

## BALANÇO HÍDRICO E EFEITO SAZONAL DA TEMPERATURA SOBRE O CONTEÚDO DE ÁGUA EM DIFERENTES ESPÉCIES DE BRIÓFITAS

Cristiane Wisniewski Ribeiro<sup>1</sup>  
Rogério Antonio Krupek<sup>2</sup>  
Juçara Bordin<sup>3</sup>

Recebido 01.06.2020; Aceito 29.09.2020

### ABSTRACT

(Water balance and seasonal effect of temperature on water content in different bryophytic species). Bryophytes are a group of avascular terrestrial plants that are morphologically simple, have a wide geographic distribution, occurring in the most distinct ecosystems on the planet. This cosmopolitan condition may be associated with its direct relationship with the environment and with the particular physiological responses it presents to factors such as light, temperature and water availability. In this sense, the present study aimed to evaluate the effect of temperature on water balance (absorption and water loss) of three species of bryophytes: *Bryohumbertia filifolia* (Hornsch.) J.P. Frahm, *Philonotis cernua* (Wilson) D.G. Griffn. & W.R. Buck and *Amblystegium varium* (Hedw.) Lindb., which were collected in the urban area of the municipalities of União da Vitória - PR and Porto União - SC. A total of 15 gametophytes of each species were used to evaluate the process of absorption and loss of water during the periods of 3, 5, 10, 15 and 30 minutes. Subsequently, the temperature effect (high and low) was assessed using 25 gametophytes of each species after 7, 14, 21, 28 and 35 days. The results showed that, although similarity was observed in the water absorption and loss patterns of the three species, some differences were noticed and related to particular characteristics (eg plant size, type of growth - acrocarpous or pleurocarpous and plant structure - disposal of the filidia). Regarding temperature, it was noticed that lower temperatures promoted greater water loss compared to high temperatures, which is probably related to the micro-environment of cultivation (wet filter paper) and which allowed a positive effect of high temperatures under the species metabolism, generating better use and less water losses.

**Keywords:** mosses, water potential, temperature

### RESUMO

As briófitas formam um grupo de plantas terrestres avasculares que apresentam uma organização morfológica simples e, ao mesmo tempo uma ampla distribuição, ocorrendo nos mais distintos ecossistemas do planeta. Esta condição cosmopolita pode estar associada à sua relação direta com o meio e às respostas fisiológicas particulares que apresenta frente a fatores como luz, temperatura e disponibilidade hídrica. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura sobre balanço hídrico (absorção e perda de água) de três

- 1 Bióloga, Universidade Estadual do Paraná, campus de União da Vitória. Praça Coronel Amazonas s/n, Cep 84600-000, União da Vitória, Paraná, Brasil. E-mail: criswisnienski@gmail.com
- 2 Doutor, Colegiado de Ciências Biológicas, Universidade Estadual do Paraná, campus de União da Vitória. Praça Coronel Amazonas s/n, Cep 84600-000, União da Vitória, Paraná, Brasil. E-mail: rogerio.krupek@unespar.edu.br
- 3 Doutora, Programa de pós-graduação em Meio ambiente e Biodiversidade, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, UERGS, Unidade Litoral Norte-Osório. Rua Machado de Assis, 1456, Cep 95520-000, Osório, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: jucarabordin@gmail.com

espécies de briófitas: *Bryohumbertia filifolia* (Hornsch.) J.P. Frahm, *Philonotis cernua* (Wilson) D.G. Griffn. & W.R. Buck e *Amblystegium varium* (Hedw). Lindb., as quais foram coletadas na área urbana dos municípios de União da Vitória - PR e Porto União - SC. Quinze gametófitos de cada espécie foram utilizados para avaliação do processo de absorção e perda de água durante os períodos de 3, 5, 10, 15 e 30 minutos. Posteriormente, o efeito da temperatura (alta e baixa) foi avaliado utilizando-se 25 gametófitos de cada espécie, após 7, 14, 21, 28 e 35 dias. Os resultados mostraram que, embora verificada similaridade nos padrões de absorção e perda de água das três espécies, algumas diferenças foram percebidas e relacionadas a características particulares (p.ex. tamanho da planta, tipo de crescimento – acrocárpico ou pleurocárpico e organização do corpo – disposição dos filídios). Em relação à temperatura, percebeu-se que temperaturas mais baixas promoveram maior perda de água em relação a altas temperaturas, o que, provavelmente, está relacionado ao microambiente de cultivo (papel filtro úmido) e que permitiu um efeito positivo das altas temperaturas no potencial hídrico das espécies, gerando melhor aproveitamento e menores perdas de água.

**Palavras-Chave:** musgos, potencial hídrico, temperatura.

## INTRODUÇÃO

Briófitas são criptógamas avasculares, consideradas as primeiras plantas terrestres (Glime, 2006; Vanderpoorten & Goffinet, 2009). Adaptaram-se à vida na terra e hoje compõem parte importante da vegetação nos mais diversos tipos de ambientes como florestas, desertos e tundra (Proctor, 2000; Kürshner, 2004). Crescem geralmente em ambientes úmidos, mas muitas espécies podem ser encontradas em *habitats* secos e desérticos, desenvolvendo-se nos mais diversos substratos como solo, rochas, galhos e troncos de árvores e arbustos vivos ou em decomposição, folhas, além de substratos artificiais e em áreas urbanas (Frahm, 2003; Vanderpoorten & Goffinet, 2009).

Ambientes urbanos apresentam condições extremas ao desenvolvimento e manutenção de comunidades vegetais. Embora as briófitas sejam comuns nestes locais, também acabam por sofrer seus efeitos de modo direto ou indireto (p.ex. extremos de temperatura, déficit hídrico e substratos inadequados). Neste sentido, a temperatura e umidade são importantes agentes de adaptação a este grupo de organismos, os quais apresentam características poiquilohídricas e estão muito sujeitos a variações ambientais (Gradstein *et al.*, 2001). Podem tolerar longos períodos de estresse hídrico e amplas variações de temperatura, ocupando ambientes onde outras plantas não podem suportar (Turetski, 2003).

A falta de água e temperaturas elevadas podem interferir diretamente no estabelecimento e manutenção de briófitas em ambientes urbanos, uma vez que a água é fator limitante para o crescimento e desenvolvimento destas plantas (Glime, 2006). Apesar disso, a tolerância a condições ambientais extremas e a capacidade de dessecação por longos períodos de tempo e posterior reabsorção e reativação do metabolismo normal é uma condição comum à maioria das espécies de briófitas (Proctor *et al.*, 2007).

Estudos que visem reconhecer características, tanto taxonômicas quanto ecológicas ou fisiológicas, de espécies de briófitas que ocorrem em ambientes urbanos são de fundamental importância, fornecendo informações sobre a ocorrência e distribuição geográfica destes organismos em regiões urbanizadas, cada vez mais extensas e mais comuns (Bastos & Yano, 1993; Bordin & Yano, 2009). No entanto, estudos ecofisiológicos com briófitas tropicais ainda são escassos, seja porque poucos ecofisiologistas investigam briófitas ou porque os briólogos clássicos normalmente não trabalham com ecofisiologia. Alguns autores, entretanto (p. ex. Frahm, 2003; Proctor *et al.*, 2007; Stark, 2017), tem trabalhado e trazido informações importantes sobre o comportamento

ecofisiológico destas plantas. Além disso, um completo entendimento do comportamento ecológico das briófitas só pode ser alcançado se sua fisiologia for bem conhecida (Maciel Silva, 2007).

