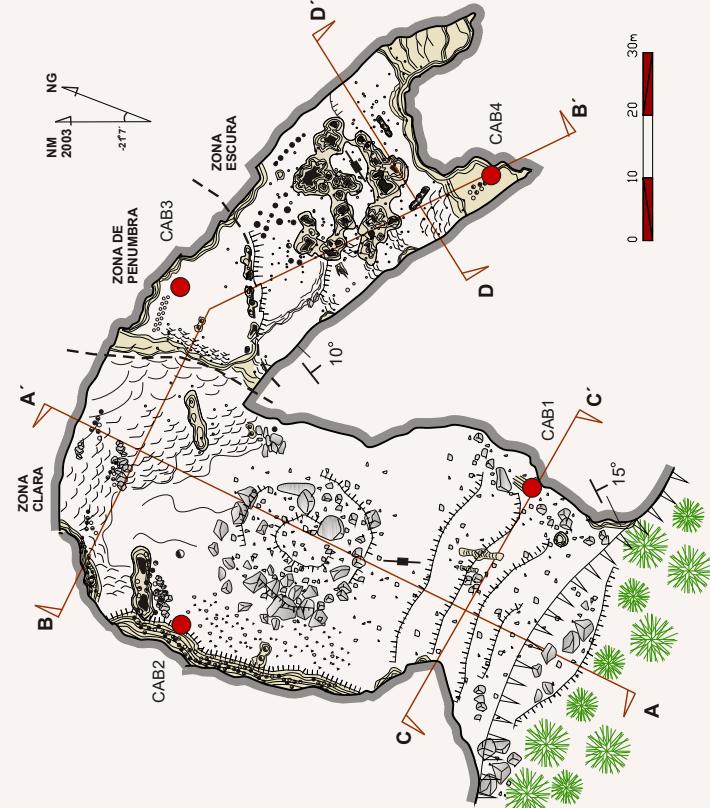


Figura 57: Mapa topográfico da Lapa do Caboclo (IBAMA, 2005).

O grande pórtico que dá acesso ao interior da Lapa do Carlúcio mede aproximadamente 35 x 37 metros. Ele pode ser alcançado após um forte aclive, 20 metros acima do leito do rio Peruaçu, e permite fácil acesso ao monumental salão de entrada da caverna (Figura 73).

Esse primeiro salão, que facilmente ultrapassa 30 metros de altura, se desenvolve por mais de 100 metros, encerrando a zona clara da caverna. Após este setor, existe uma forte inflexão

e o conduto se volta para leste, onde tem início a zona de penumbra.

Esse último segmento da caverna se estende por mais 60 metros, porém é mais estreito e de menor altura que o de entrada. Devido às características morfológicas da lapa, foram instalados quatro termo-higrômetros (indicados pelo prefízo CAR), sendo dois na zona clara, um na zona de penumbra e um na zona escura (Figura 72).



Figura 73: Aspectos do salão de entrada da Lapa do Carlúcio.

Sequenciamento anual

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Conforme pode ser observado nas Figuras 74 e 75, tanto a temperatura quanto a umidade têm comportamento muito parecido ao longo da caverna. Especificamente no que se refere à

temperatura, verifica-se a redução gradual da amplitude conforme se avança para o final do conduto (CAR4).

Lapa do Carlúcio – Temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

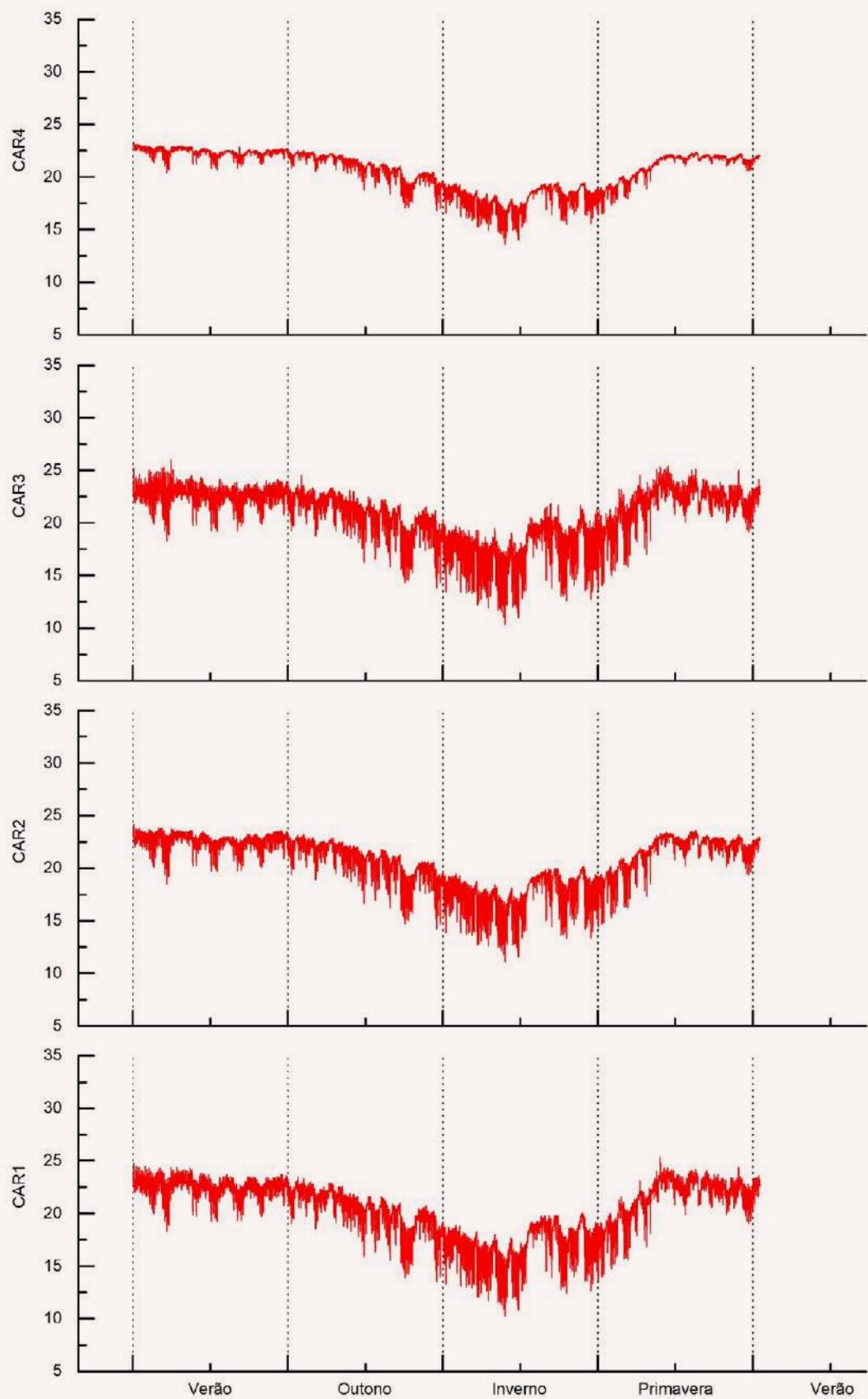


Figura 74: Médias anuais da temperatura na Lapa do Carlúcio em 2024.

Lapa do Carlúcio – Umidade (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

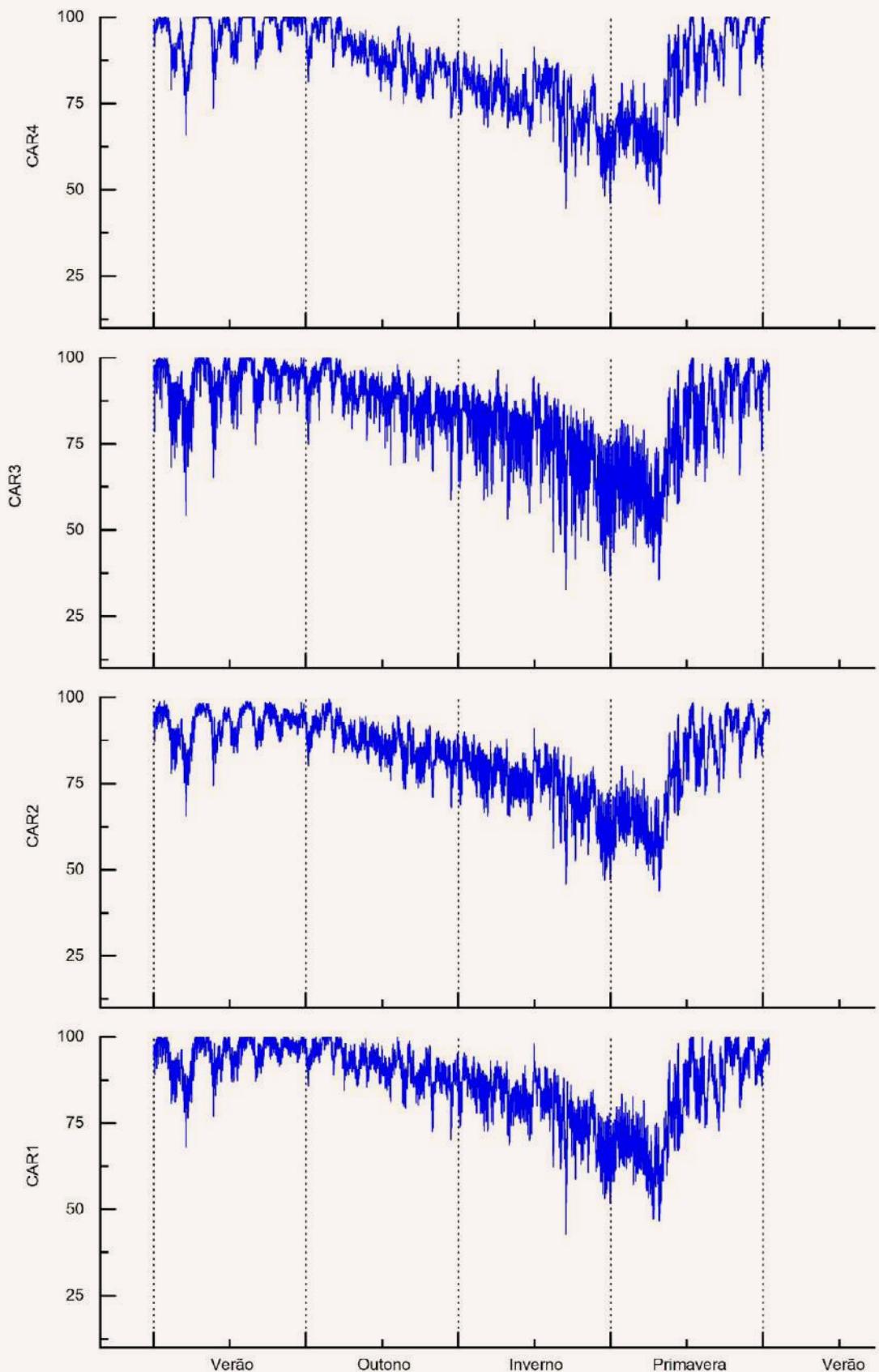


Figura 75: Médias anuais da umidade relativa do ar na Lapa do Carlúcio em 2024.

O piso mais elevado do início da zona de penumbra deixa a região onde se encontra a estação CAR3 em um nível altimétrico muito parecido com o de CAR1. Esse fator, aliado às grandes dimensões do salão de entrada e à inexistência de obstáculos, contribui para condicionar o comportamento da temperatura nesse

ponto da caverna, deixando-a muito similar àquela identificada externamente. A característica morfológica do setor onde se encontra CAR3 também influencia o comportamento da umidade relativa do ar, que apresenta variações até mais acentuadas do que aquelas observadas próximo à entrada (CAR1).

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A contagem absoluta dos registros apresenta a distribuição de frequência (Figura 76) das medidas realizadas, explicitando a discreta diminuição da variação da temperatura e da umidade à medida que se distancia da entrada. Em relação à temperatura, os registros em CAR1 apresentam maior variação devido à influência externa, enquanto variações menores são ob-

servadas em CAR2 e CAR4. Porém, em CAR3, onde o piso é mais elevado, aproximando-se do gradiente altimétrico da entrada, observam-se variações parecidas com as registradas em CAR1. Assim como o observado em relação à temperatura, a umidade relativa do ar em CAR3 apresenta variações muito próximas àquelas identificadas em CAR1.

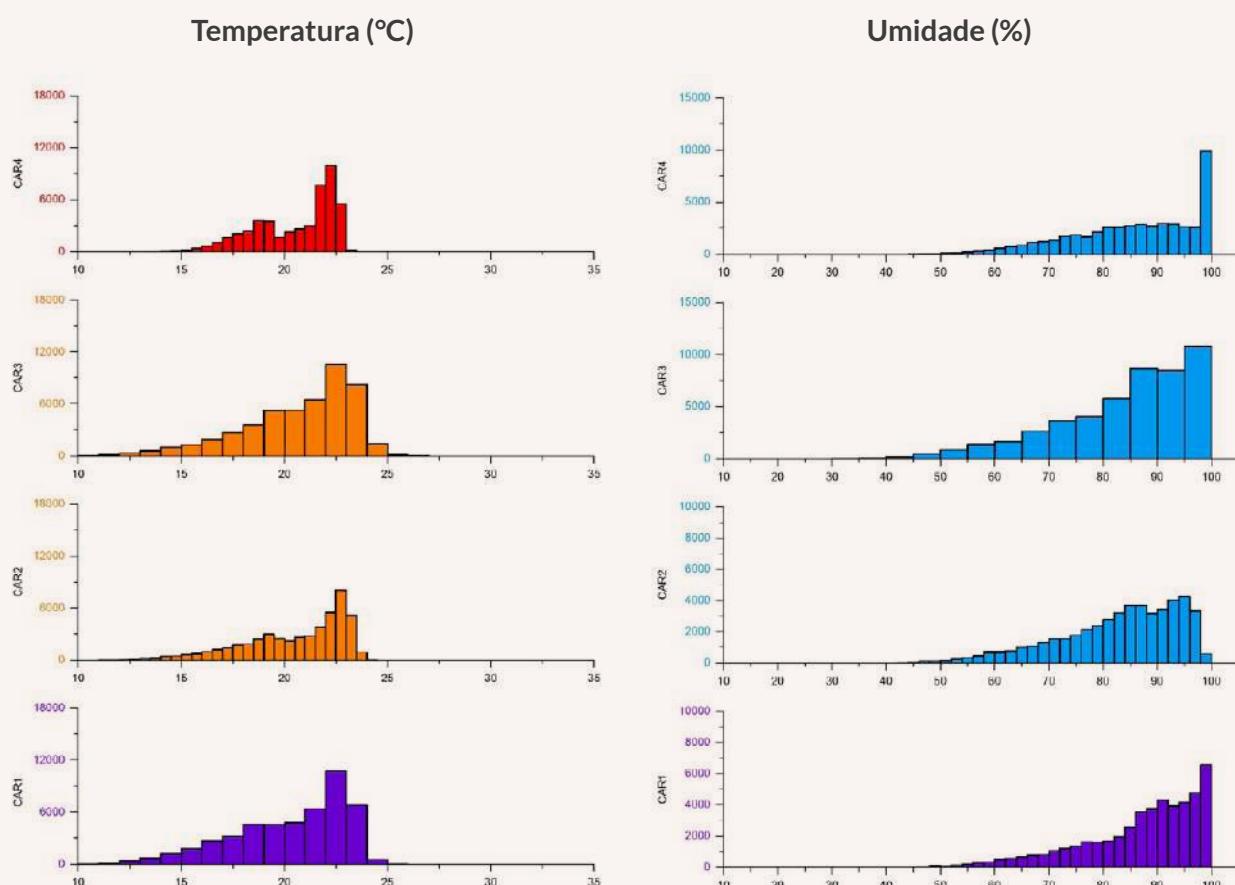


Figura 76: Contagem absoluta de registros de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Carlúcio em 2024.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

Medidas estatísticas descritivas (Tabela 10) foram utilizadas para reproduzir a situação geral dos diferentes ambientes onde se localizam as estações de medição. A análise desses dados

e das características morfológicas da caverna proporcionam uma melhor compreensão do microclima da Lapa do Carlúcio.

Tabela 10: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Carlúcio.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2018										
CAR4	20,88	1,62	14,60	22,30	24,90	75,67	12,96	36,30	90,20	99,90
CAR3	20,92	2,42	11,30	22,60	27,00	76,49	14,04	31,70	92,70	99,90
CAR2	20,78	2,15	12,20	22,50	26,00	76,56	12,69	36,70	91,80	97,40
CAR1	20,85	2,95	10,70	20,80	34,70	77,28	14,39	22,10	99,90	99,90
2019										
CAR4	21,17	1,51	14,00	22,30	24,10	72,88	14,11	30,70	91,30	99,30
CAR3	21,36	2,38	9,90	22,70	27,00	73,15	15,62	25,00	85,90	99,90
CAR2	21,18	2,07	11,30	22,50	25,30	73,17	14,00	31,70	89,20	98,10
CAR1	21,10	2,48	9,50	22,30	29,00	74,60	14,56	31,00	88,40	99,90
2020										
CAR4	20,72	1,78	14,20	22,30	23,50	81,42	13,02	34,40	99,90	99,90
CAR3	20,51	2,65	10,50	22,50	25,70	81,90	14,82	28,60	99,90	99,90
CAR2	20,58	2,30	11,40	22,10	24,30	81,33	12,53	38,90	94,90	99,40
CAR1	20,47	2,70	9,90	22,00	29,80	83,05	12,77	38,10	99,90	99,90
2021										
CAR4	20,26	1,79	14,40	22,00	23,00	75,30	15,87	25,40	99,90	99,90
CAR3	20,39	2,72	11,00	22,30	26,90	72,64	16,66	19,40	99,90	99,90
CAR2	20,41	2,44	11,60	22,30	24,40	73,21	16,05	26,90	94,00	99,10
CAR1	20,04	2,71	11,00	22,80	33,80	76,44	14,83	30,20	99,90	99,90
2022										
CAR4	20,08	1,94	13,00	21,60	22,60	82,17	13,50	38,90	99,90	99,90
CAR3	20,22	2,68	8,90	22,30	25,50	80,46	14,26	31,40	99,90	99,90
CAR2	20,05	2,46	9,50	22,10	23,70	79,31	12,65	40,40	87,30	99,30
CAR1	19,79	2,81	8,50	21,70	32,10	83,35	12,51	42,40	99,90	99,90

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2023										
CAR4	20,81	1,69	14,40	21,20	28,20	80,75	11,26	33,10	81,50	99,90
CAR3	21,17	2,52	11,30	21,50	26,80	78,48	12,81	25,20	80,30	99,90
CAR2	20,97	2,21	12,10	21,50	24,90	77,79	10,85	35,60	78,90	98,70
CAR1	20,77	2,53	11,10	21,20	34,00	81,65	11,15	29,50	83,50	99,90
2024										
CAR4	20,53	1,93	13,60	22,00	23,30	85,83	11,72	44,50	99,90	99,90
CAR3	20,68	2,64	10,30	22,80	26,00	84,18	12,62	32,90	99,90	99,90
CAR2	20,54	2,44	11,10	22,70	24,20	82,85	11,15	43,90	94,00	99,50
CAR1	20,27	2,74	10,20	22,30	25,40	86,99	10,83	42,80	99,90	99,90

Em relação à temperatura, a principal característica é que as maiores médias foram observadas, no geral, entre o final da parte clara e início da zona de penumbra. Os valores de desvio padrão mostram que as variações de temperatura em cada setor da caverna se mantêm relativamente próximas às suas respectivas médias. Outra característica interessante em relação à Lapa do Carlúcio é que ali foram registradas as menores mínimas dentre todas as cavernas monitoradas por este projeto.

No que se refere à umidade, o destaque é o setor onde se encontra CAR3, que apresenta os maiores valores de desvio padrão, indicando que zona de penumbra é o setor da caverna que apresenta as maiores variações de umidade em torno da sua média. Observando-se os valores da moda, verifica-se que CAR2, localizado na região intermediária do salão de entrada, apresentou os menores valores, indicando ser este setor o mais seco da caverna.

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar

A correlação estabelecida entre desvio padrão e temperatura média (Figura 77) permite observar, do ponto de vista estatístico, o comportamento das diferentes zonas microclimáticas. Diferentemente das demais cavernas integrantes deste estudo, a Lapa do Carlúcio não apresenta grandes discrepâncias entre os seus diferentes setores, seja em relação à temperatura, seja em relação à umidade relativa do ar.

As variações percebidas nos parâmetros microclimáticos na entrada da caverna reverberam em seu interior quase que com a mesma intensidade. Especificamente em relação à temperatura, observa-se uma relação muito próxima entre o comportamento observado em CAR1 e em CAR3.

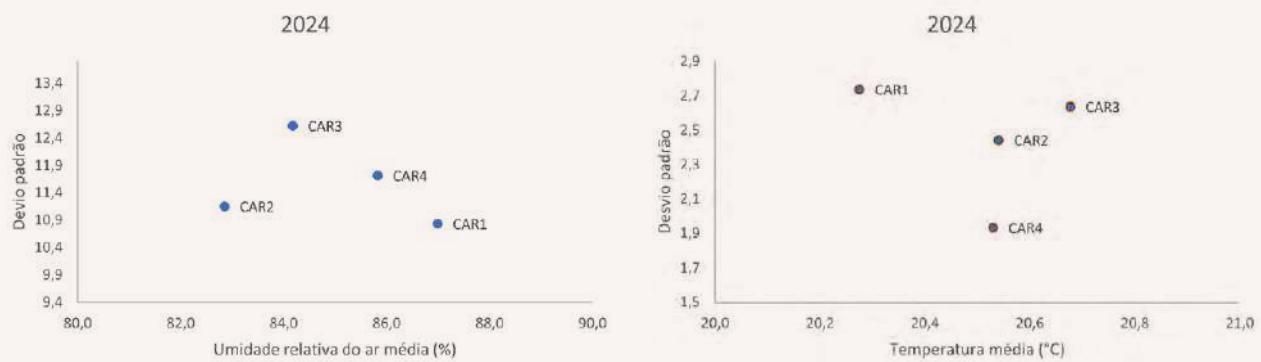


Figura 77: Gráficos de dispersão dos dados de média e desvio padrão da temperatura e umidade relativa do ar da Lapa do Carlúcio para o ano de 2024.

