

PALINOLOGIA DE ESPÉCIES SELECIONADAS DA FAMÍLIA POTTIACEAE (BRYOPHYTA)

Raquel Saar Rodrigues¹
Andréa Pereira Luiz-Ponzo²

Recebido em 30.03.2015, Aceito em 04.05.2015

Abstract

In this paper, we aimed to develop the palynological study of six species of Pottiaceae which occur in harsh environments from Minas Gerais state. The spores were observed under light microscope, untreated or submitted to the acetolysis method, and under scanning electron microscope. The studied species have shown spores very small to medium sized, with ornamentation formed by granules or bacula. The species *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad. has presented anisomorphic and aborted spores in the samples, confirming previous data and clarifies the palynological characteristics of the species. The study adds important data about the Palynology of the family, increases data about species morphology and indicates the taxonomic significance of the spores to the studied species.

Key-words: anisomorphic spores, mosses, Palynology

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo palinológico de seis espécies da família Pottiaceae de ambientes antropizados ocorrentes em Minas Gerais. Para a realização do estudo, os esporos foram observados sob microscópio de luz antes e após acetólise e sob microscópio eletrônico de varredura. Após as análises, foi possível observar que os esporos das espécies estudadas possuem tamanho variando de muito pequeno a médio e ornamentação composta por grânulos ou báculos. A espécie *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad. apresentou esporos anisomórficos e esporos abortados nas amostras, corroborando dados pré-existentes, esclarecendo as características palinológicas da espécie. O estudo realizado acrescenta dados importantes acerca da Palinologia da família, incrementa dados da morfologia das espécies estudadas e indica a importância taxonômica dos esporos para as espécies estudadas.

Palavras-chave: esporos anisomórficos, musgos, Palinologia

¹ Mestre. Escola Estadual Fernando Lobo. Mestranda (durante o desenvolvimento do trabalho). Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Endereço: Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário, Bairro São Pedro, Juiz de Fora, MG. E-mail: raquel_saar@hotmail.com.

² Doutora. Departamento de Botânica, Universidade Federal de Juiz de Fora. Endereço: Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário, Bairro São Pedro, Juiz de Fora, MG. E-mail: luizi.ponzo@ufjf.edu.br.

Introdução

Musgos são plantas terrestres, de tamanho reduzido, incluídos na divisão Bryophyta e apresentam como características principais a criptogamia, ausência de vasos condutores e alternância de gerações heteromórficas na qual a fase de vida dominante é o gametófito (Shaw & Goffinet, 2000; Gradstein *et al.*, 2001; Ramsay, 2006; Crandall-Stotler & Bartholomew-Began, 2007). Eles formam, juntamente com antóceros (Anthocetophyta) e hepáticas (Marchantiophyta), o grupo das briófitas, sendo diferenciados devido a características como gametófito formado por filídios não divididos e organizados espiraladamente ao redor do caulídio, rizóides pluricelulares e esporófito formado por pé, seta e cápsula, sendo que o alongamento da seta ocorre previamente à maturação dos esporos, que é simultânea (Brown & Lemmon, 1988; Buck & Goffinet, 2000; Gradstein *et al.*, 2001).

Dentre as 15.000 espécies de musgos reconhecidas no mundo (Buck & Goffinet, 2000), cerca de 1.450 pertencem à família Pottiaceae Schimp., sendo esta, a mais diversa entre os musgos (Gradstein *et al.*, 2001; Zander, 2007). A família inclui 77 gêneros, sendo a maioria deles formados por espécies acrocárpicas. Entre as características que aproximam as espécies da família Pottiaceae estão o tamanho reduzido do gametófito, com filídios contorcidos quando secos e expandidos quando úmidos e a presença de uma costa longa e bem desenvolvida, percurrente a longo-excurrente. Propágulos de reprodução vegetativa estão geralmente presentes nessa família, sendo que muitas espécies raramente apresentam esporófito (Zander, 2007).

Muitas espécies de Pottiaceae estão adaptadas a climas secos, sendo esta, a família de musgos geralmente dominante em ambientes áridos ao redor do mundo (Werner *et al.*, 2004). Além da sua predominância em ambientes secos, a família é característica de ambientes hostis ou antropizados (Zander, 2007). Segundo Costa *et al.* (2011), são referidas para o Brasil 61 espécies de Pottiaceae, das quais, 29 ocorrem no estado de Minas Gerais.

A dispersão em Pottiaceae, assim como de outros musgos, ocorre por meio de propágulos vegetativos, tais como gemas e fragmentos do filídio (Zander, 2007) e pelos esporos, estruturas produzidas no interior da cápsula do esporófito, a partir de um processo conhecido como esporogênese (Neidhart, 1979; Mogensen, 1981). Os esporos são caracterizados pela estrutura, em geral, unicelular e esférica, e pelo esporoderma formado por três camadas: perina, exina e intina (McClymont & Larson, 1964; Olesen & Mogensen, 1978; Neidhart, 1979; Mogensen, 1981).

A intina, constituída por polissacarídeos, é camada mais interna do esporoderma. Algumas espécies possuem um espessamento na intina, região de germinação e formação do protonema. Esse espessamento é conhecido como abertura ou leptoma (McClymont & Larson, 1964). A exina é a camada intermediária do esporoderma, sendo constituída por esporopolenina, substância que confere resistência ao esporo contra dessecação e ataque de patógenos (Olesen & Mogensen, 1978; Brown & Lemmon, 1984). A perina, camada mais externa do esporoderma, é composta por esporopolenina, pectina e calose, e confere maior resistência ao esporo. É nesta camada

externa da parede em que localizam-se os elementos de ornamentação do esporo, os quais podem ser variáveis nas diferentes espécies de musgos (Mogensen, 1978, 1981; Neidhart, 1979).

