



Universidade de Brasília - UnB
Instituto de Biologia - IB
Departamento de Botânica

Defesa de Dissertação

Bipolaridade de *Polytrichum piliferum* Hedw. (Polytrichaceae - Bryophyta): um estudo morfológico e filogenético

AMANDA DOS SANTOS LIMA MARINHO
ORIENTADORA: MICHELINE CARVALHO SILVA

Brasília - DF
Novembro 2016

AMANDA DOS SANTOS LIMA MARINHO

Defesa de Dissertação

Bipolaridade de *Polytrichum piliferum* Hedw. (Polytrichaceae - Bryophyta): um estudo morfológico e filogenético

Defesa de dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Botânica da Universidade de Brasília como requisito necessário para obtenção do título de Mestre em Botânica.

Brasília - DF
Novembro 2016

Agradecimentos:

Agradeço por todo apoio técnico, logístico e financeiro aos seguintes órgãos, instituições, programas ou departamentos: ao Programa de Pós Graduação em Botânica (PPG-BOT) da Unversidade de Brasília (UnB); a Pós-graduação Biologia Molecular da UnB; ao Grupo de Fadiga, Fratura e Materiais (GFFM) da UnB; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); a Marinha do Brasil; ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR); e ao Núcleo de Briólogos do Centro Oeste (NUBRIOCO).

Agradeço aos professores e amigos de Laboratório e Herbário por todo auxílio, incentivo e amizade: Dr. Paulo; Dra. Carol, Dra. Cássia, Dra. Lúcia, Dra. Maria das Graças, Júlia, Osvanda, Tamara, Carla, Ana Gabriela, Allan, Diego, André, Abel e Josemília.

Agradeço a Dra. Carla por acreditar nas minhas potencialidades e desenvolvê-las, por me incentivar e me ajudar a corrigir os meus déficits. Obrigada por tudo que me ensinou, auxiliou e por me tornar uma pessoa e uma profissional melhor.

Agradeço a Dra. Micheline por ter aceitado ser minha orientadora desde a graduação mesmo sem me conhecer. Obrigada por todo o tempo que gastou na minha formação, por tudo o quê me ensinou, por me apresentar o incrível mundo das plantas e como trabalhar com elas. Agradeço também a Dra. Micheline e a Dra. Graça por me incentivarem a fazer a prova do mestrado, acreditaram que poderia percorrer essa jornada antes que eu mesmo acreditasse.

Agradeço aos meus pais (João e Cacilda) por me formarem, por incentivar a minha criatividade e curiosidade, por me apoiar em todos os meus planos e projetos, por despertar em mim o desejo de sempre aprender mais e me tornar melhor. Aos meus irmãos (Caio e João Cássio) por sempre me desafiarem e me apoiarem. Aos meus sogros (José e Evelina) por me integrar a família e considerar como filha. Aos meus cunhados (Elizani e Pablo) por todo apoio e amizade. Ao meu marido (Elizeu) por sempre acreditar em mim, por encher as minhas potencialidades e por todo amor e apoio.

Sumário

Índice de Figuras	5
Índice de Tabelas	7
Abstract	8
Resumo	9
1. Introdução.....	10
2. Materiais e Métodos	14
2.1. Área de Estudo	14
2.2. Estudo Taxonômico.....	15
2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	16
2.4 Estudos Filogenéticos	17
3 Resultados e Discussão.....	19
3.1 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	19
3.2 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. e <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.....	29
4. Conclusão	43
5. Bibliografia	44
Anexo 1. Material Examinado.....	49
Anexo 2	51
Anexo 3	54
Anexo 4	56

Índice de Figuras

- Figura 1.** Árvore de Inferência Bayesiana do marcador *trnL-F*. Números acima dos ramos são: Bootstrap (BS) para Verossimilhança e Probabilidades posteriores (PP) para inferência Bayesiana respectivamente. Somente valores acima de 75 para BS e 0.95 para PP são apresentados..... 21
- Figura 2.** Análise dos Componentes Principais (PCA) de *Polytrichum piliferum* Hedw. a. Espécimes da Antártica agrupados, e próximos a espécimes do Hemisfério Norte. b. Espécimes das duas antípodas (Norte e Sul) agrupados. Bola preta - Hemisfério Norte. Bola vermelha - Hemisfério Sul. Bola vermelha preenchida - Antártica. Bola vermelha não preenchida - Outras localidades do Hemisfério Sul..... 24
- Figura 3.** Fotomicrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura. Secção transversal do filídio (região mediana do limbo) de *Polytrichum piliferum* Hedw. a. Espécime da Antártica, King George Islands (A26). b. Espécime da Antártica, Greenwich Island (A07). c. Espécime da Suécia, Södermanland (A15). d. Espécime do EUA, Maine (A25). 26
- Figura 4.** Fotomicrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura dos esporos de *Polytrichum piliferum* Hedw. a. Vista polar distal, espécime do Canadá (A18). b. Vista polar distal, espécime da Suécia (A15). c. Detalhe da ornamentação, vista polar distal, espécime do Canadá (A18). d. Detalhe da ornamentação na periferia da vista polar proximal, espécime da Suécia (A15). e. Detalhe da ornamentação, vista polar proximal, espécime dos EUA (A23). f. Detalhe da ornamentação, vista polar distal, espécime do Chile (A16). (Vouchers - Tabela 2 - anexo 3)..... 28
- Figura 5.** Clado B da árvore de Inferência Bayesiana do marcador *trnL-F*. Números acima dos ramos são: Bootstrap (BS) para Verossimilhança e Probabilidades posteriores (PP) para inferência Bayesiana respectivamente. Somente valores acima de 75 para BS e 0.95 para PP são apresentados. 30
- Figura 6.** Análise dos Componentes Principais (PCA) de *Polytrichum juniperinum* Hedw e *P. strictum* Menzies ex Brid. a. Espécimes de *P. strictum* da Antártica agrupados. b. Espécimes de *P. strictum* Hemisfério Norte agrupados. c. Espécimes *P.*

juniperinum do hemisfério norte e do sul. Triângulo e quadrado preto - Hemisfério Norte. Triângulo e quadrado vermelho - Hemisfério Sul. Triângulo e quadrado vermelho preenchido - Antártica. Quadrado não preenchido - Outras localidades do Hemisfério Sul..... 34

Figura 7. Organização dos filídios (secos). a. *Polytrichum strictum* (A43, Antártica - Ilha Alexander) b. *Polytrichum juniperinum* (A37, Antártica - Ilha Deception). 37

Figura 8. Fotomicrografia de microscopia ótica de *Polytrichum strictum* (a e c) e *Polytrichum juniperinum* (b e d). a-d. Secção transversal demonstrando as lamelas longitudinais, a margem involuta, os estereídes (E), os deutérios (D) e as células guia (CG). a. Noruega (A1); b. Antártica (A9); c. Antártica (A29); d. Antártica (A30). (Vouchers - Tabela 2 - anexo 3). 38

Figura 9. Fotomicrografia de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de *Polytrichum strictum* (a e c) e *Polytrichum juniperinum* (b e d). a. vista transversal, espécime da Antártica (A9). b. vista superior das células do ápice da lamina do filídio, espécime da Antártica (A30). c - região superior da costa, espécime da Noruega (A1). d. região superior da costa, espécime da Antártica (A30). (Vouchers - Tabela 2 - anexo 3). 39

Figura 10. Fotomicrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura dos esporos de *Polytrichum strictum* Brid. Menzies (a e b) e *Polytrichum juniperinum* Hedw (c - f). a. Vista polar distal, espécime do EUA, Carolina do Norte (A11). b. Detalhe da ornamentação na vista polar distal, espécime do EUA, Carolina do Norte (A11). c. Vista polar distal, espécime da França, Vosges (A92). d. Detalhe da ornamentação na periferia da vista polar proximal, espécime da França, Vosges (A92). e. Vista polar distal, espécime da Austrália, Austrália do Sul (A93). f. Detalhe da ornamentação na vista polar distal, espécime do Panamá', Chiquiri (A94). (Vouchers - Tabela 2 - anexo 3). . 40

Índice de Tabelas

Tabela 1. Tabela contendo médias e desvio-padrão do comprimento do gametófito, do filídio, da bainha, do limbo, da arista e largura da bainha e do limbo de <i>P. piliferum</i> (PP), <i>P. strictum</i> (PS) e <i>P. juniperinum</i> (PJ) das regiões polares.....	51
Tabela 2. Vouchers dos espécimes utilizados na Microscopia Eletrônica de Varredura, na microscopia ótica e nas medições.....	54
Tabela 3. Material utilizado na filogenia com respectivos números de acesso do GenBank. Asteriscos (*) indicam espécies sequenciadas neste estudo ainda não submetidas, cerquilhas (#) indicam sequências obtidas por parceria ainda não submetidas.....	56
Tabela 4. Análise de Diversidade genética Intraespecífica entre espécimes de <i>Polytrichum piliferum</i>	20
Tabela 5. Medidas do comprimento do gametófito e do filídio com as respectivas localidades e autores.*Os autores não especificam se o tamanho contabiliza o filídio com a arista ou sem a arista.....	22
Tabela 6. Análise de Diversidade genética Intraespecífica entre <i>Polytrichum strictum</i> , <i>Polytrichum juniperinum</i> e <i>Polytrichum piliferum</i>	32
Tabela 7. Medidas do comprimento do gametófito e do filídio de <i>P. strictum</i> e <i>P. juniperinum</i> de acordo com a literatura e dados obtidos nesse trabalho. * Os autores não especificam se o tamanho contabiliza o filídio com a arista ou sem a arista, de tal forma que no presente trabalho considera-se que o comprimento do filídio contabiliza a arista.....	35
Tabela 8. Medidas do comprimento e largura (mm) da bainha, do limbo e da arista de <i>P. strictum</i> e <i>P. juniperinum</i> de acordo com a literatura e dados obtidos nesse trabalho.....	36

Abstract

Bipolar species are possessed disjunct distribution, with occurrence in regions temperates at high latitudes of the North Hemisphere and of the South Hemisphere, frequently absent in intermediate regions. The Polytrichaceae are a family of the acrocarpous mosses and *Polytrichum* sect. *Juniperifolia* Brid. possessed three bipolar species: *Polytrichum piliferum* Hedw, *Polytrichum juniperinum* Hedw. and *Polytrichum strictum* Menzies ex Brid. In this study we aim verify bipolarity of the tree species of *Polytrichum* sect. *Juniperifolia* that occur in Antarctic, utilizing morphological and molecular characters. The morphological data traditionally used to separate the species were reassessed and the others instruments as the Scanning Electron Microscopy (SEM) and morphometry were utilized to evaluate unused morphological characters. The phylogenetic reconstruction of Polytrichaceae were made using the marker *trnL-F* and the phylogenetic trees of bayesian analysis and likelihood analyses were presented. It was verified that *P. piliferum*, *P. juniperinum* and *P. strictum* present small differences morphological between the specimens that occur in northern region and southern region, however the small differences are inefficient to separate morphologically the specimens of the both hemispheres. It was verified in molecular analysis that the specimens of *P. piliferum* are monophyletic, corroborating bipolarity of specie. *P. juniperinum* and *P. strictum* are species morphologically similars, whereas the morphological characters used to separate them overlap and unused morphological characters weren't found. Nevertheless, the molecular analysis demonstrated which though genetically similars they are diferents species, suggesting that *P. strictum* can be cryptic specie. The species *Polytrichum juniperinum* e *P. strictum* are monophyletic, proving the bipolaraty of both species. Thus the species of the *Polytrichum* sect. *Juniperifolia* that occur in Antarctic are bipolar.

Keywords: Bipolar, Antartic, Arctic, *Polytrichum piliferum*, *Polytrichum juniperinum*, *Polytrichum strictum*.

Resumo

Espécies bipolares são aquelas que possuem ocorrência disjunta, são encontradas em áreas temperadas de altas latitudes do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, frequentemente sem presença nas regiões intermediárias. Polytrichaceae é uma família de musgos acrocárpicos e *Polytrichum* seção *Juniperifolia* Brid. possui três espécies bipolares: *Polytrichum piliferum* Hedw, *Polytrichum juniperinum* Hedw. e *Polytrichum strictum* Menzies ex Brid. O objetivo do presente trabalho foi verificar a bipolaridade das três espécies de *Polytrichum* seção *Juniperifolia* que ocorrem na Antártica, utilizando caracteres morfológicos e moleculares. Os dados morfológicos tradicionalmente utilizados para separar as espécies foram reavaliados e outras ferramentas como a Microscopia Eletrônica de Varredura e a morfometria foram utilizadas de forma a testar novos caracteres morfológicos. A reconstrução filogenética de Polytrichaceae foi feita utilizando o marcador *trnL-F* e árvores filogenéticas de inferência bayesiana e verossimilhança foram apresentadas. Verificou-se que *P. piliferum*, *P. juniperinum* e *P. strictum* apresentam pequenas diferenças morfológicas entre os espécimes que ocorrem na região norte e na região sul, entretanto as pequenas diferenças são incapazes de separar morfológicamente os espécimes dos dois hemisférios. Na análise molecular verificou-se que os espécimes de *P. piliferum* são monofiléticos, corroborando a bipolaridade da espécie. *P. juniperinum* e *P. strictum* são espécies similares morfológicamente, considerando que as características morfológicas utilizadas para separá-las se sobrepõem e novos caracteres morfológicos não foram encontrados. No entanto, as análises moleculares demonstram que embora próximas geneticamente tratam-se de duas espécies diferentes, sugerindo que *P. strictum* possa ser uma espécie críptica. As espécies *Polytrichum juniperinum* e *P. strictum* são monofiléticas e podem ser consideradas bipolares. Desta maneira as espécies de *Polytrichum* seção *Juniperifolia* que ocorrem na Antártica são bipolares.

Palavras Chaves: Bipolar, Antártica, Ártico, *Polytrichum piliferum*, *Polytrichum juniperinum*, *Polytrichum strictum*.

1. Introdução

As briófitas são o segundo maior grupo de plantas terrestres, estando atrás apenas das angiospermas. Ocorrem em quase todos os ecossistemas, não sendo encontradas apenas na água salgada e em ambientes permanentemente congelados (Vanderpoorten & Goffinet, 2009). São organismos capazes de desenvolver-se e adaptar-se aos mais diversos tipos de ambientes, sendo encontrados em localidades extremas como desertos e até mesmo na Antártica (Vanderpoorten & Goffinet, 2009).

A Antártica é considerada uma das regiões mais remotas do planeta, sendo a mais fria, com maior quantidade e velocidade de ventos, e com a mais espessa camada de gelo (Bargagli, 2005). O continente Antártico é circundado pelo Oceano Antártico ou Austral, que é isolado dos outros oceanos pela Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Uma das principais frentes da CCA é a Zona da Frente Polar (ZFP), que junto com a CCA isolam o Oceano Austral dos outros oceanos, e também isolam a superfície terrestre, a temperatura e o clima do Continente Antártico e de suas ilhas (Barnes *et al.*, 2006).

Para estabelecerem-se na Antártica, espécies de plantas se adaptaram as condições ambientais extremas e conseguiram transpor o isolamento do continente conferido pela Corrente Circumpolar Antártica (Barnes, 2006). Convey *et al.* (2008) propuseram que algumas espécies de líquens e da fauna sobreviveram às diversas glaciações da Antártica, no entanto sugerem que os musgos recolonizaram o ambiente recentemente no final do Pleistoceno. Por outro lado, Pisa *et al.* (2014) contrapõem essa proposição, pois demonstram que o musgo cosmopolita *Bryum argenteum* Hedw. sobreviveu ao último máximo glacial.

Enquanto a Antártica é um continente congelado rodeado por oceanos, o Ártico é um oceano congelado, rodeado por continentes e áreas de terra cobertas por gelo. Ao contrário do Oceano Antártico, o oceano Ártico não isola a região, mas exerce e sofre influência dos oceanos mais quentes, como o Oceano Pacífico e Atlântico. Desta maneira, o Ártico possui temperatura e condições ambientais mais amenas se comparadas com as da Antártica (Callaghan *et al.*, 2001; Ochyra *et al.*, 2008). A delimitação geográfica do Ártico varia conforme o objeto de estudo e pode ser considerado: a região delimitada pelo Círculo Ártico (66°30' N); ou a região norte do isoterma 10°C de julho; ou a região norte da linha de árvores; ou a região norte do

limite sul do permafrost contínuo; ou limite sul de mar congelado (Washburn & Weller, 1986).

Algumas espécies de plantas se adaptaram aos dois ambientes, ocorrendo simultaneamente no Ártico e na Antártica, as chamadas espécies bipolares. Donoghue (2011) determina espécies bipolares como àquelas que possuem ocorrência disjunta, sendo encontradas em áreas temperadas de altas latitudes do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, frequentemente sem presença nas regiões intermediárias. As plantas bipolares ainda podem ser classificadas de acordo com dois subelementos fitogeográficos: as Bipolares Estritas (BI-S), aquelas que ocorrem em regiões polares e temperadas próximas aos Pólos, entretanto, não são encontradas nos trópicos; e as Bipolares Transicionais (BI-I), aquelas que além de ocorrerem nas regiões polares e temperadas próximas aos trópicos, também podem ocorrer nas altas altitudes das regiões tropicais e equatoriais (Ochyra *et al.*, 2008).

Sabe-se que 45,1% da flora de musgos da Antártica é composta por espécies bipolares. Das 50 espécies de musgos Bipolares encontrados na Antártica, 32 são consideradas bipolares transicionais e 18 bipolares estritas. Polytrichaceae é uma família de musgos que possui cinco espécies bipolares (Ochyra *et al.*, 2008).

Polytrichaceae possui distribuição cosmopolita com importante representação nas regiões temperadas (200-260 espécies distribuídas em 18-22). A família é composta por espécies anuais ou perenes, por algumas espécies pioneras que podem ocupar desde *habitat* secos (espécies xerófitas como *Polytrichum piliferum* Hedw.) até ambientes úmidos (*Polytrichum commune* Hedw.) (Hyvönen *et al.*, 1998).