Zoneamento térmico e higríco

A interpolação dos valores das médias e desvio padrão mostra a distribuição espacial para a temperatura (Figuras 78 e 79), e a combinação desses mapas deu origem ao Zoneamento Térmico (Figura 80). A interpolação desses valores mostra também a distribuição espacial para a umidade relativa do ar (Figuras 81 e 82), e a combinação

desses mapas deu origem ao Zoneamento Higríco (Figura 83) da Lapa do Carlúcio.

É importante destacar que tanto Zoneamento Térmico quanto o Zoneamento Higríco foram elaborados considerando os dados coletados em todo o período desta pesquisa, que podem ser verificados no material complementar.



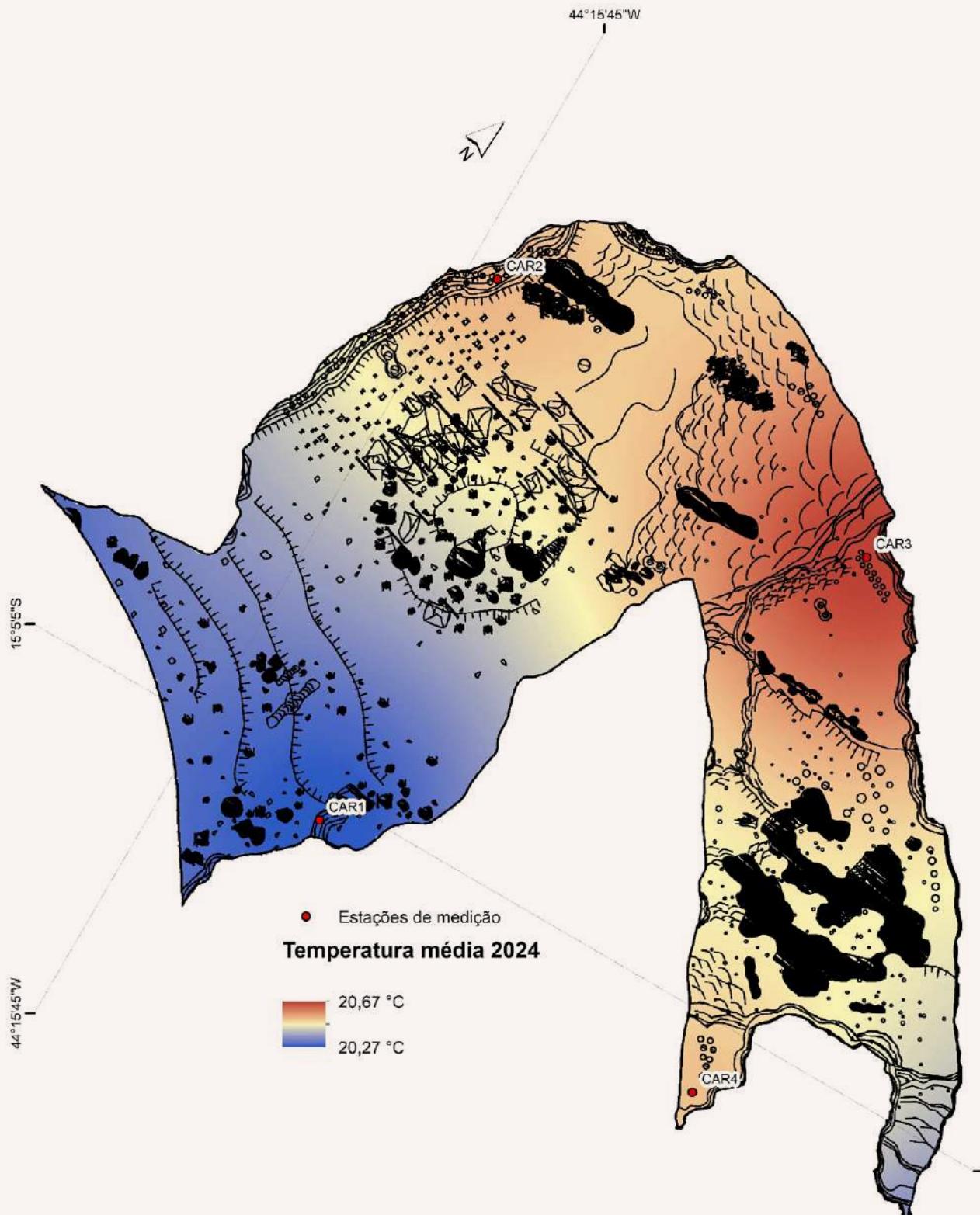


Figura 78: Espacialização dos valores médios da temperatura registrada na Lapa do Carlúcio em 2024.

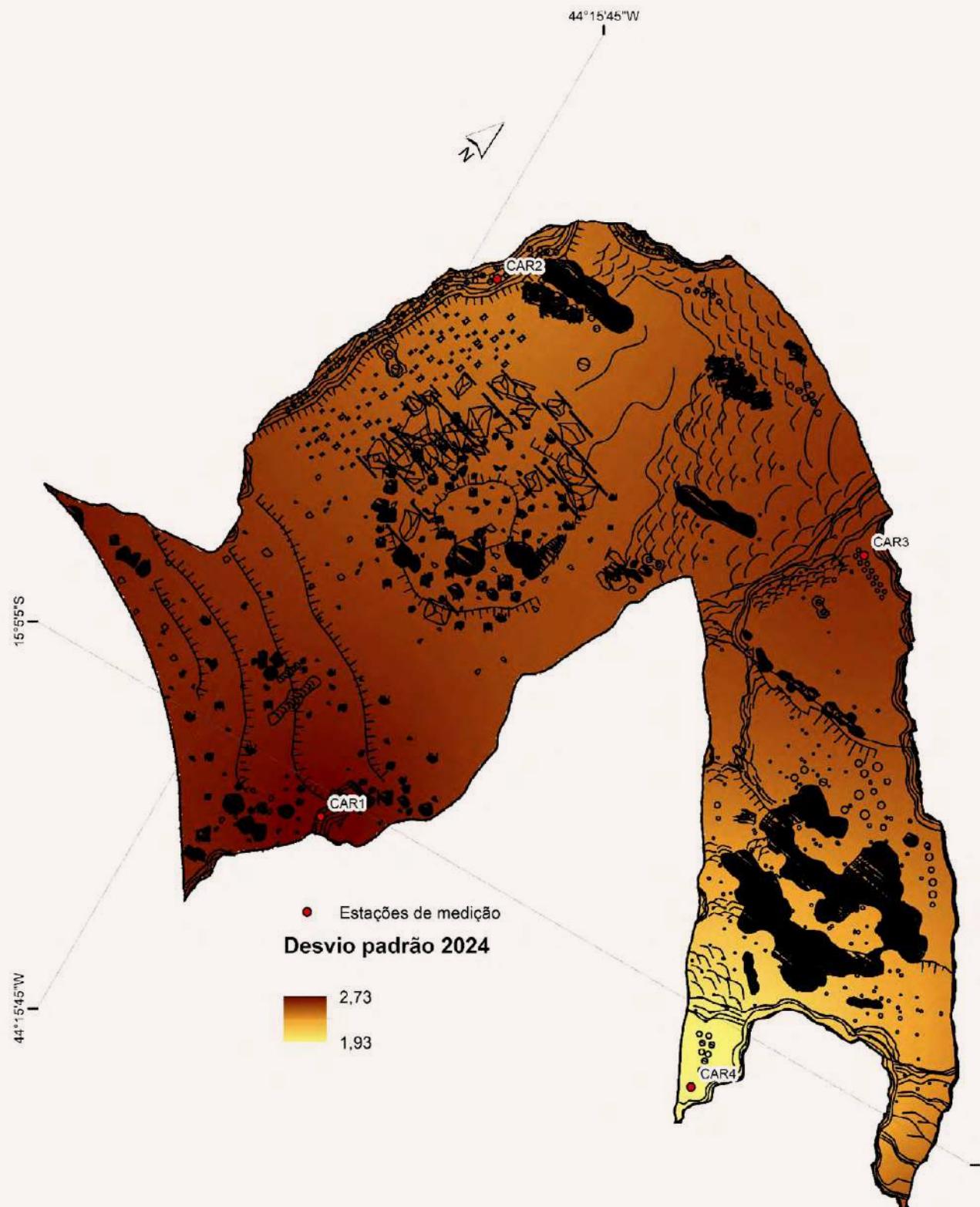


Figura 79: Espacialização dos valores de desvio padrão da temperatura registrada na Lapa do Carlúcio em 2024.

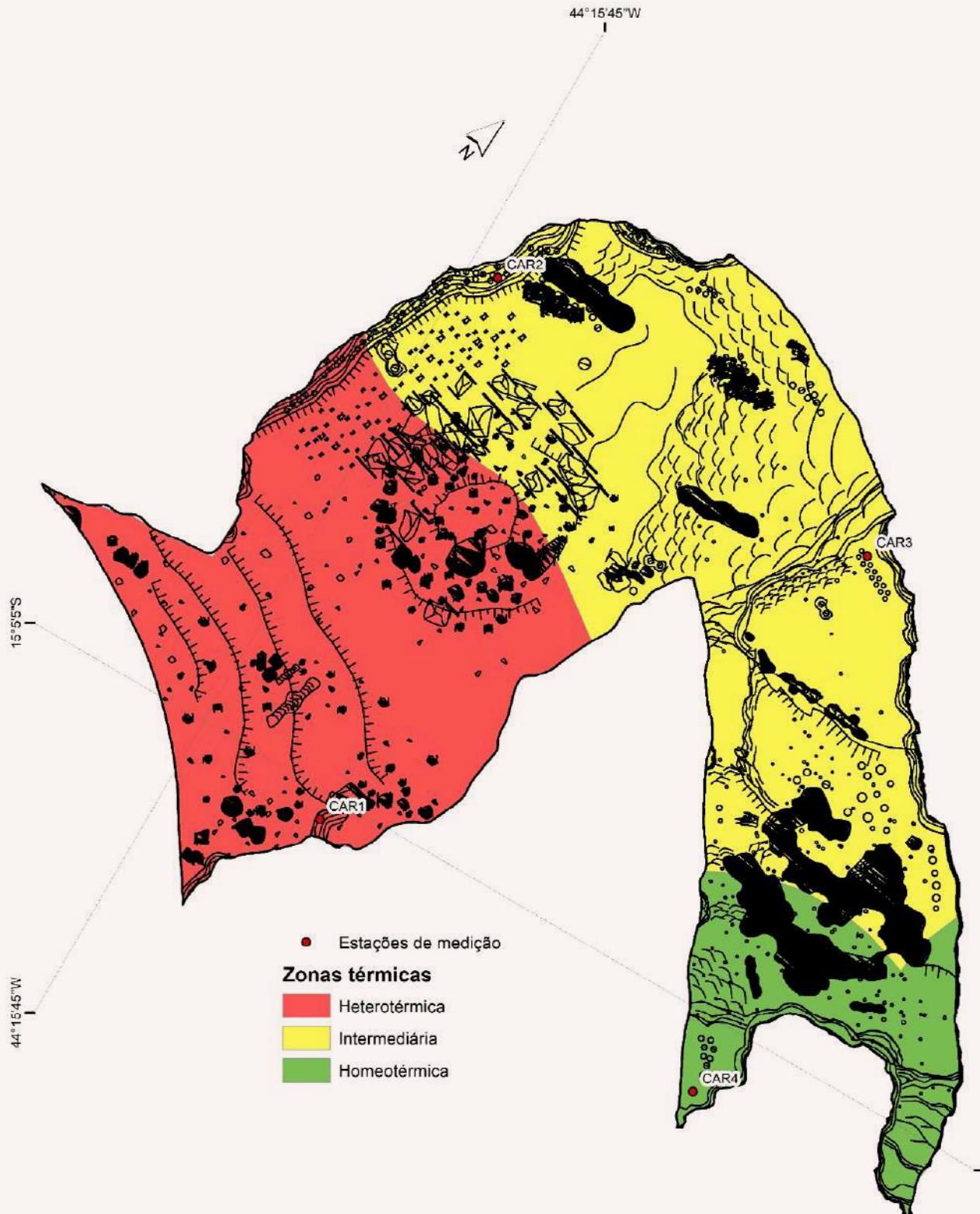


Figura 80: Zoneamento térmico da Lapa do Carlúcio.

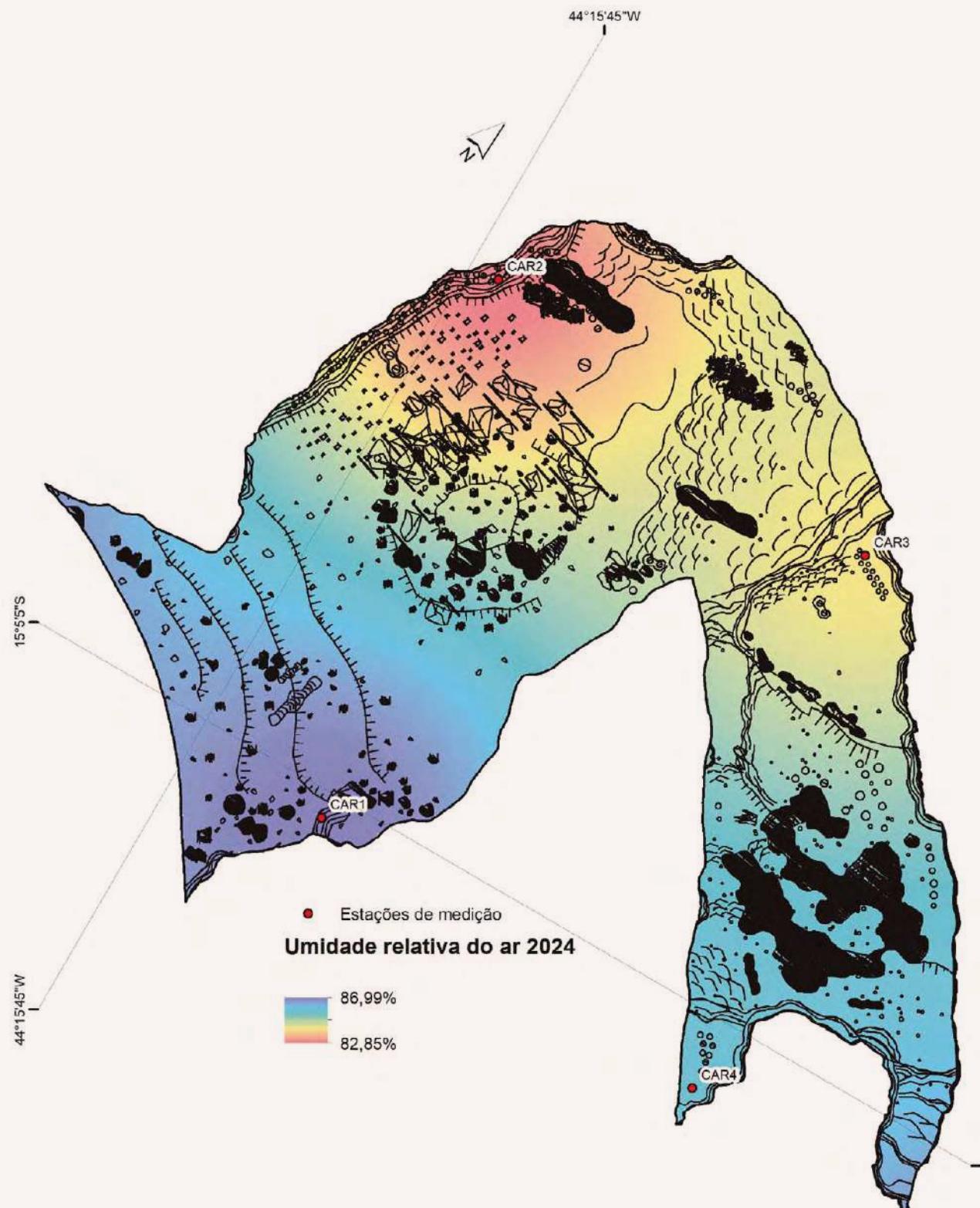


Figura 81: Espacialização dos valores médios da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Carlúcio em 2024.

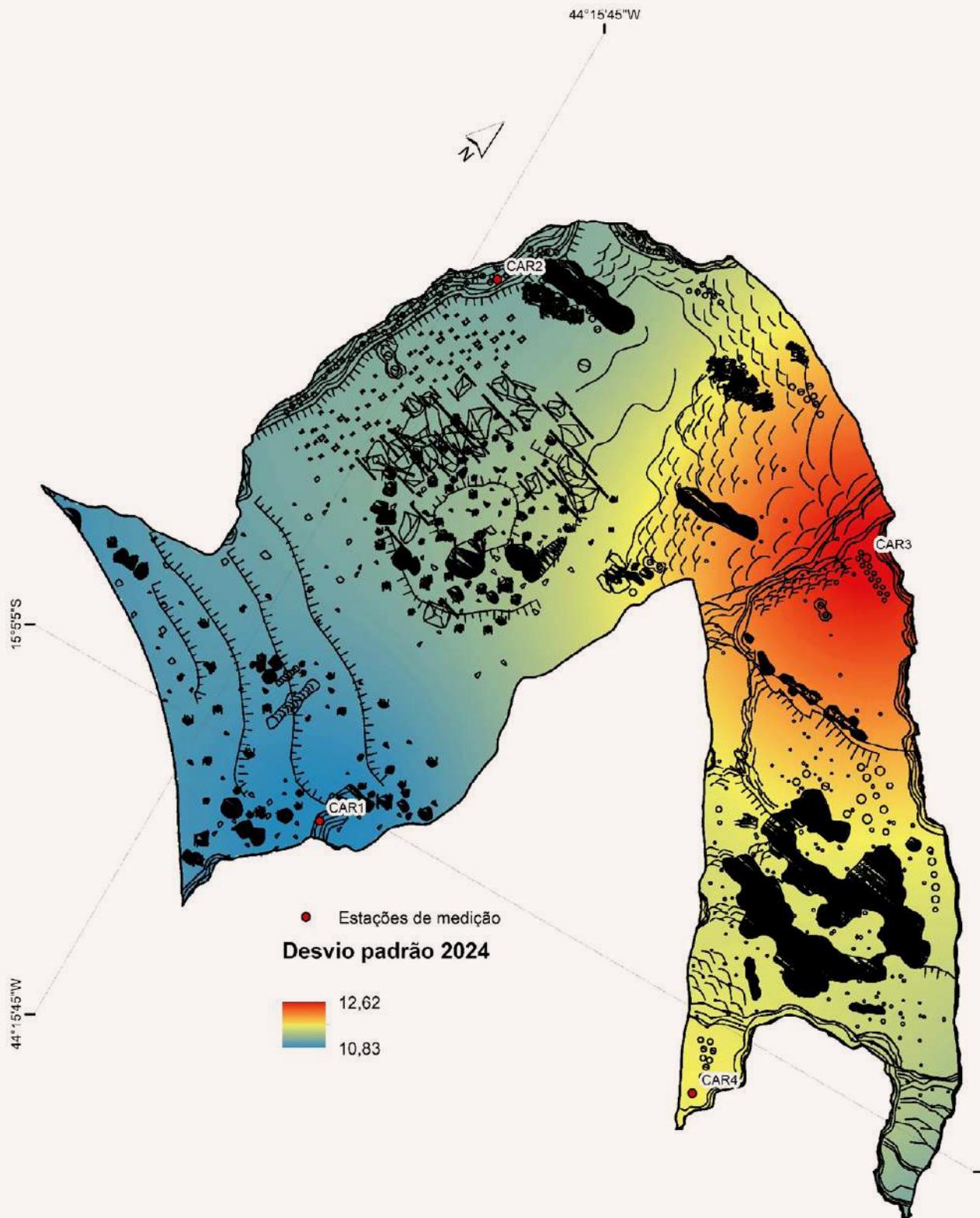


Figura 82: Espacialização dos valores de desvio padrão da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Carlúcio em 2024.

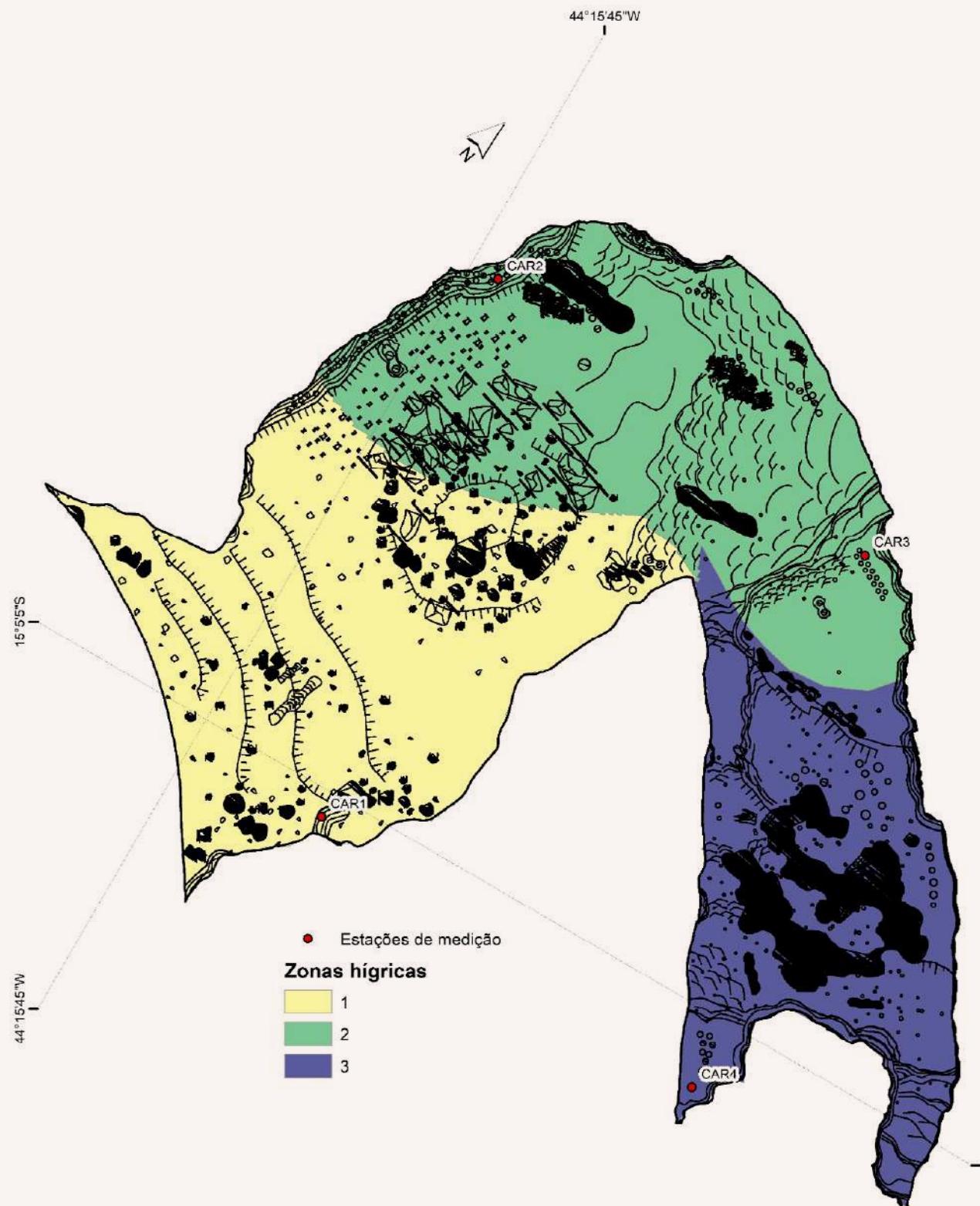


Figura 83: Zoneamento hídrico da Lapa do Carlúcio.