Os estudos já realizados em Palinologia de musgos elucidaram questões importantes acerca da esporogênese (Mueller, 1974; Neidhart, 1979; Brown & Lemmon, 1980, 1984, 1988), germinação (Mogensen, 1978; Olesen & Mogensen, 1978; Alfayate *et al.*, 2013) e morfologia de muitas espécies desta divisão (Erdtman, 1957; McClymont & Larson, 1964; Sorsa & Koponen, 1973; Carrión *et al.*, 1990; Estébanez *et al.*, 1997; Luizi-Ponzo & Barth, 1998, 1999; Luizi-Ponzo, 2001; Luizi-Ponzo & Melhem, 2006a, 2006b; Caldeira *et al.*, 2006, 2009, 2013; Rocha *et al.*, 2008; Savaroglu & Erkara, 2008). A caracterização da ornamentação da parede, morfologia e ultraestrutura dos esporos acrescentam informações importantes sobre as espécies de musgos, sendo um caráter relevante nos estudos de taxonomia e filogenia do grupo (Clarke, 1979).

Estudos palinológicos de espécies da família Pottiaceae são raros, tendo sido iniciados por Erdtman (1957), em um trabalho no qual o autor descreveu, dentre outras espécies de musgos, características como tamanho e morfologia da parede dos esporos de *Anoetangium aestivum* (Hedw.) Mitt. Savaroglu & Erkara (2008) analisaram esporos do gênero *Syntrichia* Brid. ocorrentes na Turquia, encontrando para as espécies estudadas esporos pequenos, heteropolares e com ornamentação granulosa. Outras informações existentes acerca de esporos da família Pottiaceae consistem na descrição superficial dos esporos apresentada em alguns trabalhos de taxonomia da família (Zander, 1993; Zander *et al.*, 1994), que os indicam como muito pequenos ou pequenos e com ornamentação papilosa (Zander *et al.*, 1994).

Em estudos de taxonomia, Zander (1993) e Zander *et al.* (1994) destacaram os esporos de *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad. como levemente papilosos e apresentando duas classes de tamanho. A classe de menor tamanho foi descrita como sendo composta por esporos tetraédricos, marrom-amarelado e parecendo abortados e a classe de maior tamanho apresentando esporos esféricos com coloração esverdeada (Zander *et al.*, 1994). Zander (1993) sugeriu que os esporos desta espécie poderiam apresentar uma condição de falsa anisosporia (Mogensen, 1981), sendo necessário realizar estudos mais aprofundados.

Apesar do crescente incremento em pesquisas na área de Palinologia de musgos nos últimos anos (Luizi-Ponzo & Melhem, 2006a, 2006b; Caldeira *et al.*, 2006, 2009, 2013; Rocha *et al.*, 2008; Savaroglu & Erkara, 2008; Luizi-Ponzo, 2012; Alfayate *et al.*, 2013), as informações acerca da morfologia e ultraestrutura dos esporos de muitas espécies ainda não foram estudadas, de forma que os dados palinológicos de muitas espécies da divisão Bryophyta estão ausentes na literatura. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo palinológico de seis espécies de musgos da família Pottiaceae, que ocorrem em ambientes antropizados, encontradas no estado de Minas Gerais, e adicionar os dados palinológicos à circunscrição destas espécies, especialmente *Leptodontium viticulosoides* para a qual já foi indicada a necessidade de estudos palinológicos mais aprofundados (Zander, 1993).

Material e métodos

O material botânico foi obtido a partir das coleções dos herbários Professor Leopoldo Krieger (CESJ), Alexandre Leal Costa (ALCB) e Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo (SP). Foram selecionadas para a pesquisa, seis espécies da família Pottiaceae que ocorrem, tipicamente, em ambientes hostis, incluindo áreas antropizadas como beiras de trilhas, estradas e centros urbanos. São elas: *Hyophila involuta* (Hook.) A. Jaeger, *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad., *Plaubelia sprengelii* (Schwägr.) R.H. Zander, *Tortella humilis* (Hedw.) Jenn., *Trichostomum brachydontium* Bruch e *Weissia controversa* Hedw.

Para o estudo palinológico, os esporos foram observados sob microscópio de luz (ML) antes e após acetólise (Erdtman, 1960), com alterações de Luiz-Ponzo e Melhem (2006a). A partir do material acetolisado, foram obtidas as medidas padrão em estudos palinológicos. Para os esporos isomórficos, 50 esporos em vista polar foram tomados, ao acaso, em três lâminas, para medidas de diâmetro maior, e 30 esporos em vista equatorial para as medidas de eixo polar (P) e eixo equatorial (E). No caso de esporos anisomórficos, foram tomadas as medidas de 100 esporos em vista polar e 30 em vista equatorial, ao acaso em três lâminas.

Após a realização de todas as medidas, os dados obtidos foram submetidos ao tratamento estatístico, sendo calculados média aritmética ($\bar{X}$), desvio padrão da amostra (S), desvio padrão da média ($S_{\bar{X}}$), coeficiente de variação (CV), intervalo de confiança (IC) a 95% e apresentados os valores mínimos e máximos obtidos ($X_{\text{MÁX}}$ e $X_{\text{MÍN}}$). Para avaliação da distribuição de tamanho dos esporos, foram apresentados gráficos de linhas e, para comparar os valores de tamanho dos esporos em diâmetro maior, foram elaborados gráficos *box-plot* para todas as espécies. Na análise da distribuição de tamanho em *Leptodontium viticulosoides*, os valores dos diâmetros dos esporos foram divididos em classes de frequência, seguindo a metodologia apresentada por Luiz-Ponzo (2001).