Considerando as relações particulares entre as espécies de briófitas de ambientes urbanos e as condições hídricas e de temperatura, este trabalho objetivou avaliar o conteúdo de água de três diferentes espécies de briófitas sob diferentes condições de temperatura. A hipótese deste estudo é de que as espécies apresentariam diferentes respostas ao uso da água, devido às suas características fenotípicas (ausência de órgãos verdadeiros e tecido vascular especializado) e ao tipo de *habitat* em que ocorrem naturalmente nos ambientes urbanos avaliados.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área com desenvolvimento natural de populações das espécies avaliadas compreende o perímetro urbano dos municípios de União da Vitória – Paraná e Porto União – Santa Catarina. Três espécies foram selecionadas, considerando as características morfológicas e *habitat* em que ocorriam (Figura 1):

a) *Bryohumbertia filifolia* (Hornsch.) J.P. Frahm - Musgo acrocárpico, desenvolvendo-se como epífita no caule de *Cedrela fissilis* Vell., localizado na Praça Coronel Amazonas da cidade de União da Vitória – PR e disponibilidade hídrica dependente da condição climática.

b) *Philonotis cernua* (Wilson) D.G. Griffn. & W.R. Buck - Musgo acrocárpico, coletado em área urbana do município de Porto União – SC, sob muro de concreto e disponibilidade hídrica dependente da condição climática.

c) *Amblystegium varium* (Hedw). Lindb. - Musgo pleurocárpico, ocorrendo em uma fonte pública em uso, localizada na cidade de Porto União – SC. O substrato é do tipo artificial (concreto) e a disponibilidade hídrica é permanente (fonte de água que mantém úmidas as paredes laterais onde se localizam os espécimes).

Os espécimes foram coletados manualmente com o auxílio de uma espátula, sendo os mesmos acondicionados em frascos de polietileno sob uma atmosfera saturada (alta disponibilidade hídrica) até o momento das análises. O período mantido sob essas condições foi de 24 horas, com o objetivo de obtenção da máxima pressão de turgor nas células (peso túrgido) (adaptado de Atala *et al.*, 2014).

Uma amostra de cada espécie (*Bryohumbertia filifolia* (Hornsch.) J.P. Frahm – HCVI 911; *Philonotis cernua* (Wilson) D.G. Griffn. & W.R. Buck - HCVI 912; *Amblystegium varium* (Hedw). Lindb - HCVI 913) foi depositada no Herbário Cachoeiras Vale do Iguaçu (HCVI).

### Avaliação da perda e absorção de água

Para estas análises, foram selecionados 15 exemplares (gametófitos) de cada espécie. Para as espécies acrocárpicas – *B. filifolia* e *P. cernua* – os gametófitos foram retirados com auxílio de uma pinça, enquanto que para a espécie pleurocárpica – *A. varium* – foram retirados, também, com auxílio de uma pinça, fragmentos gametofíticos variando de 5 a 10 cm de comprimento. Posteriormente foram seguidos os seguintes procedimentos: cada exemplar foi pesado obtendo-se assim o peso túrgido dos mesmos. Para tanto, cada espécime foi retirado dos ambientes saturados com água, removido o excesso de água com auxílio de papel absorvente e, imediatamente, pesado com auxílio de balança analítica. Posteriormente, os exemplares foram deixados em temperatura

ambiente ( $21\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ) e, novamente, pesados nos intervalos de tempo de 3, 5, 10, 15 e 30 minutos para a avaliação do processo de perda de água em relação ao tempo. O período de tempo empregado foi escolhido com base nos resultados obtidos por Atala *et al.* (2014) e Stark *et al.* (2016), onde as maiores variações no conteúdo de água (em torno de 50%), tanto para dessecação quanto para reidratação foram obtidos até os primeiros trinta minutos. Em seguida, os mesmos exemplares foram novamente submetidos a um ambiente saturado de água (placas de Petri contendo 5 ml de água destilada) e novamente pesados considerando o intervalo de 3, 5, 10, 15 e 30 minutos, obtendo-se assim a capacidade de reidratação ao longo do tempo para cada espécime. Por fim, os exemplares foram levados à estufa ( $50^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante – onde não havia mais variação no peso após a pesagem imediatamente após a retirada dos exemplares da estufa) e novamente pesados, obtendo-se assim o peso seco e calculado o conteúdo de água (peso túrgido – peso seco) de cada indivíduo de cada uma das três espécies avaliadas (Atala *et al.*, 2014).

Todos os dados foram posteriormente submetidos à estatística descritiva e após foi realizado o teste de normalidade e verificada a homogeneidade das variâncias. Em seguida, as diferenças entre o peso seco, peso túrgido, conteúdo de água e a porcentagem do peso final após a perda e reabsorção de água entre as diferentes espécies de briófitas foram avaliados através da Análise de Variância. Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico Past (Hammer *et al.*, 2001).

### **Avaliação do efeito da temperatura sobre o conteúdo de água**

Foram utilizados, neste experimento, um total de 50 espécimes de cada espécie de briófitas (*Bryohumbertia filifolia*, *Philonotis cernua*, *Amblystegium varium*). Cada um deles foi pesado, obtendo-se o peso túrgido inicial, em seguida foram dispostos compondo os seguintes tratamentos:

1. Efeito de altas temperaturas (estação quente/verão) – Os espécimes ( $n=25$  gametófitos de cada espécie) foram dispostos em placas de Petri forradas com papel filtro e umedecidos com 2,5 ml de água e dispostas em estufa incubadora com fotoperíodo de 12 horas e alternância de temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$  (escuro) e  $30^{\circ}\text{C}$  (claro).

2. Efeito de baixas temperaturas (estação fria/inverno) - Os espécimes ( $n=25$  de cada espécie) foram dispostos em placas de Petri forradas com papel filtro e umedecidos com 2,5 ml de água e dispostas em estufa incubadora com fotoperíodo de 12 horas e alternância de temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  (escuro) e  $20^{\circ}\text{C}$  (claro).

A escolha das temperaturas foi tomada com base nos valores médios de temperatura no período de verão e inverno, obtidos para a região onde as amostras foram coletadas (Iapar, 2000). As placas de Petri foram fechadas com plástico filme para evitar variação na quantidade de água disponível no ambiente.

Para a avaliação do efeito da temperatura nos diferentes tratamentos, um total de cinco espécimes foram retirados após os seguintes períodos de tempo: 7, 14, 21, 28 e 35 dias. Cada um deles foi pesado obtendo-se o peso fresco e em seguida levado para a estufa ( $\pm 60^{\circ}\text{C}$ ) durante o período de 24 horas e, posteriormente, pesado, obtendo-se o peso seco. O conteúdo de água foi calculado a partir da relação peso fresco – peso seco.