O zoneamento microclimático da Lapa do Carlúcio apresenta três zonas distintas, tanto para a representação das zonas térmicas quanto para a das zonas higrícas. A leitura desses mapas, aliada

à análise dos gráficos de dispersão (Figura 77) destaca que a zona de entrada está mais suscetível às variações externas, e o terço final da caverna apresenta tendência a uma maior estabilidade.

Temporalidade mensal

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

A sazonalidade da temperatura no PNCP (IBAMA, 2005) caracteriza-se basicamente pela existência de dois padrões térmicos distintos, sendo um com temperaturas mais quentes, de setembro a março (primavera e verão), e outro com temperaturas mais frias, entre abril e agosto (outono e inverno). A Tabela 11 registra os valores médios mensais da temperatura em cada uma das estações microclimáticas instaladas na Lapa do Carlúcio, enquanto as Figuras 84 e 85 apresentam as curvas da sazonalidade anual nos diferentes ambientes da caverna para o ano de

2024. Faz-se necessário esclarecer que em ambas as representações (Tabela e Gráficos) existem lacunas nos registros ocasionadas por defeitos nos equipamentos

A análise desses dados permite concluir que as temperaturas mais altas e as mais baixas foram registradas nos mesmos períodos, independentemente das zonas da caverna. As mais quentes em outubro (janeiro em 2020) e as mais frias em junho e julho. Já em relação à umidade, observou-se o período mais seco em setembro e outubro e o mais úmido variando entre fevereiro e abril.

Tabela 11: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registradas nas estações microclimáticas da Lapa do Carlúcio durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)			
	2018							
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	23,84	22,50	22,83	22,34	73,76	76,94	74,87	76,26
FEV	22,38	21,96	22,02	22,04	88,51	88,32	88,33	87,04
MAR	21,93	21,97	22,02	21,96	89,68	88,96	89,37	88,92
ABR	20,88	21,07	21,09	21,32	83,96	82,47	82,78	80,90
MAI	19,38	19,73	19,75	20,24	78,81	76,60	76,93	73,92
JUN	17,69	18,19	18,10	18,89	77,24	74,24	75,40	70,96
JUL	16,33	16,86	16,79	17,64	72,19	69,05	70,09	65,48
AGO	19,29	19,41	19,64	19,38	66,81	65,65	65,09	65,02
SET	20,88	20,89	21,27	20,68	57,90	57,24	56,22	57,42
OUT	23,47	23,15	23,63	22,46	66,39	66,85	65,60	68,67
NOV	22,33	22,12	22,23	22,01	86,05	86,09	86,26	86,51
DEZ	21,90	21,65	21,79	21,64	87,06	87,22	87,92	87,71

TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)				
2019								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	22,23	22,06	22,39	21,89	74,23	74,10	73,05	74,34
FEV	22,76	22,61	22,80	22,37	85,01	84,60	84,62	85,54
MAR	22,48	22,48	22,57	22,33	89,30	88,11	88,49	88,48
ABR	21,61	21,78	21,77	21,83	91,16	89,07	90,33	88,73
MAI	20,33	20,65	20,61	20,97	85,25	82,41	83,52	80,68
JUN	19,05	19,45	19,44	19,93	74,37	71,55	72,16	69,59
JUL	17,47	17,94	17,94	18,55	69,00	66,13	66,73	63,90
AGO	19,25	19,43	19,66	19,64	65,31	63,62	63,39	62,49
SET	20,91	20,93	21,34	20,73	58,84	57,71	56,96	58,09
OUT	23,49	23,23	23,81	22,57	57,69	57,73	56,12	59,33
NOV	24,48	24,11	24,61	23,38	63,70	64,09	63,00	66,57
DEZ	23,72	23,37	23,70	23,09	75,77	76,44	75,62	77,51

2020								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	22,87	22,72	22,88	22,68	86,38	85,89	86,53	86,25
FEV	22,53	22,42	22,55	22,35	89,95	89,24	90,70	90,58
MAR	22,18	22,18	22,19	22,23	93,84	92,62	94,85	93,56
ABR	21,36	21,50	21,50	21,69	91,86	89,99	92,36	90,69
MAI	18,59	19,02	18,88	19,68	90,33	86,72	90,28	84,70
JUN	16,78	17,32	17,15	18,11	87,44	83,26	87,03	80,70
JUL	16,53	17,01	16,97	17,71	79,35	75,77	77,51	73,39
AGO	18,62	18,88	19,05	19,11	69,82	67,75	67,78	67,17
SET	20,10	20,22	20,56	20,10	62,28	60,52	59,90	60,72
OUT	22,65	22,49	22,92	21,94	71,43	70,82	70,50	73,53
NOV	21,88	21,80	21,75	21,72	88,14	87,55	87,22	88,74
DEZ	21,64	21,40	-	21,39	86,14	86,54	-	87,73

2021								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	21,85	21,77	-	21,70	83,82	83,08	-	84,22
FEV	21,97	21,92	-	21,82	93,44	92,60	-	94,25
MAR	20,26	20,51	-	20,83	88,02	85,49	-	84,29
ABR	21,01	21,10	-	21,09	85,56	83,82	-	84,07
MAI	18,06	19,73	18,52	19,16	77,41	75,18	73,10	72,04
JUN	17,69	17,95	18,32	18,74	74,77	69,19	70,79	69,84

TEMPERATURA (°C)				UMIDADE (%)				
2021								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JUL	16,74	17,26	17,46	17,81	69,67	64,78	65,74	65,04
AGO	18,11	18,45	18,82	18,71	65,22	61,20	61,45	62,28
SET	21,09	21,21	21,80	20,72	56,30	53,41	52,73	57,20
OUT	23,15	23,01	23,49	22,37	72,47	70,40	69,90	75,39
NOV	21,91	21,87	21,98	21,77	92,28	89,60	91,09	93,41
DEZ	22,14	21,99	22,06	21,81	96,29	94,30	96,46	98,79

2022								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	21,70	21,71	21,89	21,62	93,24	90,32	91,45	93,96
FEV	21,78	21,83	21,94	21,72	95,35	92,04	93,89	96,57
MAR	20,90	21,20	21,28	21,26	91,60	86,81	88,30	89,52
ABR	20,23	20,63	20,70	20,77	90,42	85,14	86,85	87,37
MAI	17,37	18,03	18,01	18,67	83,47	77,47	79,63	78,05
JUN	15,22	16,01	16,02	16,78	81,35	74,90	77,18	74,76
JUL	16,45	17,03	17,15	17,41	77,96	72,44	73,87	73,75
AGO	17,95	18,34	18,63	18,40	68,84	64,62	64,65	66,83
SET	19,58	19,77	20,21	19,51	68,13	64,76	64,16	68,48
OUT	22,70	22,57	23,16	21,81	66,58	64,38	63,43	69,23
NOV	21,91	21,86	21,99	21,60	88,47	85,99	87,32	90,48
DEZ	21,82	21,69	21,78	21,51	95,80	94,00	96,09	98,21

2023								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	21,75	21,71	21,87	21,55	95,25	92,66	94,22	97,17
FEV	21,00	21,25	21,38	21,18	91,20	86,82	88,40	89,56
MAR	21,39	21,60	21,70	21,40	87,65	83,46	84,46	86,19
ABR	21,06	21,36	21,42	21,21	90,08	85,51	86,91	88,17
MAI	18,78	19,32	19,26	19,69	86,84	81,12	83,46	82,16
JUN	17,38	18,01	17,92	18,47	82,15	76,32	78,83	77,16
JUL	17,30	17,84	17,90	18,11	76,82	71,66	72,75	73,11
AGO	18,85	19,19	19,41	19,10	76,17	72,05	72,70	74,99
SET	21,40	21,53	21,93	20,99	69,60	66,33	65,52	69,98
OUT	23,54	23,38	23,92	22,52	71,76	69,60	68,42	74,86
NOV	23,03	23,04	23,43	22,55	77,68	74,88	73,89	78,47
DEZ	23,72	23,47	23,95	22,95	75,32	73,12	72,26	77,28

TEMPERATURA (°C)					UMIDADE (%)			
2024								
	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4	CAR1	CAR2	CAR3	CAR4
JAN	22,8	22,8	23,0	22,6	93,7	91,2	92,2	94,5
FEV	22,2	22,3	22,4	22,2	95,1	91,9	93,5	95,3
MAR	22,4	22,5	22,6	22,3	96,7	92,9	94,8	97,6
ABR	21,5	21,8	21,8	21,8	94,7	90,3	92,6	93,5
MAI	19,2	19,8	19,7	20,2	90,3	84,5	87,1	85,5
JUN	17,9	18,4	18,4	19,0	86,9	81,2	83,4	81,9
JUL	15,5	16,2	16,2	17,0	83,7	77,1	79,8	77,2
AGO	18,0	18,5	18,7	18,5	76,1	71,3	71,5	74,0
SET	18,8	19,1	19,5	19,0	67,2	63,0	62,6	65,8
OUT	22,6	22,4	22,9	21,6	79,8	77,6	76,8	83,4
NOV	22,2	22,1	22,3	21,7	92,4	90,1	91,2	94,8
DEZ	22,6	22,5	22,7	21,9	96,7	94,8	95,8	99,9

As duas figuras a seguir representam graficamente os dados da Tabela 11, onde é possível verificar que o comportamento da temperatura observado em CAR1 praticamente se repete nos demais setores, porém com variações um pouco

menos acentuadas. Em relação à umidade, percebe-se que as variações apresentadas entre as diferentes estações de medição ao longo do ano são muito discretas.



Lapa do Carlúcio - Entrada.

Lapa do Carlúcio – Médias mensais (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

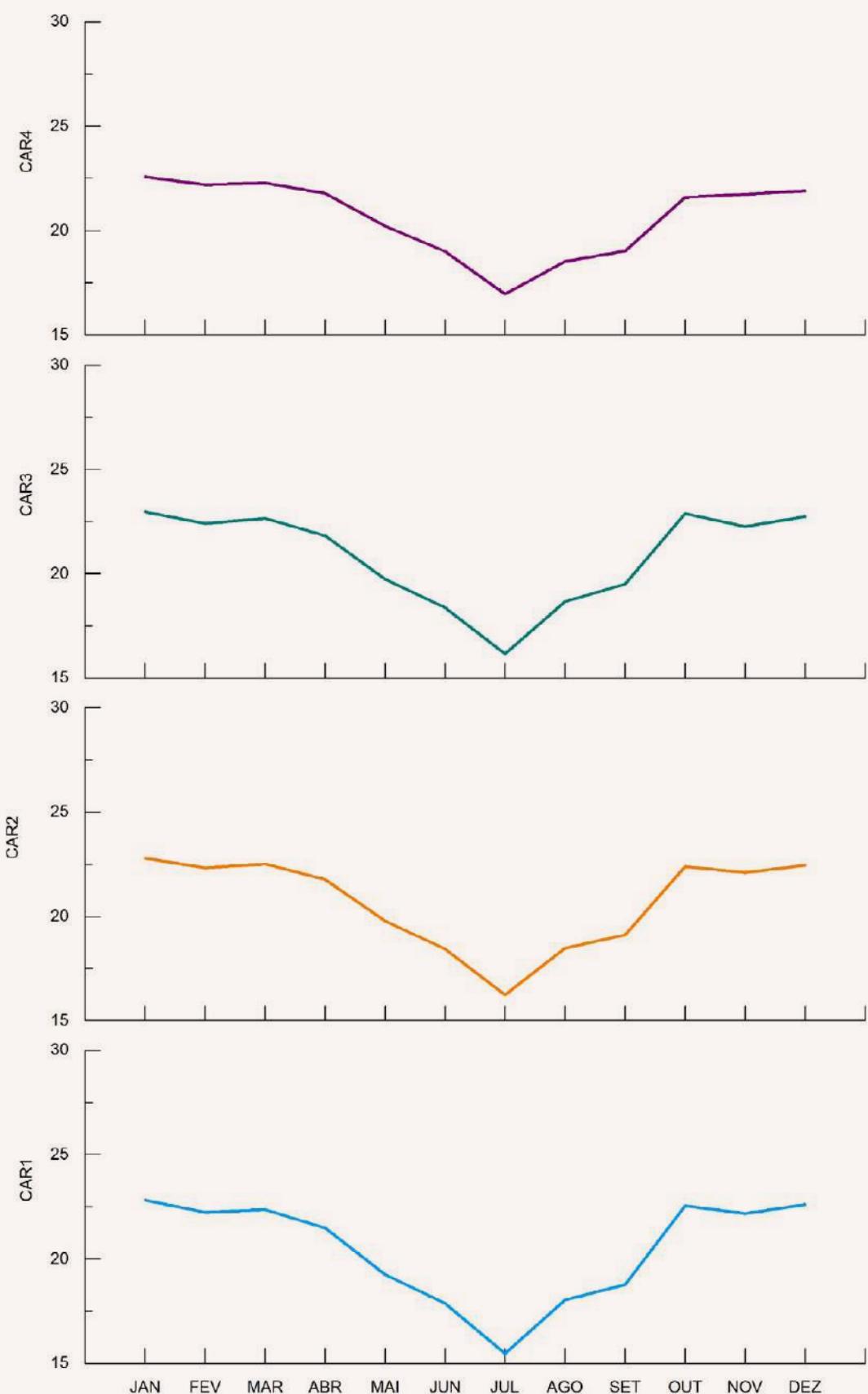


Figura 84: Curvas da sazonalidade anual da temperatura na Lapa do Carlúcio em 2024.

Lapa do Carlúcio – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

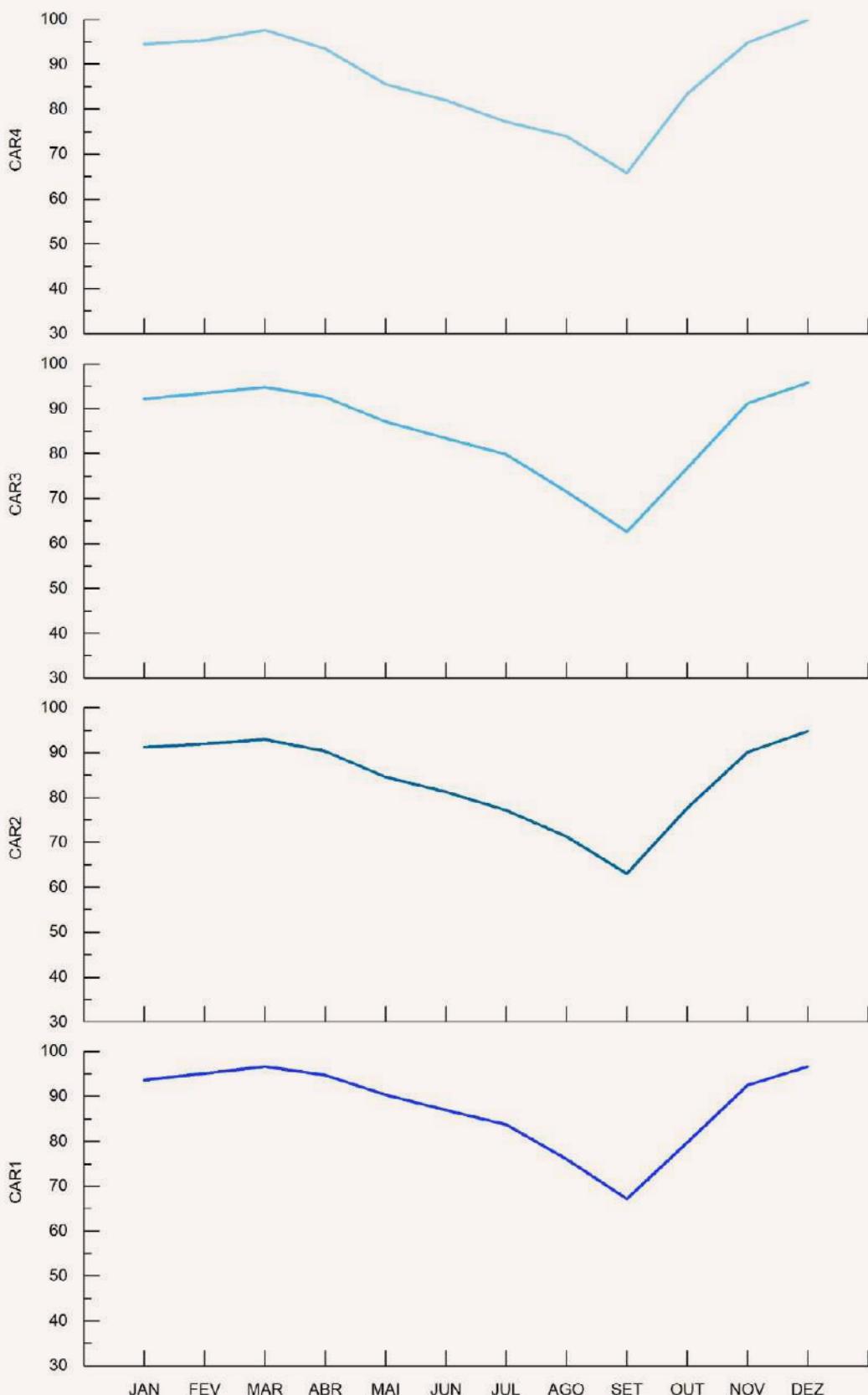


Figura 85: Curvas da sazonalidade anual da umidade relativa do ar na Lapa do Carlúcio em 2024.



LAPA DO REZAR

A caverna se encontra em um vale secundário do cânion do rio Peruáçu, no terço superior de uma escarpa (Figura 86). A Lapa do Rezar é formada por uma única galeria, tem projeção

horizontal de 380m, 15 metros de desnível (Figura 87) e recebe visitação em seu interior, inclusive na zona escura, onde se localiza o seu último salão.

Os maiores atrativos da Lapa do Rezar são: o fabuloso pórtico, que pode ser admirado desde o rio Peruáçu e os painéis de arte rupestre pré-histórica, que se encontram na entrada da caverna. (...) As dimensões da galeria são monumentais e as representações rupestres únicas e bem preservadas colocam esta gruta entre as grandes atrações do Parque (IBAMA, 2005, p.50).

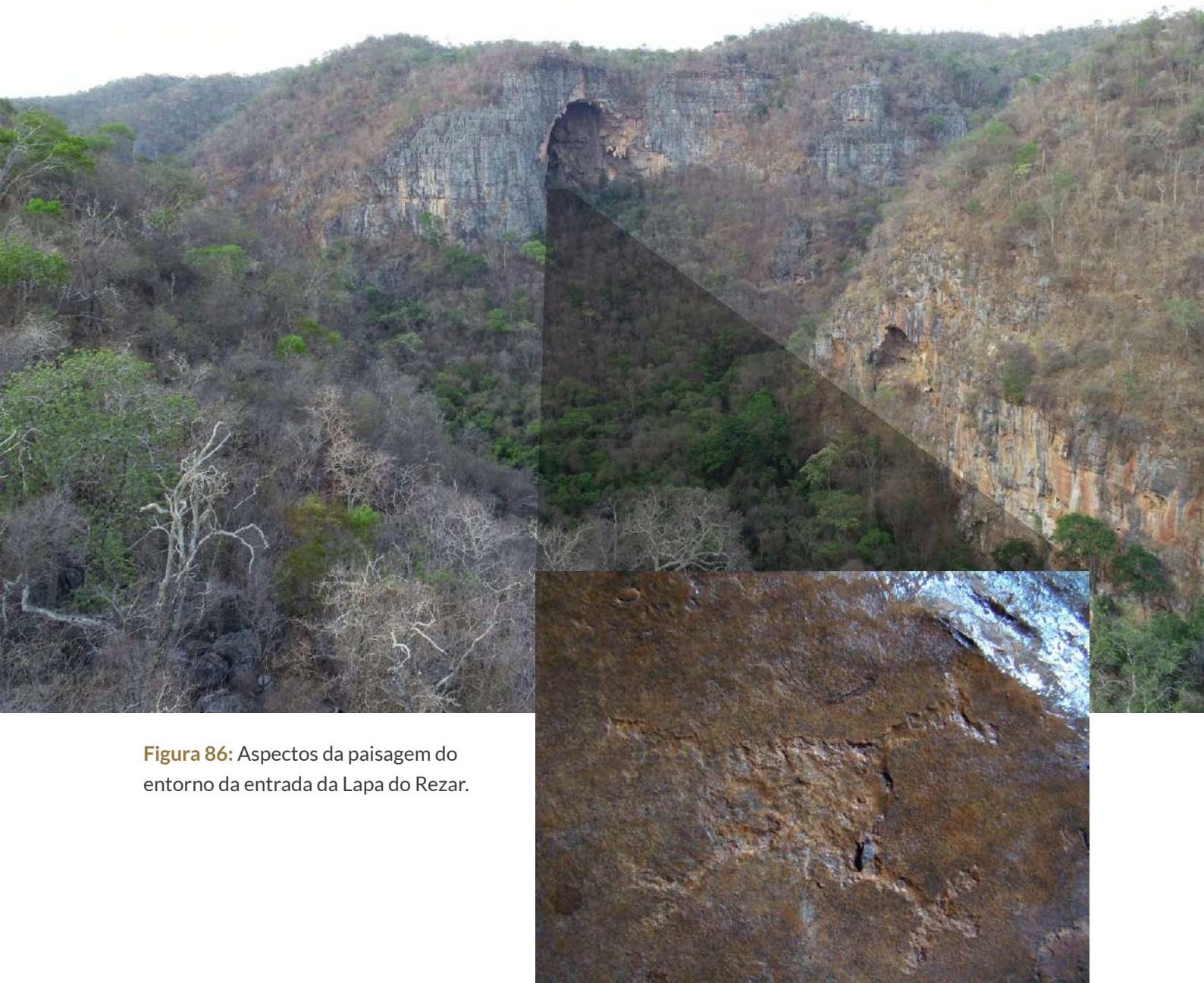


Figura 86: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Lapa do Rezar.