Para investigar a condição dos esporos anisomórficos de *L. viticulosoides*, foram preparadas lâminas de Wodehouse (1935) com alterações de Luiz-Ponzo & Melhem (2006a). Foi realizada a contagem dos esporos, com e sem conteúdo, para verificar a taxa de frequência dos mesmos. Para compreender a variação de tamanho entre os dois tipos de esporos, foram medidos 30 esporos, com e sem conteúdo, em diâmetro maior.

As análises sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (NMM – UFV). Os esporos foram fixados em solução de glutaraldeído e pós-fixados em solução de tetróxido de ósmio. Após a fixação, o material foi levado ao secador de ponto crítico e disperso sobre os suportes para microscopia eletrônica cobertos com fita de carbono dupla-face e, finalmente, metalizados com camada de 20nm de ouro. Os esporos foram então observados sob microscópio eletrônico de varredura e as eletromicrografias foram registradas ao longo das observações.

Ao final das análises, os esporos foram descritos utilizando-se Punt *et al.* (2007), com adaptações para briófitas de Luizi-Ponzo & Barth (1998).

Resultados

A observação dos esporos sob microscópio de luz e microscópio eletrônico de varredura possibilitou uma análise detalhada da morfologia e ornamentação da parede dos esporos das seis espécies da família Pottiaceae estudadas. As análises sob ML permitiram a descrição de forma e âmbito, tamanho, características gerais da ornamentação e coloração dos esporos. A observação dos esporos sob MEV permitiu a descrição detalhada da perina, evidenciando a morfologia e modo de distribuição dos elementos de ornamentação.

As espécies estudadas apresentaram esporos heteropolares, com tamanho variando de muito pequeno a médio (Figuras 2 e 3; Tabela 1), segundo Erdtman (1960), possuindo esporoderma formado por intina, exina e perina, sendo que a ornamentação da perina variou de fracamente granulada a baculada, com os báculos soldados em sua maioria. *Leptodontium viticulosoides* e *P. sprengelii* apresentaram esporos abortados nas amostras analisadas.

Descrição dos esporos

Hyophila involuta (Hook.) A. Jaeger – Esporos isomórficos, pequenos (Tabela 1), heteropolares, com âmbito circular e coloração marrom-amarelada (Figura 1-A, B), quando observados sob microscópio de luz em lâminas de Wodehouse (1935). A abertura no polo proximal é evidenciada pela maior espessura da intina, quando os esporos são observados sob ML, e pela superfície côncava, quando observados sob MEV. A ornamentação é composta grânulos pequenos e individuais, distribuídos de maneira uniforme pela superfície do esporo.

Material examinado: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 13/III/2008, Machado 14, Luizi-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, Machado s/n (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 20/II/2011, Paiva 116 (CESJ).

Leptodontium viticulosoides (P. Beauv.) Wijk & Margad. – Esporos anisomórficos, variando de muito pequenos a médios (Tabela 1) e com variações de coloração e tamanho entre as classes apresentadas (Figura 1-C). Os esporos abortados possuem diâmetro maior variando de 13,6 e 20,8 μm (Tabela 2), e caracterizam-se pela coloração marrom-amarelada, âmbito subcircular e por serem fortemente enrugados. Os esporos viáveis apresentam diâmetro maior variando entre 20,8 e 33,8 μm (Tabela 2), com coloração verde em lâminas de Wodehouse (1935), âmbito subcircular (Tabela 2). Os últimos são heteropolares, evidenciada pelo maior espessamento da intina no polo proximal (Figura 1-D) e possuem ornamentação caracterizada pela presença de

báculos, distribuídos uniformemente por toda a superfície do esporo (Figura 1-E). A taxa de frequência de esporos com e sem conteúdo apresentou diferentes proporções nas amostras estudadas.

Material examinado: Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, 11/III/2009, Gomes *et al.* 13 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, 11/III/2009, Gomes *et al.* 34 (CESJ); 17/IV/1999, Brasil, Minas Gerais, Peralta, D. F. 263 (SP).

Plaubelia sprengelii (Schwägr.) R.H. Zander – Esporos isomórficos, variando de muito pequenos a pequenos (Tabela 1), heteropolar (concavidade proximal observada sob MEV - Figura 1-G), com âmbito subcircular e coloração marrom-amarelada em lâminas de Wodehouse (1935) (Figura 1-F). Os elementos de ornamentação da perina são muito pequenos, de forma que o esporo aparenta ser psilado quando observado sob ML. Em MEV, entretanto, pode-se observar que os esporos possuem ornamentação formada por grânulos de tamanho variável, distribuídos densamente por toda a parede do esporo. *Plaubelia sprengelii* apresentou esporos abortados em pequeno número, de forma que os mesmos não formaram uma segunda classe de tamanho.

Material examinado: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago Manacás, 22/X/2009, Machado 213, Baldini (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago Manacás, 22/X/2009, Machado 214, Baldini (CESJ); Brasil, Bahia, Itaparica, Ilha do Medo, Bahia de Todos os Santos 19/XII/1991, Guimarães s/n (ALCB).

Tortella humilis (Hedw.) Jenn. – Esporos isomórficos, pequenos (Tabela 1), heteropolar, sendo a heteropolaridade evidenciada pela intina mais espessa na região proximal, com âmbito subcircular e coloração esverdeada quando observados em Wodehouse (1935) (Figura 1-H). A ornamentação dos esporos de *T. humilis* é baculada, distribuída de maneira uniforme por toda a superfície do esporo, com báculos eventualmente soldados (Figura 1-I, J). Não foram observados esporos abortados nas amostras.