Todos os dados foram submetidos à estatística descritiva e após foi realizado o teste de normalidade e homogeneidade das variâncias. Foram calculados o conteúdo de água (CA) e o conteúdo relativo de água (CRA). Em seguida, as diferenças no conteúdo de água e conteúdo relativo de água entre as datas de cada tratamento, entre os diferentes tratamentos e entre as diferentes espécies de briófitas foram avaliados através da Análise de Variância Fatorial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Avaliação da perda e absorção de água

Os valores relacionados ao peso (túrgido, seco e conteúdo de água) apresentaram-se altamente variáveis entre as três espécies de briófitas analisadas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios e desvio padrão das variáveis avaliadas para cada uma das espécies estudadas.

Variável	<i>Bryohumbertia filifolia</i>	<i>Philonotis cernua</i>	<i>Amblystegium varium</i>
Peso túrgido (g)	0,0193±0,0070	0,0009±0,0003	0,0056±0,0024
Peso seco (g)	0,0018±0,0007	0,0001±0,0000	0,0007±0,0003
Conteúdo de água (g)	0,0175±0,0070	0,0007±0,0003	0,0048±0,0021
Conteúdo de água (%)	89,6±5,06	80,4±7,4	86,2±5,7

Diferenças significativas entre as espécies foram obtidas para todos os parâmetros: peso túrgido ( $F=80,59$ ;  $p<0,0001$ ), peso seco ( $F=48,50$ ;  $p<0,0001$ ), conteúdo de água ( $F=61,49$ ;  $p<0,0001$ ) e porcentagem do conteúdo de água ( $F=7,29$ ;  $p<0,001$ ) (Figura 2).

Tanto a variação quanto as diferenças obtidas entre as espécies já eram esperadas, uma vez que, cada táxon apresenta características particulares de tamanho, organização morfológica (acrocárpica x pleurocárpica) e estrutura do gametófito (tamanho e inserção dos filídios). Apesar das diferenças, a comum ocorrência de alto conteúdo de água nos organismos analisados em relação ao seu peso seco demonstra a condição de dependência deste fator abiótico nestes organismos. As briófitas foram os primeiros vegetais a fazer a transição do ambiente aquático para o terrestre, no entanto ainda são dependentes da água (ainda mais que outros grupos considerados homeohídricos) para sua reprodução, nutrição e para o metabolismo de modo geral (Glime, 2006; Frahm, 2003; Proctor, 2000; Proctor *et al.*, 2007). Os resultados do presente estudo mostram que a porcentagem de água foi elevada nas três espécies analisadas, condição mais do que esperada considerando sua condição poiquilohídrica e sua relação com a água no ambiente em que se encontram.

A alta quantidade de água presente nestes organismos pode ser explicada considerando que, de acordo com Dilks & Proctor (1979) e Proctor *et al.* (1998), três estruturas ou regiões distintas são responsáveis por abrigar este componente. Neste sentido, além da água presente no simplasto das células, também existe uma elevada quantidade de água no apoplasto (paredes celulares) e nos capilares externos. Além disso, as briófitas de um modo geral, são organismos poiquilohídricos, e dependem das condições ambientais externas para a manutenção do seu conteúdo celular de água (Proctor *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2011). Assim, as características acima mencionadas por estes autores auxiliam na formação de um ambiente celular úmido e em determinadas condições (como comprovado com os valores de peso túrgido) com uma abundante quantidade de água, fundamental ao desenvolvimento das espécies deste grupo.

Como já citado acima, as diferenças nos parâmetros analisados devem-se às características particulares de cada espécie. Entretanto, chama a atenção a ausência da diferença significativa na porcentagem de água entre *Bryohumbertia filifolia* e *Amblystegium varium* (Figura 2). As espécies possuem características morfológicas

distintas (acrocárpico X pleurocárpico) e ocorrem em ambientes distintos (epífita, baixa disponibilidade hídrica X rupícola, alta disponibilidade hídrica), embora apresentem características de armazenamento de água similares. Tal fato demonstra que as características intrínsecas ao grupo são mais determinantes que o ambiente em que as mesmas ocorrem.

Neste sentido, o hábito acrocárpico tende a apresentar maior retenção de água entre as plantas, sendo considerado melhor adaptado a ambientes de baixa disponibilidade hídrica (Vitt, 1979; Kürschner, 2004). Isso pode ser relacionado com o *habitat* das espécies acrocárpicas avaliadas neste estudo (*B. filifolia* – epífita e *P. cernua* – rupícola), embora com diferenças na quantidade de água interna, devido provavelmente às características morfológicas acima descritas.

Com relação à análise do processo de perda de água, foi possível constatar um padrão similar entre as espécies, as quais perderam água rapidamente para o meio externo (Tabela 2). Entretanto, características particulares para cada uma podem ser destacadas, inclusive com relação às diferenças entre os períodos temporais (Figura 3).

**Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão para o conteúdo de água ao longo do tempo para cada uma das espécies estudadas, durante o período de perda de água.

Espécie	Tempo (minutos)					
	0	3	5	10	15	30
<i>Bryohumbertia filifolia</i>	0,0193	0,0168	0,0144	0,0123	0,0106	0,0055
	±0,0072	±0,0066	±0,0058	±0,0054	±0,0051	±0,0035
<i>Philonotis cernua</i>	0,0009	0,0008	0,0008	0,0006	0,0006	0,0005
	±0,0003	±0,0003	±0,0004	±0,0004	±0,0006	±0,0003
<i>Amblystegium varium</i>	0,0056	0,0048	0,0046	0,0041	0,0035	0,0031
	±0,0024	±0,0017	±0,0016	±0,0013	±0,0018	±0,0016

A contínua perda (menos evidente em *P. cernua*) de água em relação ao tempo analisado deve-se à ausência de um sistema especializado à retenção de água por parte deste grupo de plantas, sendo que algumas espécies podem suportar valores tão baixos quanto 5-20% do conteúdo de água (Glime, 2006; Gaff, 1997; Kranner & Lutzoni, 1999). Neste sentido, após o período de 30 minutos em temperatura ambiente as espécies analisadas apresentaram perda de água significativa: *B. filifolia* = 71,5%; *P. cernua* = 46,8%; *A. varium* = 44,7%. Tais resultados demonstram a fragilidade destes organismos frente às condições ambientais. A rápida perda de água (apenas alguns minutos) reflete a ausência de especialização do grupo e ao mesmo tempo a capacidade de suporte a baixas concentrações de água no ambiente externo. *Bryohumbertia filifolia*, cuja perda de água foi mais evidente (Tabela 2), reflete as características morfológicas – estas são as maiores plantas entre as analisadas, com filídios largos e alongados, dispostos quase perpendicularmente ao eixo do caulídio. Todas estas características podem favorecer a perda de água para o ambiente externo. Já as espécies *Amblystegium varium* e *Philonotis cernua* apresentam uma organização morfológica mais eficiente quanto ao balanço hídrico (plantas menores, filídios pequenos e muito próximos ao caulídio – quase escamiformes).

Condições adaptativas ao *habitat* também podem ter relação com os dados obtidos. Neste sentido, espécies de briófitas que vivem como epífitas tendem a ter uma maior tolerância à dessecação (Franks & Bergstrom, 2000; Tobiessen *et al.*, 1979). A maior

porcentagem de perda de água obtida para a espécie *Bryohumbertia filifolia* (uma planta epífita) está de acordo com o pressuposto acima.

