

Registros microclimáticos preliminares da Gruta Pau-Ferro, Monjolos, Minas Gerais¹

Juliana Torres de Souza²

Luiz Eduardo Panisset Travassos³

RESUMO

As cavernas desenvolvidas nos calcários de Minas Gerais são feições cársticas que apresentam condições microclimáticas peculiares. Embora façam parte de um sistema maior e pareçam estar isoladas da superfície, as condições externas influenciam a dinâmica interna. Dessa forma, o objetivo principal da pesquisa consiste em demonstrar o comportamento do microclima da Gruta Pau-Ferro, município de Monjolos, Minas Gerais. Entre os meses de maio de 2017 e março de 2018, foram instalados termo higrômetros (Testo 175 H1) para registro de temperatura e umidade ao longo do conduto principal da caverna. Após a coleta dos dados, estes foram tabulados e tratados para elaboração de gráficos que possibilitaram uma melhor visualização do microclima local. As análises preliminares demonstraram que embora a caverna seja considerada por muitos como um meio independente das condições externas, estas mostraram-se como fatores determinantes em algumas variações. Portanto, compreender as cavernas como parte de um sistema maior pode favorecer a preservação tanto da geodiversidade quanto da biodiversidade.

Palavras-cave: Carste. Cavernas. Monjolos. Minas Gerais. Microclima.

Preliminary microclimatic records of Pau Ferro Cave, Monjolos, Minas Gerais

ABSTRACT

The caves developed in the limestones of Minas Gerais are karst features that present peculiar microclimatic conditions. Although they are part of a more extensive system and appear to be isolated from the surface, external conditions influence internal dynamics. Thus, the main objective of the research is to demonstrate the behaviour of the microclimate of the Pau-Ferro Cave, municipality of Monjolos, Minas Gerais. Between May 2017 and March 2018, Thermo Hygrometers (Testo 175 H1) were installed to record temperature and humidity along the main conduit of the cave. After the data were collected, they were tabulated and processed for graphing that enabled a better visualisation of the local microclimate. Preliminary analyses have shown that although the cave is considered by many as a medium independent of external conditions, these have proved to be determinant factors in some variations. Therefore, understanding caves as part of a more extensive system may favour the preservation of both geodiversity and biodiversity.

Keywords: Karst. Caves. Monjolos. Minas Gerais. Microclimate.

¹ Resultado da pesquisa FIP-2017/882-2S, PUC Minas

² Graduada em Geografia pela PUC Minas. E-mail: julianatorres155@hotmail.com

³ Doutor em Geografia e Doutor em Carstologia. Professor do Departamento de Geografia da PUC Minas.

E-mail: luizepanisset@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A paisagem cárstica é normalmente caracterizada por afloramentos rochosos que evidenciam um relevo fortemente condicionado pela estrutura geológica e pelo intemperismo. Esse sistema é o resultado de processos físico-químicos com formações de superfície como os lapiás, as dolinas, as uvalas e os poljes e, na subsuperfície, cavernas e aquíferos. Os afloramentos carbonáticos compreendem cerca de 15.000.000 Km² da superfície terrestre ou aproximadamente 11% dessa superfície. Já os carbonatos subsuperficiais que compõe a dinâmica de circulação hídrica, são estimados em cerca de 14% da área mundial (FORD; WILLIAMS, 2007). Uma nova estimativa dessas porcentagens, especialmente no tocante aos afloramentos rochosos, foi realizada por Williams e Fong (2008). Nessa nova proposta, os autores demonstram que cerca de 12,5% da superfície terrestre mundial apresentam afloramentos carbonáticos. Os autores ressaltam, ainda, que na proposta diferenciaram as áreas onde as rochas carbonáticas são relativamente puras e contínuas, daquelas relativamente impuras e descontínuas.

É nesse contexto litológico que se desenvolvem a maioria das cavidades naturais subterrâneas conhecidas até hoje. Para Lobo (2012), as cavernas são espaços subterrâneos elaborados em meio a diversas litologias e que podem ter diversos tamanhos, dentre poucos metros até centenas de quilômetros, sendo tanto horizontais quanto verticais. Além disso, são muito atrativas sob o ponto de vista do turismo em seus vários segmentos. Por esse motivo, deve-se buscar um melhor conhecimento acerca do microclima destes espaços.

Em cavidades naturais subterrâneas que recebem um fluxo significativo de visitação, observa-se que um dos maiores desafios para os gestores quando pensam as atividades turísticas é a busca pela melhor forma de desenvolver o turismo e infraestrutura associada à atividade com o mínimo de impacto possível ao ambiente, aos guias e aos turistas. Além dos impactos físicos diretos, que são relativamente mais fáceis de identificar e avaliar (e.g. passarelas, quebra da rocha e de espeleotemas, sujeira em espeleotemas, lixo, etc.), o turismo altera o microclima da caverna, que é fator crucial para manutenção do ecossistema subterrâneo. A literatura tem mostrado que a mudança do microclima pode ameaçar espécies endêmicas, bem como alterar processos naturais como a deposição de espeleotemas reduzindo as taxas de crescimento ou corroendo-os, por exemplo (TRAVASSOS, 2016).

Lobo (2012) afirma que os estudos voltados para o microclima cavernícola ainda são recentes no Brasil e o olhar científico em estudos de monitoramento para descobrir a dinâmica hídrica, balanço atmosférico subterrâneo desses locais não chegam a atingir dois anos de

monitoramento contínuo. Contudo, os registros de temperatura e umidade em um período maior que 24 meses foi registrado em Leão (2018).

Pelo exposto, buscou-se a caracterização preliminar do microclima da Gruta Pau-Ferro, uma cavidade natural subterrânea esporadicamente visitada no município de Monjolos, Minas Gerais. Para que o objetivo geral fosse atingido, os autores descreveram fisiograficamente a região, morfologicamente a caverna e registraram por 10 meses os parâmetros de umidade e temperatura na caverna para caracterização preliminar do microclima da caverna.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho fundamentou-se no aprofundamento teórico dos temas relacionados ao microclima de cavernas por meio de revisão bibliográfica e prática em campo. Devido a algumas diferenciações metodológicas existentes nos estudos sobre o microclima cavernícola, optou-se por destacar os principais parâmetros que serão monitorados e que não apresentam divergência entre os autores (e.g.: temperatura e umidade). No entanto, ressalta-se que as divergências mencionadas ocorrem muito em função das particularidades de cada caverna e não dos procedimentos adotados, que seguem mais ou menos a mesma direção: 1) análise da viabilidade de se estabelecer a rede de monitoramento na caverna selecionada; 2) seleção ou elaboração do mapa da caverna; 3) seleção dos pontos de coleta de dados; 4) coleta dos dados; 5) análise dos resultados e 6) elaboração de diretrizes para melhor manejo do ambiente cavernícola.

No caso da Gruta do Pau-Ferro, que não apresenta controle de visitação, existe a dificuldade de estabelecer uma rede de monitoramento constante. Além disso, condições meteorológicas externas (e.g. chuvas intensas) podem favorecer a danificação ou perda de equipamentos em função direta de alagamentos ou aumento de umidade.

Para a pesquisa, a temperatura da caverna foi continuamente medida utilizando 5 *data loggers* Testo 175 H1 (Figura 1 e Tabela 1) capazes de realizar medições de temperatura e umidade em longo prazo. Os dados foram registrados a cada 10 minutos durante todo os 10 meses de pesquisa. A sonda de temperatura tem uma precisão de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$, operando na faixa entre -20 a $+55^{\circ}\text{C}$. Já o sensor capacitivo de umidade apresenta uma precisão $\pm 2\%$ com resolução de $0,1\%$, operando na faixa entre 0 a 100%. Cada aparelho é capaz de coletar e armazenar cerca de 1.000.000 de dados com taxa de medição de 15 minutos.

Figura 1 – Croqui da Gruta do Pau-Ferro e a localização dos *dataloggers*



Fonte: Modificado de Oliveira *et al.* (2007, p.214)

Tabela 1 - Equipamentos utilizados

EQUIPAMENTO	LOCALIZAÇÃO
1	Próximo à entrada da caverna.
2	Cerca de 60 m da entrada.
3	A cerca de 500m da entrada, na parte mais alta, próximo as colunas e formações mais recentes de estalactites.
4	Instalado a cerca de 590 metros da entrada, localizado na parte acima do afluente do Rio Pardo Pequeno, próximo a bifurcação que leva ao ponto mais elevado do conduto.
5	O equipamento instalado foi danificado devido ao contato excessivo com a água, perdendo todos os dados.

Fonte: Dados da pesquisa.

Alguns registros de dados externos à caverna foram realizados para verificar possíveis influências no subterrâneo. Devido a falta de segurança para a instalação da Estação Meteorológica Portátil (Modelo ITWH1080), optou-se por selecionar uma área relativamente próxima a caverna e que oferecesse alguma proteção ao equipamento que registrou dados relativos à temperatura do ar, umidade, vento, precipitação e pressão atmosférica. O equipamento registra os valores de temperatura externa com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$ com resolução de $0,1^\circ\text{C}$, operando em uma faixa de -40 a $+65^\circ\text{C}$. A umidade relativa do ar foi registrada operando em uma faixa de 10% a 99%, com precisão de $\pm 5\%$ e resolução de 1%. Dados relativos à velocidade e direção do vento apresentaram

precisão de ± 1 m/s, operando em uma faixa de 0 a 160 km/h. A precipitação no exterior da caverna foi medida pela Estação apresentando uma resolução de 0,3 mm e a pressão atmosférica foi registrada com resolução de 0,1 hPa com uma precisão entre 700 - 1.100 hPa). Dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram selecionados a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) para futuras comparações. Os dados selecionados foram os de temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento do período de maio de 2017 a março de 2018.

Foram feitos no total, cinco trabalhos de campo na área de estudo. Na primeira missão de campo foi instalada a Estação meteorológica, próximo ao distrito de Rodeador, a cerca de 15 km da caverna.