Material examinado: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago dos Manacás, 22/X/2009, Machado 209, Baldini (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, I/2010, Luiz-Ponzo 299 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, Rodrigues *et al.* 285 (CESJ).

Trichostomum brachydontium Bruch – Esporos isomórficos, pequenos (Tabela 1), heteropolar, com âmbito subcircular e coloração marrom quando observados em Wodehouse (1935) (Figura 1-K). A ornamentação da parede é composta por grânulos pequenos agrupados, distribuídos de modo regular e esparso pela superfície do esporo, sendo a exila psilada (Figura 1-L).

Material examinado: Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, 8/VII/1993, Novelino s/n (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora,

Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas, 3/IX/2009, Machado 62, Luiz-Ponzo (CESJ).

Weissia controversa Hedw. – Esporos pequenos a médios (Tabela 1), subcirculares, heteropolares e de coloração marrom escura, quando observados sob microscópio de luz (Figura 1-M, N). A ornamentação é baculada, sendo os báculos soldados em sua maioria. Na região proximal, os elementos da ornamentação se soldam e formam processos arredondados que se destacam na superfície do esporo (Figura 1- M-P). Esses processos caracterizam o plano proximal do esporo evidenciando a heteropolaridade.

Material examinado: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 11/II/2010, Machado 315, Luiz-Ponzo (CESJ).

Tabela 1: Dados morfométricos do diâmetro maior dos esporos acetolisados, em micrômetros.

Táxons/medidas	Diâmetro Maior				
	Xmin-Xmáx	$X \pm S_x$	S	IC	CV%
<i>Hyophila involuta</i>	13,0-15,6	14,0 $\pm$ 0,12	0,72	0,20	5,1
<i>Leptodontium viticulosoides</i>	13,6-33,8	22,4 $\pm$ 0,40	4,2	0,83	18,7
<i>Plaubelia sprengelii</i>	9,1-11,7	10,8 $\pm$ 0,12	0,83	0,24	7,9
<i>Tortella humilis</i>	11,7-14,3	12,8 $\pm$ 0,13	0,90	0,25	7
<i>Trichostomum brachyodontium</i>	10,4-13,0	11,5 $\pm$ 0,14	0,97	0,28	8,4
<i>Weissia controversa</i>	22,0-26,0	24,0 $\pm$ 0,15	1,06	0,3	4,4

$X_{MIN}-X_{MAX}$ = valores máximos e mínimos da amostra; X = média; S_x = desvio padrão da média; S = desvio padrão da amostra; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação

Tabela 2: Dados morfométricos do diâmetro maior dos esporos não acetolisados de *Leptodontium viticulosoides*, em micrômetros.

<i>Leptodontium viticulosoides</i>	Diâmetro Maior				
	Xmin-Xmáx	$X \pm S_x$	S	IC	CV%
Esporos com conteúdo celular (viáveis)	20,8-33,8	25,4 $\pm$ 0,53	2,93	1,09	11,5
Esporos sem conteúdo celular (abortados)	13,0-20,8	17,5 $\pm$ 0,36	1,95	0,73	11,1

$X_{MIN}-X_{MAX}$ = valores máximos e mínimos da amostra; X = média; S_x = desvio padrão da média; S = desvio padrão da amostra; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação

Observando-se o gráfico *box-plot* (Figura 2), é possível perceber que as espécies *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachyodontium* possuem discreta variação do tamanho dos esporos. *W. controversa* se destacou por apresentar esporos de tamanho maior e um valor de coeficiente de variação

pequeno quando comparado as demais espécies, o que indica uma uniformidade no tamanho dos esporos. *Leptodontium viticulosoides* apresentou grande amplitude na distribuição de tamanho dos esporos, variando entre 13 e 33,8µm.

Os gráficos de linha apresentados (Figura 3) mostram uma distribuição de tamanho dos esporos unimodal para as espécies *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis*, *T. brachydontium* e *W. controversa*. A distribuição das frequências de tamanho dos esporos de *L. viticulosoides* distingue-se das demais espécies apresentando três picos no gráfico, o que confirma a grande heterogeneidade de tamanho dos esporos de *L. viticulosoides* em uma mesma amostra.

Discussão

As características palinológicas estudadas, como tamanho dos esporos e ornamentação da perina, permitem a distinção entre as espécies estudadas, podendo ser utilizadas como uma importante ferramenta na taxonomia da família.

A partir dos resultados obtidos, nota-se que, à exceção de *L. viticulosoides*, as espécies estudadas apresentam esporos com distribuição de frequência de tamanho unimodal. As médias de tamanho dos esporos de *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachydontium* são muito próximas, ao contrário de *W. controversa*, que se destacou pelo tamanho maior dos esporos. No caso de *L. viticulosoides*, a distribuição de frequência de tamanho dos esporos não é unimodal, evidenciando a condição anisomórfica dos esporos desta espécie.

Leptodontium viticulosoides apresentou uma grande amplitude de distribuição do tamanho dos esporos que, em conjunto com a distribuição não unimodal de tamanho dos mesmos e o alto valor do coeficiente de variação encontrado indicam a heterogeneidade do tamanho dos esporos nesta espécie e uma condição atípica em relação às demais espécies de Pottiaceae estudadas aqui. Essas características são explicadas pela presença de mais de uma classe de tamanho de esporos na mesma cápsula, sendo pelo menos uma destas classes composta por esporos abortados, que apresentam tamanho menor do que os esporos considerados viáveis. Os esporos abortados apresentam tamanho em diâmetro maior variando entre 13,6 e 20,8µm, enquanto os esporos viáveis apresentaram tamanho em diâmetro maior variando entre 20,8 e 33,8µm.