As Polytrichaceae são musgos acrocárpicos reconhecidos pela presença de peristômio "nematodôntico", onde os dentes do peristômio são feixes de células mortas, inteiras com paredes espessas e lamelas longitudinais (Gradstein *et al.*, 2001a; Merrill, 2007; Bell & Hyvönen, 2008; Ochyra *et al.*, 2008). As lamelas longitudinais presentes nos filídios da família são consideradas um pseudo-mesófilo com a função de aumentar a superfície de captação de CO₂ para aumentar a fotossíntese (Proctor, 2005). Algumas espécies podem apresentar uma camada de cera nos filídios com a função de protegê-los da formação de filmes de água, uma vez que a formação de filmes d'água diminui a captação de dióxido de carbono (Clayton-Greene *et al.*, 1985).

Já é conhecido que em Polytrichaceae os caracteres esporofíticos são mais informativos que os gametofíticos (Bell & Hyvönen, 2010b). Os esporos da família possuem ornamentação da perina variando de granulada, pilada com báculos e clavias isoladas, com espinhos lisos, processos espinhosos ornamentados e com projeções cônicas (Rocha *et al.*, 2008).

Smith (1972) propõe que Polytrichaceae tem sua origem na Godwana, e que os gêneros são oriundos do Hemisfério Sul. Proposição que em parte é apoiada por Hyvönen *et al.* (2004), que concordam que parte do grupo pode ter originado na Godwana. Contudo os gêneros *Atrichum* P. Beauv., *Polytrichum* Hedw. e *Pogonatum* P. Beauv. são recentes e originados no Hemifério Norte com diversificação recente (Hyvönen *et al.*, 2004). O registro fóssil de Polytrichaceae (*Eopolytrichum antiquum* Konopka, Herend., G.L. Merr. & P. Crane.) encontrado em Crawford County na Georgia, EUA (32°37'47" N, 83°59'10" W) data do Cretáceo e apresenta algumas características semelhantes aos gêneros *Polytrichum*, *Lyellia*, *Alophosia* e *Bartramiopsis* (Konopka *et al.*, 1997).

Bell & Hyvönen (2010a) fizeram a filogenia da classe Polytrichopsida utilizando dados moleculares de mitocôndria (região nad5), cloroplasto (gene rbcL, gene rps4, espaçador rps4-trnS e região trnL-F) e núcleo (região18S), e separam Polytrichaceae em dois clados: o clado do Hemisfério Norte e o clado do Sul. Segundo Bell & Hyvönen (2010a) os gêneros *Oligotrichum* DC., *Polytrichastrum* G.L. Sm., *Atrichum* P. Beauv., *Stereobryon* G.L. Sm., *Psilopilum* Brid., *Pogonatum* P. Beauv. e *Polytrichum* Hedw. pertencem ao clado do Hemisfério Norte com diversificação recente, quando comparado ao clado do Hemisfério Sul, que contem os gêneros *Polytrichadelphus* (Müll. Hal.) Mitt., *Dawsonia* R. Br., *Oligotrichum* DC., *Notoligotrichum* G.L. Sm., *Itatiella* G.L. Sm., *Dendroligotrichum* (Müll. Hal.) Broth. e *Hebantia* G.L. Merr.. *Polytrichum* é um gênero que pertence ao clado do Hemisfério Norte e possui distribuição cosmopolita com espécies que ocorrem desde regiões polares até áreas tropicais (Bell & Hyvönen, 2010 a; Ochyra *et al.*, 2008).

O gênero *Polytrichum* foi descrito por Hedwig em 1801 e englobava inicialmente 16 espécies, no entanto o número de espécies é bastante controverso, variando de 30 espécies (Ochyra *et al.*, 2008), 40 espécies (Gradstein *et al.*, 2001a) ou 70 espécies (Merril, 2007). Ochyra *et al.* (2008) realizando o levantametno da brioflora da Antártica encontraram três espécies do gênero (*Polytrivchum strictum*, *P. piliferum*,

P. juniperinum). Bell & Hyvönen (2010b), ao circunscreverem o gênero *Polytrichastrum* com utilização de dados moleculares, identificaram que espécies de *Polytrichastrum* seção *Aporotheca* pertencem ao gênero *Polytrichum*, acrescentando assim mais sete espécies ao gênero, das quais, *Polytrichum longisetum* Sw. ex Brid. que também ocorre na Antártica.

O gênero tem sido caracterizado pelos gametófitos robustos, filídios com lamelas desenvolvidas, cápsulas com 4 ângulos marcados (com exceção de *P. longisetum* que pode apresentar 5-6+ ângulos), e dentes do epifragma presentes ou bastante reduzidos (Ochyra *et al.*, 2008; Bell & Hyvönen, 2010b).

A classificação infragenérica de *Polytrichum* iniciou-se com Smith (1971) onde o gênero foi dividido em duas seções com base na margem da lamela: *Polytrichum* seção *Polytrichum* e *Polytrichum* seção *Juniperifolia*. Mais tarde, Bell & Hyvönen (2010b) organizaram o gênero, associando caracteres filogenéticos e esporofíticos, e o dividiu em três seções: *Polytrichum* seção. *Polytrichum* Wilson (*sensu* Smith, 1971), *Polytrichum* seção *Juniperifolia* Brid. (*sensu* Smith, 1971) e *Polytrichum* seção *Aporotheca* (Limpr.) N.E. Bell & Hyvönen (*sensu* Bell & Hyvönen, 2010 b).

Polytrichum seção *Juniperifolia* distingue-se por apresentar filídios com margem inteira, larga e inflexa e possui quatro espécies, *Polytrichum piliferum* Hedw., *Polytrichum juniperinum* Menzies ex Brid., *Polytrichum strictum* Brid. E *Polytrichum hyperboreum* R. Br., das quais apenas a última não é encontrada na Antártica (Smith, 1971; Bell & Hyvönen, 2010b).

Polytrichum piliferum, *P. juniperinum* e *P. strictum* são reconhecidas como espécies pioneiras e bem adaptadas a ambientes frios e secos. A Antártica reúne ambas as características e possui as três espécies que são consideradas de distribuição bipolar (Ochyra *et al.*, 2008). Na Antártica os espécimes da seção *Juniperifolia* geralmente não apresentam esporófitos, característica que tem sido fundamental para a distinção entre espécies (Ochyra *et al.*, 2008; Bell & Hyvönen, 2010 b).

Polytrichum piliferum é caracterizado pelos ramos pequenos (0,5-6 cm) rosulados com arista hialina, longa, conspícua e fortemente espinulosa originada no ápice obtuso do filídio. Ocorre na região Holoártica, no Canadá, nos EUA, no Mediterrâneo, no norte da China, no centro de Japão, na África, no sudoeste da

Austrália e Tasmânia, na Terra do Fogo, na Antártica Marítima e na Península Antártica. Na Antártica, ocorre em regiões de baixas altitudes com elevação de até 200m e alguns casos podendo chegar 350-400m e 600m (Ochyra *et al.*, 2008). *Polytrichum juniperinum* apresenta ramos robustos pequenos a médios [1-7(-10)], com aristas denteadas, curtas e robustas com base avermelhada e ápice hialino. Ocorre na região Holoártica e regiões temperadas dos dois hemisférios e no Neotrópico em áreas de alta altitude. Ocorre no norte da Antártica Marítima, no noroeste da Península Antártica e na Ilha James Ross. Ocorre em baixas altitudes (ca. 50 m) raramente excedendo 200 m (Ochyra *et al.*, 2008). *Polytrichum strictum* possui ramos delgados e rígidos (2-20 cm), arista curta. Ocorre na região Holoártica, especialmente no Ártico e Zona Boreal, e nas regiões temperadas dos dois hemisférios. Na Antártica é amplamente distribuído em solos ácidos, desde South Sandwich até o norte Marguerite Bay. É comum e abundante em South Orkney e na parte sul da Danco Coast. Ocorre em baixas elevações, desde o nível do mar até aproximadamente 200-250 m (Ochyra *et al.*, 2008).

As espécies de *Polytrichum* seção *Juniperifolia* da Antártica possuem centro de origem no Hemisfério Norte (Bell & Hyvönen, 2010 a), no entanto ainda é incerto quais são os mecanismos responsáveis por seu estabelecimento na Antártica. Deste modo, o objetivo deste estudo é utilizar caracteres genéticos e morfológicos para comparar os espécimes das regiões polares e determinar a bipolaridade das espécies da seção *Juniperifolia* que ocorre na Antártica.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo

Para o presente estudo o Ártico está delimitado pela linha das árvores (limite norte de vegetação onde as árvores são conspícuas, contudo, não são necessariamente dominantes) (Callaghan *et al.*, 2001). As regiões temperadas serão consideradas como qualquer localidade com pelo menos um mês de temperaturas abaixo do ponto de congelamento (em áreas continentais), ou com um ou mais meses com temperatura abaixo de 18°C (para áreas com influência marítima), com pelo menos quatro meses com temperatura média acima de 10°C (Silander Jr., 2001).

A Antártica é considerada geopoliticamente como toda a região abaixo do paralelo 60°S. Para o presente estudo, será dividida em duas zonas fitogeográficas: a Antártica Marítima e a Antártica Continental (Peat *et al.*, 2007). A Antártica Continental corresponde as áreas ao leste e ao oeste da Antártica abaixo do paralelo 72°S. A Antártica Marítima é dividida em Antártica Marítima Região do Norte e Antártica Marítima região do Sul. A Região do Norte corresponde as ilhas de South Sandwich, de South Orkey, de South Shetland, a costa oeste da Península Antártica e as ilhas próximas até ca. 68°S, assim como a costa nordeste da Península até 65°S. A Região Sul corresponde a costa oeste da Península Antártica e ilhas próximas desde 68°S até ca. 72°S, e a Costa Leste da Península Antártica desde 65°S (Peat *et al.*, 2007).

2.2. Estudo Taxonômico

Foram examinados espécimes de Polytrichaceae oriundos das regiões polares (Ártico e Antártica) e das regiões temperadas próximas aos pólos. Foram analisados materiais depositados no herbário da Universidade de Brasília (UB), oriundos de coletas da Antártica e do Chile, bem como materiais solicitados como empréstimo dos herbários com coleções do Ártico e Antártica, além de coleções onde há especialista na família, entre eles: AAS, BA, DUKE, ICEL, L, MO, NY, RB, S, SP, RB e UB (Siglas segundo Thiers 2016).

Parte do material da Antártica foi coletado em expedições da equipe do Projeto Evolução e Dispersão de Espécies Antárticas Bipolares de Briófitas e Líquens (64/2013 do MCTI/CNPq). As expedições à Antártica sucederam de novembro de 2014 a março de 2015 e de novembro 2015 a março de 2016.

Foram observadas 83 amostras, sendo 59 de *P. piliferum*, 16 de *P. juniperinum* e 18 de *P. strictum*. As amostras foram preservadas como amostra-testemunha em lâminas semi-permanentes confeccionadas com o fixador Hoyer (Anderson 1954). O material foi analisado e medido sob estereoscópio (Leica EZ 4HD) e microscópio ótico (Leica DM 750) para o estudo da morfologia. Observou-se as formas de crescimento, disposição do filídios no caulídio, presença de lanugem, morfologia do filídio e de suas partes (bainha, limbo e arista), morfologias das lamelas longitudinais e das células dos filídios. Todo material examinado se encontra no **Anexo 1**. A obra de Ochyra *et al.*

(2008) foi utilizada como bibliografia básica para a identificação e avaliação dos caracteres morfológicos das espécies Antárticas.

As amostras utilizadas para as medições encontram-se na Tabela 1 (**Anexo 2**). De cada amostra foram medidos cinco gametófitos em papel milimetrado, os quais foram escolhidos aleatoriamente dentro do pacote da amostra. Dos gametófitos foram mensurados cinco filídios localizados na porção mediana do gametófito. Para cada filídio foi mensurado o comprimento total do filídio, da bainha, do limbo e da arista, assim como, a largura da bainha e do limbo. Todas as medidas foram obtidas utilizando estereoscópio ótico Leica com câmera acoplada, com programa Leica Application Suite LAS EZ Version 3.0.0. A Análise dos Componentes Principais (PCA) foi realizada no PAST (PAleontological STatistics) Version 3.13 utilizando todas as medidas obtidas.

2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Estruturas (gametofíticas e esporofíticas) dos espécimes selecionados foram analisadas sob o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para identificar caracteres distintivos entre os espécimes das regiões estudadas. Os filídios de cada espécime foram limpos com água destilada para retirada de resíduos comuns na região da lamela ou entre os filídios. Em seguida, foram colocados em micropores e fervidos por 5 minutos para a reidratação, a seguir iniciou-se a desidratação nas seguintes gradações: etanol 50% por 20 min; (2 vezes) etanol 70% por 20 min; (2 vezes) etanol 100% por 20 min; (2 vezes) etanol 100% + acetato de Butila 100%; (2 vezes) acetato de butila 100% por 20 min. O protocolo adaptado de Bozzola & Russel (1998) foi utilizado na desidratação. Após a desidratação as amostras passaram pelo ponto crítico no aparelho Balzers CPD 030, para substituição do acetato de butila por CO₂. Ao final os espécimes foram retirados dos micropores e montados em um stubs com fita carbono e levados a metalização com ouro em metalizador Blazers 050 SCD.

Os esporos e as cápsulas foram montados diretamente em stubs e metalizados, sem passar pelo processo de reidratação, desidratação e ponto crítico uma vez que tais processos não são necessários para a observação das ornamentações dos esporos e da superfície das cápsulas (Stefureac *et al.* 1979; Bell & Hyvönen, 2010b). Após a metalização, todos os espécimes foram micrografados no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV – marca: JSM-7100F Field Emission Scanning Electron Microscope). Os vouchers dos espécimes utilizados para o MEV estão identificados na Tabela 2

(**Anexo 3**). Não foi encontrado esporófito na Antártica para as análises de esporos, desta maneira foram utilizadas amostras do Chile, Argentina e Austrália para representar o Hemisfério Sul.

2.4 Estudos Filogenéticos

A extração do DNA foi feita segundo o protocolo de Doyle & Doyle (1987) e em seguida o DNA foi amplificado com a técnica Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) utilizando a equipamento *Escohealthcare (Swift MaxPro)*. Utilizou-se o marcador de DNA cloroplastidial (cpDNA), a região *trnL-F* (incluindo o intron do grupo I e o espaçador *trnL-F*). A reação de PCR foi realizada em 50 µl com 0.5 µl Taq DNA polymerase, 2 µl de DNA, 5 µl de Mg Free Buffer, 5 µl Mg, 2.5 µl de cada primer, 2 µl de BSA, 4 µl de Dntp, 26,8 µl de ddH₂O. O protocolo possui 35 ciclos de: 95°C por 1 min, 95° por 30 seg. (2x), temperatura de anelamento (48°C, 50°C) por 0.45 seg. (3x), 72°C por 1 min. (4x), e 72°C por 5 min. Os primers utilizados para a amplificação são citados em Taberlet et al. (1991). O produto foi enviado para empresa MACROGEN Inc. (Coréia do Sul) onde foi purificado e sequenciado.

As sequências foram montadas e editadas no programa Genious R8 (Biomaters, 2009) e alinhadas no programa CLUSTALX 2.1 (Jeanmougin *et al.*, 1998), e quando necessário, ajustes foram feitos no PHY-DE (v. 0.9971) (Müller *et al.*, 2005).

As relações filogenéticas foram obtidas usando a Máxima Verossimilhança (MV) utilizando o RAxML v. 8 (Stamatakis 2006; Stamatakis et al. 2008) e Análise Baeyiana (AB) com a utilização do MrBayes v. 3.2.1 (Ronquist & Huelsenbeck, 2003). O melhor modelo de evolução foi inferido utilizando Modeltest 2.1.1 (Guindon and Gascuel 2003; Darriba *et al.*, 2012).

O suporte da árvore filogenética foi avaliado através de “bootstrap” para Máxima Verossimilhança e probabilidades posteriores para Inferência Baeyiana.

A reconstrução filogenética foi baseada em Bell & Hyvönen (2010b) e sequências adicionais foram baixadas do GENBANK ou obtidas por parceria com o Dr. Michael Stech do Netherlands Centre for Biodiversity Naturalis, Leiden University. Todas as sequências utilizadas estão na Tabela 3 (**Anexo 4**).

O software PAUP v.4.0b10 (Swofford, 2002) foi utilizado para a análise de diversidade intraespecífica.

3 Resultados e Discussão

3.1 *Polytrichum piliferum* Hedw.

Foram amplificadas nove amostras de *Polytrichum* seção *Juniperifolia*, das quais sete são oriundas da Antártica e duas do Hemisfério Norte. Destas amostras cinco são amostras de *P. piliferum*, três de *P. strictum* e uma de *P. juniperinum* (Tabela 3 - **Anexo 4**). As análises de inferência bayesiana e de verossimilhança apresentaram a mesma topologia, diferindo somente na resolução dos nós (Figura 1).

A análise filogenética utilizando o marcador *trnL-F* mostra que o gênero *Polytrichum* é monofilético corroborando com os resultados de Bell & Hyvönen (2004, 2010 a & b), no entanto *Polytrichum* seção *Juniperifolia*, embora morfológicamente bem reconhecida devido a margem larga e inflexa do limbo que recobre a lamela (Smith, 1972), é polifilética. O **clado A** contem *Polytrichum hyperboreum* e *P. piliferum* com 90% Bootstrap (BS) e 1 de Probabilidade Posterior (PP) e o **clado B** contem *P. juniperinum* e *P. strictum* com 87% BS e 1 PP. *Polytrichum hyperboreum* é grupo irmão de *P. piliferum* e não ocorre na Antártica. A espécie é considerada como espécie circumpolar com registros para Sibéria, Svalbard, Norte da Escandinávia, Groelândia, Canadá Ártico e Alasca (Mogensen, 1985).