LAPA DO REZAR - MG 347

Município de Itacarimbí - Minas Gerais
Localização (UTM 23 L)
 $x = 582.230$ $y = 8.325.760$
Projeção horizontal: 380 m

Topografia grau: 4C - BCRA - Fevereiro de 1998
Detalhamento: Outubro de 2003 e Fevereiro de 2004
Grupo Ramblor de Pascoalas Especialistas

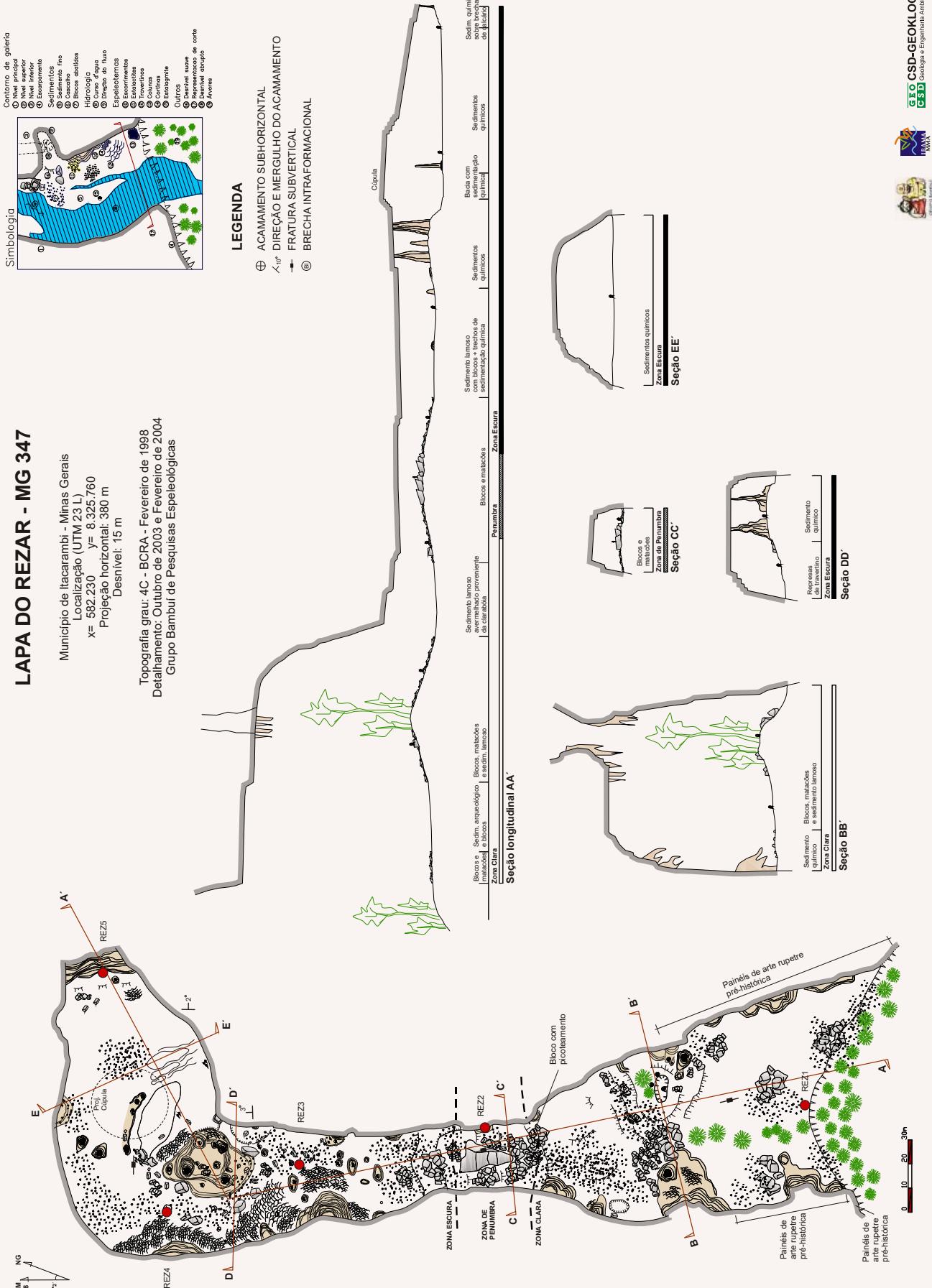


Figura 87: Mapa topográfico da Lapa do Rezar (IBAMA, 2005).

A entrada da Lapa do Rezar possui dimensões que se destacam na paisagem, com um enorme arco com 50 metros de altura e 70 metros de largura. A zona de penumbra tem início onde a galeria começa a se estreitar e o teto fica rebaixado (Figura 88). Devido às características

morfológicas da lapa, foram instalados cinco termo-higrômetros, identificados pelo prefíxo REZ (Figura 87). No início da zona escura a caverna se alarga novamente, a distância do piso ao teto aumenta e o conduto sofre uma forte inflexão para leste.

Sequenciamento anual

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Os gráficos a seguir representam o comportamento da temperatura (Figura 89) e da umidade (Figura 90) observados na Lapa do Rezar. Verifica-se que o padrão observado na entrada (REZ1) é reproduzido nos demais seto-

res da caverna, porém de forma mais atenuada. Especificamente em relação à temperatura, observa-se que a amplitude vai diminuindo à medida que se avança para o setor final da lapa (REZ5).



Figura 88: Aspectos da entrada da Lapa do Rezar.

Lapa do Rezar – Temperatura (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

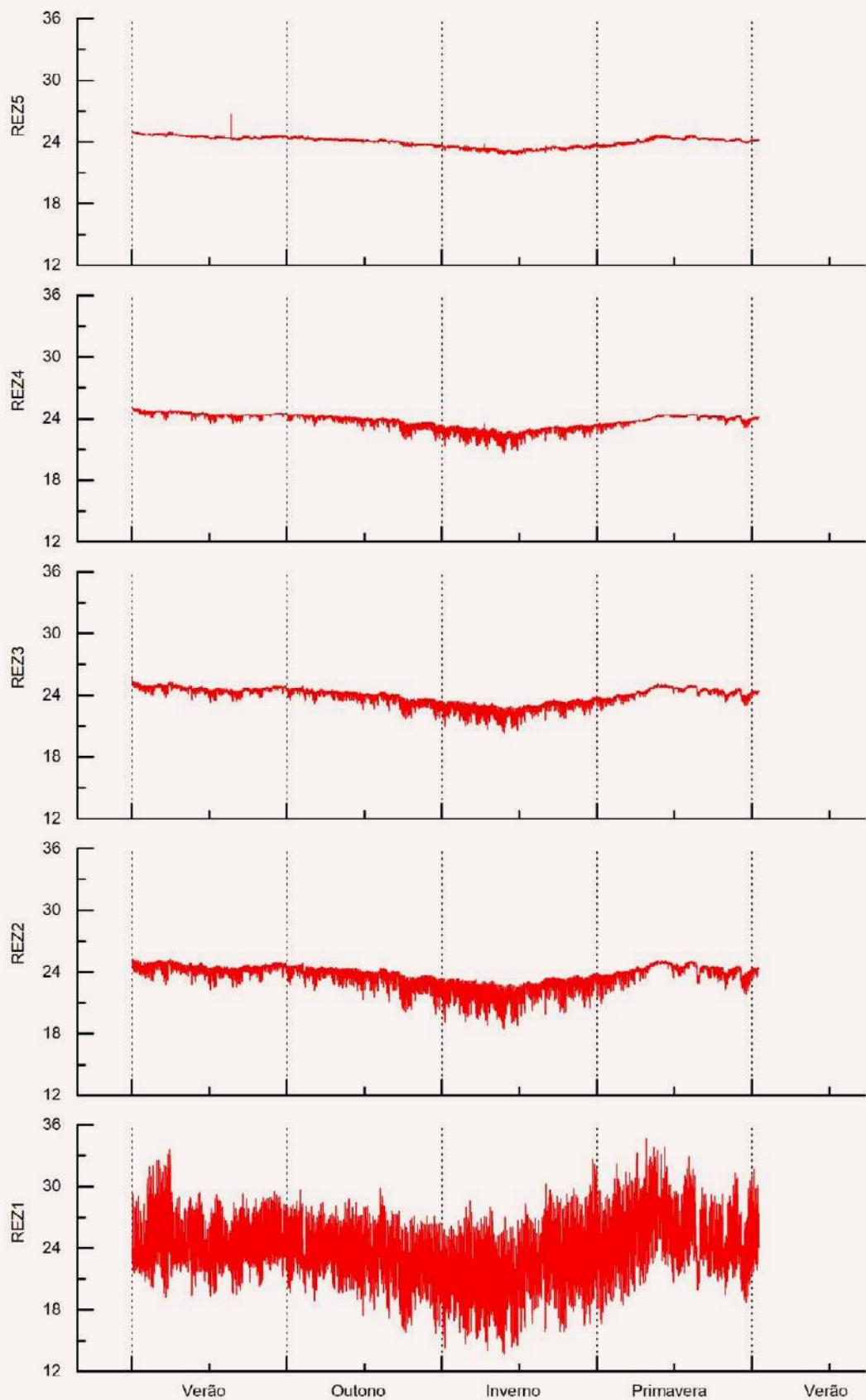


Figura 89: Médias anuais da temperatura na Lapa do Rezar em 2024.

Lapa do Rezar – Umidade (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

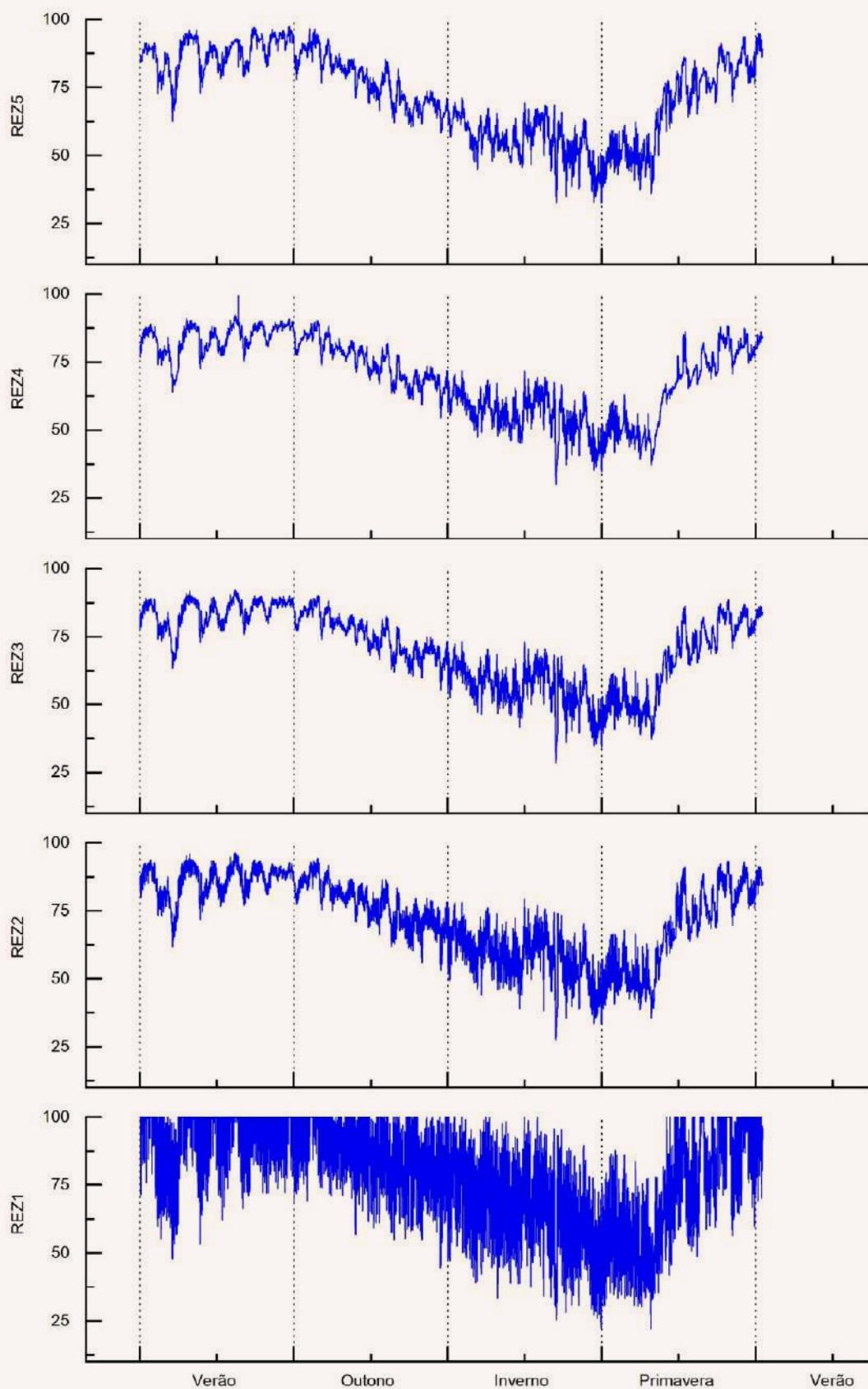


Figura 90: Médias anuais da umidade relativa do ar na Lapa do Rezar em 2024.

Em relação à umidade, observa-se que as variações externas exercem influência em todos os setores da caverna. Em função da sua localização, REZ1 reproduz o comportamento externo

com maior intensidade; porém, à medida que se adentra a cavidade, as variações externas são atenuadas em função do confinamento espacial, tendendo à homogeneidade.

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A contagem absoluta dos registros apresenta a distribuição de frequência das medidas realizadas (Figura 91), explicitando a diminuição da variação da temperatura e da umidade quando se distancia da entrada. Em relação à temperatura, os registros em REZ1 apresentam maior variação devido à influência externa, enquanto variações menores são observadas na zona de penumbra (REZ2). No início da zona escura (REZ3 e REZ4), as variações são ainda menores do que na zona de penumbra, porém maiores

do que aquelas observadas no setor final desta zona (REZ5).

Diferentemente da temperatura, a umidade relativa do ar na zona de penumbra e na zona escura tem um comportamento muito semelhante, não sendo observadas grandes variações entre esses diferentes setores. Outro fator que chama a atenção nesses setores é que foram raros os registros acima de 90% de umidade. Já na zona clara, valores entre 95% e 100% representaram a maioria dos registros.

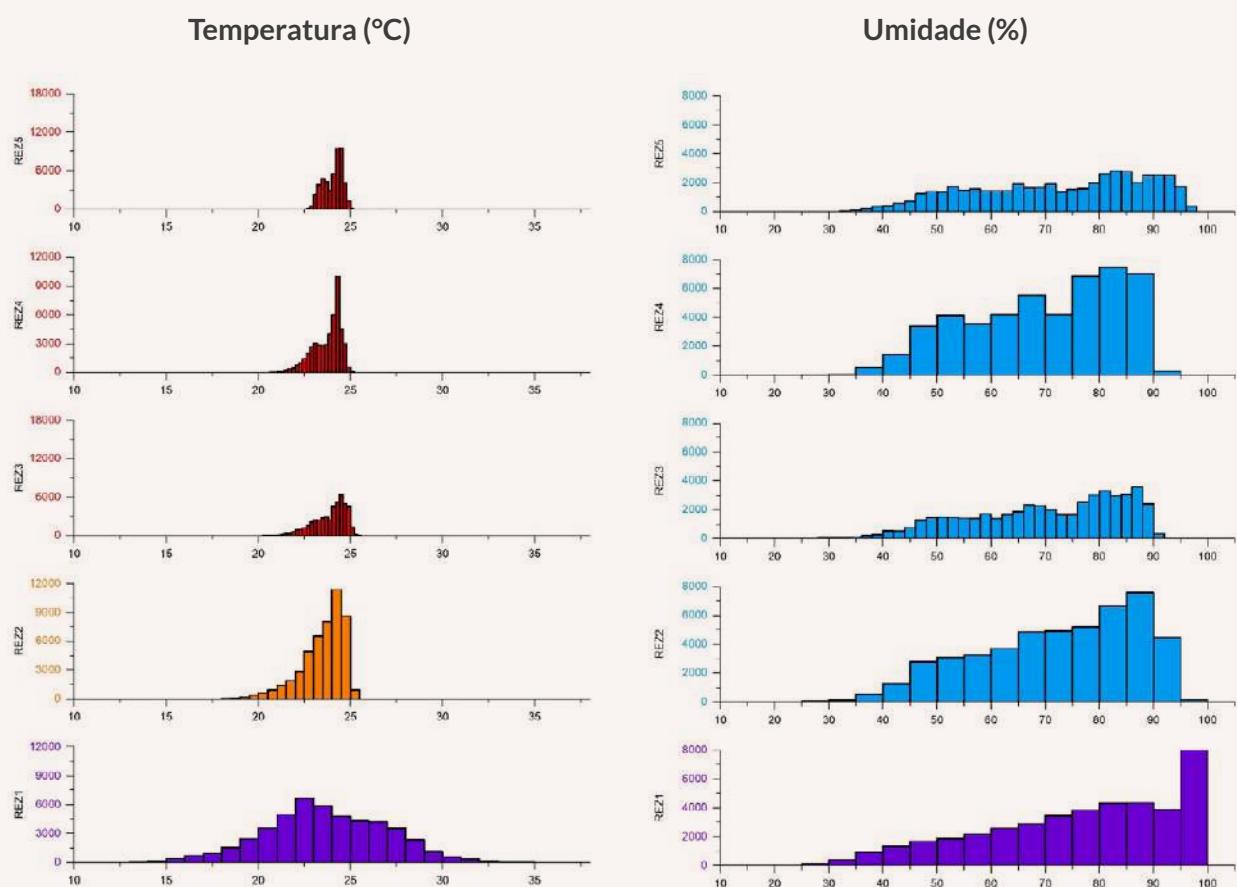


Figura 91: Contagem absoluta de registros de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Rezar em 2024.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

Medidas estatísticas descritivas (Tabela 12) foram utilizadas para reproduzir a situação geral dos diferentes ambientes onde se localizam as estações de medição. A análise desses dados

e das características morfológicas da caverna proporcionam uma melhor compreensão do microclima da Lapa do Rezar.

Tabela 12: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Lapa do Rezar.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2018										
REZ5	24,04	0,43	22,80	24,30	27,20	63,13	13,68	30,70	77,80	90,10
REZ4	23,68	0,60	21,20	24,20	25,40	62,73	12,88	34,30	71,70	86,90
REZ3	23,84	0,75	20,90	24,30	27,80	62,93	13,21	31,80	71,40	88,20
REZ2	23,41	1,28	17,90	23,90	26,30	65,85	14,22	29,10	74,60	93,40
REZ1	23,86	3,31	14,40	21,50	34,10	67,82	19,34	20,20	99,90	99,90
2019										
REZ5	24,27	0,43	23,00	24,40	25,80	60,05	13,93	23,30	81,50	86,80
REZ4	23,94	0,59	21,10	24,30	25,10	58,87	12,88	25,30	49,90	85,50
REZ3	24,17	0,75	20,90	24,50	26,10	64,29	12,76	28,80	54,60	90,40
REZ2	23,92	1,25	18,30	24,50	28,00	61,57	13,96	20,70	51,70	90,90
REZ1	24,56	3,43	13,90	22,30	35,60	64,17	19,18	15,40	99,90	99,90
2020										
REZ5	23,98	0,63	22,50	24,20	25,40	67,79	14,09	26,80	81,00	92,30
REZ4	23,54	0,88	20,40	24,30	24,90	66,70	13,32	30,40	79,00	88,30
REZ3	23,67	1,02	20,10	24,20	25,60	72,45	12,84	34,50	84,40	93,50
REZ2	23,33	1,22	18,60	24,20	25,60	69,25	14,29	28,50	81,90	91,90
REZ1	23,41	3,48	12,90	22,10	35,20	75,67	19,88	18,10	99,90	99,90
2021										
REZ5	23,88	0,44	22,80	24,00	25,20	61,46	16,52	22,50	88,40	94,90
REZ4	23,49	0,66	21,10	23,90	25,70	60,16	15,79	24,70	48,70	91,40
REZ3	23,65	0,83	20,80	24,00	25,50	63,43	15,62	24,90	49,30	96,50
REZ2	23,28	1,14	18,90	23,90	25,50	62,75	17,12	22,70	49,90	95,70
REZ1	23,60	3,52	13,80	21,20	36,40	67,54	20,78	16,60	99,90	99,90

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2022										
REZ5	23,51	0,46	22,20	23,70	24,60	68,03	15,62	26,70	89,20	94,10
REZ4	23,06	0,73	19,50	23,40	24,30	67,08	15,22	30,90	88,90	93,30
REZ3	23,21	0,88	18,90	23,70	24,90	67,96	15,09	30,00	87,50	93,90
REZ2	22,84	1,22	16,40	23,70	24,90	69,78	15,50	29,10	88,70	97,30
REZ1	23,03	3,42	10,50	21,20	33,60	75,30	19,23	16,80	99,90	99,90
2023										
REZ5	23,96	0,60	22,80	23,80	25,40	66,93	12,44	29,90	66,60	94,60
REZ4	23,66	0,75	20,80	23,60	25,10	65,23	11,65	33,80	64,30	91,80
REZ3	23,93	0,98	20,50	23,80	25,90	65,11	11,76	33,80	64,90	90,90
REZ2	23,69	1,23	18,40	23,70	25,90	66,74	12,18	33,10	66,50	95,00
REZ1	24,52	3,69	13,40	24,40	36,20	71,63	17,64	22,00	72,10	99,90
2024										
REZ5	24,02	0,50	22,70	24,40	26,70	72,40	15,58	32,50	84,70	97,50
REZ4	23,69	0,76	20,60	24,30	25,00	69,79	13,91	29,80	80,60	99,30
REZ3	23,84	0,88	20,30	24,40	25,50	70,23	13,87	28,50	87,80	92,10
REZ2	23,48	1,16	18,40	24,30	25,30	72,32	14,73	27,40	89,30	96,40
REZ1	23,59	3,25	13,70	22,50	34,70	79,79	18,70	22,20	99,90	99,90

Em relação à temperatura, as maiores médias foram observadas no último setor da zona escura (REZ5), onde também estão registradas as menores variações térmicas, e o setor mais frio é a zona de penumbra (REZ2). Conforme esperado, a região mais próxima à entrada (REZ1) é aquela que apresenta as maiores va-

riações, com valores de desvio padrão muito acima das demais.