Além das características morfológicas e relacionadas a adaptação ao habitat, provavelmente tal condição está também associada a respostas fisiológicas. Neste sentido, Beckett & Hoddinott (1997) avaliaram as alterações na quantidade de íons  $K^+$  no musgo *Atrichum androgynum*, uma espécie morfológicamente similar (em relação a estrutura do corpo da planta) a *Bryohumbertia filifolia* utilizada neste estudo, e verificaram mudanças sazonais na concentração deste íon, sendo mais abundante nas células do musgo em períodos secos que em períodos úmidos. Considerando que este íon está diretamente relacionado com o balanço hídrico em plantas, tal resultado parece coerente. Com base em nossos resultados, poderíamos especular uma possível maior capacidade de retenção de íons  $K^+$  por parte de *Bryohumbertia filifolia* e *Philonotis cernua* em relação a *Amblystegium varium*. Tal informação, entretanto, não foi aqui avaliada e só pode ser considerada caso experimentos neste sentido sejam desenvolvidos.

O padrão de variação no processo de perda de água também mostrou algumas particularidades. *Bryohumbertia filifolia* apresentou uma variação contínua e com valores mais ou menos equidistantes ao longo do tempo, o que demonstra a ausência de qualquer mecanismo que restrinja a perda de água durante o tempo ocorrido. A espécie *Amblystegium varium* também apresentou um padrão similar, embora não tão pronunciado. Já a espécie *Philonotis cernua* mostrou uma variação não muito nítida, provavelmente devido a imensa variação nos valores observados, principalmente após os 15 minutos, onde foram observados, inclusive, valores maiores que no período anterior.

De um modo geral, as briófitas apresentam, devido ao seu pequeno tamanho, uma alta relação entre superfície/volume, o que propicia uma elevada perda de água para o ambiente ao seu redor (Proctor *et al.*, 2007). Apesar disso, os diferentes tamanhos e formas destes organismos podem gerar respostas distintas. Neste sentido, plantas pequenas e que se apresentam organizadas em grupos adensados ou emaranhados, são menos propensas à dessecação (Alpert & Oechel, 1985; Proctor, 1981; Zotz *et al.*, 2000). Considerando as características de *Amblystegium varium*, os resultados obtidos são compreensíveis. Características como a forma de crescimento pleurocárpico refletem respostas evolucionárias entre a pressão de seleção para redução da perda de água e otimização da absorção de carbono e luz, assim como apontado por alguns autores (Bates, 1998; Proctor & Smith, 1995; Richards, 1984).

A reabsorção de água por parte das diferentes espécies apresentou um padrão de variação similar (Tabela 3), geralmente com uma rápida reabsorção inicial e posteriormente menos expressiva, porém uma contínua absorção de água do ambiente (Figura 4).

**Tabela 3.** Valores médios e desvio padrão para o conteúdo de água ao longo do tempo para cada uma das espécies estudadas, durante o período de reabsorção de água.

Espécie	Tempo (minutos)					
	0	3	5	10	15	30
<i>Bryohumbertia filifolia</i>	0,0054 ±0,0035	0,0195 ±0,0070	0,0226 ±0,0070	0,0248 ±0,0067	0,0248 ±0,0069	0,0295 ±0,0091
<i>Philonotis cernua</i>	0,0005 ±0,0003	0,0012 ±0,0005	0,0012 ±0,0005	0,0013 ±0,0005	0,0014 ±0,0006	0,0015 ±0,0006
<i>Amblystegium varium</i>	0,0031 ±0,0016	0,0037 ±0,0001	0,0040 ±0,0001	0,0042 ±0,0017	0,0044 ±0,0019	0,0050 ±0,0020

Naturalmente, comunidades de musgos convivem com estresse fisiológico devido às condições ambientais altamente variáveis em que ocorrem, assim como altas temperaturas e alta radiação solar o que promove contínuos ciclos de hidratação e reidratação (Barker *et al.*, 2005). Como já comentado acima, as briófitas apresentam uma substancial capacidade capilar externa às células, o que permite uma rápida absorção de água quando expostas a superfícies úmidas (Proctor *et al.*, 2007). A rápida reabsorção de água verificada nos primeiros três minutos de exposição à água deve estar relacionada a este fenômeno de ocupação da água por parte dos espaços intercelulares, sendo que a entrada efetiva de água no simplasto celular ocorre de modo um pouco mais lento e gradual (Figura 4).

Para a espécie *Amblystegium varium*, tal evento não ficou tão nítido quanto para as outras espécies. Além disso, esta espécie foi a que apresentou a menor taxa final de reabsorção de água (39,1%) em relação as demais espécies (*Bryohumbertia filifolia* = 81,7% e *Philonotis cernua* = 63,2%). Considerando que esta planta tem como habitat, locais úmidos (conforme local de obtenção da mesma), o padrão de reabsorção parece estar coerente.

Alguns estudos desenvolvidos com a espécie *Tortula ruralis* (Bewley, 1979; Oliver & Bewley, 1997; Oliver *et al.*, 2005) mostraram que a mesma apresenta características metabólicas particulares quando reidratada, assim como a rápida síntese proteica (questões de minutos), além de um sistema de proteção e reparo celular eficiente. Segundo Wood (2007) a vasta maioria das briófitas tolerantes a dessecação deve apresentar tais características. Considerando o rápido processo de dessecação e reabsorção verificado para as espécies aqui estudadas, tal condição pode ser compatível com elas.

### **Avaliação do efeito da temperatura sobre o conteúdo de água**

Os valores de conteúdo de água nas diferentes espécies avaliadas ao longo do tempo sob o efeito de temperaturas distintas são apresentados na figura 5.

A variação no conteúdo de água nas espécies avaliadas não apresentou um padrão nítido ao longo do tempo (amplamente variável e com valores sobrepostos), o que demonstra que a exposição a temperaturas altas ou baixas ao longo do tempo não promove uma gradual perda de água por parte da planta. Além disso, as plantas avaliadas em cada período eram diferentes e cada uma pode apresentar um padrão de resposta particular em relação ao balanço de água e temperatura. Após um período de aclimação, espera-se que a planta, mais adaptada às novas condições, retome seu crescimento, absorvendo água do ambiente e aumentando a massa seca, o que pode ter gerado tais discrepâncias nos valores temporais de conteúdo de água (Figuras 5a e 5b).

O conteúdo relativo de água também mostrou os mesmos valores oscilantes, embora todos acima de 80%. Os altos valores reforçam a importância da disponibilidade de água no ambiente, e uma certa capacidade de suporte com relação às temperaturas, tanto baixas quanto altas, por parte de todas as espécies avaliadas (Figuras 5c e 5d), condição necessária à sua manutenção nos ambientes urbanos, altamente variáveis e estressantes.

De um modo geral, as três espécies apresentaram tanto maior variação quanto menores valores de conteúdo de água e conteúdo relativo de água durante o período de inverno (Figura 5), o que demonstra que baixas temperaturas podem ser mais estressantes num ambiente com relativa disponibilidade de água. Tal fato pode ser devido a limitação enzimática a baixas temperaturas, ocasionando menores taxas

metabólicas (fotossíntese e respiração) e conseqüente menor uso da água (Atkin & Tjoelker, 200; Wagner *et al.*, 2013).