Polytrichum hyperboreum é semelhante morfológicamente a *P. piliferum* diferindo principalmente pelo caulídio comumente fasciculado ou ramificado; pela arista fortemente espinulosa, bicolor, marrom na porção inicial (1/3 a 1/2) e distalmente hialina; pelas células apicais da lamela ovóides e com paredes finas; e pelas papilas na costa na porção final do limbo (Mogensen, 1985; Merrill, 2007). Derda & Wyatt (1999) trabalhando com isoenzimas já haviam demonstrado que apesar da alta similaridade genética (própria de espécies congênicas), *P. hyperboreum* é uma espécie diferente de *P. piliferum*. Bell & Hyvönen (2010a) também demonstraram que *P. piliferum* e *P. hyperboreum* são próximas geneticamente, o que foi corroborado por nossas análises.

Na análise filogenética (Figura 1) os espécimes de *Polytrichum piliferum* formam um clado com alto suporte (86% BS e 1 PP), este clado possui espécimes dos dois hemisférios, indicando a bipolaridade da espécie. Este clado possui um subclado

com as espécimes *P.piliferum*^{1,2,3,4&5}, este subclado possui baixo suporte (62% BS / 0,6 PP).

Na análise de diversidade intraespecífica entre os espécimes (Tabela 4) observa-se que existe uma baixa diversidade entre os espécimes de *Polytrichum piliferum*. A maior diversidade foi encontrada entre *Polytrichum piliferum*¹ (espécime da Finlândia) e os outros espécimes (0.001). Comparando os outros espécimes, não foi verificada diversidade (0.00) entre eles ou mesmo entre os espécimes do sul (*P. piliferum*^{3, 4 & 5}) e do Norte (*P. piliferum*^{1, 2 & 6}). Os dados moleculares demonstraram a grande proximidade genética dos espécimes de *P. piliferum* das duas regiões polares. Velde & Bijlsma (2003), em seu trabalho com isoenzimas, já haviam demonstrado que *P. piliferum* não apresentava níveis significativos de diferenciação genética entre locais distintos.

Polytrichum piliferum^{2 e 1} possuem o comprimento dos ramos um pouco maior que os outros espécimes, *P.piliferum*² é um espécime dos EUA (Califórnia) e possui mesmo comprimento de ramo de *P. piliferum*¹ (Finlândia). Contudo tal fato deve-se a razões distintas, em *P. piliferum*¹ ocorreu uma transição de uma Guanina para uma Adenina; e *P.piliferum*² sofreu deleção de quatro pares de base (ATAA). Enquanto que *P. piliferum*⁶ que também é uma espécie dos EUA (Nevada) possui a deleção de uma Timina. Os espécimes da Antártica, *P. piliferum*³ (Shetlands do Sul - Ilha Rei George), *P. piliferum*⁴ (Shetlands do Sul - Ilha Rei George) e *P. piliferum*⁵ (Península Antártica - Costa Danco) não possuem sequências divergentes dos outros espécimes de *P. piliferum*.

Tabela 1. Análise de Diversidade genética Intraespecífica entre espécimes de *Polytrichum piliferum*.

Espécime	1	2	3	4	5
1 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ¹	-				
2 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ²	0.00188958	-			
3 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ³	0.0018622	0.00000000	-		
4 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁴	0.0018622	0.00000000	0.00000000	-	
5 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁵	0.0018622	0.00000000	0.00000000	0.00000000	-
6 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁶	0.0018622	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

Polytrichum piliferum é caracterizada morfológicamente pelos ramos pequenos rosulados com arista hialina, longa, conspícua e fortemente espinulosa originada no ápice obtuso do filídio (Ochyra *et al.* 2008). No material analisado os espécimes da região Norte são semelhantes morfológicamente aos do Sul, contudo existem pequenas diferenças entre os espécimes relacionadas ao tamanho ou à forma de células. Dados de literatura trazem uma variação no comprimento do gametófito de 0,5 a 6 cm (Smith 2008; Guerra *et al.*, 2006; Ochyra *et al.*, 2008). Analisando espécimes do Sul e do Norte, encontramos um tamanho de gametófito variando entre 0,88-5,9 cm, sendo de 0,88-4,6 cm no Sul e de 1-5,9 cm no Norte, com isso, a amplitude de comprimento é semelhante ao descrito pela literatura citada anteriormente (Tabela 5).

Tabela 2. Medidas do comprimento do gametófito e do filídio com as respectivas localidades e autores. *Os autores não especificam se o tamanho contabiliza o filídio com a arista ou sem a arista.

Autor	Localidade	Comp. do gametófito	Comp. dos filídeos (sem arista)	Comp. dos filídeos (com arista)
Ochyra <i>et al.</i> (2008)	Antártica	1-5 cm	(2,5-) 3-4,5 mm	-
Merril(2007)	América do Norte	(0,5-) 1-4 cm		(2-) 3-4 mm*
Smith (2008)	Grã-Bretanha e Irlanda	(0,5-) 1-6 cm		2-3 mm*
Guerra <i>et al.</i> (2006)	Região Ibérica	(1-) 2-5 cm		4-7 mm*
Este trabalho	Espécimes do Norte	1-5,9 cm	2,15-5,26 mm	2,96-7,19 mm
Este trabalho	Espécimes do Sul	0,88-4,6 cm	2,018-4,31 mm	2,89-6,065 mm

Comparando as médias dos espécimes do Sul e do Norte (Tabela 1), observam-se diferenças nas medidas dos gametófitos e dos filídios. As médias dos comprimentos dos gametófitos variam 1-4 cm nas espécies do Sul, sendo que 80% dos espécimes possuem médias < 3 cm, enquanto que os espécimes do Norte variam de 1-5 cm, com 69,23% com médias < 3 cm. Desta maneira, os espécimes do Hemisfério Norte possuem 30,76% das médias dos gametófitos entre 3-5 cm, enquanto que no Hemisfério Sul apenas 20% variam entre 3-4 cm.

Ochyra *et al.* (2008) trabalhando com os espécimes Antárticos, descrevem o comprimento do filídio variando de (2,5-) 3-4,5 mm, no entanto não considera o comprimento da arista. Outros autores como Smith (2008), Merril (2007) e Guerra *et al.* (2006) descrevem o comprimento do filídio, contudo não especificam se o tamanho contabiliza o filídio com a arista ou sem a arista. Os espécimes medidos nessa análise possuem tamanho do filídio similar a literatura (Tabela 5), sendo que o filídio com arista varia entre 2,89-7,19 mm, e sem arista entre 2,01-5,20mm.

As médias dos comprimentos de filídios variam de 3-6 mm para o Sul e de 3-7 mm para o Norte. No Sul 73,33% das médias são < 5,0 mm, enquanto que no Norte apenas 46,15% são < 5,0 mm. O comprimento do limbo varia 1,4-2,6 mm no Sul e 1,4-3,4 mm no norte, com 66,67% das médias de comprimento < 1,8 mm para Sul contrapondo a apenas 23,08% < 1,8 mm para o Norte. As médias da arista variam de 0,6-2,2 mm no Sul e de 0,6-2,2 mm no Norte, destas 50% das médias de comprimento da arista são < 1,0 mm no Sul e 30,77% são < 1,0 mm no Norte. Ou seja, o comprimento dos filídios, do limbo e da arista são frequentemente maiores nas amostras do Norte que nos espécimes do Sul.

A bainha (comprimento e largura) e a largura do limbo são maiores nos espécimes do Hemisfério Sul. Cerca de 46,67% das médias dos comprimentos das bainha dos filídios do Hemisfério Sul são $\geq 1,3$ mm, sendo que o comprimento da bainha varia de 1,3-1,7 mm, no entanto no hemisfério Norte o comprimento da bainha é menor, variando de 0,9-1,5 mm, com somente 38,46% dos comprimentos $\geq 1,3$ mm. A largura da bainha varia de 0,9-1,3 mm (no Sul) e de 0,7-1,2 mm (no Norte), 46,66% das médias são $\geq 1,1$ mm nos espécimes do Sul e 7,69% das médias são $\geq 1,1$ mm nas amostras do Norte. A média da largura do limbo varia de 0,4-0,75 mm (no Sul) e 0,4-0,65 mm (no Norte), onde 84,61% das amostras do Norte possuem largura do limbo < 0,55 mm e 73,33% dos espécimes do sul possuem largura do limbo < 0,55 mm. No entanto as amostras do Norte possuem bainha (larg. & comp.) e limbo (larg.) menores que os das amostras do Sul.

Na Análise dos Componentes Principais (PCA) observa-se que os dados mais informativos são o comprimento do gametófito e comprimento da bainha respectivamente. A análise das médias feita anteriormente, verificou-se que os espécimes do Hemisfério Sul possuem um gametófito e menor e maior comprimento de bainha, enquanto que os espécimes do Hemisfério Norte possuem gametófito maior e e bainha menor. Na análise de PCA, os espécimes do Norte e do Sul encontram-se sobrepostos, indicando mais uma vez a bipolaridade de espécie (Figura 2). Apesar da semelhança entre os espécimes é possível notar que a maioria dos espécimes da Antártica estão agrupados (Figura 2. a), contudo entre eles é possível encontrar alguns dos espécimes do Norte (ex. A67 - Polônia; A52 - USA; A64 - Noruega; e A68 -

Filândia). O presente trabalho não verificou diferença morfométrica significativa entre os espécimes do Sul e do Norte de *P. piliferum*, apesar de os espécimes da Antártica estarem mais agrupadas e possuir menor tamanho de gametófito.

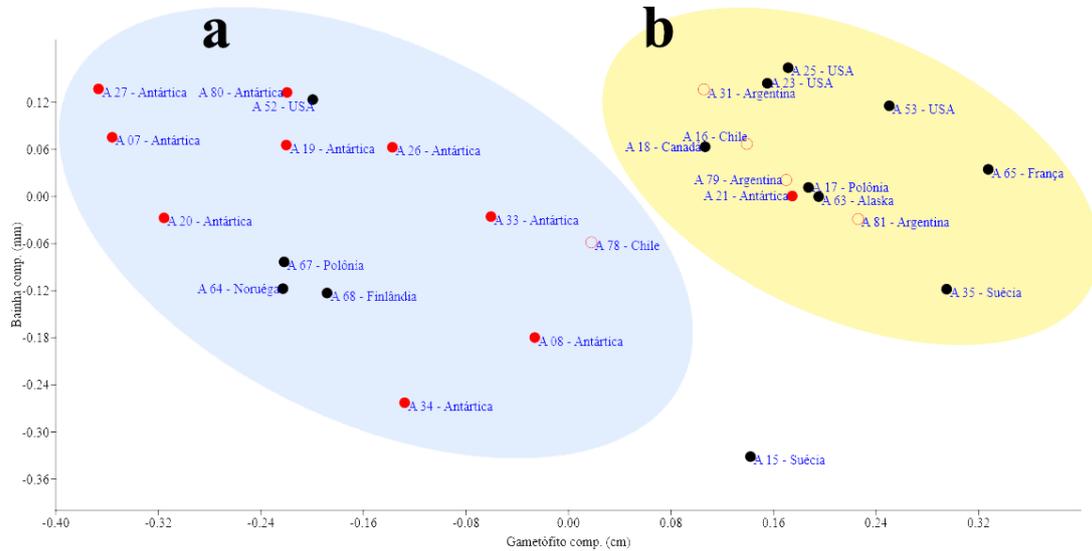


Figura 2. Análise dos Componentes Principais (PCA) de *Polytrichum piliferum* Hedw. **a.** Espécimes da Antártica agrupados, e próximos a espécimes do Hemisfério Norte. **b.** Espécimes das duas antípodas (Norte e Sul) agrupados. Bola preta - Hemisfério Norte. Bola vermelha - Hemisfério Sul. Bola vermelha preenchida - Antártica. Bola vermelha não preenchida - Outras localidades do Hemisfério Sul.

O período de crescimento dos musgos na Antártica acontece no verão devido à disponibilidade de água, pois nesse período os musgos necessitam ampliar a capacidade fotossintética. As espécies da Antártica não possuem tempo hábil para desenvolver seu gametófito (comp.) e filídio (comp.) plenamente (Medina *et al.*, 2015). Desta maneira, apesar do limbo (região com maior quantidade de lamelas) não ter o mesmo comprimento de seus pares do Norte, a espécie otimiza a superfície de captação CO₂ com maior largura do limbo e bainha (comp. & larg.) e para ampliar a taxa de fotossíntese.

As lamelas são encontradas desde a porção mediana da bainha onde a lamela possui poucas células. O número de células da lamela aumenta gradativamente desde a bainha até a região mediana do limbo onde encontram-se o maior número de células na lamela (de 7 á 10), entretanto os espécimes das regiões polares observados não apresentam diferença no número de células por lamela.

Analisando a secção transversal do filídios de *Polytrichum piliferum* Hedw. verificou-se diferenças nas células apicais das lamelas de espécimes dos Sul (Antártica) e do Norte (Suécia e EUA). As células apicais da lamela variam de cônicas a piriformes entre espécimes das duas regiões. Já as demais células são globosas a oblongas e não variam entre os espécimes das duas regiões polares.

As células apicais dos espécimes do Sul são de levemente arredondadas a cônicas e não estriadas (Figura 3. a & b), contrastando a isso, as células apicais dos espécimes do Norte são piriformes e com estrias tornando a superfície irregular (Figura 3. c & d). Edwards (1995) estudando espécimes de Thursley Common-Surrey (Reino Unido) já havia observado esse tipo de células apicais, e as descreveu como cruciformes com superfície lisa (sem estrias). Tais células finalizavam em uma papila lisa em microscopia ótica, mas quando observamos em microscopia eletrônica de varredura (MEV) são observadas papilas bem marcadas e com superfície irregular nos espécimes do Norte, e papilas pouco marcadas, quase que imperceptíveis apresentando superfície lisa nos espécimes do Sul, contrapondo as observações de Edwards (1995).

Clayton-Greene *et al.* (1985) analisando a cera presente nos filídios de espécies de *Polytrichum* verificou deposição de cera na células apicais das lamelas. A deposição de cera é responsável por evitar a formação de filme de água e ampliar as trocas gasosas entre as lamelas. Observou-se que as células apicais dos espécimes do Norte são piriformes e mamilosas, enquanto as do Sul são arredondadas a cônicas e com mamila pouco evidente e superfície sem estrias. Uma hipótese para a diferenciação das células apicais nos espécies do Norte pode ser devido a maior disponibilidade de água em relação ao Sul, consequentemente existe a necessidade de diminuir a formação de filme d'água. Provavelmente, células apicais com forma piriforme e mamilas bem marcadas possuem uma morfologia que impede a formação de filme d'água. Outra hipótese é o fato dos espécimes do Sul não possuírem tempo hábil para desenvolver a morfologia piriforme encontrada nos espécimes do Norte

Nas secções transversais nota-se a presença de células guias, que são as células de maior diâmetro e paredes finas encontradas abaixo das células da lamela. Abaixo das células guias encontram-se os deutérios em 1-3 camadas, que são células de calibre e parede semelhante ao das células guia. Abaixo dos deutérios estão os estereídeos, que são células de sustentação com parede celular espessa. O comprimento da camada de estereídeos varia entre 2-4 células. Tanto estereídeos, quanto as células guia e deutérios não apresentam diferenças entre as espécies do Norte e do Sul.

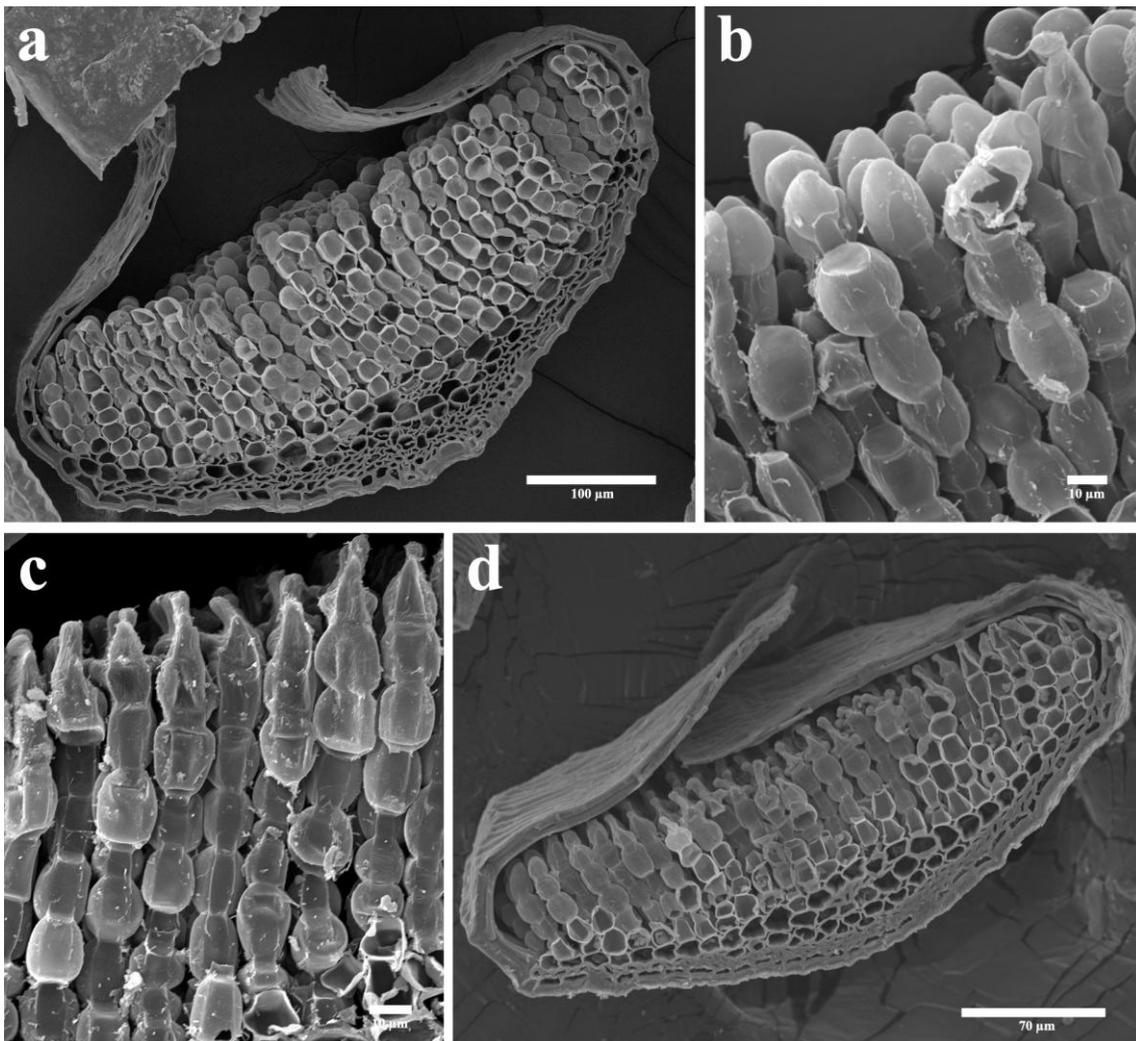


Figura 3. Fotomicrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura. Secção transversal do filídio (região mediana do limbo) de *Polytrichum piliferum* Hedw. **a.** Espécime da Antártica, King George Islands (A26). **b.** Espécime da Antártica, Greenwich Island (A07). **c.** Espécime da Suécia, Södermanland (A15). **d.** Espécime do EUA, Maine (A25).