Este resultado confirma a indicação de Zander (1993) sobre a condição de falsa anisosporia apresentada pela espécie. Os três picos de tamanho dos esporos de *L. viticulosoides* e a falta de padrão na taxa de ocorrência dos esporos abortados em relação aos esporos viáveis confirmam que esta espécie apresenta falsa anisosporia, definida como combisporia por Mogensen (1981).

Weissia controversa apresentou esporos que se diferenciam dos demais pela coloração marrom e pela presença de elementos de ornamentação grandes e arredondados que se destacam na parede dos esporos. O tamanho dos esporos dessa espécie também é um fator que a diferencia das demais, sendo eles maiores e com tamanho mais uniforme do que os esporos das

demais espécies, tendo apresentado o menor coeficiente de variação dentre todas as espécies estudadas.

Os esporos de *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachydontium* apresentam médias de tamanho muito próximas, de forma que esta característica não deve ser utilizada para separá-las. Já a coloração e ornamentação dos esporos, por sua vez, são distintas e permitem a sua diferenciação. Os esporos de *H. involuta* e *T. humilis* são esverdeados, sendo que a primeira apresenta ornamentação granulada, enquanto a segunda apresenta ornamentação baculada. Os esporos de *P. sprengelii* e *T. brachydontium* possuem coloração marrom-amarelada e ornamentação granulada. Entretanto, os grânulos que compõem a ornamentação de *P. sprengelii* são muito pequenos de forma que os esporos aparentam ser psilados quando visualizados sob ML. Já os grânulos apresentados em *T. brachydontium* são maiores e podem ser visualizados em observação sob microscópio de luz.

Os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com os resultados de Savaroglu & Erkara (2008), que descreveram para as cinco espécies de Pottiaceae do gênero *Syntrichia* estudadas, esporos pequenos (< 25 µm), com ornamentação granulada a baculada, podendo ser esparsa ou densa na superfície do esporo. Os esporos de *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachydontium* possuem o mesmo padrão de ornamentação descrito pelas autoras. Os esporos de *W. controversa* e *L. viticulosoides* não se enquadram neste mesmo padrão, já que possuem tamanho pequeno a médio, sendo que alguns são maiores do que 25 µm.

A coloração dos esporos, quando observados sob microscópio de luz, pode variar entre verde e marrom e isto está relacionado à espessura da parede, como também foi reportado por Alfayate *et al.* (2013).

Conclusões

As diferenças observadas entre os esporos das espécies estudadas mostram que o tamanho dos esporos, ornamentação e espessura do esporoderma variam entre as espécies da família Pottiaceae.

Para realizar o estudo palinológico de espécies da família Pottiaceae, e descrever a ornamentação do esporoderma, é necessário observar os esporos sob microscópio eletrônico de varredura devido ao tamanho diminuto dos mesmos.

L. viticulosoides apresenta esporos abortados que diferem dos esporos viáveis quanto à morfologia e ao tamanho. A distribuição de frequência de tamanho dos esporos desta espécie não é unimodal, sendo a proporção de esporos abortados e viáveis variável nas amostras o que caracteriza a espécie como possuindo esporos anisomórficos, em uma condição de combisporia.

Os processos de ornamentação soldados observados em *W. controversa* não foram previamente descritos para espécies de Pottiaceae na literatura consultada.

A riqueza de informações observada no estudo palinológico de Pottiaceae aqui desenvolvido demonstra sua relevância para a diferenciação morfológica das espécies e, conseqüentemente, para a taxonomia da família.

Agradecimentos

As autoras são gratas a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial, à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio aos projetos desenvolvidos no Laboratório de Briófitas da UFJF, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida à primeira autora durante o desenvolvimento deste estudo, à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia (PGEcol/UFJF) pelo apoio logístico, ao Núcleo de Microscopia e Microanálise (NMM) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelo espaço e equipamentos utilizados para realizar as análises sob MEV e às Curadorias dos Herbários Alexandre Leal Costa (ALCB), Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo (SP) e Prof. Leopoldo Krieger (CESJ) que cederam material para o estudo.

Referências bibliográficas

- ALFAYATE, C.; RON, E.; ESTÉBANEZ, B. & PÉREZ-BATISTA, M.A. 2013. Mature spores of four pleurocarpous mosses in the Canary Islands: ultrastructure and early germination stages. *The Bryologist* 116(2): 97-112.
- BROWN, R.C. & LEMMON, B.E. 1980. Ultrastructure of Sporogenesis in a Moss, *Ditrichum pallidum*. III. Spore Wall Formation. *American Journal of Botany* 67(6): 918-934.
- BROWN, R.C. & LEMMON, B.E. 1984. Spore Wall Development in *Andreaea* (Musci: Andreaeopsida). *American Journal of Botany* 71(3): 412-420.
- BROWN, R.C. & LEMMON, B.E. 1988. Sporogenesis in Bryophytes. *Advances in Bryology* 3: 159-223.
- BUCK, W.R. & GOFFINET, B. 2000. *Morphology and classification of mosses*. In: SHAW, A.J. & GOFFINET, B. (org.) *Bryophyte Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 71-123.
- CALDEIRA, I.C.; ESTEVES, V.G.L. & LUIZI-PONZO, A.P. 2006. Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasil. Bot.* 29(2): 301-307.
- CALDEIRA, I.C.; ESTEVES, V.G.L. & LUIZI-PONZO, A.P. 2009. Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasil. Bot.* 32(2): 299-306.
- CALDEIRA, I.C.; LUIZI-PONZO, A.P. & ESTEVES, V.G.L. 2013. Palynology of selected species of *Fissidens* Hedw. (Bryophyta). *Plant Systematics and Evolution* 299: 187-195.
- CARRIÓN, J.S., GUERRA, J. & ROS, R.M. 1990. Spore morphology of the European species of *Phascum* Hedw. (Pottiaceae, Musci). *Nova Hedwigia* 51(3/4): 411-433.
- CLARKE, G.C.S. 1979. *Spore Morphology and Bryophyte Systematics*. In: CLARKE, G.C.S. & DUCKETT, J.G. *Systematic Association Special Volume n. 14, "Bryophyte Systematics"*. London and New York: Academic Press, 231-250.
- COSTA, D.P.; PÔRTO, K.C.; LUIZI-PONZO, A.P.; ILKIU-BORGES, A.L.; BASTOS, C.J.P.; CÂMARA, P.E.; PERALTA, D.F.; BOAS-BASTOS, S.V.; IMBASSAHY, C.A.A.; HENRIQUES, D.K.;