Cada espécie em particular, entretanto mostrou características próprias em relação ao uso da água. *B. filifolia* apresentou valores relativamente constantes ao longo do tempo, com leve tendência de aumento no CRA em temperaturas elevadas, embora o CA tendeu a diminuição. Resultado provavelmente do aumento da massa seca, intensificado pelas temperaturas mais elevadas (Bates 1998; Kürschner *et al.*, 1999). Em baixas temperaturas, tanto CA quanto CRA apresentaram diminuição dos valores ao longo do tempo. A espécie *P. cernua* mostrou valores similares de CA e CRA em altas temperaturas, com exceção da quarta semana (28 dias), onde foi observada uma diminuição considerável dos parâmetros. Em baixas temperaturas os valores de CRA mantiveram-se constantes ao longo do tempo amostral. Já o CA mostrou um decréscimo acentuado após 7 e 14 dias, posteriormente retornando a valores similares ao do CRA. O pequeno tamanho e a arquitetura da planta (filídios imbricados) provavelmente permitiram a manutenção constante dos parâmetros, devido tanto a baixa atividade fisiológica quanto a maior retenção de água. *A. varium* por sua vez mostrou valores constantes em altas temperaturas e bastante variáveis em baixas temperaturas, com destaque à diminuição dos valores de CRA e aumento de CA no período final de avaliação.

Embora os resultados pareçam contraditórios e aparentemente contrários ao esperado inicialmente (a hipótese inicial postulava que uma maior perda de água ocorresse em temperaturas mais altas), pois temperaturas mais elevadas geram uma maior taxa de evaporação, gerando uma secagem mais rápida em organismos poiquilohídricos (Jonsson *et al.*, 2008; Proctor, 2000). É provável que a umidade presente nos microambientes (placas de Petri) tenha promovido um efeito positivo da temperatura sobre a fisiologia das plantas avaliadas, conforme discutido acima. Além disso, briófitas são plantas que se adaptam facilmente a variações de temperatura (Glime, 2006).

Entre os parâmetros avaliados pela Análise de Variância Fatorial as seguintes diferenças significativas foram obtidas (Figura 6): para o conteúdo de água (CA) entre as espécies ( $F= 11,57$ ;  $p<0,001$ ), entre as datas ( $F= 11,64$ ;  $p<0,001$ ) e para a interação entre temperatura e espécies ( $F= 4,27$   $p<0,05$ ); para conteúdo relativo de água (CRA) para temperatura ( $F= 4,17$ ;  $p<0,05$ ).

Com relação a temperatura, embora os valores tanto de CA quanto de CRA tenham sido menores nos tratamentos com baixa temperatura, a diferença significativa obtida somente par CRA pode ser reflexo do uso diferencial da água frente à mudança de temperatura. Enquanto que em temperaturas mais altas o CRA foi maior que o CA, o contrário foi observado para baixas temperaturas. Houve assim um nítido aumento na taxa de absorção de água, propiciado pelo metabolismo mais ativo em altas temperaturas (Wagner *et al.*, 2013).

As datas mostraram diferenças para o conteúdo de água basicamente devido ao baixo valor registrado após os primeiros sete dias, possivelmente reflexo de um estágio inicial de aclimação ao novo ambiente. Wagner *et al.* (2013) citam a aclimação, relacionando temperatura e uso do carbono (fotossíntese e respiração), como uma característica típica deste grupo. Os valores obtidos para as demais datas confirmam tal predição, com valores mais altos e constantes de conteúdo de água.

## CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste estudo demonstraram que as diferentes espécies de briófitas avaliadas, embora possuam características particulares, apresentaram respostas similares em relação ao balanço hídrico, com uma capacidade ímpar de

resposta a eventos de dessecação e reidratação. Além disso, a capacidade de reabsorção rápida de água faz com que tais espécies estejam altamente preparadas a condições ambientais estressantes, como, por exemplo as que esperamos encontrar em ambientes urbanos, como os quais as espécies estudadas foram coletadas. Neste sentido, embora o aumento da temperatura seja responsável pelo ressecamento destas plantas poiquilohídricas, quando em condições de alta umidade, como presente neste estudo, a diminuição da temperatura apresenta um maior efeito sobre conteúdo de água e conteúdo relativo de água nas espécies avaliadas.

Além disso, as variações observadas e características particulares de cada espécie (p. ex. tamanho, forma de crescimento, tamanho e disposição dos filídios) refletem as propriedades estruturais das plantas, bem como seu *habitat*, que é um reflexo de adaptações a cada condição em que possam ocorrer em distintos ambientes, sejam naturais ou alterados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