Os esporos de *Polytrichum piliferum* apresentam tamanho e forma semelhante ao observado por Rocha *et al.* (2008), com ornamentação de perina levemente cônica, arredondada irregularmente ou cônica helicoidal.

Ochyra *et al.* (2008) menciona a difícil localização de esporófitos de *Polytrichum* na Antártica, fato corroborado no presente trabalho, pois nenhum esporófito de *Polytrichum* oriundo da Antártica foi encontrado, seja via empréstimo de outros herbários, seja via expedição de coleta. Os materiais com esporófito mais ao Sul encontrados foram representantes do Chile e da Argentina.

A análise da ornamentação dos esporos de *P. piliferum* de diferentes regiões do globo demonstra que a ornamentação das amostras da Suécia, da Argentina e do Chile (Figura 4. b, d & f) são mais semelhantes entre si, e possuem morfologia diversa da ornamentação encontrada nos esporos Canadá, Polônia e EUA (Figura 4. a, c & e). Os esporos do material da Suécia possuem processos levemente cônicos e superfície lisa, enquanto que os esporos da Argentina e do Chile possuem ornamentações arredondadas com superfície irregular. Na amostra da Suécia a morfologia da ornamentação dos esporos é mais próxima dos espécimes da Argentina e do Chile (Figura 2 & 4).

Os espécimes do Canadá, Polônia e EUA apresentam processos cônicos helicoidais semelhantes, raramente com grânulos na base. Na região polar proximal desses esporos a maioria das ornamentações são disformes e/ou com tamanhos reduzidos (Figura 4. e). Os processos cônicos de outras regiões por vezes apresentam mais de um ápice (Figura 4. c), ornamentações cônicas helicoidais soldadas, ou estruturas divergentes do padrão de ornamentação do esporo.

Ainda que existam pequenas diferenças morfológicas observadas nos esporos, gametófitos e filídios dos espécimes estudados de *Polytrichum piliferum*, estas diferenças não são suficientes para separar em espécies diferentes. Uma vez que os dados morfológicos possam sofrer com a influência ambiental, o dados genéticos demonstram que a espécie é monofilética, portanto, é uma espécie bipolar. Tais diferenças morfológicas provavelmente existem devido à divergência climática que há entre o Ártico e Antártica, uma vez que, a Antártica possui condições ambientais mais extremas que as do Ártico (Callaghan *et al.*, 2001; Bargagli, 2005).

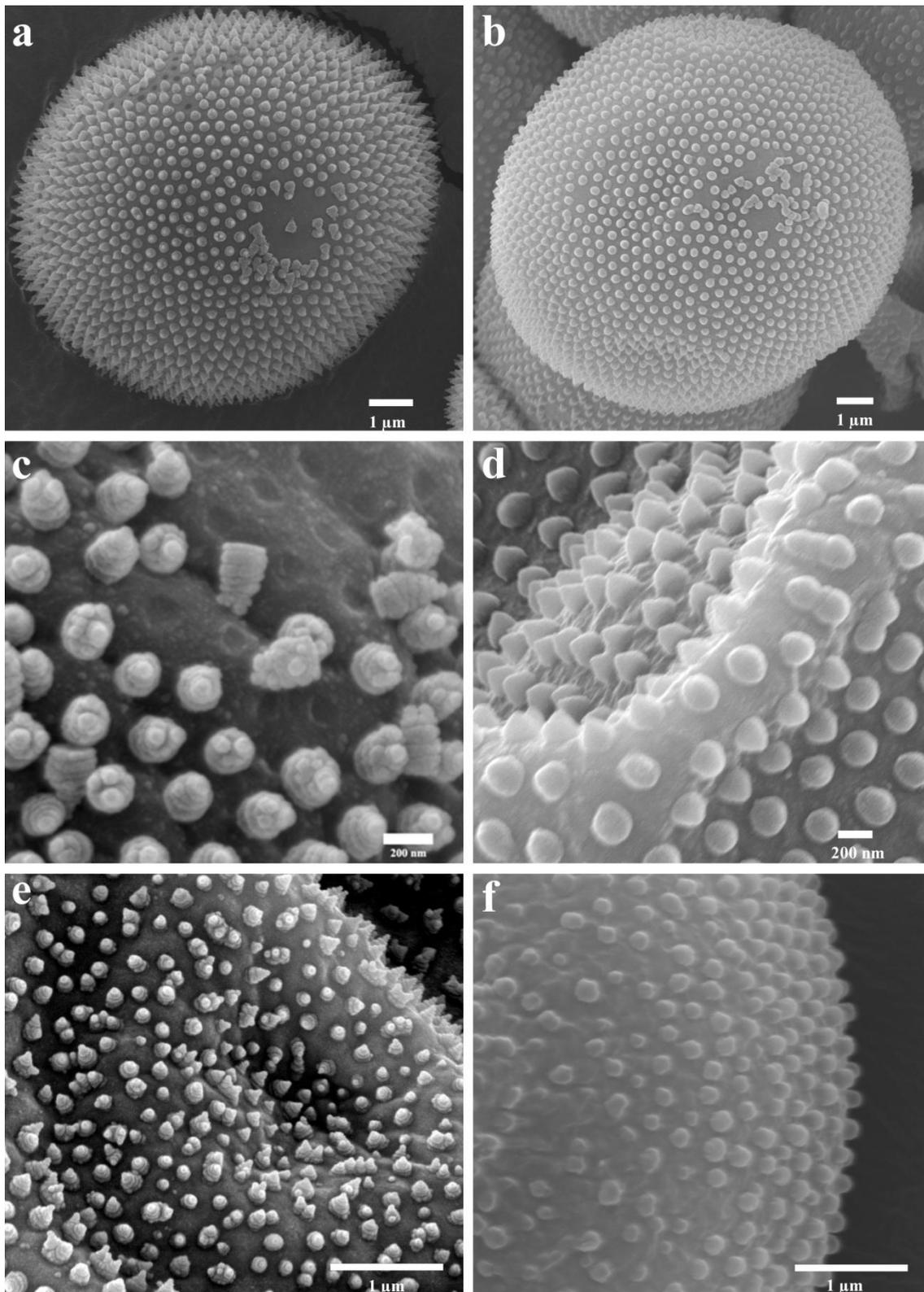


Figura 4. Fotomicrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura dos esporos de *Polytrichum piliferum* Hedw. **a.** Vista polar distal, espécime do Canadá (A18). **b.** Vista polar distal, espécime da Suécia (A15). **c.** Detalhe da ornamentação, vista polar distal, espécime do Canadá (A18). **d.** Detalhe da ornamentação na periferia da vista polar proximal, espécime da Suécia (A15). **e.** Detalhe da ornamentação, vista polar proximal, espécime dos EUA (A23). **f.** Detalhe da ornamentação, vista polar distal, espécime do Chile (A16). (Vouchers - Tabela 2 - **anexo 3**).

3.2 *Polytrichum juniperinum* Hedw. e *Polytrichum strictum* Menzies ex Brid.

Polytrichum juniperinum Hedw. é caracterizado pelo caulídeo simples, filídios espalhados no ápice, esporângio com apófise, cápsula quadrada, opérculo acuminado ereto. Menzies (1898) descreveu a espécie *P. strictum*, e a diferencia de *P. juniperinum* por possuir menor tamanho de suas estruturas, por ser ramificada e por possuir uma lanugem esbranquiçada. Desde então, as duas espécies são constantemente confundidas, há autores como Nylander & Saelán (1859) que consideraram *P. strictum* uma subespécie de *P. juniperinum*, e outros como Anderson *et. al.* (1990) e Merrill (1992) que consideraram *P. strictum* e *P. juniperinum* como espécies diferentes.

Velde & Bijlsma (2003) demonstraram que embora a maior parte das espécies de *Polytrichum* possui baixo nível de diferenciação genética entre populações, as populações de *P. juniperinum* apresentava alto nível de diferenciação genética. Derda & Wyatt (2003) demonstraram que *P. strictum* possui alto nível de diversidade genética dentro das populações e baixo entre as populações. Contudo, não foram detectados em *P. strictum* alelos exclusivos, uma vez que seus alelos são um subconjunto dos alelos de *P. juniperinum* diferindo somente na frequência em que alelos alternativos são expressos em cada espécie. Tal fato explica a similaridade morfológica entre as espécies, e indica uma origem recente de *P. strictum*.

A proximidade genética de *P. strictum* e *P. juniperinum* pode ser verificada em análises de DNA, onde as duas espécies sempre estão no mesmo clado (Bell & Hyvönen, 2010a; Bell & Hyvönen, 2010b; e Ivanova *et al.*, 2015). Bell & Hyvönen (2010a) propõem a hipótese que *P. strictum* é um híbrido de *P. juniperinum* com um táxon extinto de *Polytrichum* sect. *Juniperifolia*, ou com *P. piliferum* ou com *P. hyperboreum*. Ivanova *et al.* (2015) utilizando os marcadores *rps4* e *trnL-F* demonstraram que *P. strictum* e *P. juniperinum* pertencem ao mesmo clado (100% BS), entretanto nesse estudo, *P. juniperinum* (GU569757 & EU927342) aparece com um ramo maior em análise Bayesiana, e *P. strictum* (GU569758 & GU569841) aparece com um ramo menor podendo indicar que *P. juniperinum* possui mais mutações, no entanto a análise Bayesiana feita por Bell & Hyvönen (2010a), utilizando as mesmas amostras e mais marcadores (18S, *nad5*, *rbcL*, *rps4-trnS* e *trnL-F*), apresentam *P. strictum* com ramo maior que *P. juniperinum*. Tal divergência pode ocorrer devido à quantidade de marcadores utilizados em cada estudo.

Na análise filogenética (Figura 1) verificou-se que *P. strictum* e *P. juniperinum* são grupos irmãos, pertencem ao **clado B** (Figura B) com alto suporte (87% BS/1 PP). Este clado subdivide-se em dois cladogramas monofiléticos, um bem suportado (clado alaranjado) contendo todas as amostras de *P. strictum* (94% BS/0.98 PP) e o outro (clado rosa) também com alto suporte (99% BS/1 PP) contendo todos os espécimes de *P. juniperinum*. *Polytrichum strictum* e *P. juniperinum* possuem alta similaridade morfológica própria das espécies congêneras de *Polytrichum* (Velde & Bijlsma, 2000), entretanto essas espécies ainda apresentam alta similaridade genética (Derda e Wyatt, 1999; Derda & Wyatt, 2003; Bell & Hyvönen, 2010a; Bell & Hyvönen, 2010b; e Ivanova *et al.*, 2015) e baixa diversidade entre elas, tais fatos comprovados nesse trabalho. *Polytrichum strictum* é monofilético, e não foi verificada nenhuma mutação nos pares de bases dos espécimes da espécie para o marcador *trnL-F*. *Polytrichum juniperinum* também está em um grupo monofilético, que engloba espécimes do Norte e do Sul. Somente *P. juniperinum*⁷, espécime da Finlândia, possui a inserção de uma Adenina.

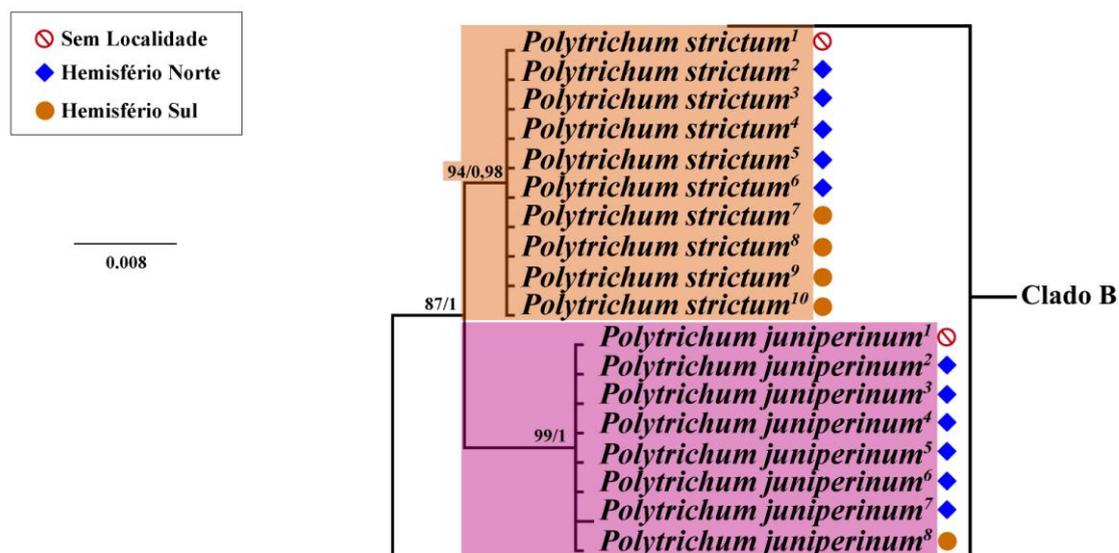


Figura 5. Clado B da árvore de Inferência Bayesiana do marcador *trnL-F*. Números acima dos ramos são: Bootstrap (BS) para Verossimilhança e Probabilidades posteriores (PP) para inferência Bayesiana respectivamente. Somente valores acima de 75 para BS e 0.95 para PP são apresentados.

Na análise de diversidade genética intraespecífica (Tabela 6) os espécimes de *P. strictum* apresentam baixa diversidade genética (máxima de 0.003 entre *P. strictum*¹ e *P. strictum*¹⁰ espécimes da Antártica), no entanto, quando comparada a diversidade genética entre os espécimes de *P. juniperinum*, a variação é maior de 0.001-0.009. *P. juniperinum* apresenta níveis de diversidade intraespecífica maior do que o visto dentro de *P. piliferum* e *P. strictum*.

*P. juniperinum*⁸ (espécime da Antártica) e *P. juniperinum*² (espécime da Finlândia) foram as que apresentaram maior diversidade quando comparadas a outros espécimes do grupo, sendo 0.005 e 0.009 respectivamente. Velde & Bijlsma (2003) já haviam relatado a alta diversidade entre populações nesta espécie.

Comparando-se as espécies *P. strictum* e *P. juniperinum*, verifica-se que a diversidade genética interespecífica varia de 0.005 a 0.01, apresentando assim, maior diversidade entre as espécies (interespecífica) do que o visto dentro das espécimes (intraespecífica).

Tabela 3. Análise de Diversidade genética Intraespecífica entre *Polytrichum strictum*, *Polytrichum juniperinum* e *Polytrichum piliferum*.