GOMES, H.C.S.; ROCHA, L.M.; SANTOS, N.D.; SILVIERO, T.S.; VAZ-IMBASSAHY, T.F. & CHURCHILL, S. 2011. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. *Nova Hedwigia* 93: 277-334.

CRANDALL-STOTLER, B.J. & BARTHOLOMEW-BEGAN, S.E. 2007. *Morphology of mosses (Phylum Bryophyta)*. In: Flora of North America Editorial Committee (eds.). Flora of North America North of Mexico. New York & Oxford. 3-13.

ERDTMAN, G. 1957. *Pollen and spore morphology/plant taxonomy - Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (Illustrations) (An introduction to palynology. II)*. Estocolmo: Almqvist & Wiksell/Gebers Förlag, 99 a 124.

ERDTMAN, G. 1960. The acetolysis method. A revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift* 39: 561-564.

ESTÉBANEZ, B.; ALFAYATE, C. & RON, E. 1997. Observations on spore ultrastructure in six species of *Grimmia* (Bryopsida). *Grana* 36: 347-357.

GRADSTEIN, S.R.; CHURCHILL, S.P. & SALAZAR-ALLEN, N. 2001. *Guide to the Bryophytes of Tropical America*. New York: The New York Botanical Garden Press, 14 a 24.

LUIZI-PONZO, A.P. 2001. *Palinotaxonomia de Orthotrichaceae Fleisch. (Bryales-Bryophyta) do Brasil*. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUIZI-PONZO, A.P. 2012. Morfologia e ultraestrutura de esporos de musgos: interpretando estratégias e relações evolutivas. In: Simpósios e Mesas-Redondas. BRIÓFITAS. CDRom. *Anais...* Joinville: 63 Congresso Nacional de Botânica. Joinville: SBB/Univille.

LUIZI-PONZO, A.P. & BARTH, O.M. 1998. Spore morphology of some Bruchiaceae species (Bryophyta) from Brazil. *Grana* 37: 222-227.

LUIZI-PONZO, A.P. & BARTH, O.M. 1999. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. *Grana* 38: 42-49.

LUIZI-PONZO, A.P. & MELHEM, T.S. 2006a. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. *Cryptogamie Bryologie* 27: 413-420.

LUIZI-PONZO, A.P. & MELHEM, T.S. 2006b. Palinotaxonomia de Rhachithecaceae (Bryophyta) do Brasil. *Boletim do Instituto de Botânica* 18: 91-99.

MCCLYMONT, J.W. & LARSON, D.A. 1964. An electron-microscope study of spore wall structure in the Musci. *American Journal of Botany* 51: 195-200.

MOGENSEN, G.S. 1978. Spore development and germination in *Cinclidium* (Mniaceae, Bryophyta), with special reference to spore mortality and false anisospory. *Canadian Journal of Botany* 56: 1032-1060.

MOGENSEN, G.S. 1981. The Biological Significance of Morphological Characters in Bryophytes: The Spore. *The Bryologist* 84(2): 187-207.

MUELLER, D.M.J. 1974. Spore Wall Formation and Chloroplast Development During Sporogenesis in the Moss *Fissidens limbatu*s. *American Journal of Botany* 61(5): 525-534.

NEIDHART, H.B. 1979. Comparative studies of sporogenesis in bryophytes. In: CLARKE, G.C.S.; DUCKETT, J.G. (org.) *Bryophyte Systematics*. London: Academic Press, 251-280.

OLESEN, P. & MOGENSEN, G.S. 1978. Ultrastructure, Histochemistry and Notes on Germination Stages of Spores in Selected Mosses. *The Bryologist* 81(4): 493-516.

PUNT, W.; NILSON, S.; BLACKMORE, S. & LE THOMAS, A. 2007. *Glossary of pollen and spore terminology. Review of Palaeobotany and Palynology* 143: 1-81.

RAMSAY, H.P. 2006. Introduction to mosses. In: *Flora of Australia*. v. 51: 20-57.

ROCHA, L.M.; GONÇALVES-ESTEVES, V. & LUIZI-PONZO, A.P. 2008. Morfologia de esporos de espécies de Polytrichaceae Schwärg. (Bryophyta) do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 31: 537-548.

SAVAROGLU, F. & ERKARA, I.P. 2008. Observations of spore morphology of some Pottiaceae Schimp. species (Bryophyta) in Turkey. *Plant Systematics and Evolution* 271: 93-99.