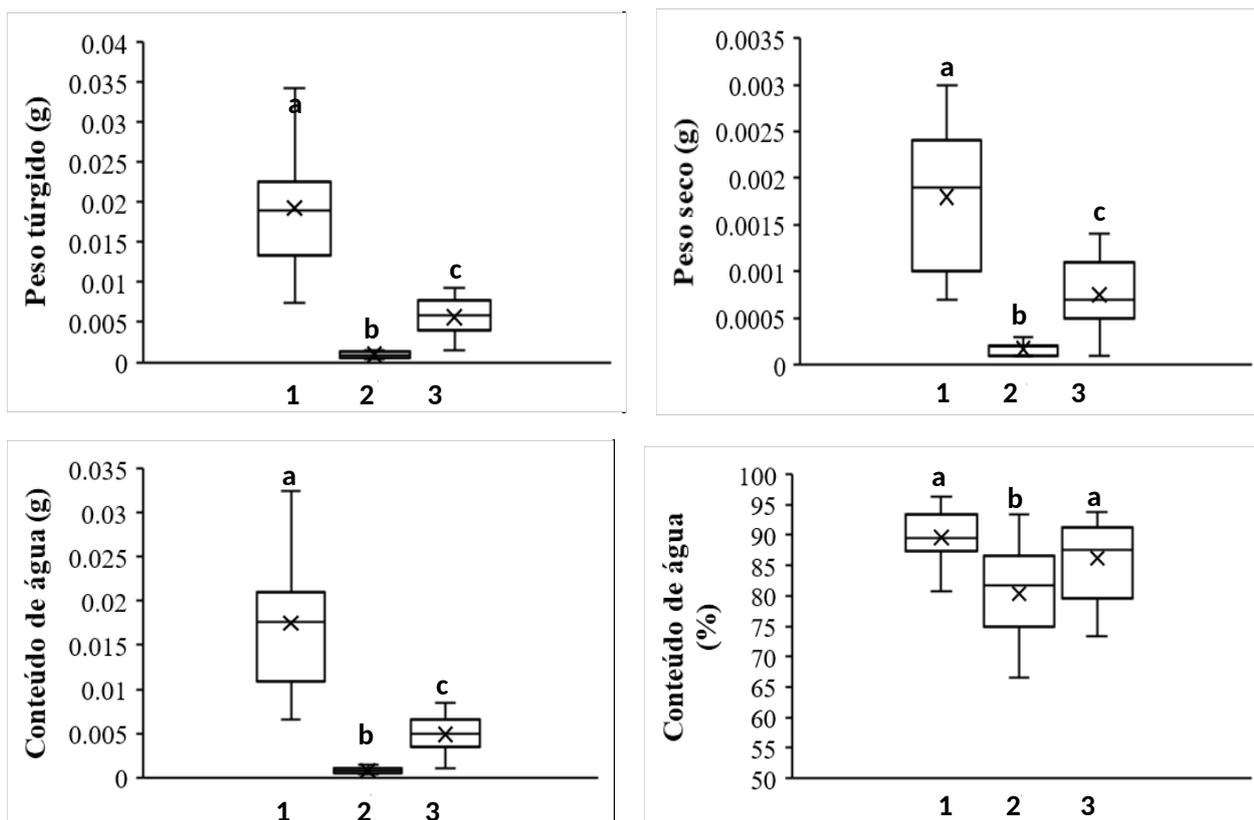
- ALPERT, P. & OECHEL, W.C. 1985. Carbon Balance Limits the Microdistribution of *Grimmia laevigata*, a Desiccation Tolerant Plant, *Ecology* 66(3): 660-669.
- ATALA, C.; ALFARO, J.F.; PARRA, M.J. & SALDAÑA, A. 2014. Desiccation tolerance in *Dendroligotrichum dendroides* (Brid. ex Hedw.) Broth. from two Chilean populations with contrasting precipitation. *Gayana Bot.* 71(1): 10-16.
- ATKIN, O.K. & TJOELKER, M.G. 2003. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *Trends in Plant Science* 8: 343-351.
- BASTOS, C.J.P. & YANO, O. 1993. Musgos da zona urbana de Salvador, Bahia, Brasil. *Hoehnea* 20(1/2): 23-33.
- BATES, J.W. 1998. Is 'life-form' a useful concept in bryophyte ecology? *Oikos* 82: 223-237.
- BARKER, D.H.; STARK, L.R.; ZIMPFER, J.F.; McLETCHE, N.D. & SMITH, S.D. 2005. Evidence of drought-induced stress on biotic crust moss in the Mojave Desert. *Plant Cell En.* 28: 939-947.
- BECKETT, R.P. & HODDINOTT, N. 1997. Seasonal variations in tolerance to ion leakage following desiccation in the moss *Atrichum androgynum* from a KwaZulu Natal afro-montane forest. *S. Afr. J. Bot.* 63: 276-279.
- BEWLEY, D.J. 1979. Physiological aspects of desiccation tolerance. *Plant Physiology* 30: 195-238.
- BORDIN, J. & YANO, O. 2009. Briófitas do centro urbano de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Hoehnea* 36: 7-71.
- DILKS, T.J.K. & PROCTOR, M.C.F. 1979. Photosynthesis, respiration and water content in Bryophytes. *New Phytol.* 82: 97-114.
- FRAHM, J.P. 2003. Manual of Tropical Bryology. *Tropical Bryology* 23: 1-196.
- FRANKS, A.J. & BERGSTROM, D.M. 2000. Corticolous Bryophytes in microphyll fern forests of south-east Queensland: distribution on Antarctic beech (*Nothofagus moorei*), *Austral Ecol.* 25: 386-393.
- GAFF, D.F. 1997. *Mechanisms of desiccation tolerance in resurrection vascular plants, Mechanisms of environmental stress resistance in plants*. Netherlands. Harwood Academic Publishers. p.43-58.
- GLIME, J.M. 2006. "Bryophyte Ecology: About the Book". Bryophyte Ecology Subchapters. <https://digitalcommons.mtu.edu/bryo-ecol-subchapters/131>

- GRADSTEIN, S.R.; CHURCHILL, S.P. & SALAZAR-ALLEN, N. 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 86: 1-577.
- HAMMER, D.A.; HARPER, T.; RYAN, P.D. 2001. **Past**: palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4: 1-9.
- IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. *Monitoramento Agroclimático do Paraná*. 2000. Disponível em: [www.iapar.com.br](http://www.iapar.com.br)
- JONSSON, A.V.; MOEN, J. & PALMQVIST K. 2008. Predicting lichen hydration using biophysical models. *Oecologia* 156: 259-273.
- KRANNER, I. & LUTZONI F. 1999. *Evolutionary consequences of transition to a lichen symbiotic state and physiological adaptation to oxidative damage associated with poikilohydry*. New York, NY. In Lerner H.R. (ed) *Plant Response to Environmental Stress: From Phytohormones to Genome Reorganization*, M. Dekker Inc., New York, pp. 591-628.
- KÜRSCHNER, H. 2004. Life Strategies and Adaptations in Bryophytes from the Near and Middle East. *Turk J. Bot.* 28: 73-84.
- KÜRSCHNER, H; FREY, W. & PAROLLY, G. 1999. Patterns and adaptive trends of life forms, life strategies and ecomorphological structures in tropical epiphytic bryophytes—a pantropical synopsis. *Nova Hedwigia* 69: 73-99.
- MACIEL-SILVA, A.S. *Ecofisiologia de briófitas de Floresta Atlântica Nordestina*. 2007. Dissertação (Programa de pós-graduação em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco. 95 p.
- OLIVER, M.J. & BEWLEY, J.D. 1997. Desiccation tolerance of plant tissues: a mechanistic overview. *Hort. Rev.* 18: 171-213.
- OLIVER, M.J.; VELTEN, J. & MISHLER, B.D. 2005. Desiccation tolerance in bryophytes: A reflection of the primitive strategy for plant survival. *Comp. Biology* 45: 788-799.
- PROCTOR, M.C.F. 1981. Physiological ecology of Bryophytes. *Adv. in Bryo.* 1: 79-166.
- PROCTOR, M.C.F. 2000. Patterns of desiccation tolerance and recovery in bryophytes. *Plant Growth Regul.* 35, 147-156.
- PROCTOR, M.C.F. & SMITH, A.J.E. 1995. *Ecological and systematic implications of branching patterns in Bryophytes, Experimental and Molecular Approaches to Plant Biosystematics*, In: Hoch, P.C. & Stephenson, A.G. (eds) *Experimental and Molecular Approaches to Plant Biosystematics*. Missouri Botanical Garden, St Louis, pp. 87-110.
- PROCTOR, M.C.F.; NAGY, Z.; CSINTALAN, Z.S. & TAKACS, Z. 1998. Water-content components in bryophytes: analysis of pressure-volume curves. *Journal of Exp. Bot.* 49: 1845-1854.
- PROCTOR, M.C.F.; OLIVER, M.J.; WOOD, A.J.; ALPERT, P.; STARK, L.R.; CLEAVITT, N.L. & MISHLER, B.D. 2007. Desiccation-tolerance in bryophytes: a review, *The Bryologist* 110(4): 595-621.
- RICHARDS, P.W. 1984. *The ecology of tropical forest bryophytes*. New Manual of Bryology. Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, Japan. p. 1233-1270.
- TOBIESSEN, P.L.; SLACK, N.G. & MOTT, K.A. 1979. Carbon balance in relation to drying in four epiphytic mosses growing in different vertical ranges. *Canadian Journal of Bot.* 57: 1994-1998.
- STARK, L.R. 2017. Ecology of desiccation tolerance in bryophytes: A conceptual framework and methodology. *The Bryologist*. 120 (2): 130-165.