No que se refere à umidade, a região entre REZ3 e REZ4 foi aquela que registrou os menores valores de desvio padrão e, especificamente REZ4, os menores valores médios de umidade em todos os anos de monitoramento.

Dispersão estatística da temperatura e da umidade relativa do ar

A correlação estabelecida entre desvio padrão e temperatura média (Figura 92) permite observar, do ponto de vista estatístico, o comportamento das diferentes zonas microclimáticas da Lapa do Rezar. A região próxima à entrada (REZ1) se destaca dos demais setores devido à grande influência externa, seja em relação à temperatura, seja em relação à umidade.

Especificamente no que se refere à temperatura, o que se observa é que REZ2 apresenta

valores mais baixos e variações muito menores que REZ1, porém maiores que no restante da caverna. Em REZ5 se encontram as temperaturas mais altas (inclusive maiores que aquelas verificadas externamente em alguns anos) e as menores variações.

Em relação à umidade, verifica-se que o interior da caverna é mais seco que a superfície, e que as variações sazonais estão presentes de maneira quase uniforme em toda a extensão da caverna.

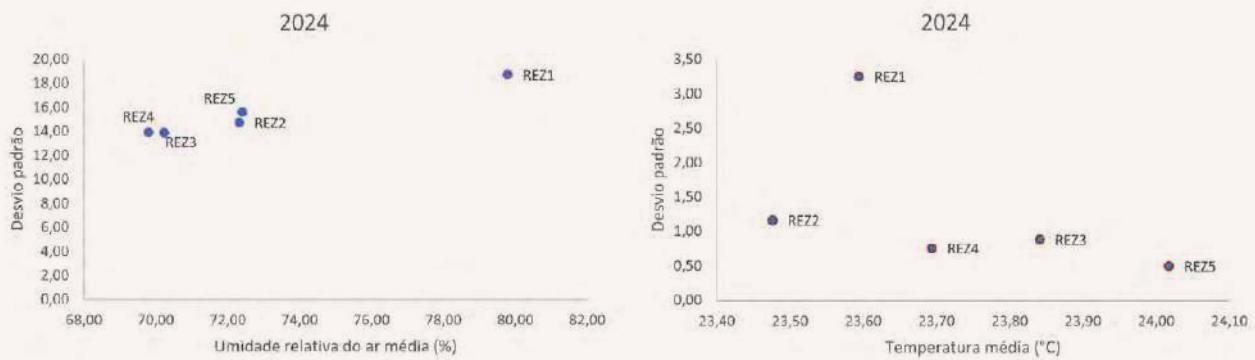


Figura 92: Gráficos de dispersão dos dados de média e desvio padrão da temperatura e da umidade relativa do ar da Lapa do Rezar no ano de 2024.

Zoneamento térmico e higríco

A interpolação dos valores das médias e desvio padrão mostra a distribuição espacial para a temperatura (Figuras 93 e 94). A combinação desses mapas deu origem ao Zoneamento Térmico (Figura 95). Da mesma forma, a interpolação dos valores das médias e desvio padrão mostra também a distribuição espacial para a umidade relativa do ar (Figuras 96 e 97),

e a combinação desses mapas, por sua vez, deu origem ao Zoneamento Higríco (Figura 98) da Lapa do Carlúcio.

É importante destacar que tanto o Zoneamento Térmico quanto o Zoneamento Higríco foram elaborados considerando os dados coletados em todo o período desta pesquisa, que podem ser verificados no material complementar.



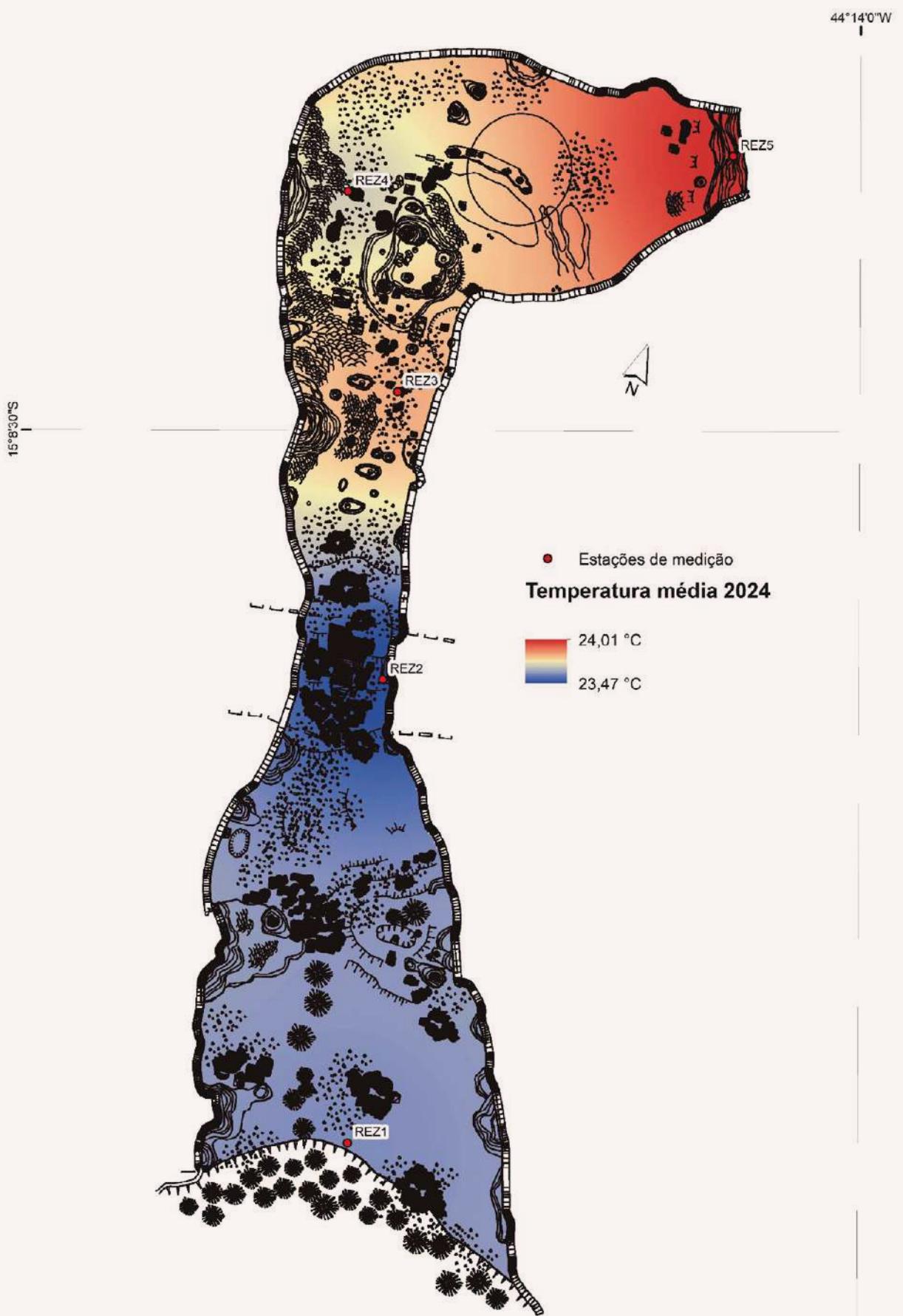


Figura 93: Espacialização dos valores médios da temperatura registrada na Lapa do Rezar em 2024.

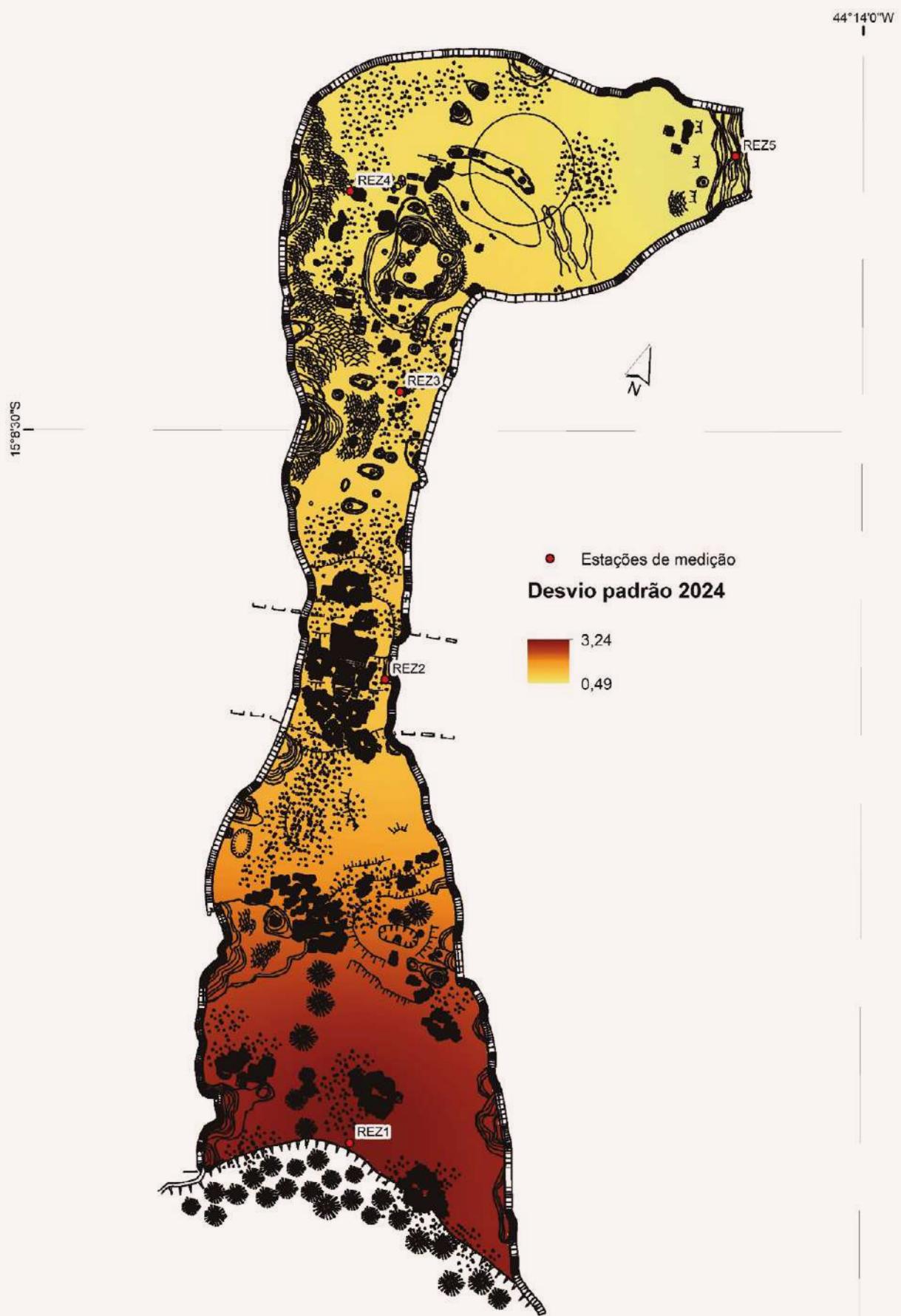


Figura 94: Espacialização dos valores de desvio padrão da temperatura registrada na Lapa do Rezar em 2024.

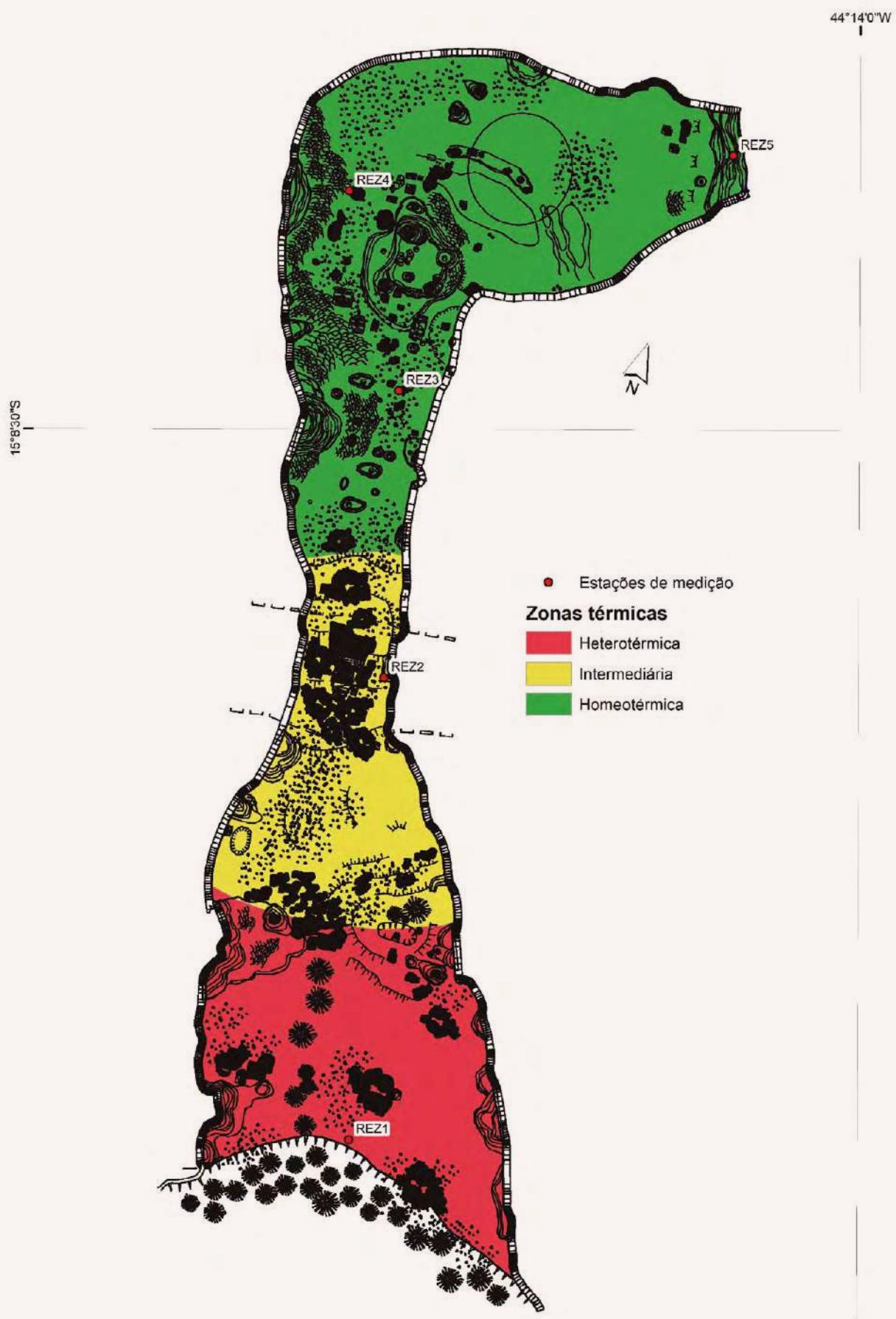


Figura 95: Zoneamento térmico da Lapa do Rezar.

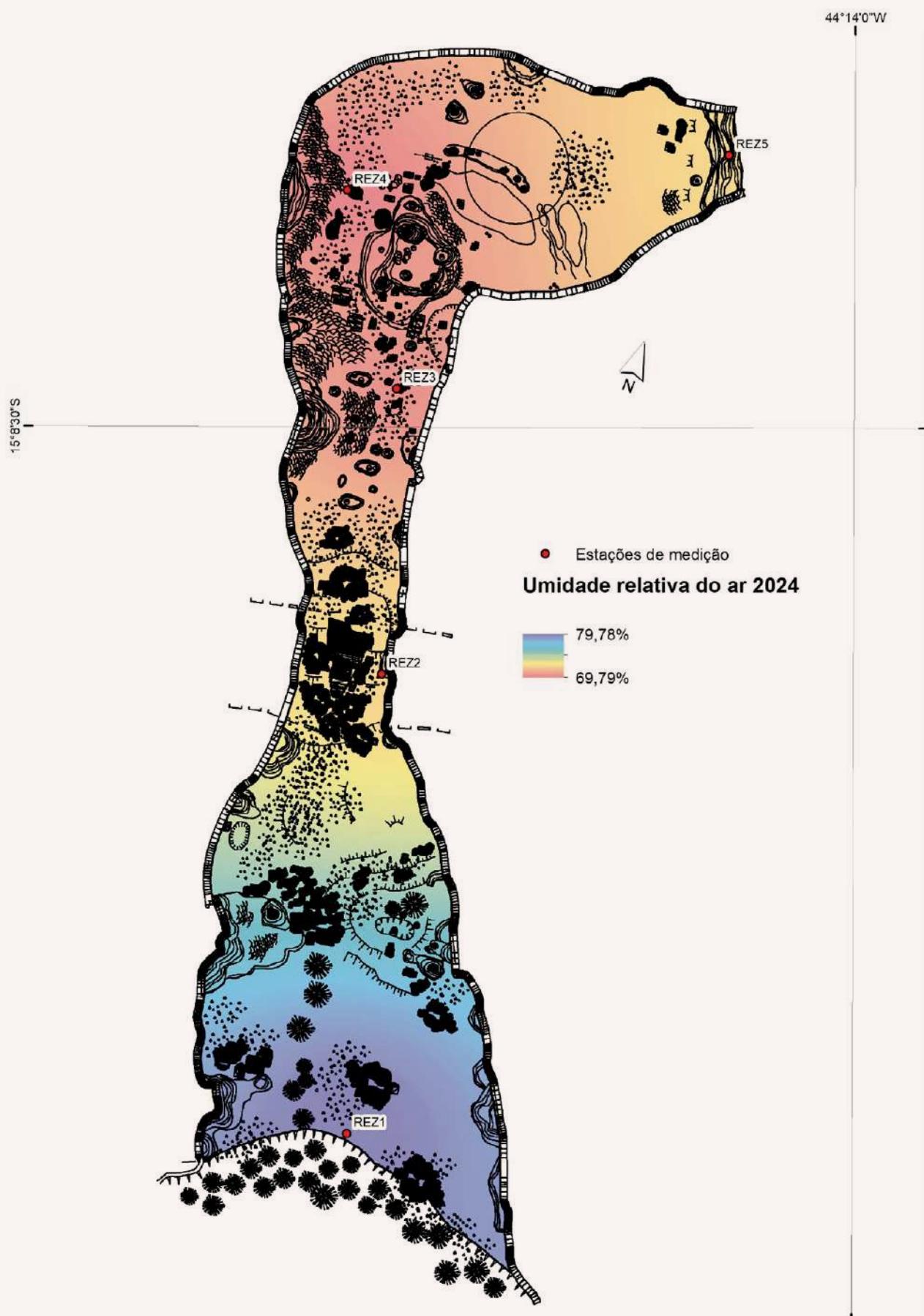


Figura 96: Espacialização dos valores médios da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Rezar em 2024.