Espécimes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ¹										
2 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ²	0.00185043									
3 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ³	0.00185043	0.00000000								
4 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁴	0.00185043	0.00000000	0.00000000							
5 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁵	0.00185043	0.00000000	0.00000000	0.00000000						
6 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁶	0.00188661	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000					
7 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁷	0.00186211	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000				
8 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁸	0.00183355	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000			
9 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁹	0.00183355	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000		
10 <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ¹⁰	0.00366701	0.00182482	0.00182482	0.00182482	0.00182482	0.00000000	0.00187823	0.00182482	0.00182482	
11 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ¹	0.00566097	0.00755801	0.00755801	0.00755801	0.00755801	0.00762454	0.00757671	0.00755968	0.00755968	0.00941146
12 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ²	0.00911694	0.00896394	0.00896394	0.00896394	0.00896394	0.00614546	0.00613409	0.01226869	0.01226869	0.01225526
13 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ³	0.0074782	0.00556089	0.00556089	0.00556089	0.00556089	0.00572825	0.00570321	0.00557851	0.00557851	0.0073954
14 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁴	0.00752788	0.005609	0.005609	0.005609	0.005609	0.00577804	0.005753	0.00562715	0.00562715	0.00746142
15 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁵	0.0074782	0.00556089	0.00556089	0.00556089	0.00556089	0.00572825	0.00570321	0.00557851	0.00557851	0.0073954
16 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁶	0.0074782	0.00556089	0.00556089	0.00556089	0.00556089	0.00572825	0.00570321	0.00557851	0.00557851	0.0073954
17 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁷	0.00584289	0.00588122	0.00588122	0.00588122	0.00588122	0.00592891	0.00592184	0.00590025	0.00590025	0.00590955
18 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁸	0.01308763	0.01115696	0.01115696	0.01115696	0.01115696	0.00759854	0.00946852	0.01104296	0.01104296	0.0092086
19 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ¹	0.01922939	0.01716223	0.01716223	0.01716223	0.01716223	0.0153872	0.01538479	0.01687637	0.01687637	0.0187228
20 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ²	0.01746927	0.01541083	0.01541083	0.01541083	0.01541083	0.01356293	0.01356058	0.01512622	0.01512622	0.01699968
21 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ³	0.01739762	0.01534016	0.01534016	0.01534016	0.01534016	0.01351912	0.01351677	0.01505598	0.01505598	0.01690241
22 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁴	0.01739762	0.01534016	0.01534016	0.01534016	0.01534016	0.01351912	0.01351677	0.01505598	0.01505598	0.01690241
23 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁵	0.01739762	0.01534016	0.01534016	0.01534016	0.01534016	0.01351912	0.01351677	0.01505598	0.01505598	0.01690241
24 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁶	0.01739878	0.01533775	0.01533775	0.01533775	0.01533775	0.01351324	0.01351088	0.01505322	0.01505322	0.016903

Espécimes	11	12	13	14	15	16	17	18
11 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ¹	-							
12 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ²	0.00000000	-						
13 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ³	0.00187721	0.00307831	-					
14 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁴	0.00187755	0.00315761	0.00000000	-				
15 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁵	0.00187721	0.00307831	0.00000000	0.00000000	-			
16 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁶	0.00187721	0.00307831	0.00000000	0.00000000	0.00000000	-		
17 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁷	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	-	
18 <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁸	0.00555303	0.0091387	0.00548396	0.00551872	0.00548396	0.00548396	0.00000000	-
19 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ¹	0.0232485	0.03241569	0.02091109	0.02101117	0.02091109	0.02091109	0.02044057	0.0263155
20 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ²	0.02149006	0.02953513	0.01918599	0.01926904	0.01918599	0.01918599	0.01855697	0.02465689
21 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ³	0.02138659	0.02929735	0.01908684	0.01916905	0.01908684	0.01908684	0.01847788	0.02449301
22 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁴	0.02138659	0.02929735	0.01908684	0.01916905	0.01908684	0.01908684	0.01847788	0.02449301
23 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁵	0.02138659	0.02929735	0.01908684	0.01916905	0.01908684	0.01908684	0.01847788	0.02449301
24 <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁶	0.01946656	0.02634275	0.01719862	0.01728041	0.01719862	0.01719862	0.01650794	0.02263314

Na análise de PCA os caracteres mais informativos foram o tamanho do gametófito e o comprimento da bainha. A análise incluiu as espécies *P. juniperinum* e *P. strictum* que estão divididas em três grupos (grupo a, b, & c). No grupo **a** encontram-se os espécimes de *P. strictum* da Antártica, no grupo **b** espécimes de *P. strictum* da norte, e no grupo **c** encontramos os espécimes de *P. juniperinum* dos dois hemisférios misturados. Os grupos **a** e **b** se dividem basicamente pelo tamanho do gametófito (Figura 6).

Medina *et al.* (2015), em análise de PCA, verificaram que algumas populações de *P. juniperinum* da Antártica possuem tamanho de filídeo e caulídeo menor que outras populações do Sul do Brasil, no entanto, a diferença morfométrica entre as regiões é baixa.

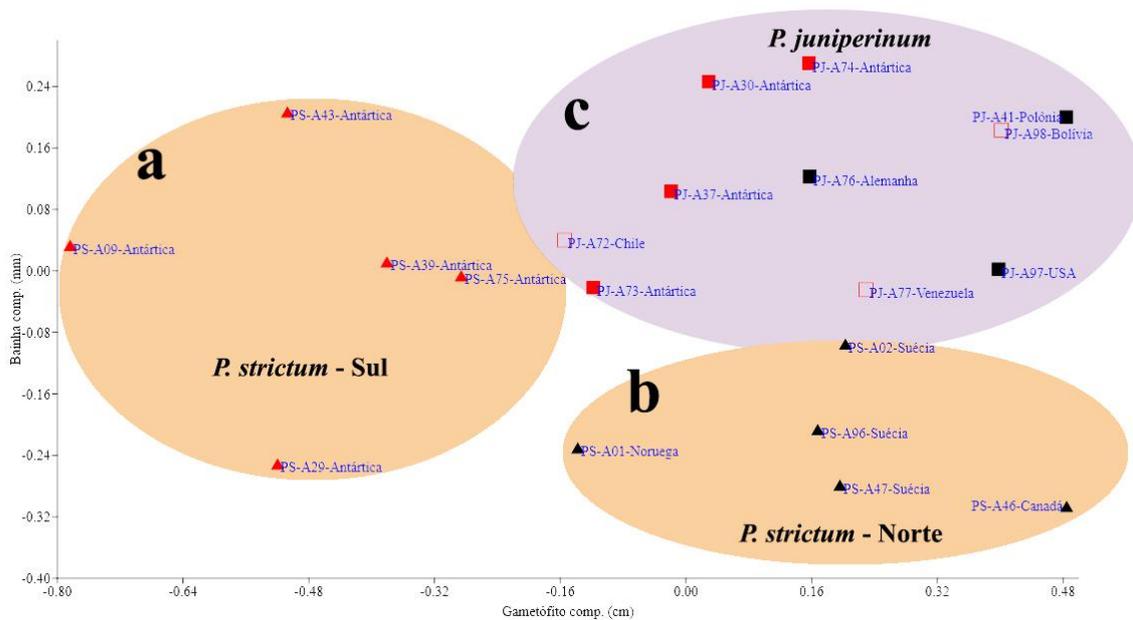


Figura 6. Análise dos Componentes Principais (PCA) de *Polytrichum juniperinum* Hedw e *P. strictum* Menzies ex Brid. **a.** Espécimes de *P. strictum* da Antártica agrupados. **b.** Espécimes de *P. strictum* Hemisfério Norte agrupados. **c.** Espécimes *P. juniperinum* do hemisfério norte e do sul. Triângulo e quadrado preto - Hemisfério Norte. Triângulo e quadrado vermelho - Hemisfério Sul. Triângulo e quadrado vermelho preenchido - Antártica. Quadrado não preenchido - Outras localidades do Hemisfério Sul.

Autores citam o comprimento do gametófito de *P. strictum* variando de 2-20 cm (Guerra *et al.*, 2006; Merrill, 2007, Smith, 2008; Ochyra *et al.*, 2008), no entanto encontramos medidas muito menores para os espécimes Antárticos variando de 0,8-3 cm e o espécimes do Norte variando 3-14,3 cm. Verificou-se a presença de caulídios na

Antártica menores do que o citado por Ochyra *et al.* (2008), mas os espécimes do norte apresentam variação de tamanho semelhante ao citado por Guerra *et al.* (2006), Merrill (2007) e Smith (2008). Os espécimes de *P. juniperinum* possuem tamanho do gametófito variando de 2.1-6.1 cm no Sul e de 4.2-9.1 cm no Hemisfério Norte. O comprimento do gametófito não apresentou incongruências ao encontrado por Ochyra *et al.* (2008), Merrill (2007), Smith (2008) e Guerra *et al.* (2006) (Tabela 7).

Tabela 4. Medidas do comprimento do gametófito e do filídio de *P. strictum* e *P. juniperinum* de acordo com a literatura e dados obtidos nesse trabalho. * Os autores não especificam se o tamanho contabiliza o filídio com a arista ou sem a arista, de tal forma que no presente trabalho considera-se que o comprimento do filídio contabiliza a arista.

Autor	Localidade	Comp. do gametófito		Comp. dos filídeos (com arista)*	
		<i>P. strictum</i>	<i>P. juniperinum</i>	<i>P. strictum</i>	<i>P. juniperinum</i>
Ochyra <i>et al.</i> (2008)	Antártica	2-20 cm	1-6 (-10) cm	(2-) 2,5-4,5 (-6) mm	4-6 mm
Merril (2007)	América do Norte	6-12(-20) cm	(1-) 4-5 (-10) cm	2-5 (-6) mm	3-6 -8 mm
Smith (2008)	Grã-Bretanha e Irlanda	(3-) 6-12 cm	1-7 (-10) cm	-	3-5 mm
Guerra <i>et al.</i> (2006)	Região Ibérica	4-20 cm	2-7 (-10) cm	3-7 (9) mm	6-10 mm
Este trabalho	Espécimes do Sul	0,8-3 cm	2,1-6,1 cm	2,43-4,83 mm	3,91-9,23 mm
Este trabalho	Espécimes do Norte	3-14,3 cm	4,2-9,1 cm	3,65-6,54 mm	6,34-9,43 mm

O tamanho do filídio varia de 3-10 mm e de 2-9 mm para *P. juniperinum* e *P. strictum* respectivamente (Merril (2007), Guerra *et al.* (2006) e Ochyra *et al.* (2008). Nos espécimes analisados do Hemisfério Sul variam de 3.91-9.23 mm com arista e de 3.59-8.27mm sem arista para *P. juniperinum* e de 2.43-4.83mm com arista e de 2-3.92mm sem arista para *P. strictum*.

É possível observar que os filílios de *P. strictum* apresentam menor tamanho se comparado com os filídios de *P. juniperinum*, bem como o comprimento do limbo, no entanto a largura do limbo, comprimento e largura da bainha são levemente menores em *P. strictum*. A bainha varia de 1-1.87x0.73-1.2 mm, o limbo de 0.92-2.11x0.34-0.617 mm e a arista varia 0.186-1.99 mm nos espécimes do Sul enquanto que nos espécies do Norte a variação é de 1.31-2.49x0.69-1.15 mm para a bainha de 1.97-3.94x0.302-0.549mm para o limbo e de 0.2-0.74 mm para arista de *P. strictum*. Ochyra *et al.* (2008) observou a bainha de *P. strictum* com 1.1-2.2x0.7-1.2 mm e o limbo com 0.2-0.5 mm de largura.

Em *P. juniperinum* a bainha dos espécimes do Norte variaram 1.7-2.4x1.1-1.4 mm, o limbo varia de 3.8-6.06x0.49-0.70 mm e a arista varia de 0.25-1.06 mm, já no Sul a bainha varia de 1.35-2.83x0.96-1.75 mm, limbo varia 2.32-5.87x0.39-0.78 mm e arista com 0.24-1.4 mm. Sharp (1994) na Flora do México observou que o tamanho da bainha de *P. juniperinum* varia de 2.5x1.5mm e o comprimento do limbo varia de 6-8mm. Ochyra *et.al.* (2008) na Flora da Antártica observou a bainha de *P. juniperinum* com 1.8-2.5x1.5-1.8 mm e o limbo com 2.5-4.0x0.5-0.8 mm (Tabela 8).

Tabela 5. Medidas do comprimento e largura (mm) da bainha, do limbo e da arista de *P. strictum* e *P. juniperinum* de acordo com a literatura e dados obtidos nesse trabalho.

Autor	Localidade	Espécie	Bainha (Comp. x Larg.)	Limbo (Comp. x Larg.)	Arista (Comp.)
Ochyra et al. (2008)	Antártica	<i>P. strictum</i>	1.1-2.2x0.7-1.2 mm	0.2-0.5 (larg.)	-
		<i>P. juniperinum</i>	1.8-2.5x1.5-1.8 mm	2.5-4.0x0.5-0.8 mm	-
Sharp (1994)	México	<i>P. strictum</i>	-	-	-
		<i>P. juniperinum</i>	2.5x1.5mm	6-8mm (comp.)	-
Este trabalho	Espécimes do Sul	<i>P. strictum</i>	1-1.87x0.73-1.2 mm	0.92-2.11x0.34-0.617 mm	0.186-1.99 mm
		<i>P. juniperinum</i>	1.35-2.83x0.96-1.75 mm	2.32-5.87x0.39-0.78 mm	0.24-1.4 mm
Este trabalho	Espécimes do Norte	<i>P. strictum</i>	1.31-2.49x0.69-1.15 mm	1.97-3.94x0.302-0.549 mm	0.2-0.74 mm
		<i>P. juniperinum</i>	1.7-2.4x1.1-1.4 mm	3.8-6.06x0.49-0.70 mm	0.25-1.06 mm

A separação morfológica das espécies *P. juniperinum* e *P. strictum* é bastante controversa. Mogensen (1985), Guerra *et al.* (2006), Merrill (2007), Smith (2008) e Ochyra *et.al.* (2008) diferenciam as duas espécies pelo caulídio sem filídios na base, pelo tamanho do filídio, a disposição dos filídios no ramo, coloração da bainha, células da margem involuta, número de lamelas e a coloração da lanugem da base. *Polytrichum juniperinum* possui lanugem amarronzada, ausência de filídios na base do caulídio, filídios longos, bainha amarela, costa excurrente, maior número de lâmelas 25-40 (Ochyra *et al.*, 2008), 35-40 (Guerra *et al.*, 2006), (30-)35-50(-70) (Smith, 2008), filídios e ápice do filídio ocasionalmente curvados e frouxamente ligados ao caulídio. Entretanto *P. strictum* possui lanugem esbranquiçada, filídios na base do caulídio, filídios mais curtos e finos, bainha amarronzada, costa curta a curta-excurrente, menor número de lamelas 25-35 (Ochyra *et al.*, 2008) 25-40 (Guerra *et al.*, 2006), 25-40 (Smith, 2008), filídios densamente apressos aos caulídio, as vezes com caulídio ramificado.

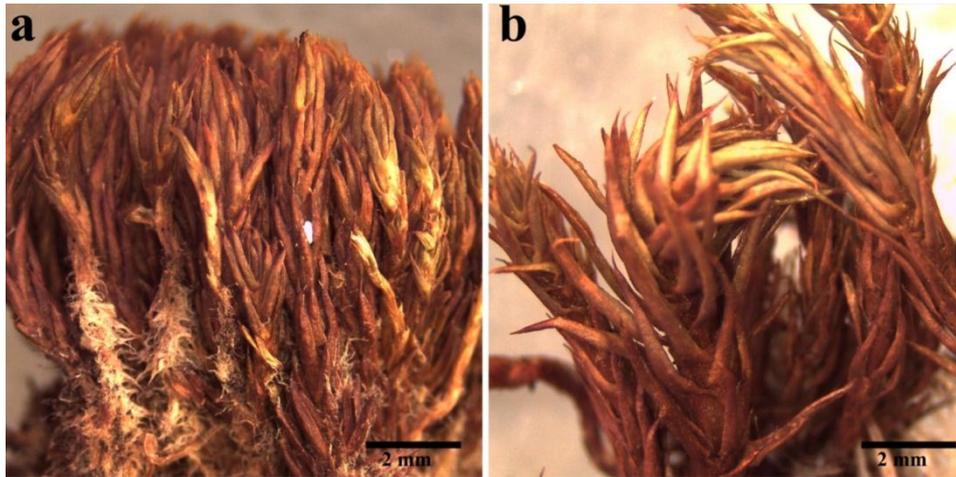


Figura 7. Organização dos filídios (secos). **a.** *Polytrichum strictum* (A43, Antártica - Ilha Alexander) **b.** *Polytrichum juniperinum* (A37, Antártica - Ilha Deception).

Comparando a organização dos filídios nas duas espécies, observa-se que *P. strictum* realmente possui filídios fortemente imbricados (quando secos), e eretos (quando úmidos). Enquanto que *P. juniperinum* possui filídios levemente imbricados a ereto patente (quando secos) variando de ereto patente a patente (quando úmidos). Os filídios de *P. juniperinum* tendem hidratar mais rápido que os filídios de *P. strictum*, desta maneira tendem a se tornar patentes mais rapidamente (Figura 7). A coloração da lanugem nem sempre é um caractere altamente distinguível em material herborizado, uma vez que alguns espécimes de *P. strictum* estão altamente entremeados ao substrato tornando a lanugem suja ou pouco visível. Desta maneira pode ser facilmente confundida com a lanugem amarronzada de *P. juniperinum* que também pode apresentar lanugem esbranquiçada.

Outras características morfológicas puderam ser observadas entre as espécies, como os filídios de *P. strictum* que frequentemente possuem uma transição abrupta e bem marcada entre a bainha e o limbo (ombro), enquanto que *P. juniperinum* possui uma transição tênue entre a bainha e o limbo. A bainha de *P. strictum* tende a ser mais amarronzada, contudo também pode ser amarelada. O inverso também é válido para a coloração da bainha de *P. juniperinum*.