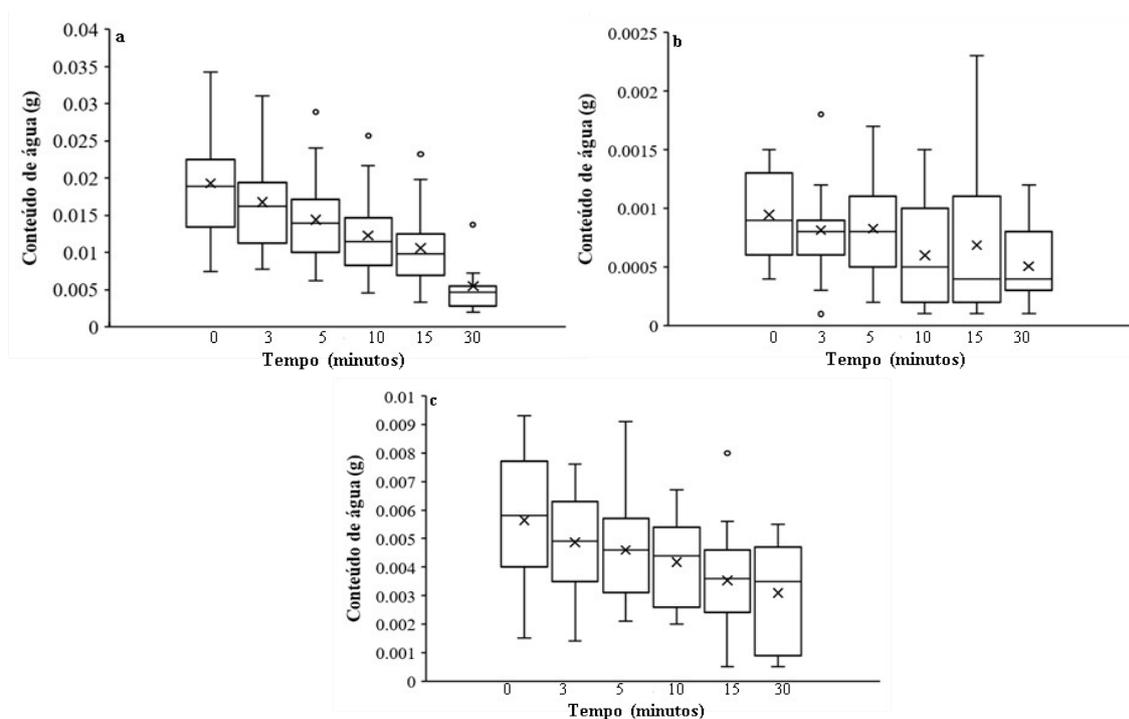
- STARK, L.R.; McLETCHE, D.N.; GREENWOOD, J.L.; EPPLEY, S.M. 2016. Moss antheridia are desiccation tolerant: Rehydration dynamics influence sperm release in *Bryum argenteum*. *American Journal of Botany* 103 (5): 856-864.
- TURETSKI, M.R. 2003. The Role of Bryophytes in Carbon and Nitrogen Cycling. *The Bryologist*. 106(3): 395-409
- VANDERPOORTEN, A. & GOFFINET, B. 2009. *Introduction to bryophytes*. Cambridge, Cambridge University Press.
- VITT, D.H. 1979. The moss flora of the Auckland Islands, New Zealand, with a consideration of habitats, origins, and adaptations. *Canadian Jour. of Bot.* 57(20): 2226-2263.
- WAGNER, S.; ZOTZ, G.; ALLEN, N.S. & BADER, M.Y. 2013. Altitudinal changes in temperature responses of net photosynthesis and dark respiration in tropical bryophytes. *Annals of Botany* 111: 455-465.
- WOOD, A.J. 2007. The nature and distribution of vegetative desiccation-tolerance in hornworts, liverworts and mosses. *The Bryologist* 110: 163-177.
- ZHANG, J.; ZHANG, Y.M.; DOWNING, A.; WU, N. & ZHANG, B.C. 2011. Photosynthetic and cytological recovery on remoistening *Syntrichia caninervis* Mitt., a desiccation-tolerant moss from Northwestern China. *Photosynthetica* 49(1): 13-20.
- ZOTZ, G.; SCHWEIKERT, A.; JETZ, W. & WESTERMAN, H. 2000. Water relations and carbon gain are closely related to cushion size in the moss *Grimmia pulvinata*. *New Phytol.* 148: 59-67.



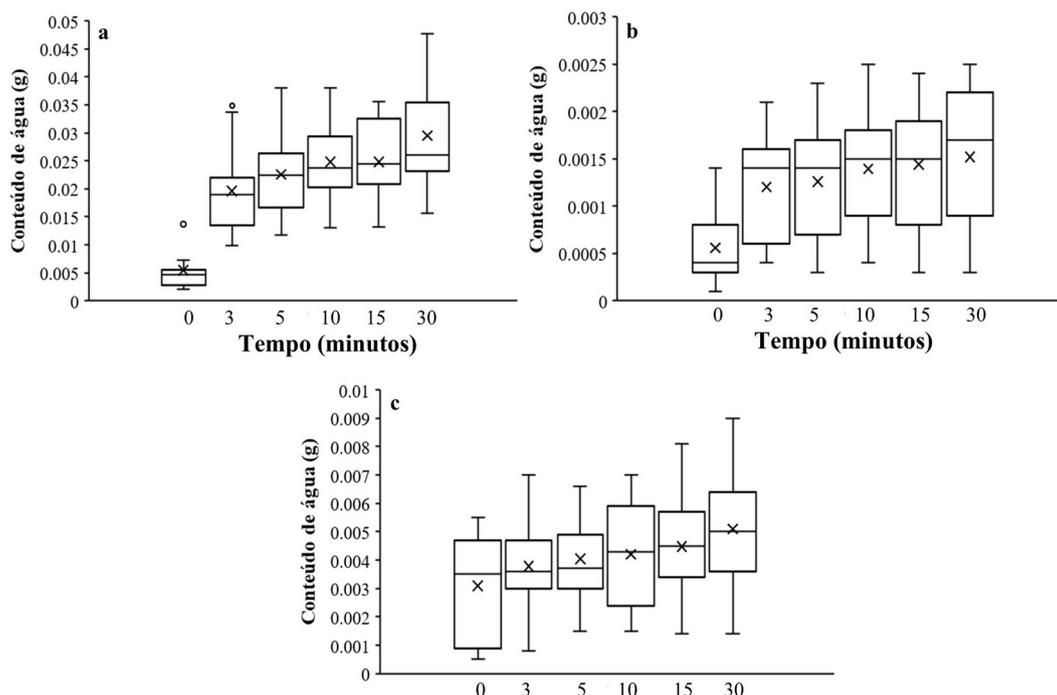
**Figura 1.** Espécies de briófitas utilizadas neste estudo. (a) *Bryohumbertia filifolia* (Hornsch.) J. P. Frahm (b) *Philonotis cernua* (Wilson) D.G. Griffn. (c) *Amblystegium varium* (Hedw). Lindb. As imagens representam as plantas ocorrendo no *habitat* em que foram coletadas.