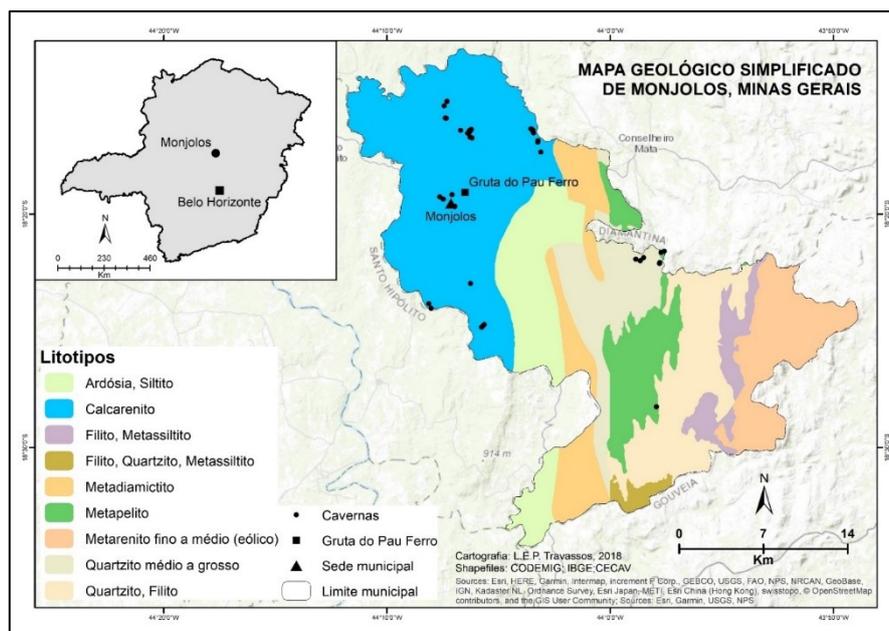
Ainda no primeiro campo, foram instalados três *loggers* no interior da caverna para verificar a viabilidade da pesquisa. Na segunda missão, foram instalados os dois últimos aparelhos, totalizando uma rede de monitoramento composta por cinco aparelhos. No terceiro trabalho de campo, realizado no início da segunda quinzena de novembro, ocorreu a tentativa de coleta dos dados. Contudo, em função de fortes chuvas e presença de fluxo hídrico na caverna, a tarefa não pode ser concluída. Na quarta, e última missão de campo, foram recolhidos todos os equipamentos da gruta, assim como a Estação meteorológica instalada no campo de lapiás próximo a Rodeador.

Posteriormente, os dados obtidos foram tabulados para elaboração dos gráficos que favoreceram a análise.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

O município de Monjolos, que apresenta o contato litológico entre o carbonato e o quartzito, apresenta sua sede municipal distante aproximadamente a 230 km ao norte da capital mineira, Belo Horizonte. O acesso é realizado pelas rodovias BR-040, em direção a Brasília, depois pela BR-135 sentido a Curvelo e, por fim, a MG-220.

A geologia regional (Figura 2) é composta por compartimentos rochosos de idades diversas que de acordo com Augustin *et al.* (2011), estão inseridos no domínio do Cráton do São Francisco, na unidade geotectônica do Supergrupo São Francisco. Para a região estudada, no Supergrupo São Francisco, encontram-se as rochas predominantemente quartzíticas do Supergrupo Espinhaço, a oeste, e as rochas metapelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, a leste (OLIVEIRA *et al.*, 2017). De acordo com Bacellar (1989), a Gruta Pau-Ferro está inserida no Domínio E2 (BARCELLAR, 1989).

Figura 2 – Mapa de localização da Gruta Pau-Ferro e outras cavernas na região

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelos autores.

O mapa do IGA (1977) classifica três unidades geomorfológicas distintas na região: 1) Planaltos Residuais do São Francisco (Chapadas do Rio São Francisco), 2) Superfícies Aplainadas da Depressão Periférica do São Francisco (Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco) e 3) Serras, Patamares e Escarpas do Espinhaço (RODRIGUES; TRAVASSOS, 2013). A hidrografia regional principal abrange a sub-bacia do rio Pardo Grande, no baixo curso da Bacia do Rio das Velhas. O rio das Velhas configura-se como o nível de base regional e sua bacia está inserida na bacia do rio São Francisco. O rio Pardo Grande é um importante tributário localizado à margem direita do rio das Velhas e tem como principais afluentes, o rio Pardo Pequeno e o ribeirão das Varas. Sua sub-bacia drena parte do território dos municípios de Augusto de Lima, Buenópolis, Diamantina, Gouveia, Monjolos e Santo Hipólito, perfazendo uma área de 2.030 km² (ANA, 2015).

A sub-bacia do rio Pardo Grande está limitada a leste pelas rochas do Supergrupo Espinhaço e pela unidade geomorfológica das Serras do Espinhaço e a oeste pelas rochas do Grupo Bambuí e pela unidade geomorfológica da Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco. Essa depressão é, então, limitada pelos domínios morfoestruturais das extensas faixas de dobramentos e coberturas metassedimentares associadas e de coberturas sedimentares plio-pleistocênicas a leste e a oeste respectivamente (RODRIGUES; TRAVASSOS, 2013). Devido a essa complexidade de elementos abióticos que influenciam os elementos bióticos, a região foi percebida nesse estudo como um *geossistema* (COUTO; TRAVASSOS, 2016; COUTO; TRAVASSOS, 2017; OLIOVEIRA *et al.*, 2017).

A escolha do município de Monjolos como região de estudos ocorreu pelo fato de apresentar paisagem cárstica carbonática como rochas do Grupo Bambuí, em contato com as rochas cristalinas do Supergrupo Espinhaço. Tal característica ressalta o contraste paisagístico que apresenta representatividade no cenário nacional e internacional. Além da importância natural, faz-se necessário lembrar da importância histórica e cultural da região, reforçada pela construção da linha férrea (atualmente desativada), no início do séc. XX e que constituía importante ligação entre os municípios de Corinto e Diamantina (IBGE, 2013). De acordo com Rodrigues e Travassos (2013), a região dos sertões mineiros foi ainda retratada de maneira não científica na obra do escritor mineiro João Guimarães Rosa (1908-1967), porém, de igual importância do ponto de vista descritivo, literário e histórico (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A caverna, localizada próxima à sede de Monjolos, apresenta uma de suas entradas sob as coordenadas UTM 594364E e 7975048N, 578m de altitude. Segundo Oliveira *et al.* (2007) o conduto principal da Gruta Pau-Ferro é percorrido pelo córrego intermitente de mesmo nome, afluente do rio Pardo Pequeno, afluente do rio Pardo Grande. Sua importância cultural foi destacada por Oliveira *et al.* (2007) que destacaram, entre outros aspectos, o sentimento religioso da comunidade em relação à gruta. De acordo com Teixeira-Silva (2005 p. 149) a cavidade é bastante ornamentada e apresenta diversos espeleotemas como “escorrimentos, estalactites, estalagmites, colunas, coralóides, cortinas, travertinos, microtravertinos, calcita cintilante, botrioidais e lustres”. Foram realizados trabalhos de prospecção e mapeamento espeleológico na gruta pela SEE/UFOP em 1979 que, depois, foram retomados em 2004 (TEIXEIRASILVA *et al.*, 2005).

A gruta Pau-Ferro é considerada uma caverna ativa, pois possui períodos sazonais em que seus condutos recebem uma quantidade considerável de água, podendo até impossibilitar o acesso a algumas de suas partes. Os períodos de maior precipitação ocorrem entre os meses de outubro e fevereiro, este que equivale ao clima presente na região do município de Monjolos.

4 O MICROCLIMA CAVERNÍCOLA

Os estudos da atmosfera subterrânea no Brasil iniciam-se nas entre as décadas de 1960 e 1980, com algumas prospecções em cavernas de Minas Gerais e em São Paulo. Mas os monitoramentos sistemáticos, ou seja, estatísticos e quantitativos foram somente após 1990, para fins de conservação ambiental e modo de uso das cavernas. (LOBO, 2012.)

O meio ambiente é resultado de interações de domínios atmosféricos com o substrato de solos (que advém da sua litologia ali presente) somado a constituição de plantas e animais. Essa

totalidade interage entre si com trocas energéticas e, resulta em uma diversidade de ambientes que necessitam de um olhar científico para serem analisadas.

Os estudos voltados para o meio cavernícola são, em sua maioria, resultado de processos de monitoramento para compreender a dinâmica climatológica dos condutos. Inicialmente, o conceito de clima apresentado por Ayoade (1983) é de que são necessárias escalas de análise que partem da mais ampla, sendo macroclima, até menores extensões, denominadas microclima.

Segundo Ayoade (1983), três subdivisões da climatologia podem ser reconhecidas: O macroclima, que equivale ao estudo dos movimentos atmosféricos tendo maior amplitude geográfica e com maiores alterações no clima. O mesoclima, sendo em áreas de menores, com cerca de 10 a 100 quilômetros de extensão, a exemplos o as ilhas de calor em climas urbanos ou eventos equivalentes a tempestades e tornados. E o microclima, analisando áreas muito pequenas com menos de 100 metros de extensão, por exemplo, áreas subterrâneas que possuem menor alteração atmosférica e circulação de ar.

Segundo Lobo (2012), a atmosfera do ambiente cavernícola tende a ser mais estável que a atmosfera exterior, pois as alterações climáticas no meio externo são mais variáveis devido a incidência direta de raios solares, a precipitação e fluxo de trocas gasosas, proporcionada pela presença de plantas e animais.

5 RESULTADOS PRELIMINARES

Como parte da pesquisa, após o período de maio de 2017 a março de 2018, os dados coletados pelos aparelhos termo higrômetros foram resumidos na Tabela 2

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos da temperatura e da umidade relativa do ar na Gruta Pau-Ferro

	Temperatura do ar (°c)				Umidade Relativa do ar (%)			
	Estações Internas				Estações Internas			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Média	23,4	21,5	20,7	20,6	71	88	81,8	83,5
Máximo	32,6	27,9	28,1	29,8	32,6	99,9	99,9	99,9
Mínimo	18,5	18	15,3	15,3	15	40,8	45,8	39,1
Mediana	23,4	21,5	21,4	21,2	71	88,2	77,5	78,8
Amplitude	14,1	9,9	12,8	14,5	17,6	59,1	54,1	60,8
Moda	23,4	21,9	21,8	21,8	99,9	99,9	99,9	99,9
Variância	3,84	1,16	2,65	2,58	434,4	236,4	239,5	239,8
Desvio Padrão	1,96	1,08	1,62	1,60	20,8	15,3	15,47	15,48

Fonte: Dados da pesquisa

A média de temperatura mais elevada na *Estação 1*, foi de 23,4°C, sendo a mais elevada das estações. Isso ocorre devido a proximidade com o microclima externo da gruta Pau-Ferro. A medida que se adentra na cavidade as médias diminuem, como observado na *Estação 4*, com média térmica de 20,6°C.