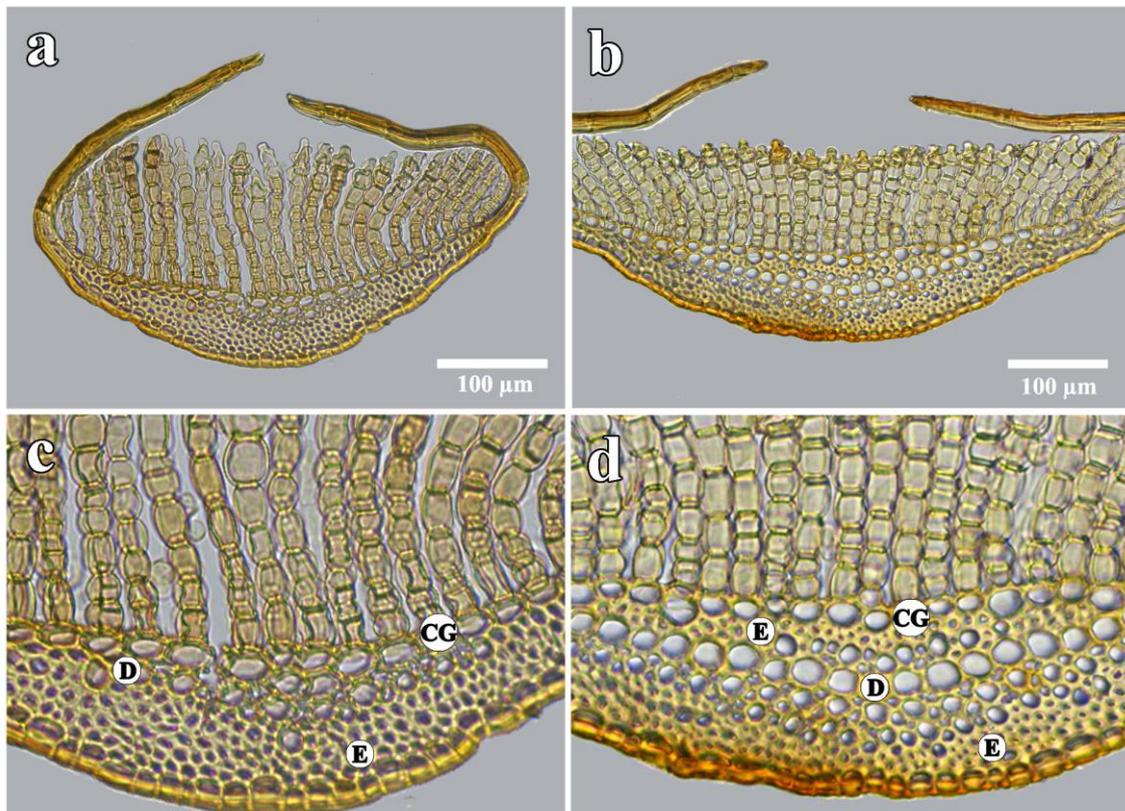


Figura 8. Fotomicrografia de microscopia ótica de *Polytrichum strictum* (a e c) e *Polytrichum juniperinum* (b e d). a-d. Secção transversal demonstrando as lamelas longitudinais, a margem involuta, os estereídes (E), os deutérios (D) e as células guia (CG). a. Noruega (A1); b. Antártica (A9); c. Antártica (A29); d. Antártica (A30). (Vouchers - Tabela 2 - anexo 3).

As células da margem involuta são semelhantes nas duas espécies, contudo as células de *P. strictum* próximas a borda tornam-se menores e mais oblíquas, e em *P. juniperinum* as células tendem a ser maiores, e pouco oblíquas. A célula apical na região central da lamela é piriforme em ambas as espécies em seção transversal ou em vista lateral, geralmente com a parede superior apresentando um espessamento formando uma grande mamila no topo da célula (Figura 9. a & b). As células apicais localizadas nas laterais da lamela possuem formato que varia de piriformes a ovóides, e geralmente apresentam pouco espessamento da parede superior tornando a mamila menos evidente. Em seção transversal da porção mediana do limbo observa-se que *P. juniperinum* tende a ter maior número de lamelas (28-35) que *P. strictum* (25-30), contudo o número de células da lamela se sobrepõe (6-10 células). As duas espécies tendem a ter 3-4 camadas de estereídeos próxima a costa, mas após essas camadas de estereídeos *P. strictum* possui 1-3 camadas de deutérios organizados na porção mediana do limbo seguida pela camada de células guia (Figura 8. a & c). Enquanto que após as camadas de estereídeos de *P. juniperinum* visualiza-se 1(-2) camada de deutérios seguida de 1-2 camadas de estereídes localizados na porção mediana do limbo, finalizando na camada de células

guia (Figura 7. b & d). Contudo, alguns espécimes de *P. strictum* podem variar entre o padrão geral até o padrão de *P. juniperinum*.

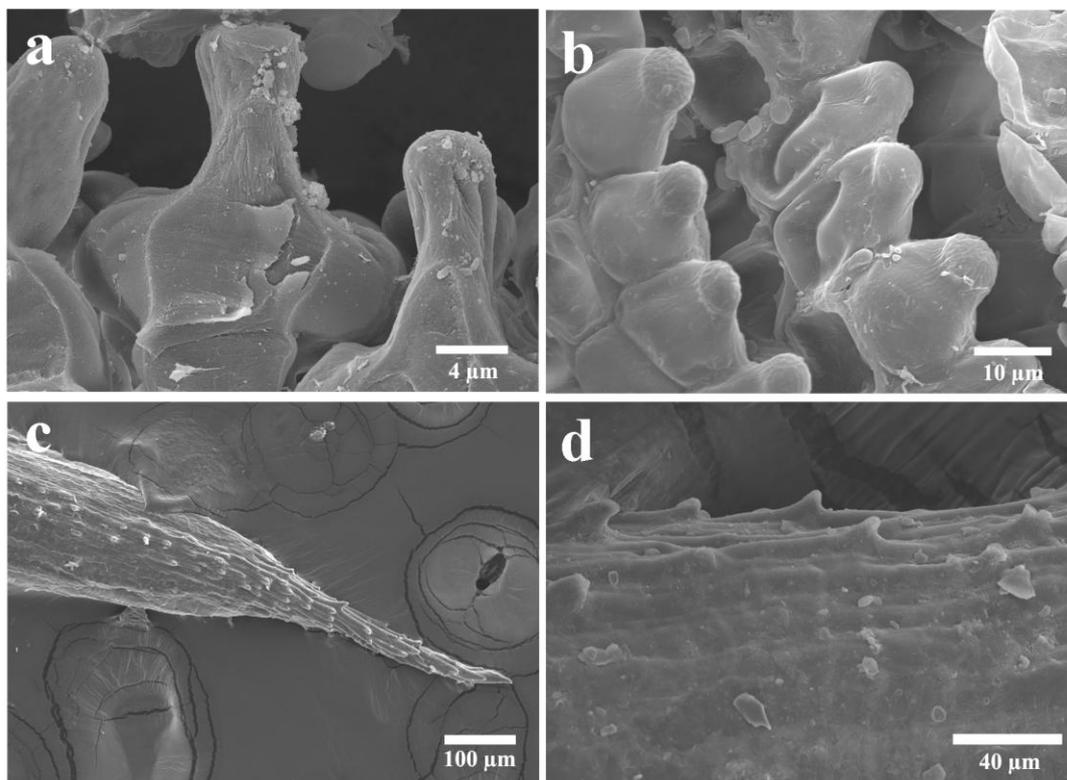


Figura 9. Fotomicrografia de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de *Polytrichum strictum* (a e c) e *Polytrichum juniperinum* (b e d). a. vista transversal, espécime da Antártica (A9). b. vista superior das células do ápice da lamina do filídio, espécime da Antártica (A30). c - região superior da costa, espécime da Noruega (A1). d. região superior da costa, espécime da Antártica (A30). (Vouchers - Tabela 2 - anexo 3).

Ambas as espécies possuem dentes na costa na região do limbo, os dentes podem ser vistos em seção transversal do filídio ou mesmo em vista lateral da costa. Em *P. juniperinum* os dentes da costa são agrupados na porção apical do limbo, a costa excurrente finaliza em uma arista avermelhada, robusta e com as últimas células hialinas. *P. strictum* apresenta dentes da costa desde a porção mediana do limbo, com maior concentração na região apical, a costa é curto-excurrente a excurrente, a arista é curta e avermelhada (Figura 9. c & d).

Stefureac *et al.* (1979) observaram esporos do gênero *Polytrichum* e verificaram que os esporos de *P. juniperinum* e *P. strictum* possuem ornamentações em formato de abeto (*Abies* Mill.) e modelo de disposição hexagonal de disposição da ornamentação. Em *P. juniperinum* Stefureac *et al.* (1979) cita que esse abeto (fir-tree-like) possui 6-7 discos sobrepostos que dão aspecto helicoidal a ornamentação, tal formato foi observado na Figura 10.

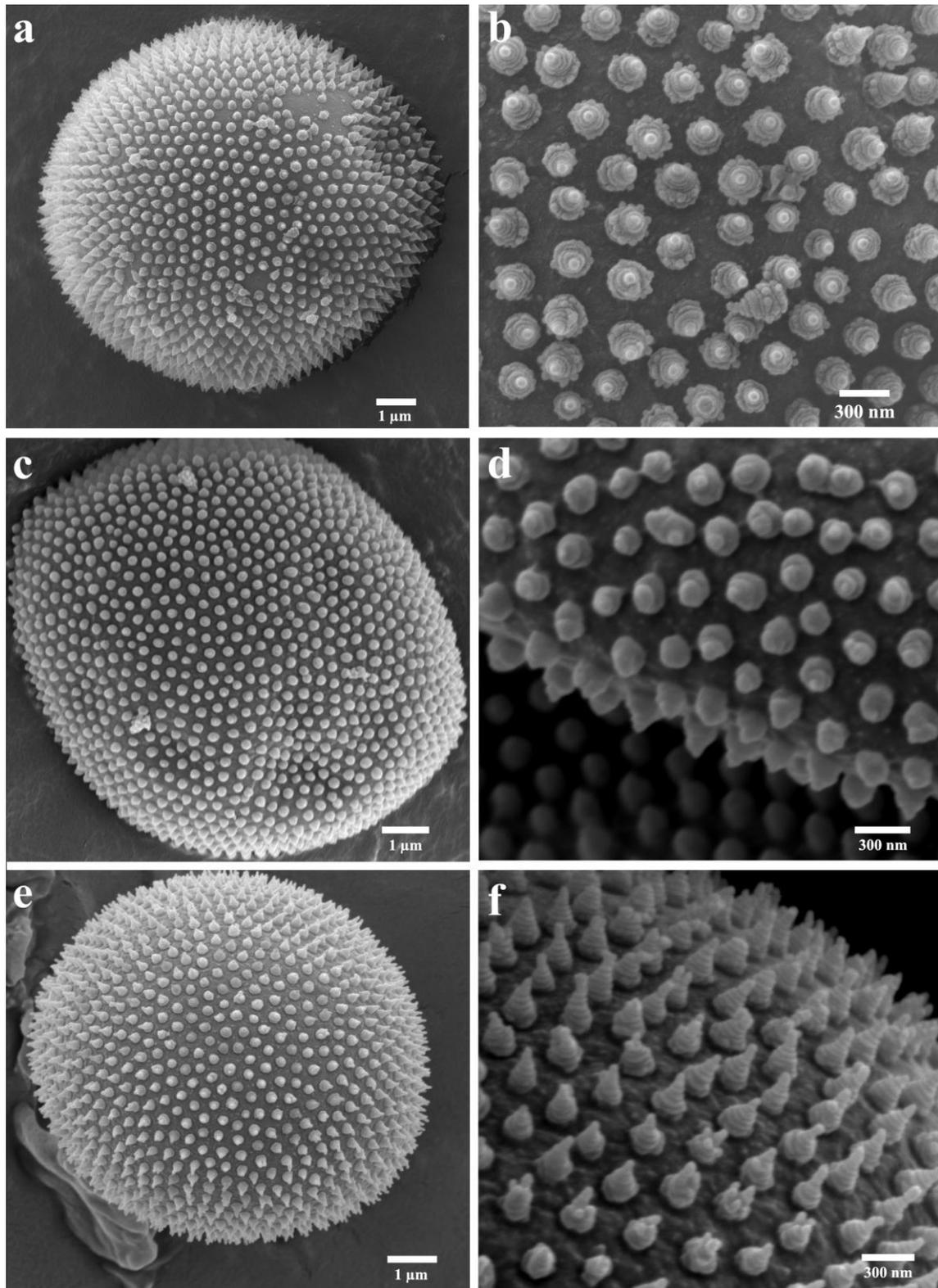


Figura 10. Fotomicrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura dos esporos de *Polytrichum strictum* Brid. Menzies (**a** e **b**) e *Polytrichum juniperinum* Hedw (**c** - **f**). **a.** Vista polar distal, espécime do EUA, Carolina do Norte (A11). **b.** Detalhe da ornamentação na vista polar distal, espécime do EUA, Carolina do Norte (A11). **c.** Vista polar distal, espécime da França, Vosges (A92). **d.** Detalhe da ornamentação na periferia da vista polar proximal, espécime da França, Vosges (A92). **e.** Vista polar distal, espécime da Austrália, Austrália do Sul (A93). **f.** Detalhe da ornamentação na vista polar distal, espécime do Panamá, Chiquiri (A94). (Vouchers - Tabela 2 - **anexo 3**).

Em *P. juniperinum* foram analisadas amostras da França (Figura 10. **c & d**), Austrália (Figura 10. **e**) e Panamá (Figura 10. **f**). O espécime da França possui a ornamentação cônica em formato de abeto, contudo os discos horizontais sobrepostos são delicados. Ao contrário do visto nos esporos da Austrália e Panamá, onde a ornamentação cônica possui discos bem marcados que afinam gradualmente até um ápice muito delgado. Comparando espécimes do Hemisfério Norte e Sul, verificou-se que o espécime da França apresenta diferença do seu par do norte espécime do Panamá. Apesar de pertencer ao Hemisfério Norte, o Panamá está localizado na América Central que é uma região tropical com condições ambientais próprias da região. De tal maneira, as ornamentações do espécime do Panamá é semelhante a ornamentação do espécime da Austrália, do que do espécime da França.

P. strictum apresenta ornamentação semelhante nos esporos da Suécia, EUA e Alasca, no entanto nenhum material do hemisfério sul pode ser observado para comparação. A ornamentação dos espécimes examinados tem o formato cônico de abeto, contudo apresenta muitas granulações na base da ornamentação. Apesar de verificar uma ornamentação cônica, a mesma tende a ter o mesmo diâmetro nos $\frac{2}{3}$ iniciais da ornamentação e afinar-se em um ápice totalmente cônico no $\frac{1}{3}$ final (Figura 10. **a e b**). Comparando *P. strictum* e *P. juniperinum*, este último não possui ou possui poucos grânulos na base da ornamentação, é mais delgado e possui um ápice mais fino e alongado. Ornamentações decíduas, ou com dois ou mais ápices, ou disformes na região apertural podem ser encontrados em ambas as espécies.

Comparando as duas espécies é possível verificar que ambas são muito próximas geneticamente e morfológicamente (Nylander & Saelán, 1859; Menzies, 1898; Velde & Bijlsma, 2003; Derda & Wyatt, 1999; Derda & Wyatt, 2003; Bell & Hyvönen, 2010a; Bell & Hyvönen, 2010b; Ivanova *et al.*, 2015; Mogensen 1985; Guerra *et al.*, 2006; Merrill, 2007; Smith, 2008; Ochyra *et al.*, 2008). Utilizando a morfologia do gametófito, *P. juniperinum* pode ser diferenciado de *P. strictum* pela disposição dos filídios no caulídio, pelo tamanho dos filídios e o número de lamelas. Geralmente *P. strictum* apresenta lanugem esbranquiçada na base do caulídio, gametófitos maiores, porém delgados e ramificados, filídios menores, imbricados e com bainha amarronzada, células finais da margem involuta oblíquas, menor número de lamelas e ápice do filídio subulado. *P. juniperinum* geralmente apresenta lanugem amarronzada, gametófitos menores e robustos com ausência de filídios no $\frac{1}{3}$ inicial do caulídio, filídios maiores e

pouco imbricados, por vezes com ápice do filídio curvado, bainha amarelada, região do ombro pouco marcada, maior número de lamelas (em geral acima 30 lamelas). Contudo pode existir sobreposição de alguns ou todos esses caracteres gametófiticos em ambas as espécies.

Os caracteres tradicionalmente utilizados na separação das espécies assim como outros testados demonstraram a proximidade morfológica de *P. strictum* e *P. juniperinum*. A análise morfométrica e morfológica demonstrou que as espécies possuem caracteres que se sobrepõe, tal fato pode ser explicado pela alta similaridade morfológica própria de espécies congênicas de *Polytrichum* (Velde & Bijlsma, 2000). Pelo fato de que os alelos de *P. strictum* são um subconjunto dos alelos de *P. juniperinum*, diferindo somente na frequência de expressão dos alelos alternativos (Velde & Bijlsma, 2003), ou mesmo pela proximidade genética demonstrada na análise filogenética, que demonstrou que *P. strictum* e *P. juniperinum* pertencem ao mesmo **clado B**. Clado este, que é subdivido no clado monofilético de *P. strictum* com espécimes de ambos os hemisférios. E em outro clado monofilético onde encontram-se os espécimes de *P. juniperinum* dos dois hemisférios. Assim, pode-se afirmar que tanto *P. strictum* quanto *P. juniperinum* são consideradas espécies bipolares. Sugere-se também que *P. strictum* é uma espécie críptica. Uma vez que o presente trabalho também demonstrou que a morfologia e caracteres genéticos de *P. strictum* são próximos aos de *P. juniperinum*.

4. Conclusão

Hedenäs (2012) e Stech *et al.* (2008) estudando outras espécies de musgos considerados bipolares, mostram que as espécies ditas bipolares podem ser polifiléticas e que os caracteres morfológicos semelhantes foram mantidos devido a evolução paralela. No entanto, a bipolaridade das espécies de *Polytrichum* sect. *Juniperifolia* que ocorrem na Antártica é comprovada através de dados moleculares e morfológicos. Mundim & Câmara (2016) também demonstraram a bipolaridade *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L. Sm., que também pertence a família Polytrichaceae. *Polytrichum piliferum* apresenta pequenas diferenças morfológicas entre os espécimes das duas regiões polares, o que pode ser explicado pelas condições ambientais divergentes (Callaghan *et al.*, 2001; Bargagli, 2005). Como o observado por Bell & Hyvönen (2010 b) e Ochyra *et al.* (2008), *P. strictum* e *P. juniperinum* são muito próximas geneticamente e morfolologicamente, no entanto são consideradas como espécies diferentes e bipolares. Embora os dados moleculares separem as duas espécies no presente estudo, os caracteres morfológicos das espécies (*P. strictum* e *P. juniperinum*) se sobrepõe e então sugerimos *P. strictum* como espécie críptica. As espécies da seção *Juniperifolia* da Antártica são oriundas do hemisfério norte (Bell & Hyvönen, 2010 a) e provavelmente colonizaram a Antártica recentemente devido à pequena variação morfológica e genética observada entre os espécimes dos dois hemisférios.