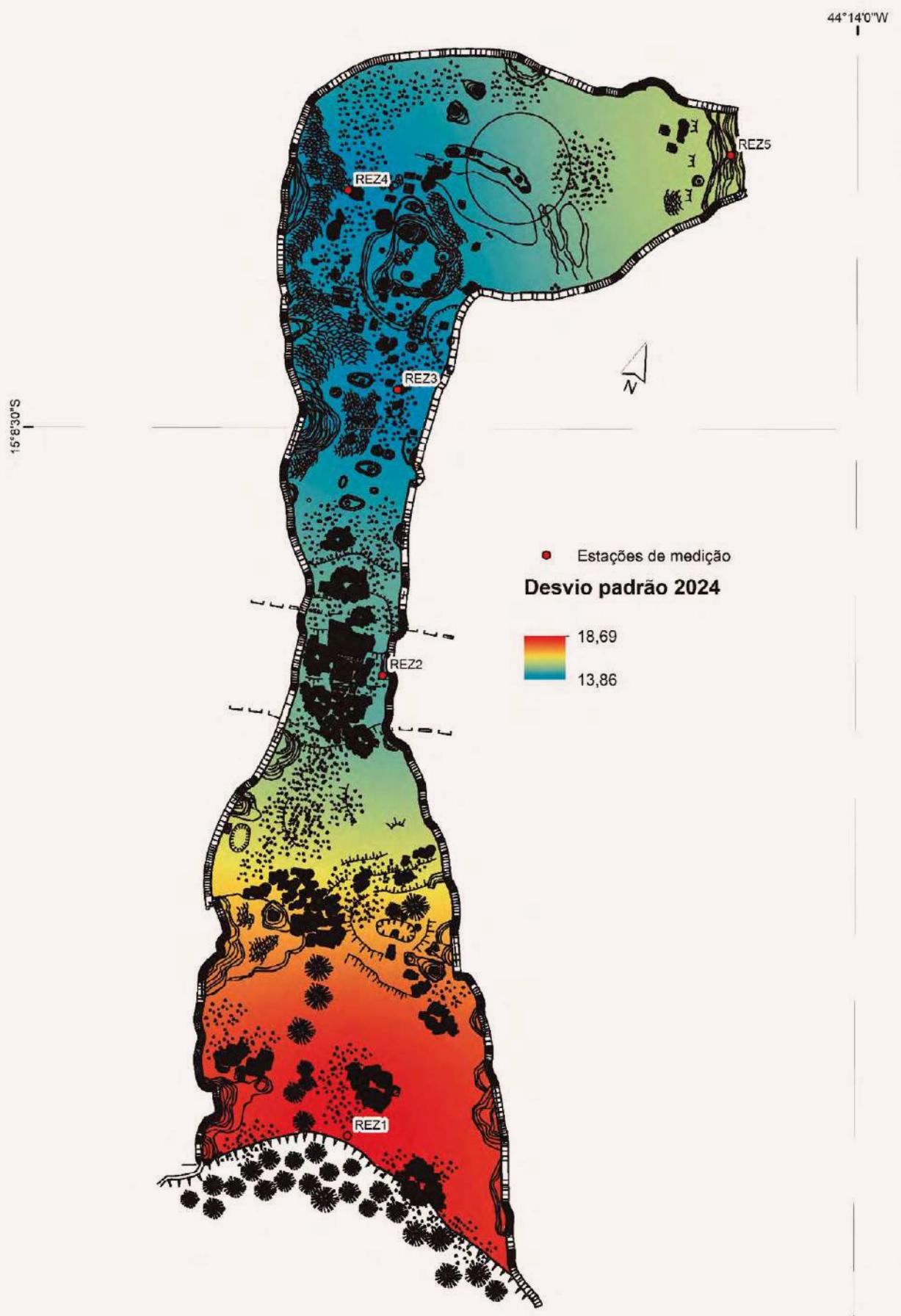


Figura 97: Espacialização dos valores de desvio padrão da umidade relativa do ar registrados na Lapa do Rezar em 2024.

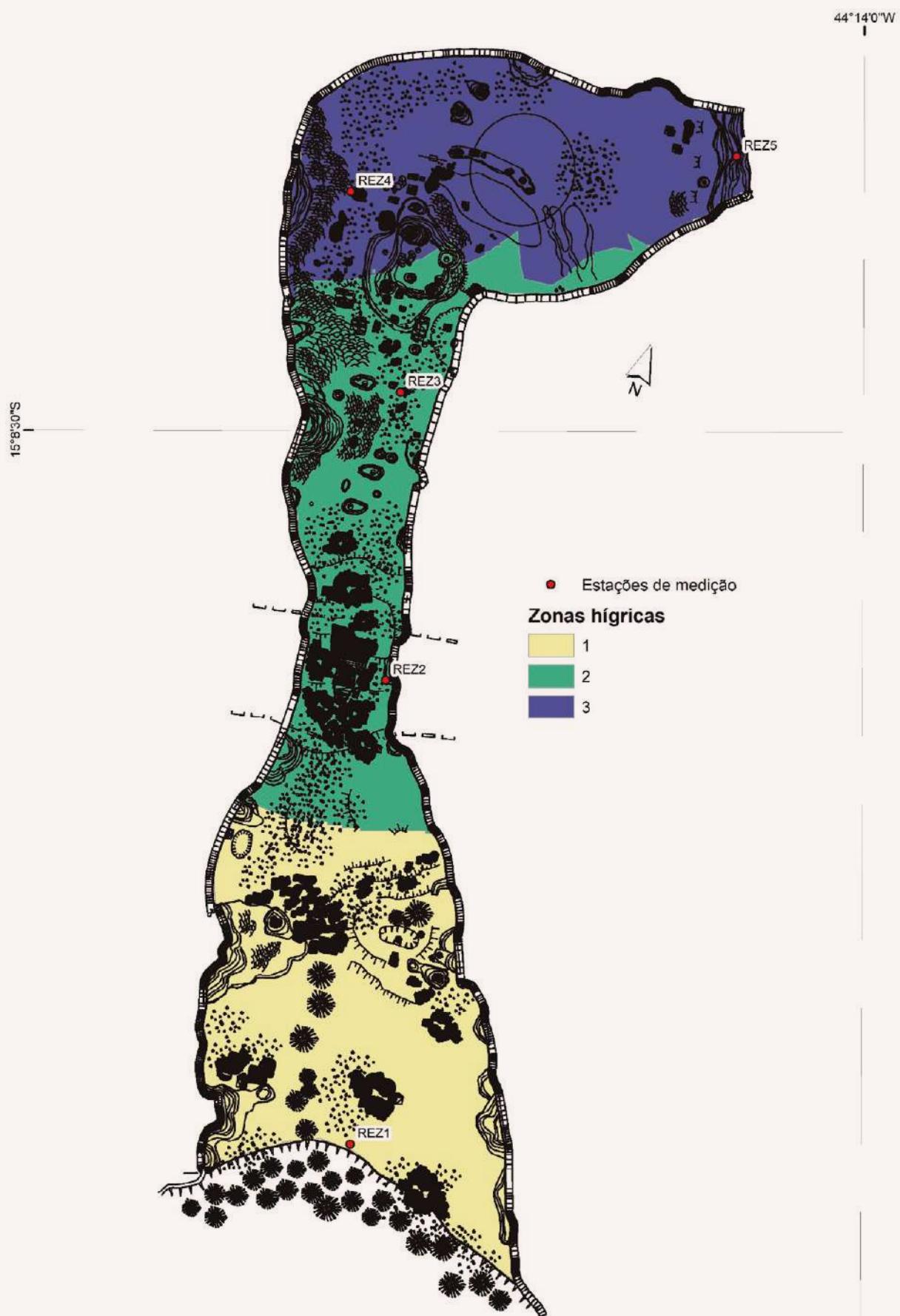


Figura 98: Zoneamento higrico da Lapa do Rezar.

O zoneamento microclimático da Lapa do Rezar apresenta três zonas distintas tanto para a representação das zonas térmicas quanto para as higrícas. A leitura desses mapas aliada à análise dos gráficos de dispersão (Figura 92) destaca que, apesar das variações anuais, a zona de entrada, com maior influência externa, apresenta um compor-

tamento microclimático bem distinto das demais. A zona de penumbra apresenta comportamento um pouco mais estável do que a de entrada, mas a influência externa ainda pode ser percebida. Já o terço final da caverna é o setor onde as influências externas são percebidas com menor intensidade, e onde se observa uma tendência à estabilidade

Temporalidade mensal

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

A sazonalidade da temperatura no PNCP (IBAMA, 2005) caracteriza-se basicamente pela existência de dois padrões térmicos distintos, sendo um com temperaturas mais quentes, de setembro a março (primavera e verão), e outro com temperaturas mais frias, entre abril e agosto (outono e inverno). A Tabela 13 registra os valores médios mensais de temperatura e umidade em cada uma das estações microclimáticas instaladas na Lapa do Rezar, enquanto as Figuras 99 e 100 apresentam as curvas da sazonalidade anual nos diferentes ambientes da caverna.

A análise destes dados permite concluir que as temperaturas mais altas e as mais baixas foram

registradas nos mesmos períodos, independentemente das zonas da caverna. As mais quentes em outubro e novembro e as mais frias em junho e julho. Já em relação à umidade, observou-se o período mais seco em setembro e o mais úmido variando entre fevereiro e abril.

As Figuras 99 e 100 representam graficamente os dados da Tabela 13, onde é possível verificar que o comportamento da temperatura observado em REZ1 se repete nos demais setores, porém com variações menos acentuadas. Em relação à umidade, percebe-se que as variações apresentadas entre as diferentes estações de medição ao longo do ano são muito discretas.

Tabela 13: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registradas nas estações microclimáticas da Lapa do Rezar durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE (%)				
	2018									
	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	26,06	24,37	24,35	24,05	24,33	62,85	64,17	62,83	63,44	63,24
FEV	25,42	24,73	24,74	24,41	24,60	76,69	73,14	70,79	68,90	73,26
MAR	24,74	24,45	24,62	24,38	24,56	81,44	76,85	78,97	73,99	76,34
ABR	24,09	23,99	24,31	24,17	24,38	83,45	78,47	81,76	75,82	76,73
MAI	24,04	23,86	24,19	24,04	24,32	71,13	67,29	72,27	65,47	65,08
JUN	22,83	23,00	23,66	23,61	24,03	60,86	57,15	62,17	54,69	53,83
JUL	21,49	21,78	22,86	22,85	23,58	56,30	51,96	55,34	48,21	47,36
AGO	23,23	22,84	23,34	23,24	23,66	54,11	52,21	56,18	50,13	48,96
SET	25,43	24,24	24,19	23,85	24,16	48,07	46,90	50,81	43,88	45,94
OUT	26,94	25,26	24,92	24,43	24,70	50,35	49,90	53,48	45,89	50,47

TEMPERATURA (°C)					UMIDADE (%)				
------------------	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--

2018

	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
NOV	27,78	25,67	25,38	24,80	25,08	55,59	55,23	59,04	53,92	58,03
DEZ	26,95	25,12	25,23	24,84	25,03	66,05	65,82	68,11	63,43	66,39

2019

	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	26,06	24,37	24,35	24,05	24,33	62,85	64,17	62,83	63,44	63,24
FEV	25,42	24,73	24,74	24,41	24,60	76,69	73,14	70,79	68,90	73,26
MAR	24,74	24,45	24,62	24,38	24,56	81,44	76,85	78,97	73,99	76,34
ABR	24,09	23,99	24,31	24,17	24,38	83,45	78,47	81,76	75,82	76,73
MAI	24,04	23,86	24,19	24,04	24,32	71,13	67,29	72,27	65,47	65,08
JUN	22,83	23,00	23,66	23,61	24,03	60,86	57,15	62,17	54,69	53,83
JUL	21,49	21,78	22,86	22,85	23,58	56,30	51,96	55,34	48,21	47,36
AGO	23,23	22,84	23,34	23,24	23,66	54,11	52,21	56,18	50,13	48,96
SET	25,43	24,24	24,19	23,85	24,16	48,07	46,90	50,81	43,88	45,94
OUT	26,94	25,26	24,92	24,43	24,70	50,35	49,90	53,48	45,89	50,47
NOV	27,78	25,67	25,38	24,80	25,08	55,59	55,23	59,04	53,92	58,03
DEZ	26,95	25,12	25,23	24,84	25,03	66,05	65,82	68,11	63,43	66,39

2020

	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	25,12	24,59	24,89	24,67	24,88	80,98	75,60	76,47	72,63	74,26
FEV	24,72	24,34	24,60	24,44	24,65	85,23	79,85	80,67	77,67	79,45
MAR	23,44	23,89	24,21	24,17	24,42	92,39	84,25	85,35	81,51	83,30
ABR	23,16	23,60	23,93	23,89	24,22	88,96	80,77	83,66	77,73	80,11
MAI	20,99	22,28	22,83	22,88	23,64	86,08	73,85	76,78	70,43	69,68
JUN	20,51	21,64	22,24	22,29	23,17	77,61	66,57	69,97	63,50	62,20
JUL	20,92	21,69	22,21	22,23	23,00	65,11	57,39	62,13	55,43	54,91
AGO	22,46	22,36	22,72	22,65	23,17	58,62	54,26	59,31	52,96	52,48
SET	24,89	23,54	23,68	23,38	23,75	48,75	47,38	52,54	45,82	46,60
OUT	26,27	24,72	24,79	24,26	24,60	63,35	59,56	63,50	55,87	61,02
NOV	23,76	23,67	24,00	23,89	24,16	83,71	77,47	79,96	75,19	76,12
DEZ	24,67	23,62	23,93	23,78	24,07	77,63	74,86	79,74	72,47	74,13

2021

	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	25,48	24,08	24,29	24,04	24,28	71,89	69,98	75,02	68,37	69,54
FEV	23,86	23,79	24,14	24,00	24,23	88,66	81,92	84,55	78,23	80,70

TEMPERATURA (°C)					UMIDADE (%)					
2021										
	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
MAR	24,00	23,54	23,86	23,74	24,07	74,69	69,99	73,42	68,26	68,06
ABR	24,26	23,83	24,09	23,92	24,16	74,05	69,20	72,36	66,54	68,50
MAI	23,09	23,06	23,49	23,38	23,89	60,45	55,06	58,22	53,54	53,63
JUN	22,34	22,79	23,29	23,24	23,74	61,35	54,91	57,40	53,14	53,25
JUL	21,30	21,99	22,59	22,59	23,30	56,95	49,64	51,00	47,34	47,59
AGO	22,28	22,34	22,78	22,73	23,27	55,46	50,47	51,97	48,87	48,33
SET	25,94	24,02	24,16	23,70	24,02	46,76	45,80	46,56	43,94	46,41
OUT	26,27	24,69	24,84	24,36	24,56	66,55	64,47	64,12	61,34	65,04
NOV	23,50	23,57	23,98	23,89	24,12	89,91	83,21	80,96	78,64	80,99
DEZ	23,42	23,38	23,76	23,71	23,95	94,44	89,58	87,18	85,75	87,39

2022										
	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	23,53	23,19	23,49	23,35	23,74	89,57	85,95	84,73	84,65	84,41
FEV	23,39	23,27	23,54	23,36	23,71	92,54	88,03	86,57	86,85	87,20
MAR	23,58	23,35	23,58	23,40	23,71	84,76	79,62	78,65	78,37	78,21
ABR	23,48	23,41	23,69	23,51	23,81	81,21	74,92	73,50	72,75	73,37
MAI	21,18	22,04	22,66	22,64	23,36	73,41	64,23	62,14	61,31	60,82
JUN	20,13	21,14	21,88	21,90	22,84	68,39	58,69	56,28	55,41	54,12
JUL	21,05	21,49	22,07	22,07	22,75	65,48	58,52	56,53	55,81	55,44
AGO	22,44	22,27	22,67	22,57	23,02	56,67	52,12	50,59	50,14	49,83
SET	24,25	23,00	23,26	22,97	23,39	56,18	53,50	51,86	49,33	52,78
OUT	26,50	24,34	24,40	23,86	24,14	57,80	55,89	54,50	53,29	57,42
NOV	23,65	23,52	23,88	23,71	23,94	85,27	78,54	75,58	72,91	76,92
DEZ	23,24	23,13	23,49	23,46	23,71	93,67	88,80	85,99	85,58	87,28

2023										
	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	23,65	23,15	23,43	23,29	23,62	91,48	87,44	85,49	86,18	87,20
FEV	24,20	23,46	23,65	23,40	23,70	83,21	78,50	77,32	78,12	79,05
MAR	24,69	23,91	24,01	23,73	23,91	76,79	72,63	71,66	72,09	73,39
ABR	23,99	23,75	23,99	23,77	23,96	82,52	75,43	73,72	73,70	75,20
MAI	22,54	22,92	23,35	23,29	23,71	76,04	67,34	65,42	65,34	65,43
JUN	21,72	22,33	22,85	22,84	23,41	70,49	61,63	59,51	59,45	59,23
JUL	21,96	22,19	22,68	22,64	23,21	63,77	56,53	54,59	54,61	54,31
AGO	23,40	22,90	23,22	23,04	23,42	63,94	58,53	56,43	54,66	58,07
SET	25,76	24,05	24,16	23,74	23,97	58,36	56,07	54,71	54,64	56,58

TEMPERATURA (°C)					UMIDADE (%)					
2023										
	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
OUT	27,69	25,11	25,11	24,46	24,68	60,43	60,01	59,00	59,62	63,21
NOV	27,24	25,19	25,28	24,72	24,88	66,38	63,66	62,22	62,94	66,04
DEZ	27,42	25,36	25,48	24,95	25,09	66,95	63,32	61,60	61,80	65,63
2024										
	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5	REZ1	REZ2	REZ3	REZ4	REZ5
JAN	24,7	24,5	24,8	24,6	24,7	90,7	84,6	81,9	81,3	85,8
FEV	23,8	24,0	24,3	24,3	24,4	93,1	85,9	83,5	83,1	86,3
MAR	24,7	24,4	24,6	24,3	24,4	93,7	87,7	85,7	85,9	91,3
ABR	23,6	23,9	24,2	24,1	24,3	92,0	83,4	81,2	81,1	84,9
MAI	22,6	23,2	23,6	23,6	24,0	84,6	73,5	71,4	71,0	72,5
JUN	21,5	22,3	22,9	22,9	23,6	78,4	66,9	65,0	64,2	64,9
JUL	20,6	21,6	22,3	22,3	23,1	70,2	59,1	57,0	56,3	56,3
AGO	22,8	22,6	23,0	22,9	23,4	63,2	56,8	55,4	54,7	55,2
SET	24,5	23,5	23,7	23,4	23,7	52,3	48,8	47,8	47,8	48,0
OUT	26,2	24,6	24,7	24,2	24,4	70,7	66,1	64,4	63,3	68,4
NOV	24,3	23,9	24,2	24,0	24,2	88,7	82,1	79,2	78,8	82,3
DEZ	25,3	24,1	24,3	24,1	24,2	91,3	87,7	84,2	83,8	91,2

Lapa do Rezar - Início da zona escura.



Lapa do Rezar – Médias mensais (°C)

01/01/2024 a 02/12/2024

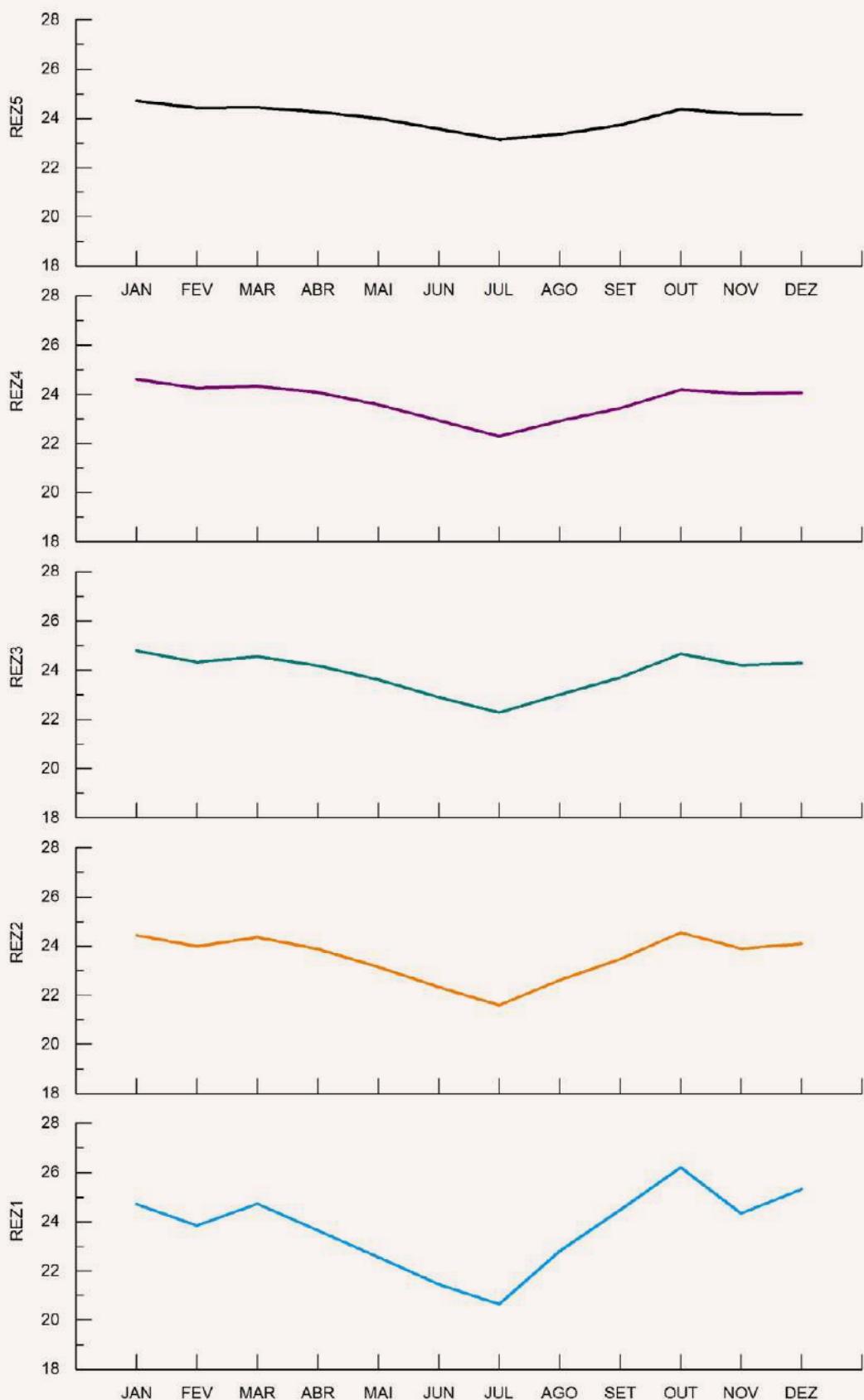


Figura 99: Curvas da sazonalidade anual da temperatura na Lapa do Rezar em 2024.