O valor máximo registrado foi na entrada da caverna, tendo 32,6°C, e a menor mínima registrada foi na *Estação 4*, com 15°C. A maior amplitude térmica registrada também foi na *Estação 4*, tendo 14,5°C. As modas das amostras de temperatura foram iguais somente na primeira Estação, nas outras a variação foi de aproximadamente 1°C, sendo comprovado nos dados de desvio padrão e variância. Esses dados comprovam que o ambiente da gruta tende a variar de acordo com a profundidade do conduto, somando a presença de água, condicionando os dados climáticos a algumas variações.

A maior média de umidade relativa do ar foi apresentada na *Estação 2*, com 88%, enquanto a menor média registrada foi a *Estação 1*, tendo 71%. As máximas registradas foram em maioria 99,9%, indicando a presença de umidade no ambiente. A menor mínima registrada foi na *Estação 1*, com 15% de umidade relativa. As amplitudes foram destoantes a partir da segunda Estação, deixando a primeira com o menor valor, 17,6%. A moda das amostras resultou em valores de praticamente 100%, predominando a saturação atmosférica em ambientes cavernícolas. O desvio padrão foi maior na *Estação 1*, ocasionado pela interferência do microclima externo (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos da Estação meteorológica externa

	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Média	24,3	57,2
Máximo	40,4	99
Mínimo	13,8	11
Mediana	24,3	57
Amplitude	26,6	88
Moda	21,8	45
Variância	26	372,5
Desvio Padrão	5,10	19,3

Fonte: Dados da pesquisa.

Em contraste, observa-se que os parâmetros estatísticos da Estação externa em Monjolos são diferentes dos apresentados na Gruta Pau-Ferro. A temperatura média registrada no período de monitoramento foi de 24,3°C, sendo bem próxima a média registrada pela *Estação 1*, 23,4°C. A máxima apresentada foi de 40,4°C, resultante das condições externas de ausência de vegetação do microclima local. Destaca-se que o local onde a Estação externa foi instalada pode contribuir para a

alta temperatura, pois por estar em um campo de lapíás, a presença da rocha exposta somada a incidência de radiação solar, contribui para o aumento e variação de temperatura entre dias e noites.

A média de umidade relativa do ar foi de 57% e a máxima alcançada foi o nível máximo de 99%, tendendo para a saturação do ar. A umidade mínima registrada foi de 11%, índice considerado crítico para a saúde humana. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), índices abaixo dos 30% são prejudiciais para os humanos e os níveis ideais estão entre 50% a 80%. A amplitude da umidade relativa do ar registrada foi de 88%, registrando a diferença entre a temperatura máxima e a mínima do ambiente.

De modo geral, na *Estação 1*, localizada na entrada da caverna, é possível identificar variação constante, tanto térmica, quando de umidade. Acredita-se que a variação tem relação com as alterações do clima externo, conforme observado no primeiro gráfico da Figura 3.

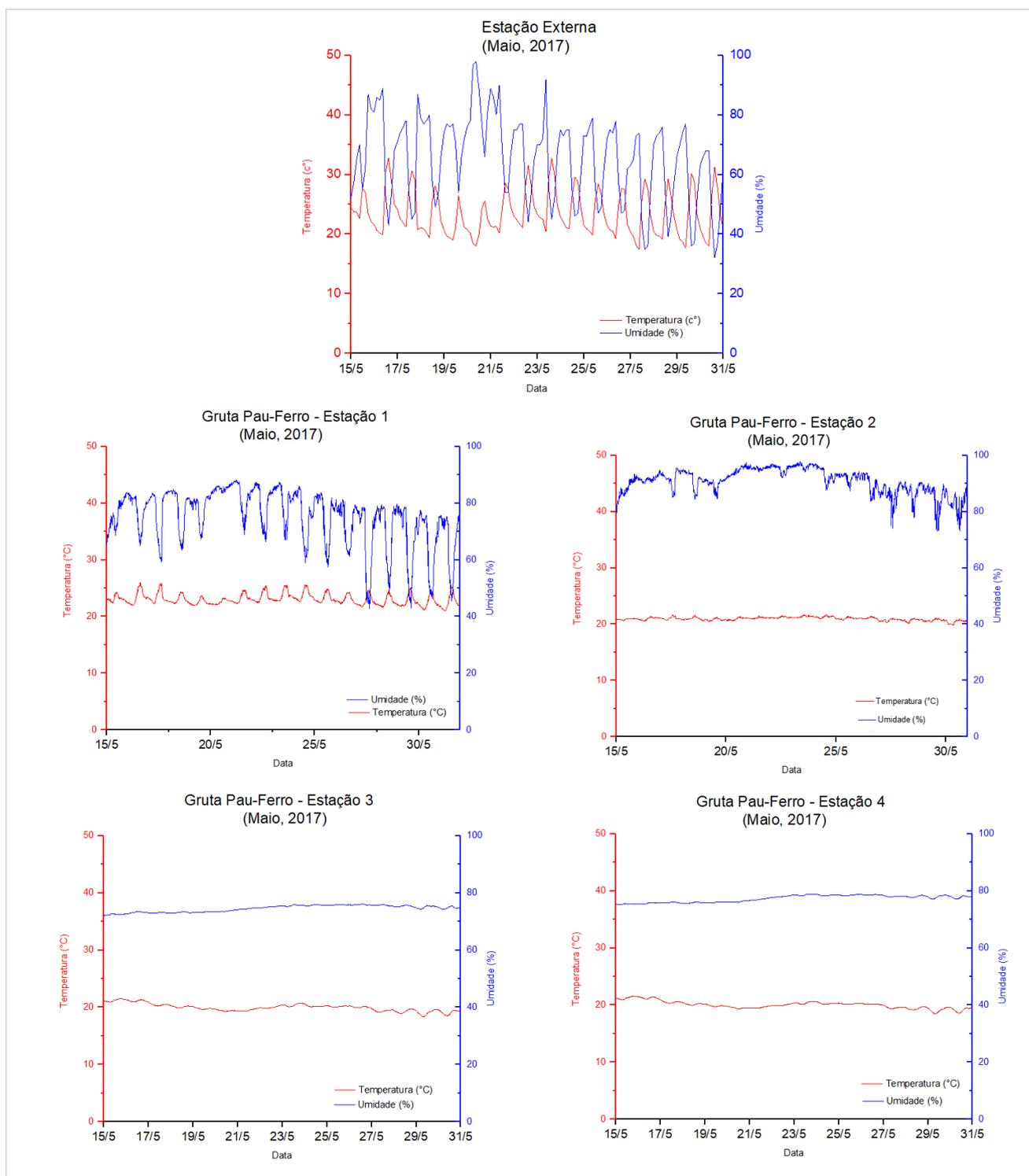
Fazendo um recorte mensal entre a primeira quinzena de monitoramento, no mês de março de 2017, o que se apresenta é a temperatura externa maior que a interna, ultrapassando em alguns dias a casa dos 30°C. Em linhas gerais, as curvas entre umidade e temperatura são inversamente proporcionais, ou seja, quando se aumenta a temperatura, a umidade tende a diminuir sensivelmente, tanto externamente quanto internamente. A umidade apresenta variações mais expressivas na área externa do que no início da caverna. Destacam-se os dias 25 e 30 de março com a temperatura variando cerca de 18% nas duas estações.

No mês de junho (Figura 4), a *Estação Externa* registrou temperatura máxima de 32°C, e mínima de aproximadamente 18°C. A umidade atingiu pontos mais baixos, entre os dias 17 e 21 de junho, chegando próximo aos 20%. O valor mais alto foi registrado entre os dias 4 e 5 do mesmo mês, na casa dos 80%. Já nas estações da gruta, a *Estação 1* apresentou variações que se espelharam no clima externo. Na *Estação 2* a umidade permaneceu elevada na maior parte do mês, enquanto a temperatura oscilou em torno dos 20°C. Já nas *Estações 3 e 4*, quase não são observadas mudanças significativas no mês de julho.

Nessa sequência de gráficos do mês de julho (Figura 5), observa-se que na *Estação 4*, localizada ao final do conduto, inicia-se uma perturbação na umidade e na temperatura no mês de agosto, ambas com intensidade semelhante (Figura 6). Tal mudança é refletida no mês de setembro e na *Estação Externa* é possível identificar variações mais significativas que o mês de agosto. Em setembro, todas as estações têm mudanças na umidade, enquanto a temperatura permanece mais estável no interior da caverna. Em destaque, a *Estação 4* possui mais variações que as outras estações, possivelmente por estar em área mais plana da caverna e mais próxima ao curso d'água. A umidade apresenta índices mais altos, em torno de 70% durante todo o mês .