SHAW, A.J. & GOFFINET, B. 2000. *Bryophyte Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.

SORSA, P. & KOPONEM, T. 1973. Spore morphology of Mniaceae Mitt. (Bryophyta) and its taxonomy significance. *Annales Botanici Fennici* 10: 187-200.

WERNER, O.; ROS, R.M.; CANO, M.J. & GUERRA, J. 2004. Molecular phylogeny of Pottiaceae (Musci) based on chloroplast rps4 sequence data. *Plant Systematics and Evolution* 243: 147-164.

WODEHOUSE, R.P. 1935. *Pollen Grains. Their Structure, Identification and Significance in Science and Medicine*. New York: McGraw-Hill Book Company.

ZANDER, R.H. 1993. *Genera of the Pottiaceae: mosses of harsh environments*. Buffalo: Buffalo Society of Natural Sciences, 132-135.

ZANDER, R.H.; MISHLER, B.D.; DELGADILLO, C.; SHARP, A.J. & CRUM, H. 1994. *Pottiaceae*. In: SHARP, A.J.; CRUM, H. & ECKEL, P.M. The Moss Flora of Mexico: Part One. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 211-415.

ZANDER, R.H. 2007. *Pottiaceae* Schimp. In: Flora of North America Editorial Committee, eds. Flora of North America North of Mexico. New York and Oxford: Oxford University Press, 476-490.

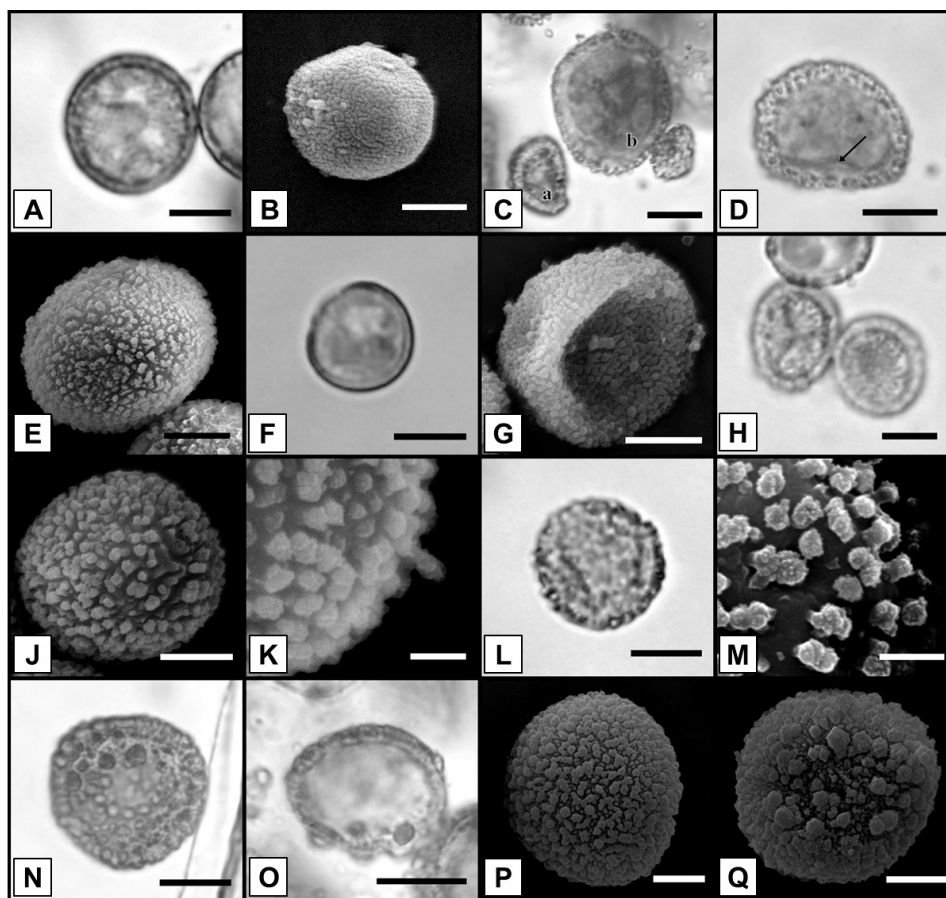


Figura 1 (A-P): Fotomicrografias e eletromicrografias dos esporos das espécies estudadas. A-B. *Hyophila involuta*. A. Corte óptico (ML). B. Superfície (MEV). C-E. *Leptodontium viticulosoides*. C. Corte óptico (ML), esporo abortado em a, esporo viável em b. D. Corte óptico (ML), seta indicando o espessamento da intina no pólo proximal. E. Superfície (MEV). F-G. *Plaubelia sprengelii*. F. Corte óptico (ML). G. Superfície (MEV) com vista para o pólo proximal. H-J. *Tortella humilis*. H. Corte óptico (ML). I. Superfície (MEV). J. Detalhe da ornamentação (MEV). K-L. *Trichostomum brachydontium*. K. Superfície (ML). L. Superfície (MEV). M-P. *Weissia controversa*. M. Superfície (ML). N. Corte óptico (ML). O. Superfície (MEV) pólo distal. P. Superfície (MEV) pólo proximal. Escalas: J, L = 1µm; B = 4µm; A, F, G, H, I, J, K, O, P = 5µm; E = 8µm; C, D, M, N = 10µm. (ML: microscópio de luz, MEV: microscópio eletrônico de varredura).