Lapa do Rezar – Médias mensais (%)

01/01/2024 a 02/12/2024

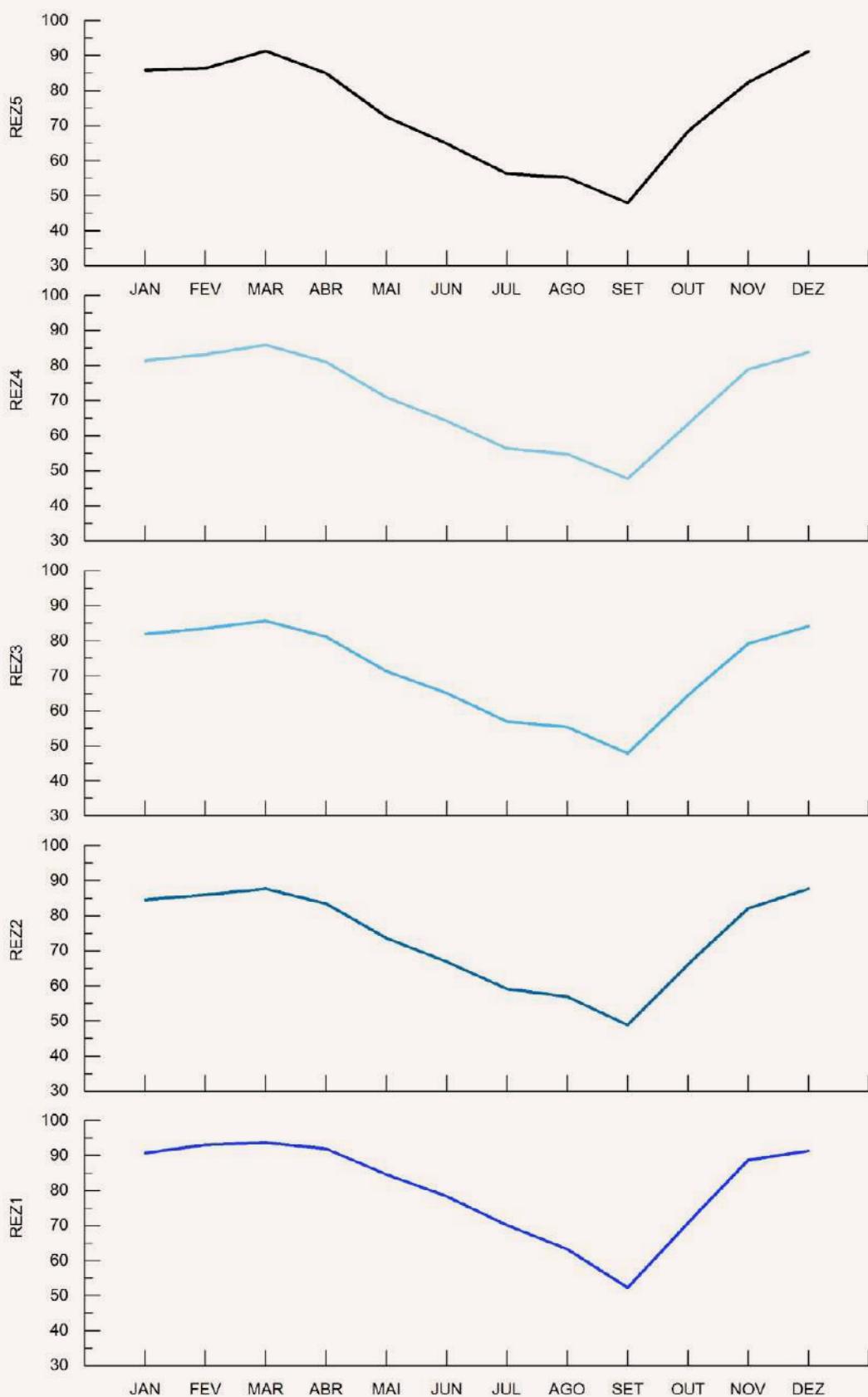


Figura 100: Curvas da sazonalidade anual da umidade relativa do ar na Lapa do Rezar em 2024.



GRUTA DO JANELÃO



Com 4.740 metros de extensão, a Gruta do Janelão, uma das maiores cavernas do Brasil, é também a maior caverna do vale do rio Peruaçu e o principal atrativo do PNCP. A caverna está localizada no último segmento subterrâneo do rio Peruaçu, onde se destaca a presença de Mata Ciliar próximo à calha fluvial e de Mata Seca no topo da entrada e na borda das claraboias.

O monumental arco que caracteriza a sua entrada principal (Figura 101) recebe também o rio Peruaçu, que percorre toda a extensão da caverna. Além das impressionantes claraboias que caracterizam a chamada “zona clara” da caverna, o acesso ao exterior também ocorre pelo conduto do Minotauro e, em sua saída, por duas imponentes bocas que se abrem para o cânion escarpado do rio Peruaçu (Figura 102).

Gruta do Janelão apresenta em sua galeria principal alturas e larguras que podem atingir 100 metros. No teto da galeria abrem-se grandes claraboias que proporcionam a instalação de formações vegetais no interior da caverna, configurando um cenário espetacular (PILÓ; RUBBIOLI, 2002, p.457).

A monumentabilidade de suas galerias, a imponência de suas claraboias com suas matas interiores, o contraste de luz e sombra provocado pela entrada de luz natural, o rio Peruaçu serpenteando entre os bancos de sedimentos, os colossais escorramentos de calcita, formam um cenário de indescritível beleza cênica (IBAMA, 2005, p.32).

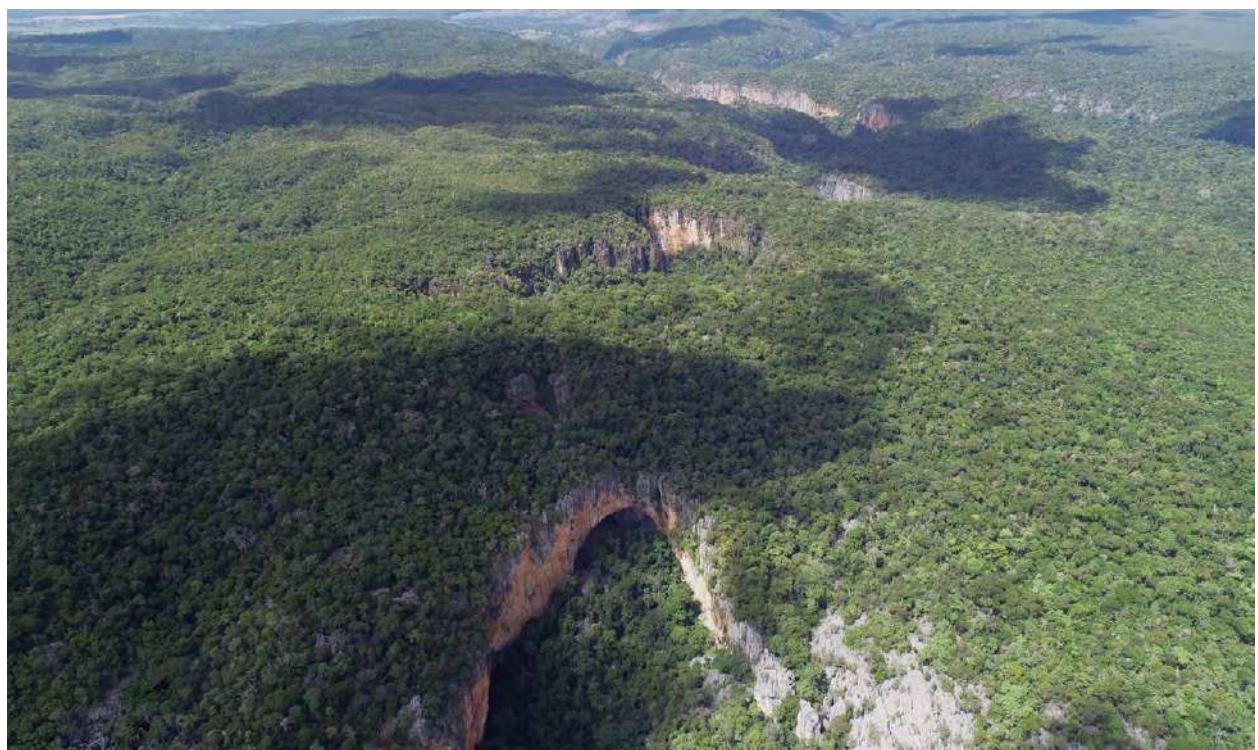


Figura 101: Aspectos da paisagem do entorno da entrada da Gruta do Janelão.

A presença do rio Peruaçu, as grandes dimensões dos condutos e os diversos acessos ao meio externo, fazem com que a Gruta do Janelão se caracterize como um ambiente de alta circulação de energia, diferindo das demais cavernas monitoradas por este projeto. Inicialmente foram instalados quatro termo-higrômetros na caverna (identificados

pelo prefixo JAN na figura 102). Porém a análise dos dados coletados nos dois primeiros anos da pesquisa evidenciou a necessidade de um estudo mais minucioso e com uso de uma quantidade maior de equipamentos. Por esse motivo, optou-se pela realização do monitoramento microclimático na Gruta do Janelão em um outro momento.

ATRATIVOS DE OBSERVAÇÃO GRUTA DO JANELÃO - MG 199

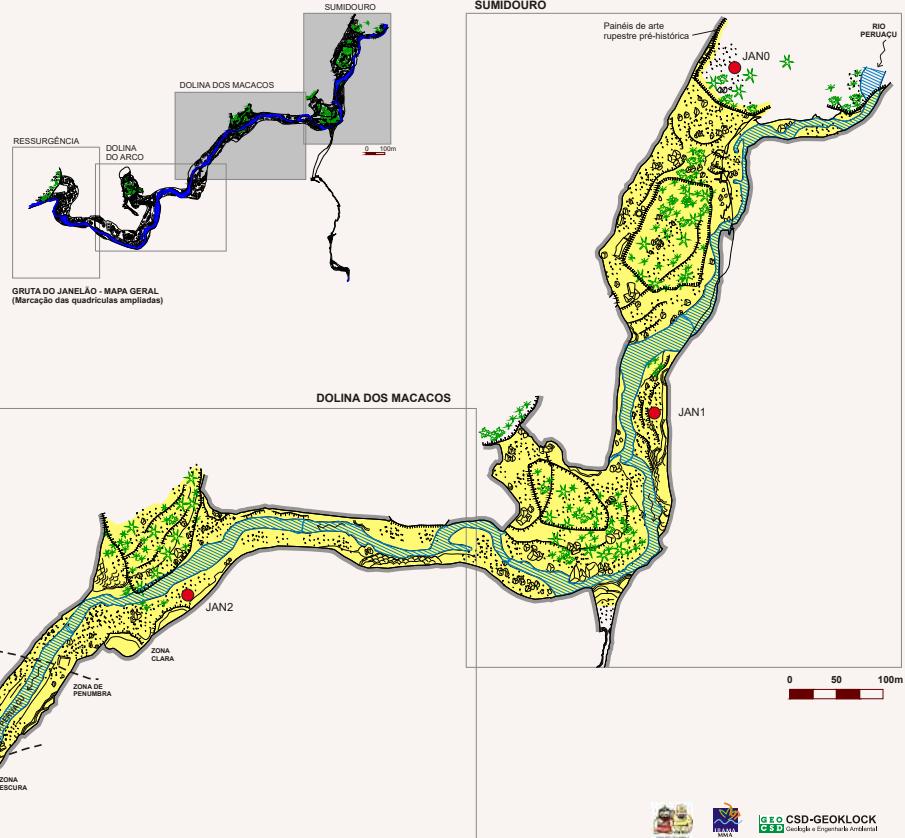
Município de Januária - Itacarambi - Minas Gerais

Localização (UTM 23 L)
x= 581.540 y= 8.329.060
Projeção horizontal: 4.740 m
Desnível: 176 m

Topografia grau: 5D - BCRA
Coord. Claude Chabert
Grupo Bambu de Pesquisas Espeleológicas

LEGENDA QUALIDADE DOS ATRATIVOS DE OBSERVAÇÃO DA CAVERNA

- BAIXA
- MÉDIA
- ALTA



ATRATIVOS DE OBSERVAÇÃO GRUTA DO JANELÃO - MG 199

Município de Januária - Itacarambi - Minas Gerais
Localização (UTM 23 L)
x= 581.540 y= 8.329.060
Projeção horizontal: 4.740 m
Desnível: 176 m

Topografia grau: 5D - BCRA
Coord. Claude Chabert
Grupo Bambu de Pesquisas Espeleológicas

LEGENDA QUALIDADE DOS ATRATIVOS DE OBSERVAÇÃO DA CAVERNA

- ALTA
- MÉDIA
- BAIXA



Figura 102: Mapa topográfico da Gruta do Janelão (IBAMA, 2005).

A seguir, são apresentados os dados e análises relacionadas aos dois anos de coleta de dados, sendo que os demais resultados esperados (zoneamento, p. ex.) devem compor uma futura etapa desta pesquisa.

Em relação à disposição dos equipamentos (Figura 102), assim como na Lapa Bonita,

instalou-se um equipamento na área externa da caverna, próximo à sua entrada principal. Outros 4 medidores foram distribuídos ao longo da caverna, sendo que um desses foi instalado próximo à sua saída, na boca por onde ressurge o rio Peruacu.

Sequenciamento anual

A Figura 103 apresenta as medições anuais de temperatura e umidade para a Gruta do Janelão. Em relação à temperatura, conforme esperado, observa-se que esse atributo apresenta variações menores no interior da caverna quando comparadas àquelas registradas no exterior (JAN0). A influência do ambiente externo é percebida também em JAN3, instalado na Dolina dos Macacos, que recebe maior insolação nos períodos mais quentes do ano (verão e primavera). Em JAN5, instalado no “final” da caverna, não se percebe grande

estabilidade da temperatura, comportamento observado nas demais cavernas monitoradas, devido aos acessos ao meio externo (ou seja, as duas “saídas” da caverna).

Em relação à umidade, observa-se uma grande variação externa, registrada pelo equipamento instalado próximo à entrada, e essa característica também é observada na Dolina dos Macacos (JAN3) durante o verão e a primavera. Nos demais locais, a umidade apresenta um comportamento muito similar, muito provavelmente devido à presença do curso d’água no ambiente cavernícola.

Contagem absoluta dos registros

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Em relação à temperatura, a distribuição de frequência evidenciou maior variação no ambiente externo (JAN0) do que internamente (Figura 104). Entretanto, como a caverna possui diversas entradas, e devido à presença do rio Peruacu, variações importantes também foram observadas nos demais medidores internos, sobretudo ao comparamos essas com aquelas observadas nas demais cavernas que integram este estudo.

Outro ponto que se destaca nos gráficos da Figura 105 é que o setor mais “confinado” da caverna (parte escura – JAN3 e JAN4) é o que apresenta as menores variações nesse conjunto de dados, mesmo considerando a proximidade do medidor JAN4 com a “saída” da caverna. Estudos

mais específicos podem confirmar essa situação, mas em todas as expedições de campo observou-se um fluxo contínuo de ar, concordante com o curso do rio Peruacu.

Nos gráficos relativos à distribuição de frequência dos registros de umidade observa-se uma maior variação no ambiente externo (JAN0), com destaque para o conjunto de valores próximos a 100%, influenciado pela estação chuvosa. Por outro lado, a estação seca registrou valores abaixo de 30%.

Internamente, excetuando-se JAN1, os demais medidores apresentaram poucos registros próximos aos 100% e nenhum valor abaixo de 30%.

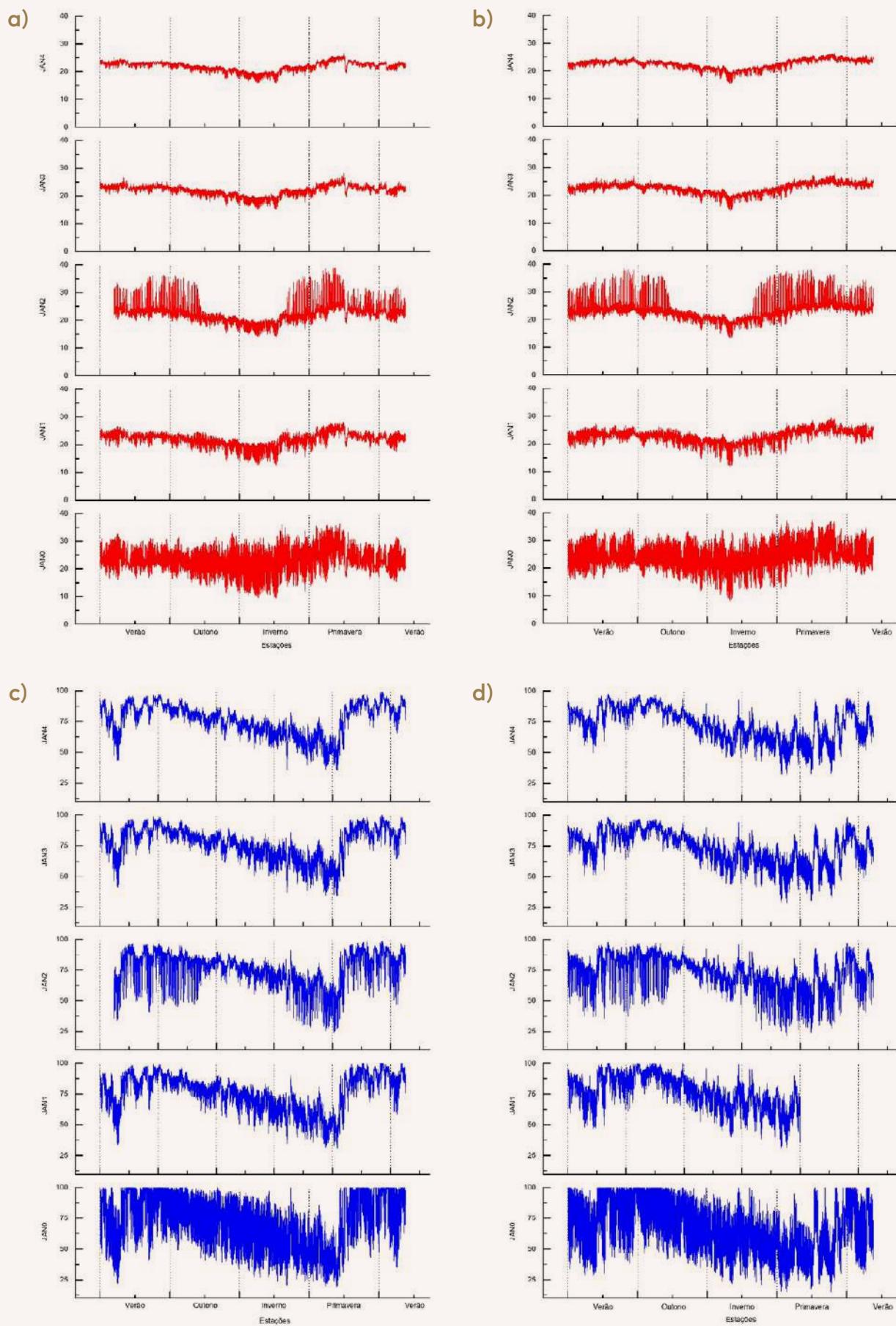


Figura 103: Médias anuais da Gruta do Janelão. a) temperatura em 2018; b) temperatura em 2019; c) umidade em 2018; e d) umidade em 2019.

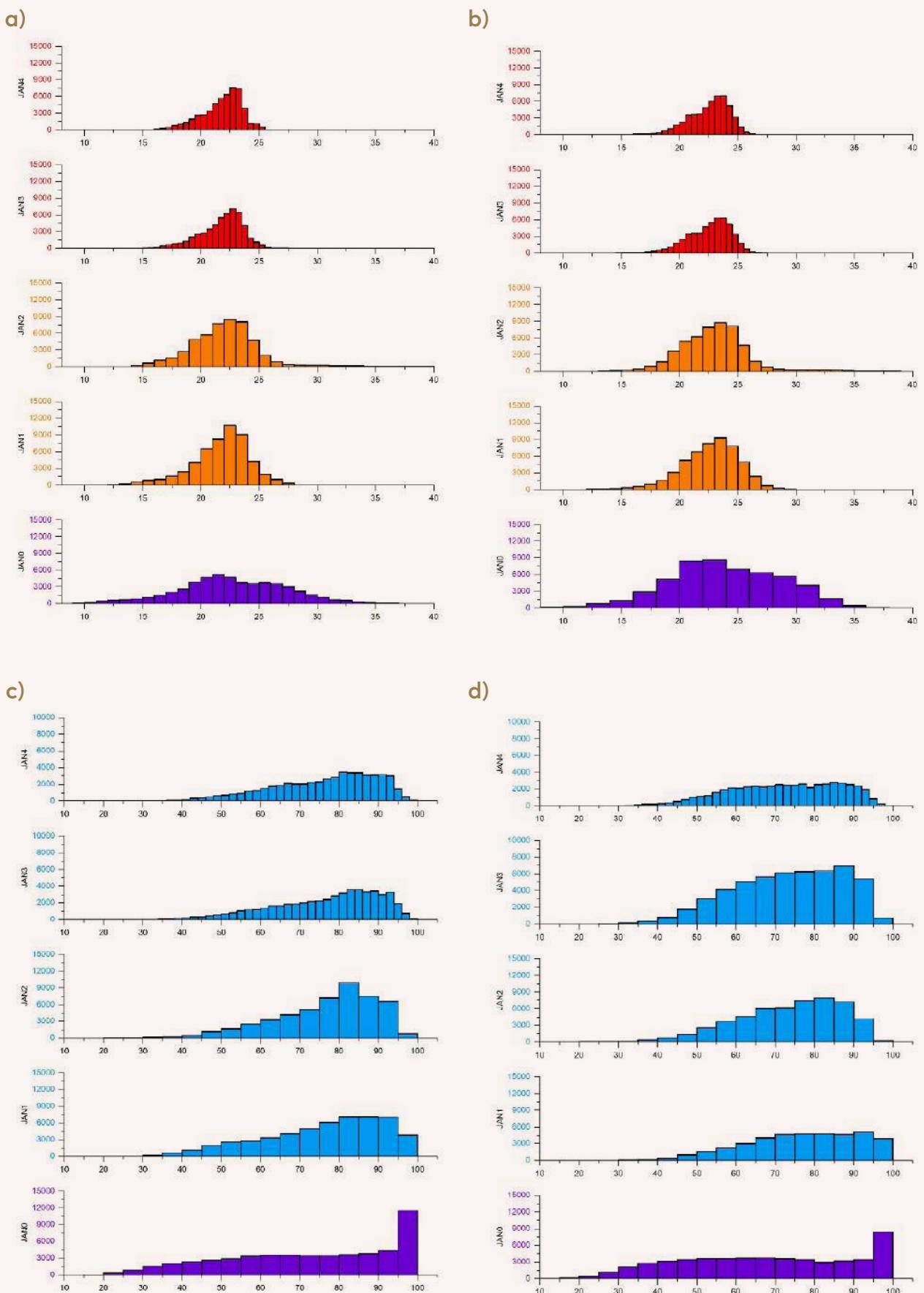


Figura 104: Contagem absoluta dos parâmetros microclimáticos na Gruta do Janelão.

a) temperatura em 2018; b) temperatura em 2019; c) umidade em 2018; e d) umidade em 2019.