5. Bibliografia

- Anderson, L. E. 1954. Hoyer's solution as a rapid permanent mounting medium for bryologists. *The Bryologist*, v. 57, p. 242-244.
- Bardat, J.; Aubert, M. 2007. Impact of forest management on the diversity of corticolous bryophyte assemblages in temperate forests. *Biological Conservation*, v. 139, p. 47-66.
- Bargagli, R. 2005. Antarctic Ecosystems: Environmental Contamination, Climate Change, and Human Impact. *Ecological Studies* 175. Berlin: Springer-Verlag, p. 1-82.
- Barnes, D. K. A.; Hodgson, D.A.; Convey, P.; Allen, C.S.; Clarke, A. 2006. Incursion and excursion of Antarctic bitoa: past, present and future. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 15, p. 121-142.
- Bednarek-Ochyra, H. & Ochyra, R. 2013. Taxonomic status of *Grimmia procumbens* (Bryophyta, Grimmiaceae) from Australia. *Jornal of Bryology*, v. 35 (2), p. 149-152.
- Bell, N.E.; Hyvönen, J., 2008. Rooting the Polytrichopsida: The Phylogenetic Position of *Atrichopsis* and the Independent Origin of the Polytrichopsid Peristome. In H. Mohamed, B. B. Baki, A. Nasrulhaq-Boyce, and P. K. Y. Lee [eds.], *Bryology in the new millenium*, 227 –239. University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Bell, N.E.; Hyvönen, J., 2010 b. A Phylogenetic Circumscription of *Polytrichastrum* (Polytrichaceae): Reassessment of Sporophyte Morphology Supports Molecular Phylogeny. *American Journal of Botany* 97(4), 566–578.
- Bell, N.E.; Hyvönen, J., 2010a. Phylogeny of the moss class Polytrichopsida (Bryophyta): Generic-level structure and incongruent gene trees. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 55, 381–398.
- Bozzola, J.J. & Russel, L.D., 1998. *Electron Microscopy Principles and Techniques for biologists*. 2ed. Edition Jones & Bartlett, Sudbury, Massachussets.

- Callaghan, T.V.; Matveyeva, N.; Chernov, Y.; Brooker, R. 2001. Antarctic Ecosystems. Encyclopedia of Biodiversity. ed. by S. Levin. San Diego: Academic Press, vol. 1, p. 231-247.
- Clayton-Greene, K. A.; Collins, N. J.; Green, T. G. A.; Proctor, M. C. F. 1985. Surface wax, structure and function in leaves of Polytrichaceae. Journal of Bryology, v. 13, p. 549-562.
- Convey, P. 2001. Antarctic Ecosystems. Encyclopedia of Biodiversity. ed. by S. Levin. San Diego: Academic Press, vol. 1, p. 171-184.
- Derda GS, Wyatt R. 1999. Genetic variation and population structure in *Polytrichum piliferum* (Polytrichaceae). Journal of the Hattori Botanical Laboratory 86, 121–135.
- Doyle, J. J. & Doyle, J. L. 1987. A rapid isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochemical Bulletin 19: 11-15.
- Frego, K.A. 2007. Bryophytes as potential indicators of forest integrity. Forest Ecology and Management, vol. 242, p. 65-75.
- Frey, W.; Stech, M.; Fischer, E. 2009. Syllabus of Plant Families - A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien Part 3: Bryophytes and seedless Vascular Plants. ed. 13. Berlin: Gebrüder Borntraeger.
- Glime, J. A. 2007. Economic and Ethnic Uses of Bryophytes. Flora of North America Editorial Committee, eds. Flora of North America North of Mexico. Bryophytes: Mosses. New York: Oxford University Press, v. 27, part. 1.
- Goffinet, B.; Shaw, A. J. 2009. Bryophyte Biology. ed. 2. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gradstein, S.R.; Churchill, S.P.; Salazar-Allen, N. 2001a. Guide to the Bryophytes of Tropical America. Memoirs of The New York Botanical Garden. New York: The New York Botanical Garden Press, v. 86.
- Guerra, J.; Brugués, M. & Cros, R.M.; 2006. Polytrichaceae Schwägr. Flora Briofítica Ibérica, v.1, p. 101-122
- Hedenäs, L. 2012. Global phylogeography in *Sanionia uncinata* (Amblystegiaceae: Bryophyta). Botanical Journal of the Linnean Society, v. 168, p. 19-42.

- Hedwig, J. 1801. *Species Muscorum Frondosorum*.
- Hyvönen, J., 1989. A synopsis of genus *Pogonatum* (Polytrichaceae, Musci). *Acta Bot. Fennica* 138, 1–87.
- Hyvönen, J., Hedderson, T.A., Smith Merrill, G.L., Gibbings, J.G., Koskinen, S., 1998. On phylogeny of the Polytrichales. *Bryologist* 101, 489–504.
- Jeanmougin, F., Thompson, J. D., Gouy, M., Higgins, D. G., Gibson, T. J., 1998. Multiple sequence alignment with Clustal X. *Trends Biochem. Sci* v. 23, p. 403-405
- Kato, K.; Arikawa, T.; Imura, S.; Kanda, H. 2013. Molecular identification and phylogeny of an aquatic moss species in Antarctic lakes. *Polar Biol*, v. 36, p. 1557-1568.
- Konopka, A. S.; Herendeen, P. S.; Merrill, G. L. S.; Crane, P. R. 1997. Sporophytes and Gametophytes of Polytrichaceae from the Campanian (Late Cretaceous) of Georgia, U.S.A. *International Journal of Plant Sciences*, v. 158 (4), p. 489-499.
- Merrill, G. L. S. 2007. Polytrichaceae Schwägrichen. *Flora of North America*. New York: Oxford University Press, v. 27, p. 121-140.
- Merrill, G.L. S. 2007. Polytrichaceae Schwägrichen. *Flora of North America*, v. 27, p. 122-140.
- Müller, K., Quandt, D., Müller, J., Neinhuis, C., 2005. PhyDe v. 0.9971: Phylogenetic Data Editor. Available from: <<http://www.phyde.de>>
- Mundin, J.V.; Camara, P.E.A.S. 2016. Morfologia e Filogenia de *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L. Sm., uma Espécie Bipolar. *Dissertação UnB*.
- Ochyra, R., Lewis Smith, R.I., Bednarek-Ochyra H. 2008. *The illustrated moss flora of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ochyra, R., Lewis Smith, R.I., Bednarek-Ochyra H., 2008. *The illustrated moss flora of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Peat, H.J.; Clarke, A.; Convey, P. 2007. Diversity and biogeography of the Antarctic flora. *Journal of Biogeography*, v. 34, p. 132-146.

- Peralta, D. F. 2009. Polytrichaceae (Polytrichales, Bryophyta) do Brasil. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente.
- Post, E.; Forchhammer, M. C.; Bret-Harte, S.; Callaghan, T. V.; Christensen, T.R.; Elberling, B.; Fox, A. D.; Gilg, O.; Hik, D. S.; Høye, T. T.; Ims, R. A.; Jeppesen, E.; Klein, D. R.; Madsen, J.; McGuire, D.; Rysgaard, S.; Schindler, D. E.; Stirling, I.; Tamstorf, M. P.; Tyler, N. J. C.; van der Wal, R.; Welker, J.; Wookey, P. A.; Schmidt, N. M.; Aastrup, P. 2009. Ecological Dynamics Across the Arctic Associated with Recent Climate Change. *Science*, v. 325
- Proctor, M. C. F. 2005. Why do Polytrichaceae have lamellae? *Journal of Bryology*, v. 27, p. 221-229.
- Rocha, L. M. da; Gonçalves-Esteves, V.; Luizi-Ponzo, A.P., 2008. Morfologia de esporos de espécies de Polytrichaceae Schwägr. (Bryophyta) do Brasil. *Revista Brasil. Bot.* 3, 537-548.
- Ronquist, F. & Huelsenbeck, J. P. 2003. MRBAYES 3: Bayesian phylogenetic.
- Sharp, A.J.; Crum, H. & Eckel, P.M. 1994. Polytrichaceae. *The Moss Flora of Mexico*, v. 69, p.1070-1076.
- Silander Jr., J.A. 2001. Antarctic Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*. ed. by S. Levin. San Diego: Academic Press, vol. 5, p. 607-626.
- Simões, J. C.; Garcia, C. A. E.; Evangelista, H.; Campos, L. de S.; Mata, M. M.; Bremer, U. F. 2011. Antártica e as Mudanças Globais: um desafio para a humanidade. São Paulo: Blucher, vol. 9.
- Singh, M.; Rawat, A.K.S.; Govindarajan, R. 2007. Antimicrobial activity of some Indian mosses. *Fitoterapia*, v.78, p. 156-158.
- Smith, G. L., 1971. A conspectus of the genera of Polytrichaceae. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 21, 1 – 83.
- Smith, A.J.E. 2008. Class 3 Polytrichopsida. *The Moss Flora of Britain and Ireland*, 2 ed., p.118-131
- Smith, G.L., 1972. Continental drift and the distribution of Polytrichaceae. *J. Hattori Bot. Lab.* 35, 41–49.

- Smith, R.I.L. 2005. Bryophyte diversity and ecology of two geologically contrasting Antarctic islands. *Journal of Bryology*, v. 27, p. 195-206.
- Stech, M.; Sim-Sim, M.; Esquível, M.G.; Fontinha, S.; Tangney, R.; Lobo, C.; Gabriel, R.; Quandt, D.2008. Explaining the 'anomalous' distribution of *Echinodium* (Bryopsida: Echinodiaceae): Independent evolution in Macaronesia and Australasia. *Organisms, Diversity & Evolution* 8, 282-292.
- Stech, M.; Sim-Sim, M.; Esquível, M.G.; Fontinha, S.; Tangney, R.; Lobo, C.; Gabriel, R.; Quandt, D.2008. Explaining the 'anomalous' distribution of *Echinodium* (Bryopsida: Echinodiaceae): Independent evolution in Macaronesia and Australasia. *Organisms, Diversity & Evolution*, v. 8, p. 282-292
- Thiers, B. 2016. Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/ih/>
- Van der Velde M, Bijlsma R. 2000. Amount and structure of intra- and interspecific genetic variation in the moss genus *Polytrichum*. *Heredity*85, 328–337.
- Vanderpoorten, A.; Goffinet, B. 2009. Introduction to Bryophytes. Cambridge: Cambridge University Press, p. 26-42.
- Vieira, C.; Séneca, A.; Sérgio, C.; Ferreira, M.T.2012. Bryophyte taxonomic and functional groups as indicators of fine scale ecological gradients in mountain streams. *Ecological Indicators*, v. 18, p 98-107.
- Washburn, A.L. & Weller, G. 1986. Arctic Research in the National Interest. *Science*, v. 233.
- Wilson, D.; Stock, W.D.; Hedderson, T. 2009. Historical nitrogen content of bryophyte tissue as an indicator of increased nitrogen deposition in the Cape Metropolitan Area, South Africa. *Environmental Pollution*, v. 157, p. 938-945.

Anexo 1. Material Examinado.

Nome da Espécie, País, Local de coleta, Coletor, número de coleta, Herbário.

Polytrichum piliferum Hedw. **ANTÁRTICA. Base Argentina na Antártica, Base Bahía Primavera**: Spinedi, H. sn° (LILC. 54010); Spinedi, H. sn° (LILC. 54009); Spinedi, H. sn° (LILC. 54004). **Kerguelen, Coastline**, Bell, B.C. 3125 (UB). **Antarctic Peninsula, Danco Coast**: Smith, R.I.L. 11944 (ASS). **South Shetlands Islands, Candlemas Island**: Convey, P. 193A (ASS). **South Shetland Islands, Ilha Greenwich**: Bordin, J. 2626 Bordin, J. 2628 (UB). **South Shetland Islands, Ilha Livingston**: Bordin, J. 1042 (SP). **South Shetlands Islands, King George Islands**: P. 299; Victoria, F.C. 51 (RB); Victoria, F.C. 17 (RB); Aquino, P.P.U. 125 (UB); Ochyra, R. 5206/79 (KRAM, S); Ochyra, R. 543/80 (KRAM, S); Câmara, P.E.A.S. 3462 (UB); Carvalho, A.M. 50 (UB); Câmara, P.E.A.S. 3494 (UB). **South Shetland Islands, Signy Island**: Smith, R.I.L. 8140 (ASS). **ARGENTINA. Santa Cruz, Depto. Lago Argentino**: Matteri-Schiavon 4804. **Santa Cruz, Lago Argentino**: Schiavone-Matter C.M. n° 4457. **Chubut, Cushamen**: Cusato & Faggi sn° BA 45155 (BA, MACN, CONICET). **Provincia Santa Cruz, Depto Güer Aike**: Matteri, C.M. B3264 (TBAPA, ASS). **Provincia Tierra del Fuego, Depto. Ushuaia**: Norris, D.H. 97928(BA). **CHILE. Bio Bio, Region VIII, Prov. Ñub**: Ireland, R.36143(MO). **Provincia Magallane, Depto Ultima Esperanza**: Matteri, C.sn° 2944(UB). **MARION ISLAND. Santa Rosa Valley**: Huntley, B.J. 434 (ASS). **ÁFRICA. Republica Democrática do Congo, Zaire**: Sloover, J.L. 12807 (S). **CANADÁ. New Brunswick, Gloucester CO.**: Bagnell, B.A. #754 (S). **British Columbia, Monashee Mountains**: Vitt, D. H. 35867 (ALTA). **Nova Scotia, Victoria County**: King, R. M. B678 (MO). **Ontário, Hastings Co - Bancroft**: Ireland, R.R. 21934 (CANM, S). **Ontário, Algoma District - WAWA**: Ireland, R.R. 24486 (CANM, S). **FINLÂNDIA. Åland, Eckerö**: Hedenäs, L. sn° (B194559 - S). **FRANÇA. Aude, Montagne Noire**: Sloover, J.L. 45209 (S). **ISLÂNDIA. Reykjanes**: Elmarsdóttir, Á. 42640 (ICEL). **Hólar**: Elmarsdóttir, Á. 41055 (ICEL). **Sem Localidade**: Egilsson, K. 35729 (ICEL). **NORUEGA. Troms, Lyngen**: Hedenäs, L. sn° (B83029-S). **POLÔNIA. Silesian Upland, Rybnik Plateau**: Stebel, A. [M-209](S). **West Carpathians, Tatra Mts.**: Wójcicki, J. T12a/86(S). **SUÉCIA. Södermanland, Utö**: Hedenäs, L. sn° (B184162-S). **Ångermanland, Säbra**: Hedenäs, L. sn° (S, UB). **EUA. Maine, York County**: Allen, B. 13046 (MO). **Alaska, Northwest Arctic County**: Talbot, S.S. 05-49-39 (ACC, MO). **Alaska, Northwest Arctic County**: Schofield, W.B. 126546 (ACC, S). **Califórnia, Fresno County**: Shevock, J.R. 12899 (CAS, UB). **Califórnia, Fresno County**: Rubtzoff, P. 8972 (CAS, UB). **Califórnia, Tehama County**: Shevock, j.R. 22260 (MO). **Colorado, Park County**: Holmberg, N.J. 3006 (MO). **Connecticut, Litchfield County**: Allen, B. 25966 (MO). **Maine, Franklin County**: Pursell, R.A. 12308 (MO). **Michigan, Houghton CO.**: Shaw, J. 5865 (DUKE). **Missouri**: Holmberg, N.J. 4058 (MO). **Missouri, St. Clair County**: Redfearn Jr., P.L. 39295 (SMS, S). **Nevada, Elko County**: Shevock, J.R. 26143 (CAS, UB). **Oregon, Wasco County**: D. D. & Darigo, C.E. 3987 (MO).

Pennsylvania, Tioga County: *Kunsmann, J.R. MO4-149 (MO)*. **Wyoming, Albany County:** *Kosovich-Anderson, Y.I. #1287 (MO)*.

Polytrichum juniperinum Hedw. **ANTÁRTICA. South Orkney Islands, Signy Island:** *Smith, R.I.L. 10768 (ASS)*. **South Shetlands Islands, Ilha Deception:** *Aquino, P.P.U. 134 (UB)*. **South Sandwich Islands, Bellingshausen Island:** *Convey, P. 28B (ASS)*. **Península Antártica, Hope Bay:** *Batista, A sn°*. **South Shetlands Islands, Almiranty Bay:** *Mundim, J.V. 277 (UB)*. **Decepcion Pendulo.:** *Carvalho, A.M. 53 pop.1 (UB)*. **AUSTRALIA. South Australia, High Eden Road:** *Streimann, H. 54736 (L)*. **VENEZUELA. Estado Trujillo, Municipio Boconó:** *Cuello, N. 3103 (PORT)*. **PANAMA. Chiquiri, Cerro Hornito:** *Folsom, J.P. 7271Z (UB, MO)*. **BOLIVIA. Department. Cochabamba, Province, Ayopaya - Municipio de Cocapata:** *Linneo, I. 2628 (UB, MO)*. **CHILE. Region VIII - Prov. Ñuble., Termas de Chillán:** *Ireland, R.R. 36056 (UB, MO)*. **ALEMANHA. Dld, Elten, Eltense:** *Frentrop, J.G.J sn° (L0623016) (L)*. **FRANCE. Vosges, Bois de Giesenbach Tussen Mittlach em Schnepfenriedwasen:** *Dirkse, G. Vo/16 (L)*. **POLÔNIA. West Carpathians, Beskidski Mts:** *Stebel, A. sn° (B99132) (S)*. **SUÉCIA. Ångermanland, Säbrå:** *Hedenäs, L. sn° (UB)*. **SEM LOCALIDADE:** *Mantane 790 (RB)*.