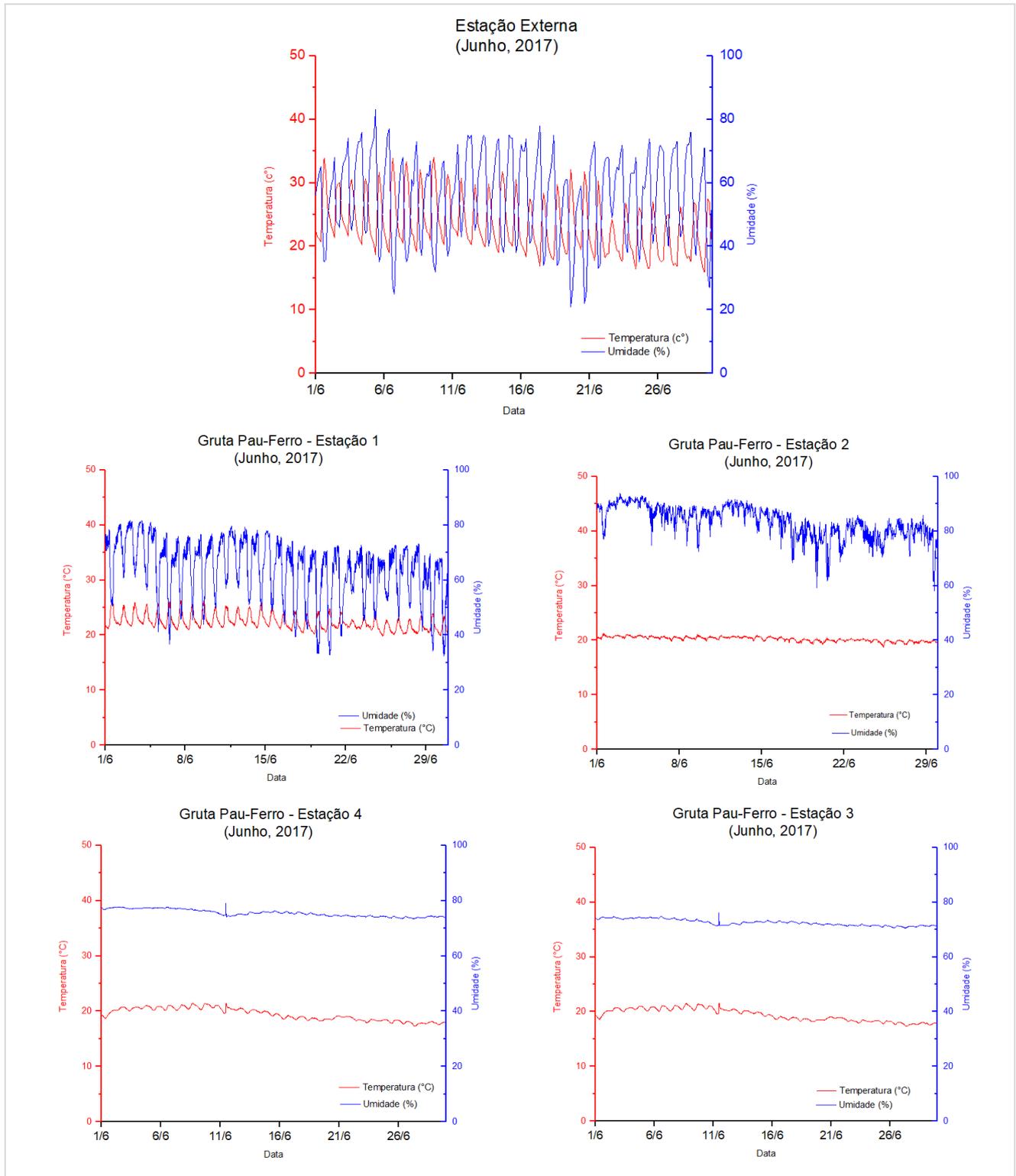
No mês de setembro, a umidade acompanha as variações de temperatura, pois são mais sensíveis a mudança. O que se observa ao longo de todo o mês é uma sucessão de comportamentos similares de variação na temperatura e umidade que acompanham o comportamento externo (Figura 7).

Figura 3 – Registros de temperatura e umidade no mês de maio de 2017



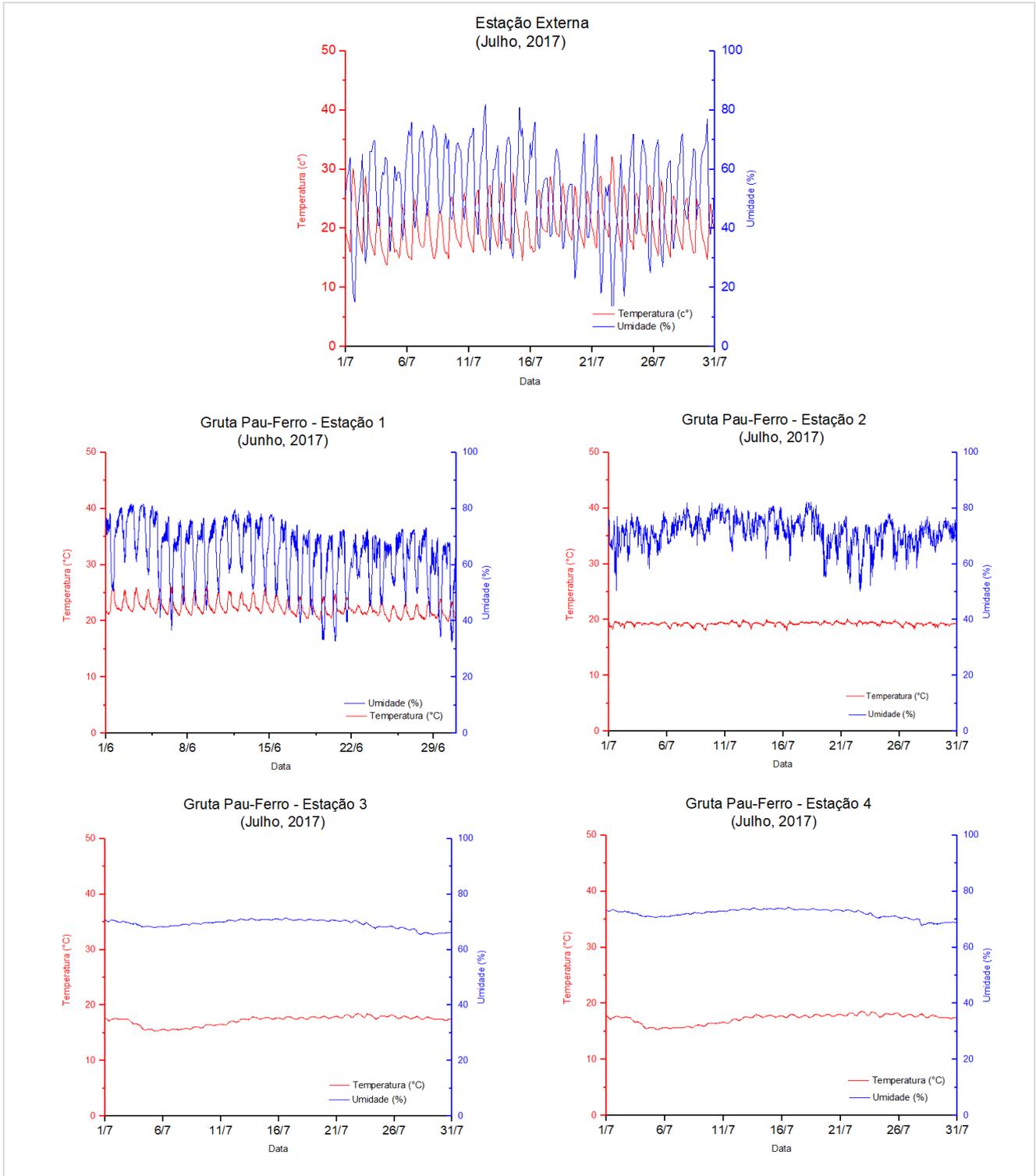
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 – Registros de temperatura e umidade no mês de junho de 2017



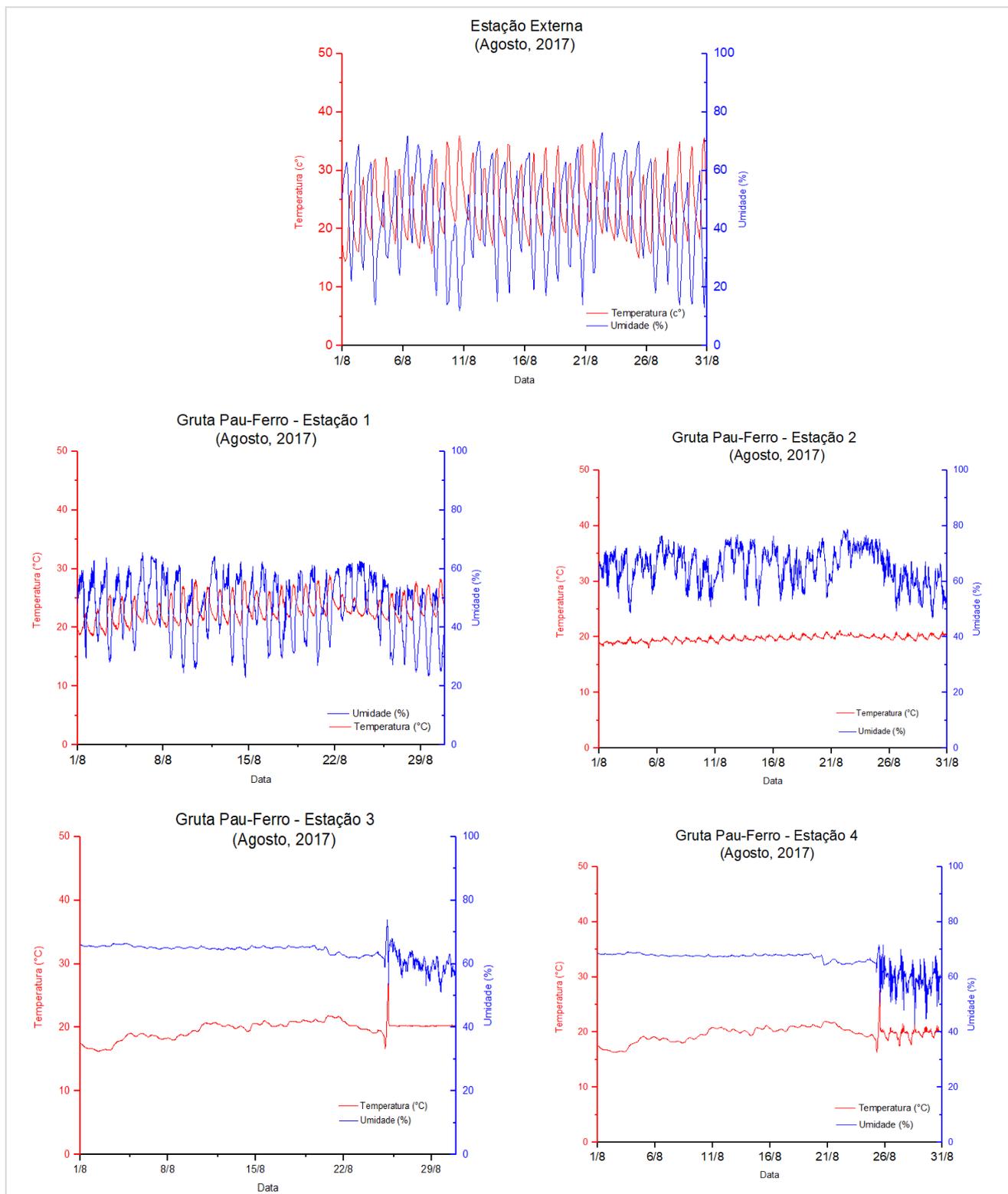
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5 – Registros de temperatura e umidade no mês de julho de 2017