Temporalidade anual

Tendências centrais e variabilidade térmica e hídrica

A Tabela 14 apresenta as medidas estatísticas descritivas dos dados coletados na Gruta do Janelão. Devido às suas características, ob-

serva-se que a influência externa sobre o microclima da caverna é mais significativa do que nas demais.

Tabela 14: Estatística descritiva de temperatura e umidade relativa do ar na Gruta do Janelão.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.	Média	DP	Mín.	Moda	Máx.
2018										
JAN4	21,78	1,70	15,80	22,80	26,70	76,16	13,04	35,30	91,40	99,40
JAN3	21,73	1,84	15,10	22,80	28,10	76,91	13,21	34,50	85,80	99,90
JAN2	21,93	2,76	14,00	22,50	39,00	76,81	12,67	24,20	83,70	98,10
JAN1	21,69	2,42	12,60	22,80	28,10	76,06	15,17	31,10	88,10	99,90
JAN0	22,66	4,53	9,40	21,00	36,20	72,83	21,53	19,10	99,90	99,90
2019										
JAN4	22,49	1,71	15,20	23,50	26,70	72,41	13,66	31,70	83,60	97,40
JAN3	22,47	1,84	14,30	23,20	28,10	73,21	13,81	28,50	87,40	98,50
JAN2	22,86	2,83	13,00	23,80	38,30	73,44	13,26	21,20	85,20	97,70
JAN1	22,59	2,45	11,50	23,80	29,30	76,93	14,15	30,90	99,90	99,90
JAN0	23,89	4,77	7,90	21,40	37,70	67,95	21,94	15,10	99,90	99,90

As medidas de tendência central (média e moda) da temperatura no interior da caverna possuem valores muito próximos àqueles verificados no exterior (JAN0). O Desvio Padrão (DP) evidencia três cenários distintos: o ambiente externo, com uma maior variação da temperatura; a chamada parte clara da caverna (JAN1 e JAN2), que ainda sofre grande influência externa devido às grandes claraboias; e a parte escura (JAN3 e JAN4), onde foram observadas as menores variações. Ainda em relação a este atributo, verifica-se também a influência externa provocada pela

Dolina dos Macacos, que possibilita um grande período de insolação no interior da caverna, contribuindo assim para o registro das maiores máximas da temperatura.

Em relação à umidade relativa do ar, percebe-se o efeito do confinamento espacial ao observar médias mais elevadas e desvio padrão com valores mais baixos do que o ambiente externo. O efeito da grande abertura da Dolina dos Macacos (JAN2) também influencia o registro das mínimas, que apresentaram valores mais próximos àqueles observados no ambiente externo.



Temporalidade mensal

Devido aos motivos apresentados anteriormente, a situação geral do microclima da Gruta do Janelão ficará mais evidenciada após a realização de estudos mais completos. Porém, a título ilustrativo, são apresentados a seguir os estudos mensais dos dados de temperatura e

umidade relativa do ar relacionados aos dois anos de coleta de dados nessa caverna. Estas análises contribuirão para uma melhor compreensão do comportamento das condições climáticas subterrâneas, levando em consideração as variações sazonais.

Tendências centrais e variabilidade térmica e higríca

A Figura 105 apresenta as curvas da sazonalidade anual nos diferentes ambientes da caverna, enquanto a Tabela 15 registra os valores médios mensais em cada uma das estações microclimáticas instaladas na Gruta do Janelão. A lacuna nos dados referentes às medições em JAN1 no ano de 2019 se deve a um defeito no

sensor de umidade do equipamento.

Observando-se as curvas de sazonalidade anual, verificou-se que o comportamento climático identificado no meio externo (JAN0) praticamente se repete no meio subterrâneo, porém com discretas reduções de amplitude devido às características intrínsecas da caverna.



Figura 105: Curvas de sazonalidade. a) Temperatura em 2018; b) temperatura em 2019; c) umidade em 2018; e d) umidade em 2019.

Tabela 15: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registradas nas estações microclimáticas da Gruta do Janelão durante os anos monitorados.

	TEMPERATURA (°C)					UMIDADE RELATIVA (%)				
	2018					2019				
	JAN0	JAN1	JAN2	JAN3	JAN4	JAN0	JAN1	JAN2	JAN3	JAN3
JAN	24,19	23,40	24,04	23,17	23,15	71,71	73,89	70,74	76,79	76,64
FEV	22,79	22,52	23,26	22,67	22,66	87,60	88,20	85,86	88,14	87,61
MAR	23,12	22,60	23,50	22,79	22,81	87,87	89,44	86,12	89,30	88,50
ABR	21,99	21,54	22,13	21,80	21,87	82,81	84,10	82,71	83,95	82,92
MAI	21,08	20,32	20,37	20,70	20,84	75,00	77,61	79,66	77,56	76,38
JUN	20,08	18,83	18,93	19,40	19,62	69,81	73,76	77,19	74,41	73,38
JUL	19,16	17,86	17,88	18,41	18,64	62,40	66,25	70,70	67,42	66,93
AGO	22,95	21,08	20,84	20,83	20,88	55,58	61,61	66,87	64,40	63,77
SET	24,70	22,68	22,78	22,20	22,20	47,77	53,41	58,04	56,94	56,38
OUT	26,28	24,70	24,81	24,00	23,93	60,83	66,31	68,59	68,31	67,03
NOV	22,96	22,60	23,08	22,59	22,56	86,53	89,41	86,54	88,21	87,41
DEZ	22,62	22,17	22,78	22,27	22,24	87,39	89,82	86,25	88,40	87,93
2019										
JAN	23,92	22,66	23,32	22,58	22,61	72,15	77,28	75,54	77,63	76,81
FEV	24,33	23,50	24,22	23,42	23,34	81,92	85,83	81,87	84,82	84,36
MAR	24,03	23,36	24,04	23,37	23,29	85,32	89,43	84,93	87,59	87,12
ABR	23,61	22,66	23,25	22,83	22,84	85,29	91,85	86,52	88,60	87,91
MAI	22,84	21,67	21,71	21,90	22,02	76,22	83,12	81,94	80,56	79,70
JUN	21,61	20,37	20,22	20,65	20,79	65,38	73,29	74,69	71,14	70,12
JUL	20,37	19,01	18,83	19,32	19,46	59,99	67,50	68,85	64,91	63,98
AGO	22,34	20,67	20,63	20,57	20,63	56,26	66,45	66,27	63,37	62,67
SET	25,02	22,82	23,08	22,35	22,33	48,59	60,13	58,08	57,17	56,49
OUT	26,67	24,82	25,12	24,07	23,99	51,18	63,62	59,66	59,64	58,78
NOV	26,86	25,49	25,60	24,79	24,70	60,43	-	66,35	66,56	65,52
DEZ	25,18	24,22	24,46	23,97	23,95	73,60	-	77,12	77,32	76,35

Os dados da Tabela 15 detalham um pouco mais as variações apresentadas pelas curvas de sazonalidade. A aplicação de cores nas células foi utilizada para facilitar a visualização das transições, sendo utilizado vermelho para as

médias mais altas e azul para as mais baixas, no caso das temperaturas. Nos dados relativos à umidade, a variação de cores vai do azul escuro, para os maiores índices, ao azul claro, para os menores.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer as características do microclima presente nas cavernas traz importantes contribuições para o desenvolvimento do turismo nesse tipo de ambiente. Tais características podem afetar a experiência dos visitantes, assim como a conservação do espaço. O ar com alta taxa de umidade, por exemplo, pode tornar o piso mais escorregadio, aumentando o risco de acidentes, enquanto as correntes de ar podem afetar a temperatura e a qualidade do ar na caverna no tocante a material particulado e/ou acúmulo de gases. Além disso, a conservação das formações rochosas pode depender da manutenção de um ambiente estável e controlado dentro da caverna.

Esta publicação apresenta uma visão geral do comportamento microclimático de sete cavernas que integram o circuito aberto à visitação turística no PNCP. Os resultados foram obtidos por meio de análises dos dados obtidos em um monitoramento contínuo de temperatura e umidade relativa do ar levado a termo entre os anos de 2018 e 2024. Nesse estudo, observou-se que a menor temperatura média no interior de caverna foi registrada em 2022, no salão de entrada da Lapa Bonita (19,05°C). Já a maior temperatura foi registrada em 2020 na entrada da Lapa do Rezar (24,56°C). Considerando todas as estações de medição, as cavernas com as menores médias foram a Lapa do Carlúcio (20,51°C) e a Lapa Bonita (20,69°C), enquanto as maiores médias foram registradas na Lapa do Rezar (23,72°C) e na Lapa dos Desenhos (23,53°C).

No que diz respeito à umidade relativa do ar, o menor registro médio foi identificado no último

salão da Lapa do Rezar (58,87%), e o valor mais elevado foi encontrado no último salão da Lapa Bonita (99,90). Considerando os dados gerais, a caverna com a menor média geral foi a Lapa dos Desenhos (66,50%) e a com a maior média geral foi a Lapa Bonita (90,87%).

Ao comparar os registros dos mesmos termo-higrômetros nos diferentes anos de monitoramento, observou-se que o ano de 2019 apresentou as maiores médias de temperatura e menores médias de umidade relativa do ar. Por outro lado, o ano de 2022 apresentou as menores médias de temperatura e as maiores médias de umidade. Esse comportamento reforça a importância do monitoramento de longo prazo em cavernas tropicais, inaugurado no país por este projeto

De modo geral, os resultados aqui apresentados corroboram pesquisas realizadas em regiões de clima mais ameno, tanto no Brasil quanto em outros países. O referencial teórico que embasou os estudos destaca a grande influência exercida pelas condições climáticas externas no comportamento do microclima das cavernas, fator que pode ser observado também nas cavernas do PNCP. Além dessa constatação, também foi verificado que o microclima cavernícola tende à estabilidade, à medida que aumenta a distância das entradas. Confirmou-se também a influência das dimensões e da morfologia das entradas e dos condutos das cavernas no comportamento do microclima cavernícola.

Mas, além do diagnóstico espeleoclimático das cavernas, que oferecerá contribuições de



grande importância para a gestão desses atrativos, cumpre ressaltar as diversas oportunidades de novas pesquisas vislumbradas durante o desenvolvimento deste trabalho. Para todas as cavernas, exceto a Gruta do Janelão, foi possível estabelecer zoneamentos microclimáticos distintos em relação à temperatura e à umidade.

Devido às suas grandes proporções e morfologia, assim como à presença do rio, a Gruta do Janelão suscita a realização de estudos mais detalhados. A instalação de um número maior de estações de monitoramento, tanto na parte clara, quanto na parte escura, pode contribuir para a elaboração de um zoneamento mais fidedigno. Ao considerarmos que a visitação ocorre atualmente somente na parte clara, mas existe a previsão de que o percurso se estenda até um trecho da parte escura, o estudo detalhado das condições climáticas da caverna poderá oferecer importantes contribuições para a gestão do atrativo.

Ainda se tratando de perspectivas futuras aliadas à elaboração do programa de monitoramento previsto no plano de manejo do PNCP, cita-se a possibilidade de estabelecer uma relação entre a presença humana no interior das cavernas e possíveis alterações no microclima. O aprimoramento da gestão e do controle de visitantes poderá fornecer os subsídios necessários à identificação de tais impactos. Ainda em relação à influência antrópica no espeleoclima, o monitoramento dos níveis CO₂ poderia ser uma abordagem interessante, sobretudo em cavernas com maior confinamento espacial, como a Lapa

Bonita. Outra possibilidade de complementação dos estudos aqui apresentados seria o monitoramento contínuo e efetivo das condições climáticas externas, considerando as unidades morfoclimáticas estabelecidas no plano de manejo.

De maneira geral, os equipamentos utilizados se mostraram confiáveis, e seu desempenho atendeu às expectativas. Entretanto, houve a necessidade de substituição de algumas estações de medição devido a vazamento de pilhas e a danos nos sensores devido ao ataque de mocós (*Kerodon rupestris*). Por esses motivos, alguns dos resultados apresentados exibem pequenas lacunas devido à ausência de dados em determinados períodos.

Além dos resultados inerentes ao monitoramento da temperatura e da umidade, considera-se importante destacar também a interação entre os pesquisadores, a equipe do PNCP e os condutores que atuam diariamente no atendimento ao público. Foram diversas oportunidades de troca de experiência durante as atividades de campo e em palestras realizadas pela equipe de pesquisa. Nesse contexto, verifica-se nova oportunidade para desdobramento dos resultados do projeto com a inclusão desse tema nos programas de educação ambiental da unidade, bem como no processo de capacitação e qualificação dos condutores ambientais.

Espera-se que o conjunto de informações coletadas por este projeto possa suscitar novos estudos nas mais diversas áreas correlatas à espeleologia e, mais especificamente, pesquisas relacionadas ao riquíssimo patrimônio espeleológico conservado pelo PNCP.

Referências bibliográficas

- BADINO, G. Underground Meteorology - " What ' S the Weather Underground ?" Podzemna Meteorologija : " Kaksno Je Vreme V Podzemlju ?" p. 427-448, 2010.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Presidência da República, 1998.
- BRASIL. Decreto nº 8403 de 21 de setembro de 1999, 1999.
- CASAL, M. A. Corografia Brazilica. Rio de Janeiro. 1817.
- CECAV. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE. Disponível em: < <https://sicae.sisicmbio.icmbio.gov.br/usuario-externo/login>>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- CIGNA, A. A. Environmental management of tourist caves. *Environmental Geology*, v. 21, n. 3, p. 173-180, 1993.
- CIGNA, A. A. Climate of caves. In: GUNN, J. (Ed.). *Encyclopedia of Caves*. New York: Fitzroy Dearborn, 2003. p. 467-475.
- COURA, J. F.; HASHIZUME, B.R.. Província Espeleológica de Januária. 10º Congresso Nacional de Espeleologia. 1975. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 2018. p.9-12.
- COUTO, L. C. O. Microclima da Lapa de Antônio Pereira (Ouro Preto, MG): monitoramento espeleoclimatológico e zoneamento termohigrométrico cavernícola. Belo Horizonte, MG: Tese (Doutorado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2021.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR, D. et al. Is global warming affecting cave temperatures? Experimental and model data from a paradigmatic case study. *Climate Dynamics*, v. 45, n. 3-4, p. 569-581, 2015.
- FREITAS, C. R. DE. The Role and Importance of Cave Microclimate in the Sustainable Use and Management of Show Caves Vloga in Pomen Jamske Mikroklima Pri Trajnostni. *Acta Carsologica*, v. 39, n. 3, p. 477-489, 2010.
- GOMES, M.; JANSEN, D. C.; SANTOS, D. J. Proposta metodológica para realização de atividades de monitoramento de impactos ambientais sobre o patrimônio espeleológico brasileiro. *Caderno de Geografia*, v. 24, n. 41, p. 123-130, 2014.
- GOMES, M. et al. Monitoramento microclimático de grutas turísticas de Minas Gerais: estudo de caso da Lapa Bonita, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Anais... Bonito, MS: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2019.
- GOMES, M. et al. Monitoramento Microclimático de Grutas Turísticas em Minas Gerais : Análise Preliminar dos Dados de Temperatura e Umidade Relativa do Ar em Sete Cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu Introdução. *Biodiversidade Brasileira*, v. 11, n. 4, p. 121-133, 2021a.
- GOMES, M. et al. Caracterização microclimática de cavernas turísticas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Minas Gerais, Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 33, p. 1-18, 2021b.
- IBAMA. Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - Plano de manejo. Brasília, DF: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2005.
- ICMBIO. Termo de Compromisso Ambiental 01/2016. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2016.
- JANSEN, D. C. et al. Mapa de vulnerabilidade natural do Patrimônio Espeleológico da região de abrangência do PAN Cavernas do São Francisco. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v. 1, n. 4, p. 15, 2014.

LOBO, H. A. S. Histórico das pesquisas espeleoclimáticas em cavernas brasileiras. *Espeleo-Tema*, v. 21, n. 2, p. 131–144, 2010.

LOBO, H. A. S. Espeleoclima e suas aplicações no manejo do turismo em cavernas. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, v. 23, p. 27–54, 2012.

LOBO, H. A. S. Circulação microclimática entre superfície, grandes dolinas e cavernas no carste de São Desidério, Bahia. *Sociedade & Natureza*, v. 25, n. 1, p. 163–178, 2013.

LOBO, H. A. S.; PERINOTTO, J. A. DE J.; POUDOU, S. Análise de agrupamentos aplicada à variabilidade térmica da atmosfera subterrânea: Contribuição ao zoneamento ambiental microclimático de cavernas. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 11, n. 1, p. 22–35, 2009.

MAGNE, L. et al. Evidence of daily and seasonal inversions of airflow in petites dales cave, Normandy, France. *Acta Carsologica*, v. 46, n. 2–3, p. 179–197, 2017.

MMA. Portaria nº 358, de 30 de setembro 2009. Brasília, DF, BRASIL: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

OLIVEIRA, I. P. M. R. Barramentos naturais no Vale do Rio Peruáçu : Consequências ecológicas e ambientais de eventos pretéritos e futuros. Lavras, MG: Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada). Universidade Federal Lavras, Minas Gerais, 2008.

PAULA, H. C. DE et al. Caracterização, diagnóstico e cadastramento da Lapa de Antônio Pereira - MG. *Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Anais...Ouro Preto, MG: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2007.

PILÓ, L. B.; RUBBIOLI, E. Cavernas do Vale do Rio Peruáçu (Januária e Itacarambi), MG. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília, DF: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. p. 453–460.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. *Science*, v. 165, n. 3897, p. 971–981, 1969.

SANTOS, D. J. et al. Microclimatic monitoring of caves open for tourism at the Cavernas do Peruáçu National Park, Minas Gerais, Brazil. (M. Prelovšek, Ed.) 26th International Karstological School “Classical Karst”. Anais... Postjna: Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Karst Research Institute, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://iks.zrc-sazu.si/wp-content/uploads/2019/12/IKS-26-Guide-book-2018-2.pdf&ved=2ahUKEwiF38b7ztKLAxRrIJUCHYcAFiwQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw2FAm8EreR8SGcKuSuU5P1Z>>. Acesso em: 20 fev 2025.

ŠEBELA, S.; PRELOVŠEK, M.; TURK, J. Impact of peak period visits on the Postojna Cave (Slovenia) microclimate. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 111, n. 1–2, p. 51–64, 18 jan. 2013.

SERAFINI-JÚNIOR, S. Delimitação de unidades climáticas locais no Parque Nacional Cavernas do Peruáçu. São Paulo, SP: Dissertação (Mestrado em Climatologia). Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, L. A. Relatório de excursão: Januária, MG. 10º Congresso Nacional de Espeleologia, 1975. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 2018. p.5-8.

SPIX, J. P. Viagem pelo Brasil (1787-1820). Munique: tradução de Lúcia Furquim Lahmeyer (2017), Senado Federal, 1823

STOEVA, P.; STOEV, A. Cave air temperature response to climate and solar and geomagnetic activity. *Memorie Della Societá Astronomica Italiana*, v. 76, p. 1042–1047, 2005.

TOOMEY III, R. Geological monitoring of caves and associated landscapes. *Geological monitoring*, n. 02, p. 27–46, 2009.

TRAVASSOS, L. E. P. A importância cultural do carste e das cavernas. Belo Horizonte, MG: Tese (Doutorado em Tratamento da Informação Espacial) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2010.

TRAVASSOS, L. E. P. Assesment of natural and atropogenic process in micrometeorology of Postojna cave system by numerical models and modern methods of data aquisition and transfer. Postojna: Pontifical Catholic University of Minas Gerais & Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, 2016.

Sobre os autores

Mauro Gomes

Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais e especialista em Geoprocessamento pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atua como Analista Ambiental no Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (Cecav), no qual participa do desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas para a conservação dos ambientes cavernícolas e das espécies associadas, bem como em ações de manejo para a conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0196021174381333>



Darcy José dos Santos

Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais e especialista em Geoprocessamento pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atua como Analista Ambiental no Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (Cecav), no qual participa do desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas para a conservação dos ambientes cavernícolas e das espécies associadas, bem como em ações de manejo para a conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3821589339882779>



Luiz Eduardo Panisset Travassos

Doutor em Carstologia pela University of Nova Gorica (Eslovênia) e doutor em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). Professor do Departamento de Geografia e professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC-MG. Professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. Bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Atua em ensino e pesquisa nas áreas de: Carstologia; Geomorfologia Cártica; Geodiversidade; Geopatrimônio; Geoconservação.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9118322656718483>





Úrsula de Azevedo Ruchkys

Doutora em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e mestre em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). Professora do Departamento de Cartografia da UFMG e dos Programas de Pós-Graduação em Geografia e em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG. Bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Atua em ensino e pesquisa nas seguintes áreas: Geodiversidade; Geopatrimônio; Geoconservação; Modelagem Ambiental e Geoprocessamento.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0031049365155055>



Débora Campos Jansen

Mestre em Tratamento da Informação Espacial pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). Atuou como Analista Ambiental no Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (Cecav), no qual participou do desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas para a conservação dos ambientes cavernícolas e das espécies associadas, bem como em ações de manejo para a conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0999602951945246>