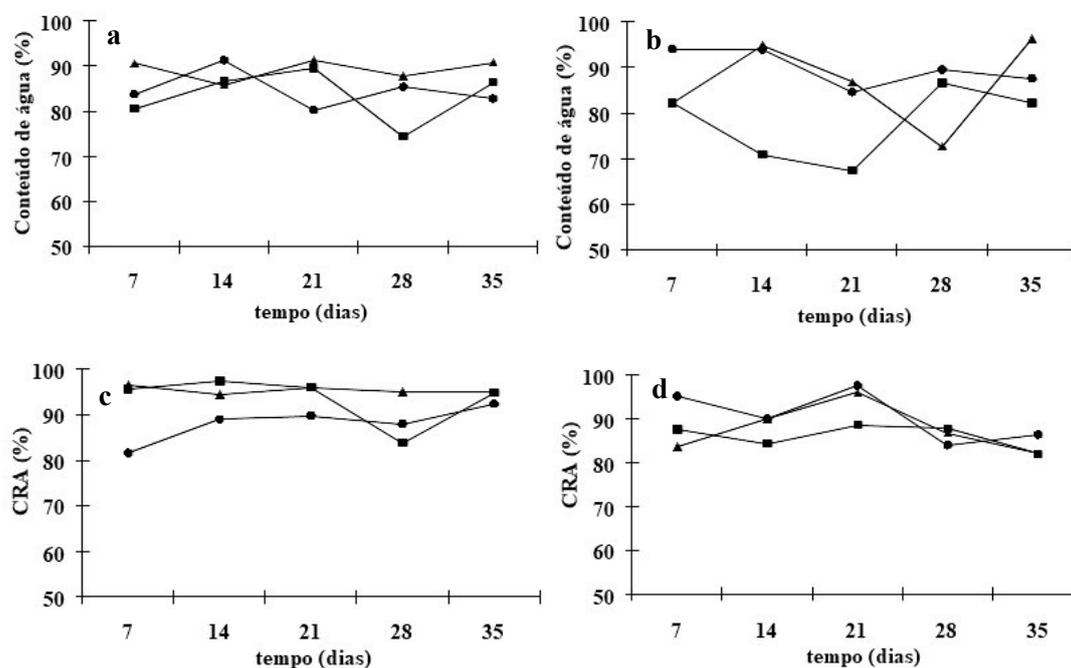
**Figura 2.** Gráfico de Variação (extremos, máximo, mínimo, 1º e 30 quartis, mediana e média) dos valores obtidos para cada um dos parâmetros avaliados entre as espécies (1= *Bryohumbertia filifolia*; 2= *Philonotis cernua*; 3 = *Amblystegium varium*) analisadas. Letras diferentes indicam médias diferentes.



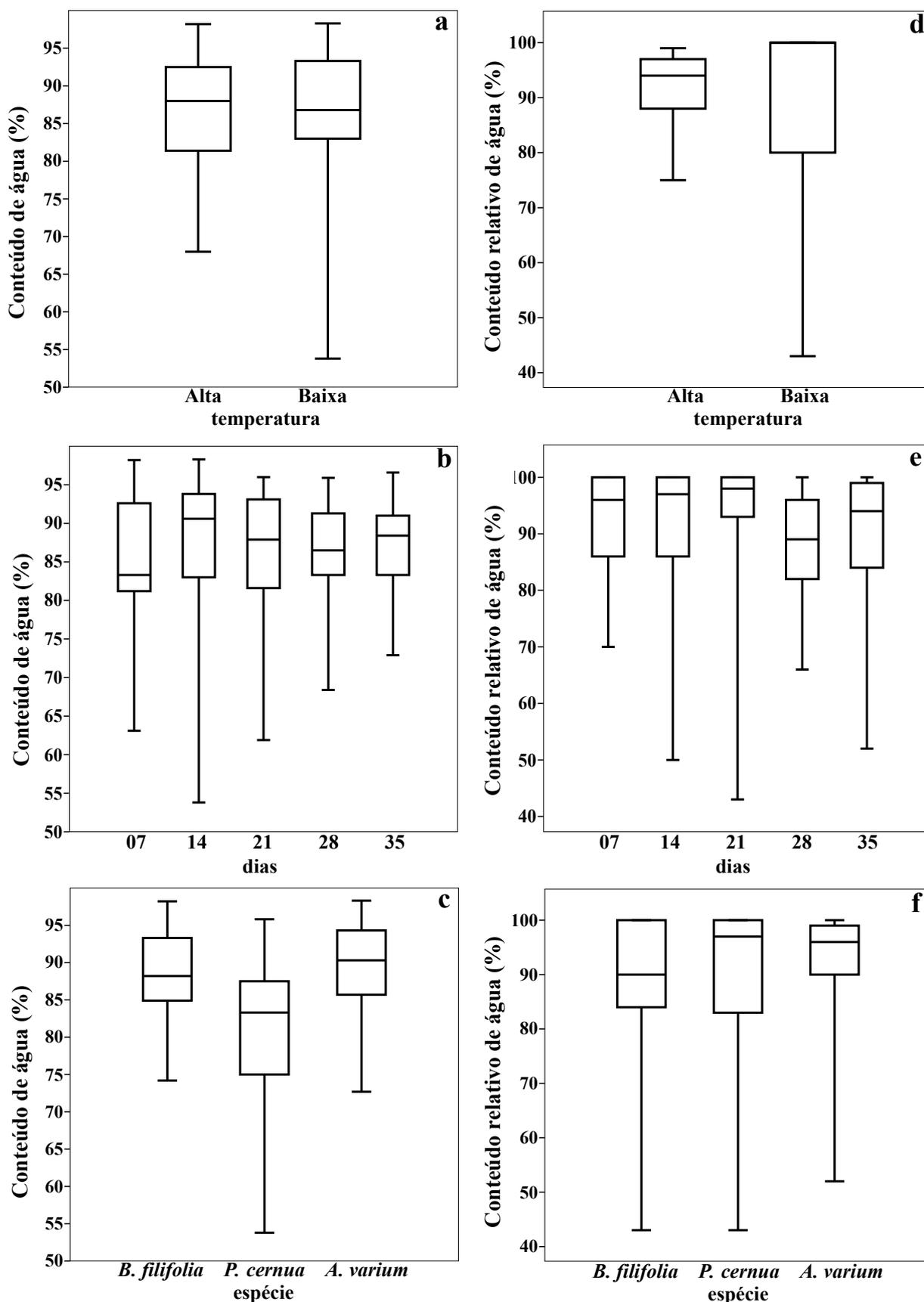
**Figura 3.** Gráfico de Variação no conteúdo de água das três espécies de briófitas (a. *Bryohumbertia filifolia*; b. *Philonotis cernua*; c. *Amblystegium varium*) avaliadas ao longo do período de tempo em temperatura ambiente ( $19\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1,1$ ) durante o processo de perda de água.



**Figura 4.** Variação no conteúdo de água das três espécies de briófitas (a. *Bryohumbertia filifolia*; b. *Philonotis cernua*; c) *Amblystegium varium* avaliadas ao longo do período de tempo em temperatura ambiente (19°C ± 1,1), durante o processo de reabsorção de água.



**Figura 5.** Variação no balanço hídrico das três espécies de briófitas avaliadas ao longo do tempo sob o efeito de diferentes temperaturas (conteúdo de água: a = altas temperaturas; b = baixas temperaturas; conteúdo relativo de água (CRA): c = altas temperaturas; d = baixas temperaturas). -●- = *Bryohumbertia filifolia*; -■- = *Philonotis cernua*; -▲- = *Amblystegium varium*.



**Figura 6.** Valores máximos, mínimos, médio, 1º e 3º quartis de conteúdo de água (a, b, c) e conteúdo relativo de água (d, e, f) entre os diferentes fatores avaliados (temperatura, tempo e espécies).