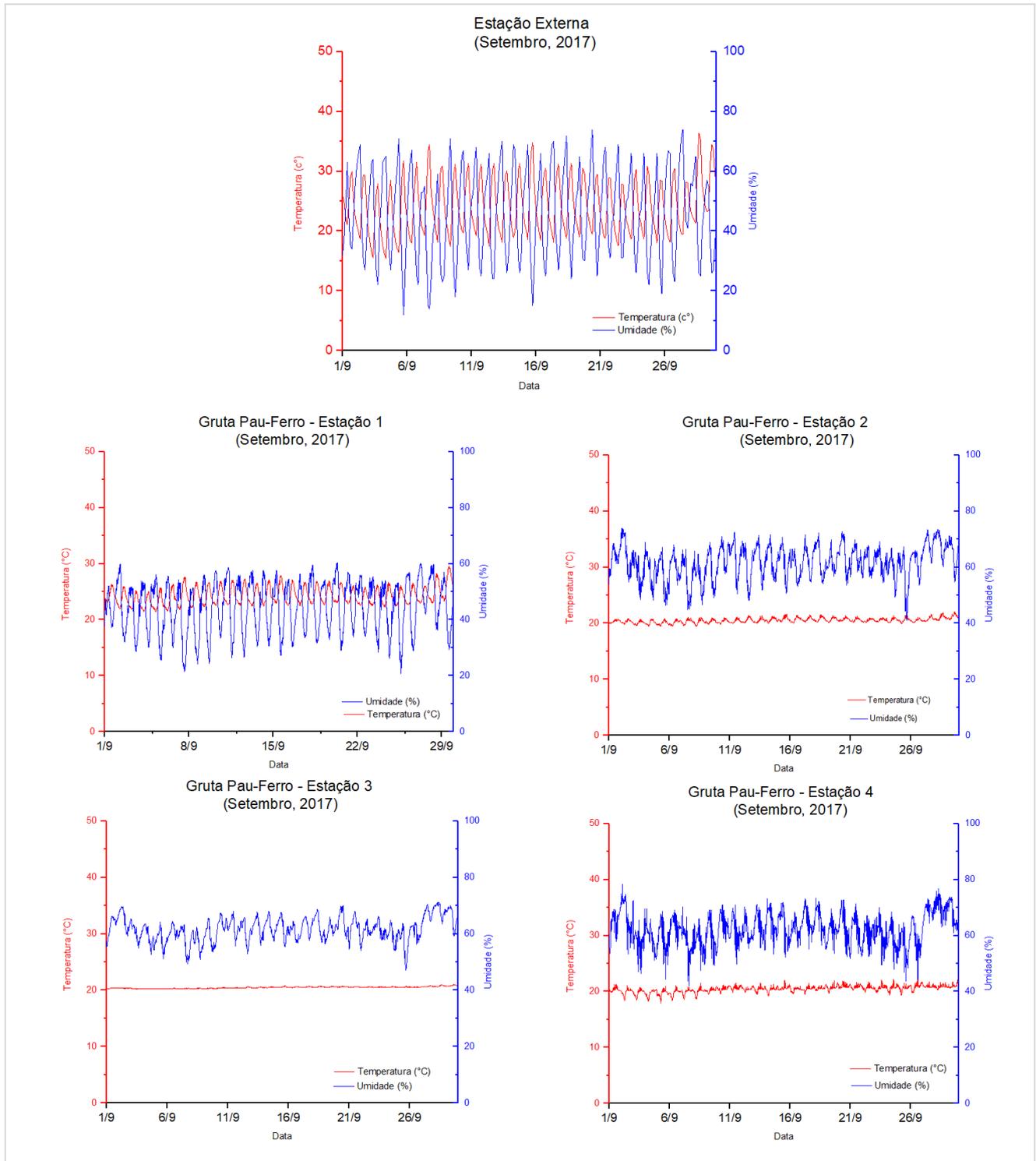
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6 – Registros de temperatura e umidade no mês de agosto de 2017



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 7 – Registros de temperatura e umidade no mês de setembro de 2017



Fonte: Dados da pesquisa.

Outubro foi o mês que apresentou mais extremos de temperatura e umidade de todo o período da pesquisa, comprovado pelos dados da *estação externa*. As variações registradas na *estação externa* mostram temperaturas mais altas em relação ao mês anterior, chegando próximo

aos 40°C entre os dias 13 e 16 de outubro. Da mesma forma que se percebe os extremos de temperatura, a umidade alcança níveis muito baixos no mesmo período, com cerca de 15%. Enquanto isso, no interior da Gruta Pau-Ferro, a umidade apresenta valores mais baixos, embora a temperatura apresente menos variações, permanecendo em torno dos 30°C. As quedas de umidade podem ter sido ocasionadas por influência do clima externo, pois a temperatura está mais alta que o interior, impedindo a entrada e permanência de umidade no início do conduto. Na *Estação 2*, a temperatura é constante em torno de 20°C. A umidade no início do mês é de aproximadamente 80%, diminuindo na metade do mês (próximo ao dia 16), mas aumentando novamente no final do mês de outubro. O mesmo é observado nas *estações 3 e 4*, com temperatura constante e variações de umidade (Figura 8).

Como consequência, nesse mesmo período, a *Estação 1* apresentou registros de temperatura em torno dos 25°C e umidade em torno dos 80%. Nos próximos dias, ocorreu a inversão, ou seja, a temperatura aumentou e a umidade diminuiu. Analisando os gráficos das estações internas, observa-se que a *Estação 1* registrou muitas variações que foram similares nas demais estações, embora com menor amplitude. As *Estações 2 e 3* são as que apresentaram dados mais estáveis, ou seja, sofreram menos variações.

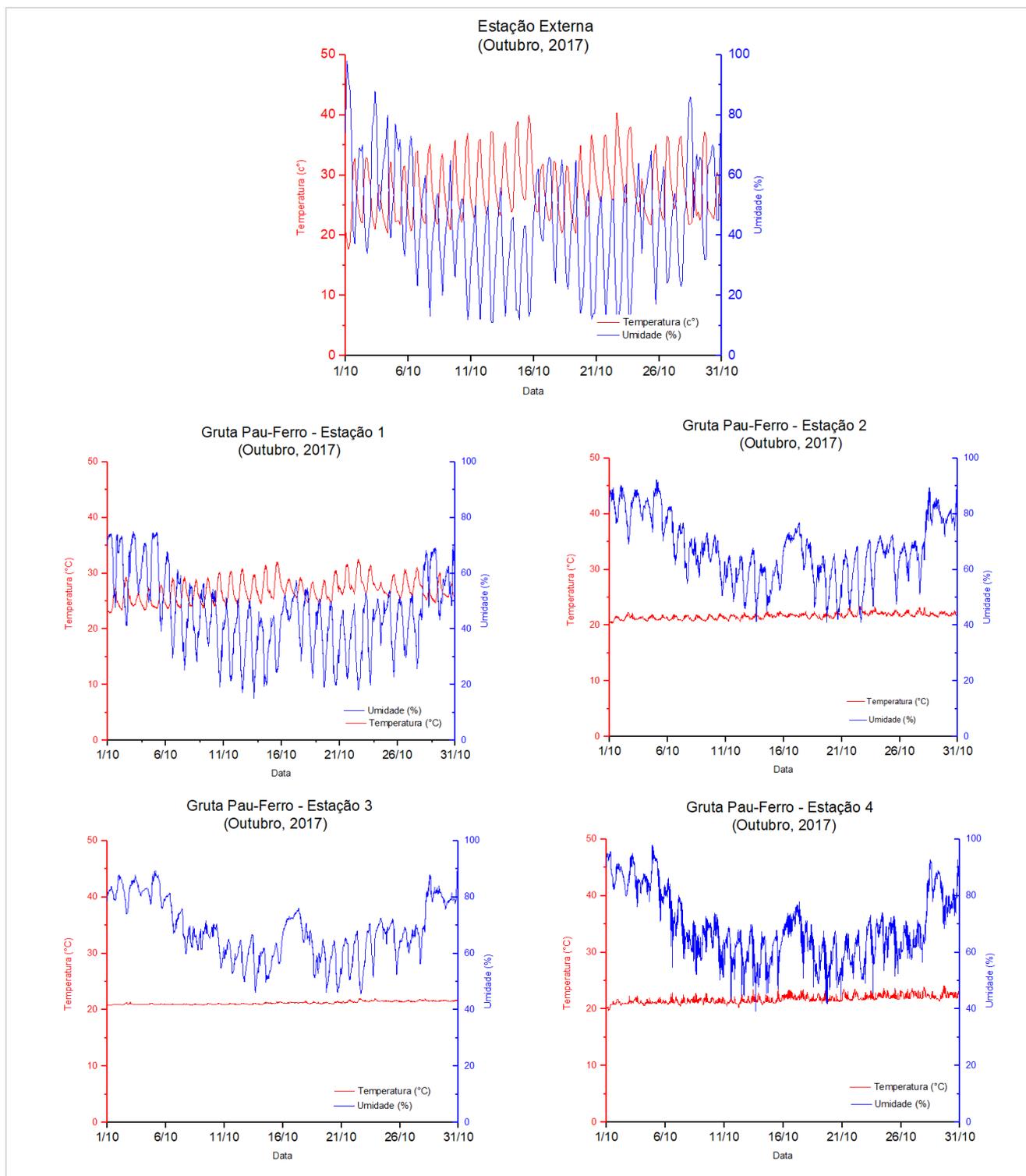
No mês de novembro (Figura 9), a *Estação externa* apresenta umidade relativa do ar nos níveis mais altos, em torno dos 100%, em diversos dias. Em oposição aos altos valores de umidade, a temperatura nesses dias permanece mais baixa, como por exemplo, entre os dias 6 e 12 de novembro. Nestes dias a temperatura média foi de 22°C, enquanto a umidade apresentou picos próximos a 100%.

Em dezembro (Figura 10), no início mês, a *Estação externa* detectou temperaturas em torno dos 20 a 30°C, amplitude também observada nos registros de umidade que alcança valores mais altos, provavelmente devido à alta pluviosidade do mês. Entre os dias 06 e 12 de dezembro os valores chegam a valores próximos a 100%. Enquanto isso na gruta, a umidade alta em todas as estações, evidenciando a saturação do ar nesse período do ano, no interior da caverna, a temperatura se mostra muito estável, em torno dos 22°C.