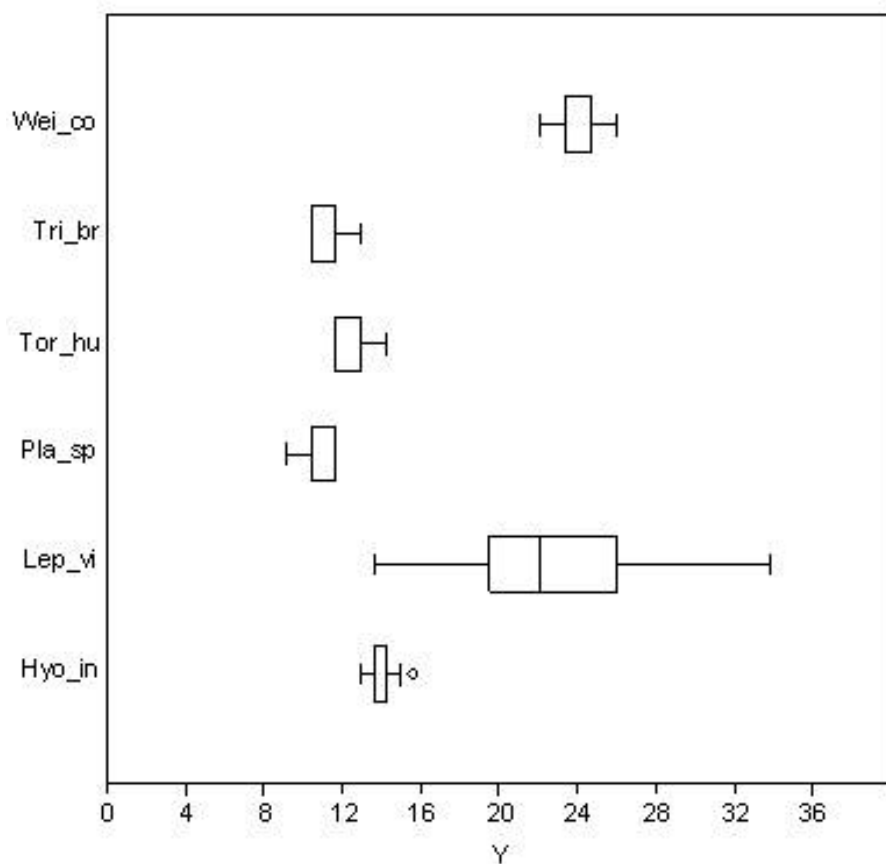


Figura 2: Box-plot apresentando as medidas de tamanho dos esporos para as seis espécies de Pottiaceae analisadas.

Legenda: Wei_co: *Weissia controversa*; Tri_br: *Trichostomum brachydontium*; Tor_hu: *Tortella humilis*; Pla_sp: *Plaubelia sprengelii*; Lep_vi: *Leptodontium viticulosoides*; Hyo_in: *Hophila involuta*.

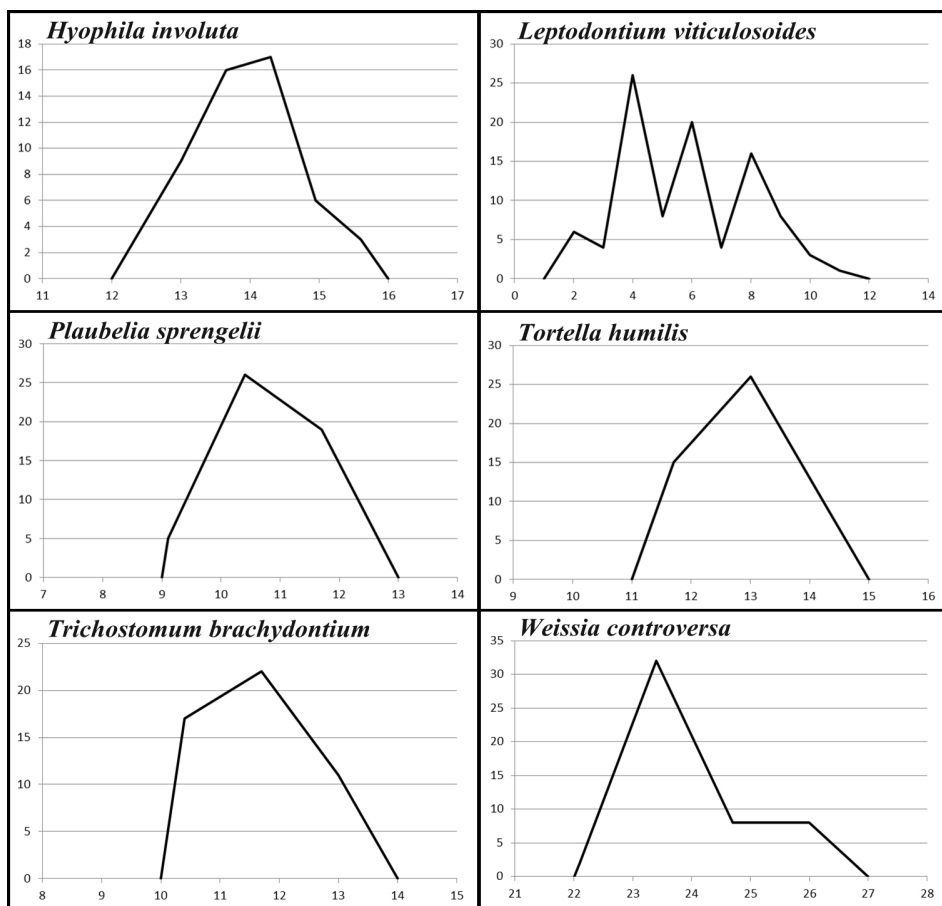


Figura 3: Gráficos de linha representando a distribuição de tamanho dos esporos das seis espécies de Pottiaceae estudadas.