Em janeiro a umidade também esteve alta, em decorrência da temperatura e da umidade registradas no ambiente externo, fato que reflete no interior da caverna (Figura 11). Na *Estação 1*, observa-se maiores variações diárias, enquanto nas *estações 2, 3 e 4*, o ar apresenta-se muito saturado, sempre próximo a 100% de umidade. As variações significativas de umidade acontecem na segunda quinzena do mês. A temperatura não apresenta variações significativas, permanecendo na casa dos 22°C, aproximadamente. Ressaltamos a *Estação 1* que apresentou uma temperatura

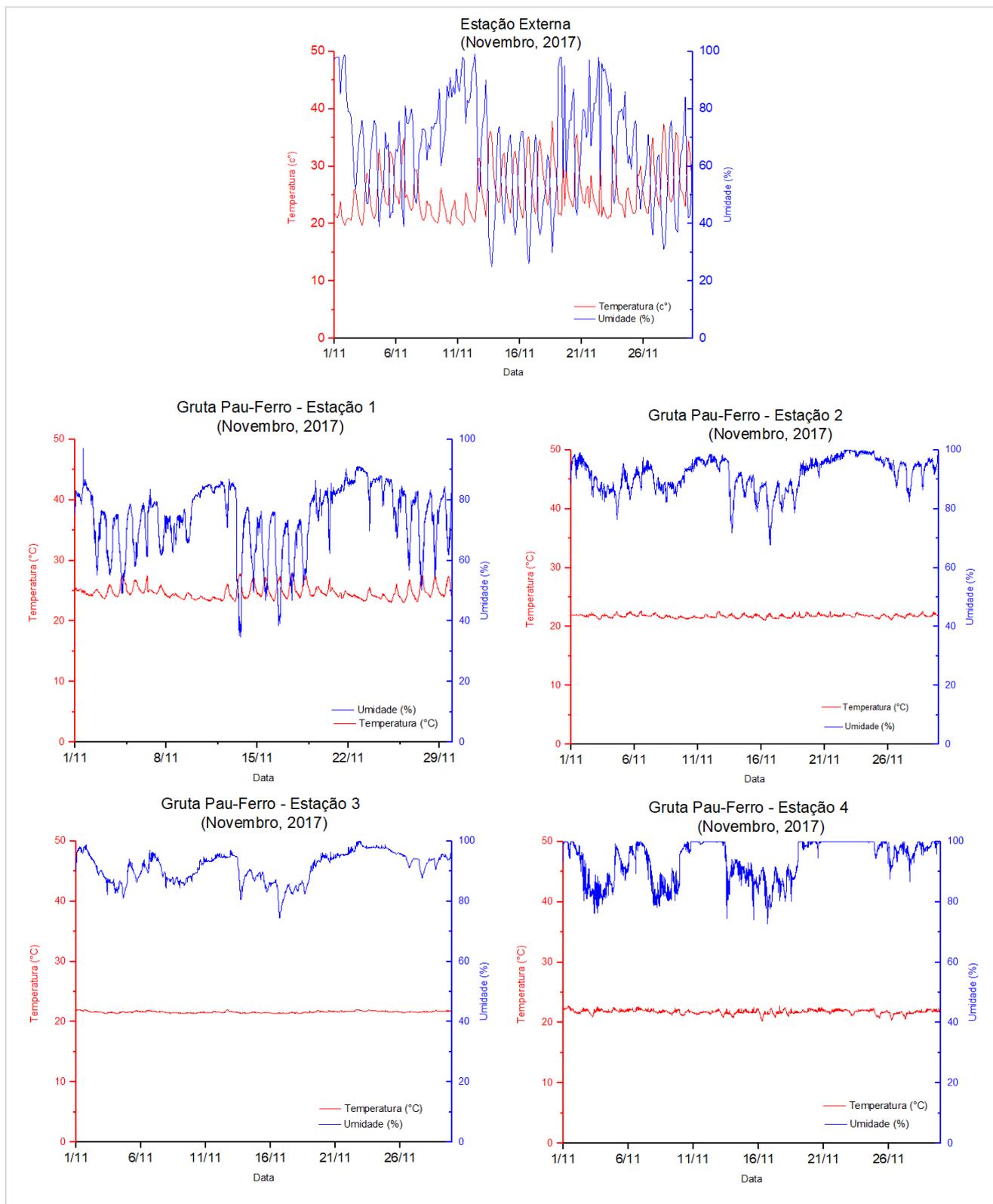
mensal mais elevada, com variações que aumentam gradativamente durante o mês, iniciando em torno dos 24°C e chegando a temperaturas máximas na casa dos 28°C ao fim do mês. Como era de se esperar, a *Estação 1* reflete o comportamento da *Estação externa*.

Figura 8 – Registros de temperatura e umidade das estações no mês outubro de 2017



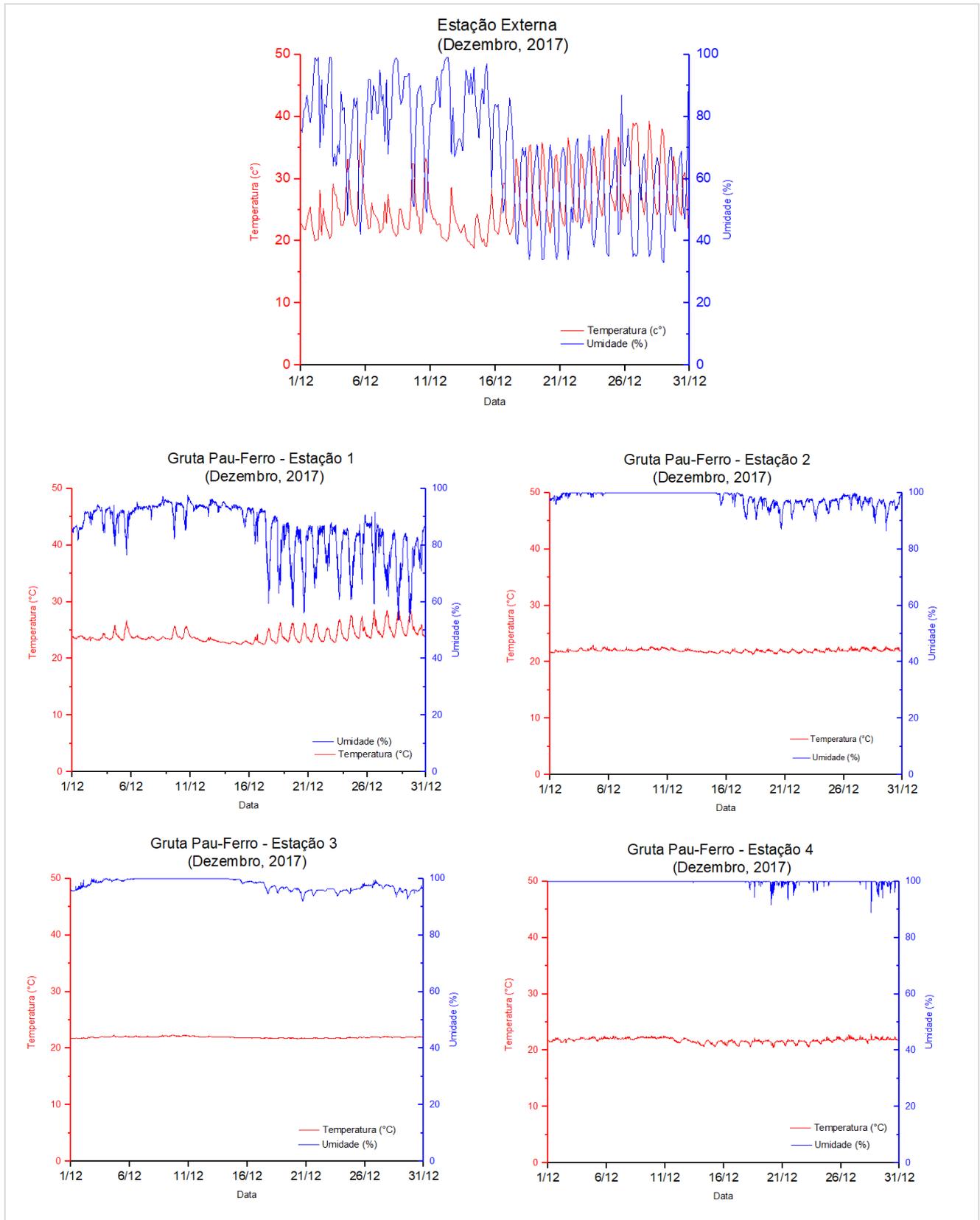
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 9 – Registros de temperatura e umidade das estações no mês novembro de 2017



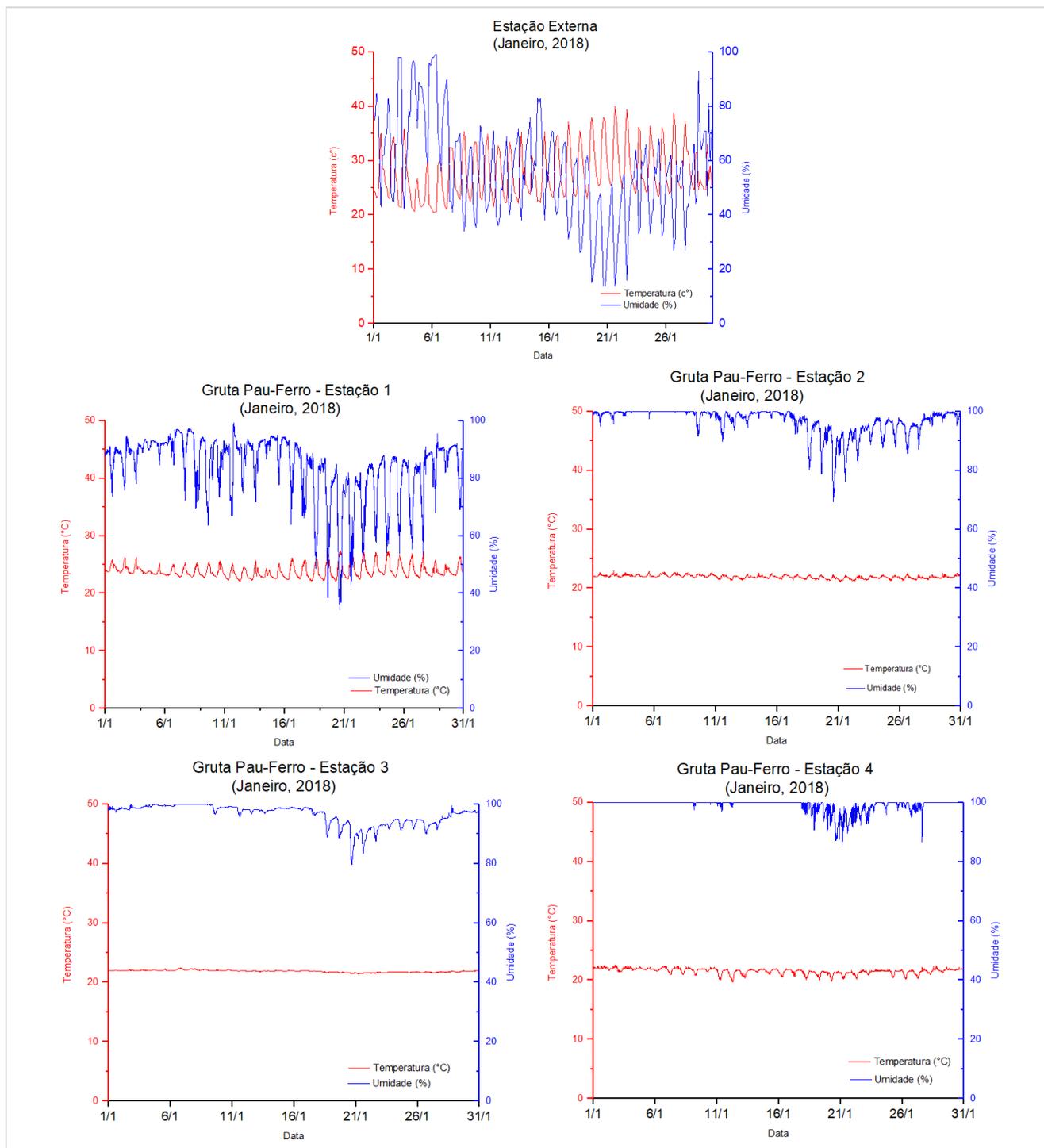
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 10 – Registros de temperatura e umidade das estações no mês dezembro de 2017



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 11 – Registros de temperatura e umidade das estações no mês de janeiro de 2018

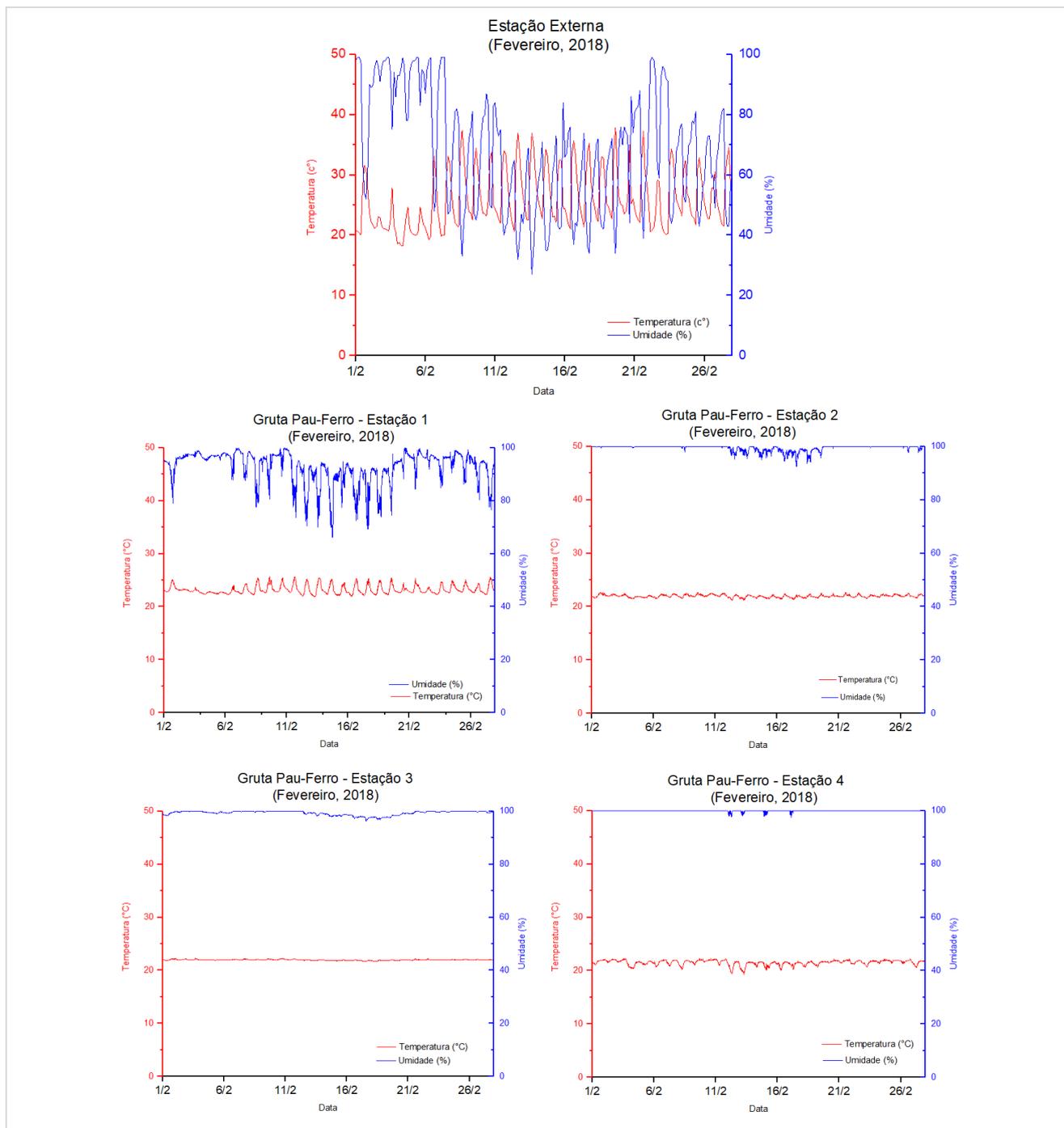


Fonte: Dados da pesquisa.

O comportamento da atmosfera da Gruta Pau-Ferro em fevereiro (Figura 12) não foi muito diferente em comparação ao mês anterior. A *Estação 1* tem mais influência do meio externo com umidade acima dos 70% durante todo o mês. Em direção ao interior da caverna, a umidade

registrada é menor. A temperatura é mais amena, apresentando variações diárias muito pequenas, e se mantendo em torno dos 22°C. A estabilidade acompanha a umidade em todo o período analisado.

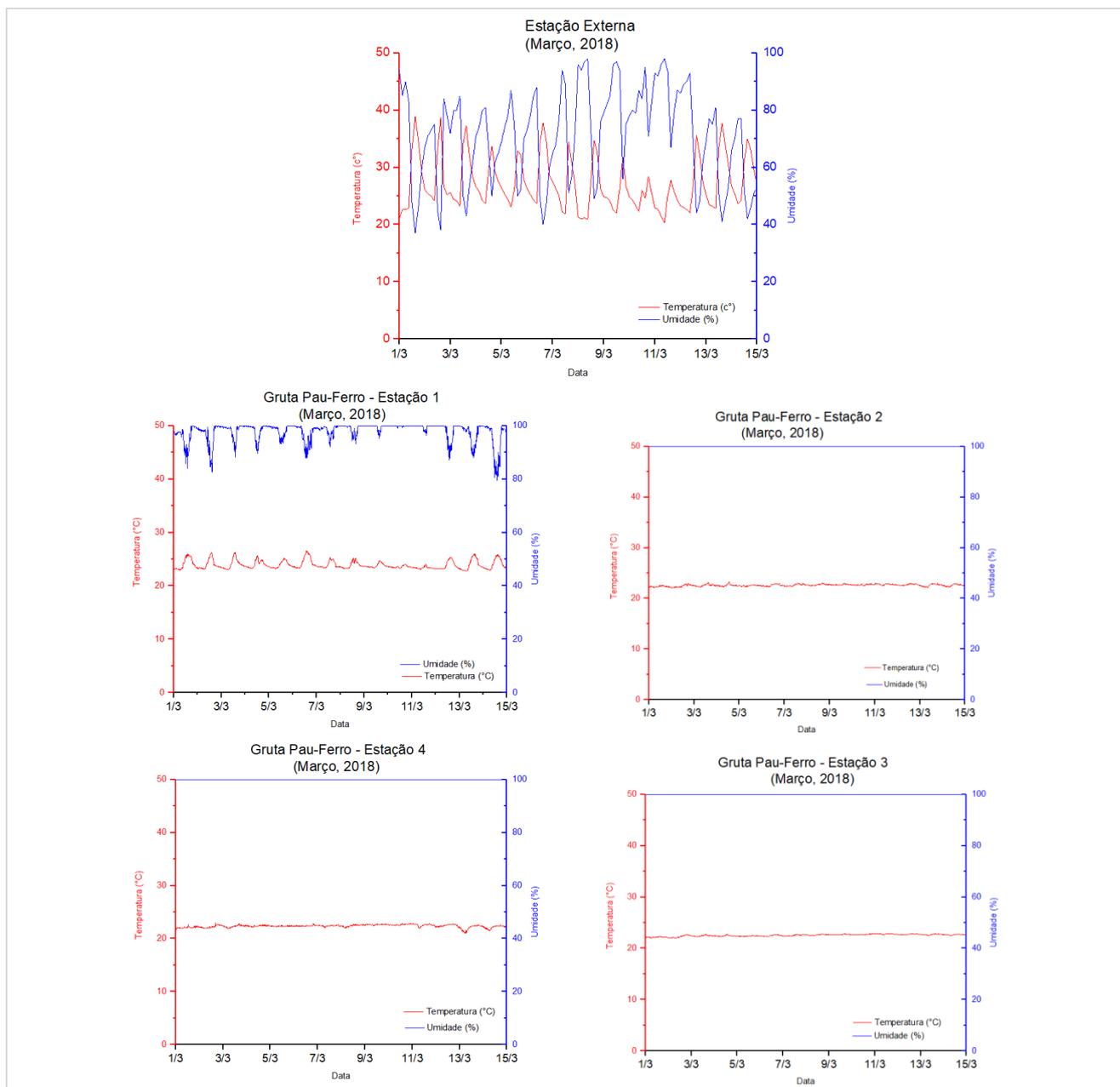
Figura 12 – Registros de temperatura e umidade das estações no mês de fevereiro de 2018



Fonte: Dados da pesquisa.

Em março, a análise ocorreu até o dia 15, pois após essa data os equipamentos foram removidos devido a finalização do projeto. Foi possível perceber que a temperatura e a umidade nesse período ocorreram de acordo com as variações entre o dia e a noite (Figura 13).

Figura 13 – Registros de temperatura e umidade das estações no mês de março de 2018

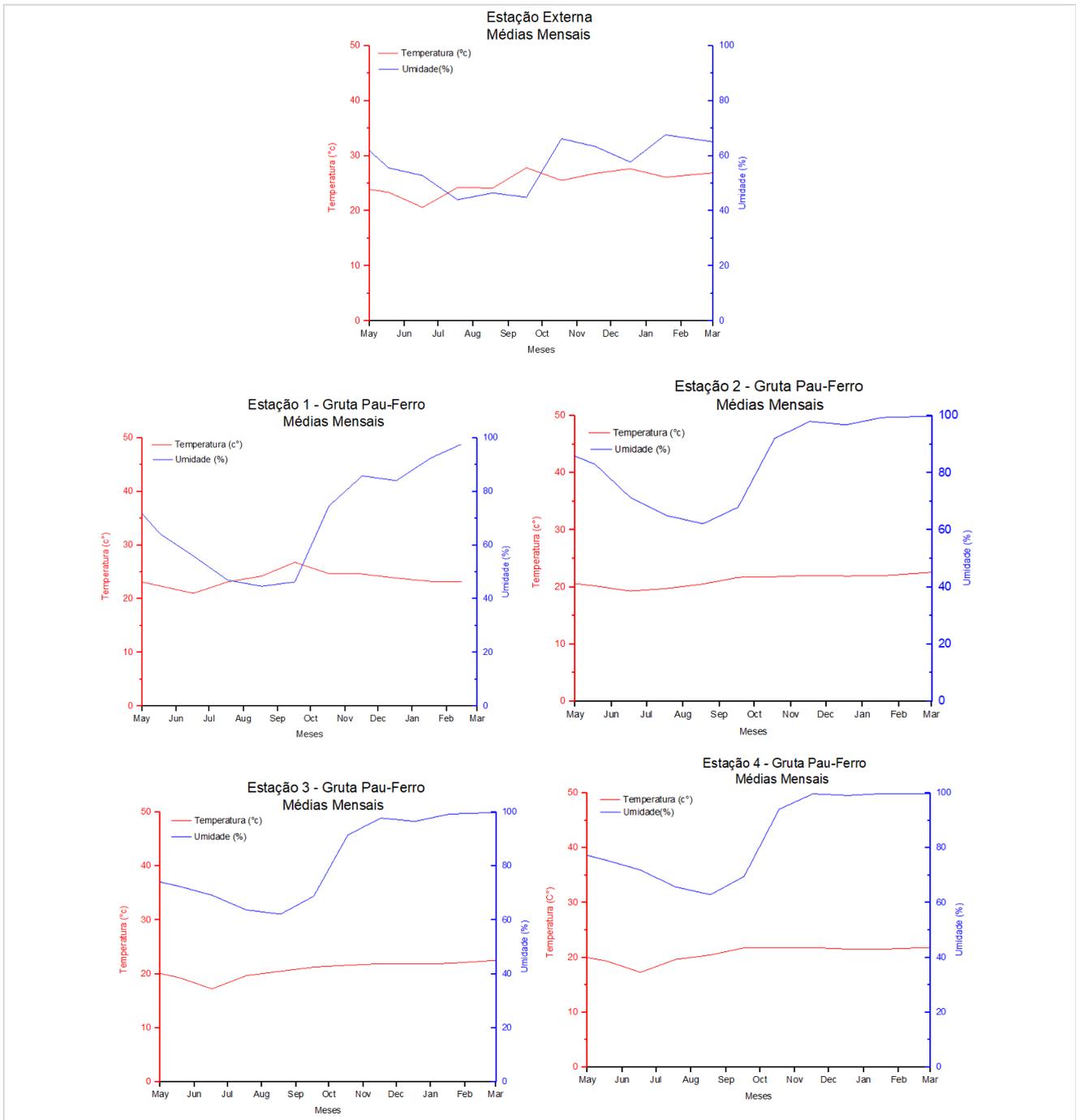


Fonte: Dados da pesquisa.

A temperatura externa esteve entre 22 e 38°C. Tal amplitude, como explicado anteriormente, provavelmente ocorreu devido à localização da *Estação externa* no afloramento carbonático. A umidade acompanhou essa variação térmica pelos processos de pluviosidade e evaporação. No mês ocorreram chuvas significativas, pois a umidade alcançou níveis acima dos 90%. No interior da

caverna, a *Estação 1* registrou variações cíclicas na temperatura e a umidade, mas nas demais observou-se estabilidade ambiental de aproximadamente 22°C e umidade de 100%. Gráficos de médias mensais foram realizados para auxiliar as análises (Figura 14).

Figura 14 – Médias mensais na Gruta Pau-Ferro entre de maio de 2017 a março de 2018



Fonte: Dados da pesquisa.

6 CONCLUSÕES

As cavidades naturais subterrâneas, ou cavernas, como popularmente conhecidas são espaços subterrâneos formados ao longo do tempo geológico nas mais diversas litologias. Devido ao tipo de rocha, regime climático e estrutura geológica, podem apresentar diversos tamanhos. Geralmente são atrativas do ponto de vista turístico e por esse motivo deve-se buscar conhecimentos cada vez mais aprofundado sobre esses espaços. Entre os meses de maio de 2017 e março de 2018, tanto o ambiente subterrâneo quanto o externo à caverna foram monitorados por quatro equipamentos termo higrômetros e uma Estação Meteorológica portátil, respectivamente.

Nos meses iniciais de monitoramento observou-se que as *Estações 1* e *2*, localizadas em posições mais próximas a entrada da caverna apresentaram grandes amplitudes térmicas e de umidade, provavelmente ocasionadas pela proximidade com a entrada. A temperatura na *Estação 1* variou entorno dos 20 a 30°C nos meses de março, junho, julho, agosto, setembro e, em outubro, chega a ultrapassar os 30°C. Em relação à umidade na *Estação 1*, percebe-se que variou no decorrer dos dias, chegando ao máximo de 100% entre os dias 30 de outubro e 4 de novembro. A caverna recebe visitação turística esporádica, fato que pode interferir na dinâmica microclimática. Entretanto, devido a sua morfologia e a existência de um curso d'água em seu interior, acredita-se que os possíveis impactos causados pela visitação possam ser minimizados em função da troca energética entre o meio hipógeo e epígeo.

Assim sendo, com o objetivo de estimular a pesquisa científica no Curso de Geografia da PUC Minas, o projeto cumpriu com o objetivo de fornecer um conhecimento inicial básico sobre o clima cavernícola da Gruta Pau Ferro, pesquisa até então não existente.

Espera-se, portanto, que os dados coletados e disponibilizados apoiem outras pesquisas na Gruta Pau Ferro, bem como em outras pesquisas que foquem na metodologia de coleta de dados automáticos em cavernas.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras (Edição Especial)**. Brasília: ANA, 2015. <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>

AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M.; ROCHA, L. C. Mapeamento geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional: primeira aproximação. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.19, n.2, p.50-69, 2011.

AYOADE, J.O. **Introdução a Climatologia para Trópicos**. 16.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil., 2012.

BACELLAR, L.A.P. **Geologia Estrutural do Supergrupo São Francisco ao longo da seção regional Coromandel-Três Marias-Conselheiro Mata, MG**. 1989. 128f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Ouro Preto.

COUTO, L.C.O.; TRAVASSOS, L.E.P. De Corinto à Diamantina: Geossistemas de contato entre a planície do Rio das Velhas e a Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, **Caderno de Geografia**, v. 26, n.1, 2016.

COUTO, L.C.O.; TRAVASSOS, L.E.P. Morfodinâmica no carste de contato da planície do Rio das Velhas e a Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, **Espeleo-Tema**, v.28, n.1, p.25-34, 2017.

FORD, D.C.; WILLIAMS, P.W. **Karst geomorphology and hydrology**. United Kingdom: Wiley, 2007.

LEÃO, M.S. **Monitoramento microclimático de cavidades naturais subterrâneas: uma análise sobre o uso de redes neurais artificiais nas grutas da Lapinha e Rei do Mato, Minas Gerais**. 2018. 342f. Tese (Doutorado em Geografia - Tratamento da Informação Espacial) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

LOBO, H.A.S. **Estudo da Dinâmica Atmosférica Subterrânea na Determinação da Capacidade de Carga Turística na Caverna de Santana (PETAR, Iporanga-SP)**. 2012. 342f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

OLIVEIRA, I.F.G.; TIMO, M.B.; TRAVASSOS, L.E.P.; SÁ, P.R.C.de. Proposta de classificação das unidades de paisagem da região de Monjolos, Minas Gerais. **Acta Geográfica**, v.11, n.26, p.146-159, 2017.

OLIVEIRA, IPMR de *et al.* Tombamento municipal como instrumento de preservação de cavidades naturais subterrâneas: sítio natural gruta pau-ferro, Monjolos–Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, 2007.p. 211-219.

RODRIGUES, B.D.; TRAVASSOS, L.E.P. Identificação e mapeamento das Matas Secas associadas ao carste carbonático de Santo Hipólito e Monjolos, Minas Gerais. **Mercator (UFC)**, v. 12, p. 233-256, 2013.

TRAVASSOS, L.E.P. **Monitoramento microclimático da Gruta da Lapinha, Parque Estadual do Sumidouro, Lagoa Santa, Minas Gerais - Projeto CNPq 479945/2013-6**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2016 (Relatório preliminar da pesquisa).

WILLIAMS, P.; FONG, Y.T. **World Map of Carbonate Rock Outcrops v3.0**. New Zealand: SGGES/University of Auckland, 2008.