Polytrichum strictum Menzies ex Brid. **ANTÁRTICA. Sem localidade,** *Smith, R.I.L. 4707 (UB)*. **South Shetlands Islands, Barton Península:** *Dantas, T.S. 351 (UB)*. **South Shetlands Islands, King George:** *Dantas, T.S. 151 (UB)*. **South Shetlands Islands, King George:** *Dantas, T.S. 172 (UB)*. **Alexander Island, Lazarev Bay, NW.:** *Convey, P. 854 (UB)*. **South Georgia, Husvik:** *Cable, S. 299 (UB)*. **South Shetlands Islands, King George:** *Dantas, T.S. 170 (UB)*. **CHILE. Isla Navarino, Prov. Antártica Chilena - Comuna Cabo de Hornos:** *W.R. Buck 40700 (MO)*. **ALASKA. Northwest Arctic County, Selawik Hills:** *Talbot, S.S. 05-80-22 (MO, ACC)*. **CANADÁ. Avalon Peninsula, Logy Bay:** *D.H. Vitt 31505 (S)*. **CANADÁ. Avalon Peninsula, Maritime Barrens Ecoregion:** *Allen, B. 28595 (MO)*. **EUA. Carolina do Norte, Watauga CO.:** *Anderson, A.E. 26,911 (S)*. **NORUEGA. Troms, Lyngen:** *Hedenäs, L. sn° (B84811-S)*. **SUÉCIA. Lycksele Lappmark, Tärna sn.:** *Hedenäs, L. sn° (S-B195996) (S)*. **SUÉCIA. Jämtland, Frostviken:** *Hedenäs, L. sn° (B165476-S)*. **SUÉCIA. Värmland, Kroppa:** *Hedenäs, L. sn° (S)*. **SUÉCIA. Torne Lappmark, Matalavuoma:** *Johansson, O. sn° (B140196 -S)*.

Anexo 2

Tabela 6. Tabela contendo médias e desvio-padrão do comprimento do gametófito, do filídio, da bainha, do limbo, da arista e largura da bainha e do limbo de *P. piliferum* (PP), *P. strictum* (PS) e *P. juniperinum* (PJ) das regiões polares.

Amostra	Localidade	Gametófito Comprimento (cm)	Bainha Comprimento (mm)	Bainha Largura (mm)	Limbo Comprimento (mm)	Limbo Largura (mm)	Arista Comprimento (mm)	Filídio Comprimento (mm)
PP-A07	Antártica	1.230 (±0.199)	1.173 (±0.276)	1.150 (±0.185)	1.618 (±0.139)	0.591 (±0.085)	0.743 (±0.183)	3.534 (±0.211)
PP-A08	Antártica	3.080 (±0.319)	1.444 (±0.127)	1.263 (±0.060)	1.732 (±0.095)	0.540 (±0.042)	0.925 (±0.162)	4.101 (±0.274)
PP-A19	Antártica	1.480 (±0.217)	1.542 (±0.079)	1.109 (±0.076)	1.625 (±0.082)	0.527 (±0.019)	0.894 (±0.038)	4.061 (±0.043)
PP-A20	Antártica	1.520 (±0.130)	1.284 (±0.192)	1.075 (±0.128)	1.702 (±0.290)	0.505 (±0.051)	0.661 (±0.154)	3.647 (±0.517)
PP-A21	Antártica	2.840 (±0.451)	1.468 (±0.187)	1.127 (±0.167)	2.148 (±0.382)	0.518 (±0.039)	1.566 (±0.277)	5.182 (±0.481)
PP-A26	Antártica	1.700 (±0.316)	1.520 (±0.259)	1.142 (±0.048)	1.964 (±0.402)	0.735 (±0.209)	0.951 (±0.193)	4.435 (±0.810)
PP-A27	Antártica	1.102 (±0.258)	1.190 (±0.217)	0.964 (±0.085)	1.470 (±0.311)	0.592 (±0.150)	0.824 (±0.134)	3.483 (±0.413)
PP-A33	Antártica	2.260 (±0.230)	1.374 (±0.120)	1.234 (±0.097)	1.776 (±0.217)	0.651 (±0.060)	1.067 (±0.368)	4.217 (±0.312)
PP-A34	Antártica	3.220 (±0.756)	1.045 (±0.069)	1.070 (±0.047)	1.512 (±0.069)	0.516 (±0.029)	0.777 (±0.161)	3.334 (±0.210)
PP-A80	Antártica	1.320 (±0.130)	1.126 (±0.082)	1.035 (±0.063)	1.632 (±0.302)	0.481 (±0.050)	1.060 (±0.127)	3.818 (±0.373)
PP-A31	Argentina	2.160 (±0.472)	1.146 (±0.109)	0.967 (±0.077)	1.534 (±0.122)	0.523 (±0.031)	2.020 (±0.502)	4.700 (±0.385)
PP-A81	Argentina	3.120 (±1.126)	1.188 (±0.033)	0.886 (±0.051)	2.392 (±0.260)	0.416 (±0.059)	1.631 (±0.220)	5.211 (±0.446)
PP-A79	Argentina	2.740 (±0.336)	1.614 (±0.130)	1.148 (±0.093)	2.012 (±0.342)	0.529 (±0.027)	1.614 (±0.318)	5.240 (±0.543)
PP-A78	Chile	2.740 (±0.477)	0.944 (±0.046)	0.816 (±0.051)	1.472 (±0.065)	0.469 (±0.040)	1.398 (±0.189)	3.813 (±0.247)
PP-A16	Chile	2.360 (±0.472)	1.376 (±0.109)	1.072 (±0.090)	2.364 (±0.296)	0.530 (±0.034)	1.541 (±0.280)	5.281 (±0.579)

Amostra	Localidade	Gametófito Comprimento (cm)	Bainha Comprimento (mm)	Bainha Largura (mm)	Limbo Comprimento (mm)	Limbo Largura (mm)	Arista Comprimento (mm)	Filídio Comprimento (mm)
PP-A63	Alaska	3.000 (±0.570)	1.174 (±0.052)	0.966 (±0.070)	2.074 (±0.198)	0.526 (±0.057)	1.723 (±0.652)	4.971 (±0.806)
PP-A18	Canadá	2.240 (±0.611)	1.117 (±0.104)	0.874 (±0.041)	2.436 (±0.291)	0.461 (±0.032)	1.467 (±0.425)	5.020 (±0.535)
PP-A17	Polônia	2.700 (±0.158)	1.232 (±0.070)	0.776 (±0.075)	2.552 (±0.033)	0.416 (±0.022)	1.522 (±0.433)	5.306 (±0.423)
PP-A67	Polônia	2.020 (±0.249)	0.960 (±0.071)	0.832 (±0.065)	1.432 (±0.068)	0.462 (±0.041)	0.860 (±0.137)	3.252 (±0.163)
PP-A23	USA	2.100 (±0.361)	1.360 (±0.153)	0.921 (±0.056)	2.184 (±0.104)	0.477 (±0.026)	1.831 (±0.101)	5.375 (±0.144)
PP-A25	USA	2.060 (±0.167)	1.168 (±0.054)	0.875 (±0.078)	2.302 (±0.232)	0.457 (±0.100)	1.944 (±0.271)	5.414 (±0.522)
PP-A52	USA	1.400 (±0.274)	1.094 (±0.063)	0.852 (±0.106)	1.436 (±0.187)	0.431 (±0.055)	1.159 (±0.197)	3.689 (±0.343)
PP-A53	USA	2.600 (±0.387)	1.310 (±0.174)	1.058 (±0.089)	2.320 (±0.099)	0.599 (±0.049)	2.072 (±0.381)	5.702 (±0.590)
PP-A15	Suécia	4.940 (±0.594)	1.398 (±0.113)	0.940 (±0.050)	1.968 (±0.403)	0.414 (±0.020)	0.975 (±0.218)	4.341 (±0.511)
PP-A35	Suécia	4.040 (±0.477)	1.490 (±0.117)	0.978 (±0.037)	2.344 (±0.288)	0.423 (±0.025)	1.598 (±0.264)	5.432 (±0.366)
PP-A68	Finlândia	2.120 (±0.396)	1.049 (±0.095)	0.995 (±0.031)	2.226 (±0.353)	0.533 (±0.049)	0.669 (±0.210)	3.945 (±0.452)
PP-A64	Noruega	2.120 (±0.286)	1.028 (±0.121)	1.004 (±0.049)	1.526 (±0.164)	0.480 (±0.007)	0.786 (±0.125)	3.340 (±0.090)
PP-A65	França	3.180 (±0.259)	1.344 (±0.121)	1.160 (±0.085)	3.332 (±0.319)	0.640 (±0.059)	1.781 (±0.187)	6.457 (±0.582)
PJ-A37	Antártica	2.820 (±0.630)	2.346 (±0.438)	1.470 (±0.260)	3.180 (±1.162)	0.549 (±0.046)	0.398 (±0.107)	5.924 (±1.648)
PJ-A73	Antártica	3.260 (±0.844)	1.740 (±0.107)	1.242 (±0.082)	2.286 (±0.218)	0.557 (±0.023)	0.431 (±0.073)	4.457 (±0.160)
PJ-A74	Antártica	3.120 (±0.630)	1.854 (±0.276)	1.432 (±0.100)	4.334 (±0.739)	0.673 (±0.098)	0.687 (±0.096)	6.875 (±1.045)
PJ-A30	Antártica	2.460 (±0.241)	1.966 (±0.059)	1.244 (±0.057)	4.140 (±0.377)	0.624 (±0.059)	0.490 (±0.020)	6.596 (±0.419)
PJ-A72	Chile	2.700 (±0.255)	1.510 (±0.136)	1.148 (±0.095)	2.818 (±0.421)	0.624 (±0.081)	0.351 (±0.065)	4.679 (±0.486)
PJ-A98	Bolívia	5.080 (±0.630)	2.268 (±0.259)	1.172 (±0.119)	5.022 (±0.652)	0.557 (±0.085)	0.916 (±0.296)	8.206 (±0.902)

Amostra	Localidade	Gametófito Comprimento (cm)	Bainha Comprimento (mm)	Bainha Largura (mm)	Limbo Comprimento (mm)	Limbo Largura (mm)	Arista Comprimento (mm)	Filídio Comprimento (mm)
PJ-A77	Venezuela	5.240 (±0.773)	2.382 (±0.099)	1.027 (±0.069)	3.358 (±0.339)	0.455 (±0.049)	0.635 (±0.125)	6.374 (±0.254)
PJ-A41	Polônia	5.780 (±1.721)	2.304 (±0.139)	1.404 (±0.094)	5.666 (±0.607)	0.647 (±0.050)	0.864 (±0.183)	8.834 (±0.774)
PJ-A76	Alemanha	3.560 (±0.391)	2.084(±0.127)	1.172 (±0.048)	4.508 (±0.408)	0.551 (±0.052)	0.452 (±0.138)	7.044 (±0.299)
PJ-A97	USA	6.900 (±1.437)	2.044(±0.210)	1.218 (±0.053)	4.406 (±0.381)	0.536 (±0.047)	0.701 (±0.106)	7.151 (±0.560)
PS-A09	Antártica	1.000 (±0.235)	1.152(±0.187)	0.855 (±0.087)	1.154 (±0.179)	0.379 (±0.040)	0.370 (±0.075)	2.676 (±0.247)
PS-A29	Antártica	2.480 (±0.311)	1.438(±0.145)	1.006 (±0.078)	1.123 (±0.156)	0.426 (±0.023)	0.274 (±0.076)	2.834 (±0.255)
PS-A39	Antártica	1.960 (±0.305)	1.674(±0.107)	1.052 (±0.029)	1.810 (±0.324)	0.529 (±0.021)	0.348 (±0.082)	3.832 (±0.238)
PS-A43	Antártica	1.300 (±0.158)	1.292(±0.128)	0.966 (±0.049)	1.388 (±0.129)	0.488 (±0.048)	0.815 (±0.818)	3.495 (±0.849)
PS-A75	Antártica	2.440 (±0.378)	1.596(±0.206)	1.061 (±0.093)	1.874 (±0.200)	0.545 (±0.056)	0.426 (±0.101)	3.896 (±0.453)
PS-A46	Canadá	12.960 (±1.193)	2.138(±0.272)	1.001 (±0.070)	3.470 (±0.250)	0.425 (±0.029)	0.635 (±0.121)	6.243 (±0.371)
PS-A01	Noruega	3.880 (±0.554)	1.450(±0.130)	0.813 (±0.098)	2.660 (±0.483)	0.416 (±0.103)	0.256 (±0.043)	4.366 (±0.470)
PS-A02	Suécia	5.820 (±1.130)	1.904(±0.036)	1.010 (±0.081)	3.320 (±0.452)	0.495 (±0.043)	0.543 (±0.071)	5.767 (±0.395)
PS-A47	Suécia	8.160 (±1.045)	1.854(±0.189)	1.058 (±0.072)	2.482 (±0.153)	0.476 (±0.024)	0.503 (±0.073)	4.839 (±0.373)
PS-A96	Suécia	6.160 (±0.483)	1.930(±0.192)	0.946 (±0.036)	3.174 (±0.361)	0.377 (±0.062)	0.433 (±0.100)	5.537 (±0.371)

Anexo 3

Tabela 7. Vouchers dos espécimes utilizados na Microscopia Eletrônica de Varredura, na microscopia ótica e nas medições.

Amostra	Espécie	Coletor	nº	Herbário	País	Localidade
A01	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Hedenäs, L.	snº	S	Noruega	Troms - Lyngen
A02	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Hedenäs, L.	snº	S	Suécia	Lycksele Lappmark - Tärna sn.,
A07	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Bordin, J.	2628	UB	Antártica	South Shetlands - Ilha Greenwich
A08	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Victoria, F.C.	51	RB	Antártica	Shetlands do Sul - Ilha Rei George
A09	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Dantas, T.S.	351	UB	Antártica	South Shetlands Islands - Barton Península
A11	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Anderson, A.E.	26,911	S	EUA	Carolina do Norte - Watauga Co.
A15	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Hedenäs, L.	snº	S	Suécia	Södermanland - Utö
A16	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Ireland, R.R.	36143 -	MO	Chile	Bio Bio - Region VIII: Prov. Ñuble.
A17	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Stebel, A.	[M-209]	S	Polónia	Silesian Upland - Rybnik Plateau
A18	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Bagnell, B.A.	#754	S	Canadá	New Brunswick - Gloucester CO.
A19	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Victoria, F.C.	17	RB	Antártica	South Shetlands Islands - Ilha Rei George
A20	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Câmara, P.E.A.S.	3462	UB	Antártica	South Shetlands Islands - King George Islands
A21	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Bordin, J.	1042	SP	Antarctica	Shetlands do Sul - Ilha Livingston
A23	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Allen, B.	13046	MO	USA	Maine - York County
A24	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Talbot, S.S.	05-80-22	MO/ACC	Alaska	Northwest Arctic County - Selawik Hills
A25	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Pursell, R.A.	12308	MO	USA	Maine - Franklin County
A26	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Carvalho, A.M.	50	UB	Antártica	South Shetlands Islands - King George Islands
A27	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Aquino, P.P.U.	125	UB	Antártica	South Shetlands Islands - Ilha Rei George
A29	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Dantas, T.S.	151	UB	Antártica	South Shetlands Islands - King George
A30	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Smith, R.I.L.	10768	ASS	Antártica	South Orkney Islands - Signy Island
A33	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Smith, R.I.L.	11944	ASS	Antártica	Antarctic Peninsula - Danco Coast
A35	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Hedenäs, L.	snº	S, UB	Suécia	Ångermanland - Säbra

Amostra	Espécie	Coletor	n°	Herbário	País	Localidade
A37	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Aquino, P.P.U.	134	UB	Antártica	South Shetlands Islands - Ilha Deception
A39	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Dantas, T.S.	172	UB	Antártica	South Shetlands Islands - King George
A43	<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Convey, P.	854	UB	Antártica	Alexander Island - Lazarev Bay, NW.
A52	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Shevock, J.R.	26143	CAS, UB	USA	Nevada - Elko County
A53	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Shevock, J.R.	12899	CAS, UB	USA	Califórnia - Fresno County
A63	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Schofield, W.B.	126546	ACC, S	USA	Alaska - Northwest Arctic County
A64	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Hedenäs, L.	sn°	S	Noruega	Troms - Lyngen
A65	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Sloover, J.L.	45209	S	França	Aude - Montagne Noire
A67	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Wójcicki, J.	T12a/86	S	Polónia	West Carpathians - Tatra Mts.
A68	<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Hedenäs, L.	sn°	S	Finlândia	Åland - Eckerö
A92	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Dirkse, G.	Vo/16	L	France	Vosges - Bois de Giesenbach Tussen Mittlach em Schnepfenriedwasen
A93	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Streimann, H.	54736	L	Austrália	South Austrália - High Eden Road
A94	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Folsom, J.P.	7271Z	UB, MO	Panamá	Chiquiri - Cerro Hornito

Anexo 4

Tabela 8. Material utilizado na filogenia com respectivos números de acesso do GenBank. Asteriscos (*) indicam espécies sequenciadas neste estudo ainda não submetidas, cerquilhas (#) indicam sequências obtidas por parceria ainda não submetidas.

Taxon	Voucher	trnLF
<i>Atrichum angustatum</i> (Brid.) Bruch & Schimp	USA: North Carolina	KP881814
<i>Atrichum flavisetum</i> Mitt.	Itália	KP881779
<i>Atrichum tenellum</i> (Röhl.) Bruch & Schimp.	Finland	AF418307
<i>Atrichum undulatum</i> (Hedw.) P.Beauv.	Germany	AF071832
<i>Dendrologotrichum dendroides</i> (Brid. ex Hedw.) Broth.	Chile -Frey & Schaumann Mo01-79	EU128007
<i>Dendrologotrichum microdendron</i> (Müll.Hal.) G.L. Sm.	New Zealand - Frey & Pfeiffer 98-Mo57	EU128008
<i>Dendrologotrichum squamosum</i> (Hook.f. & Wilson) Broth. ex Cardot ¹	Chile - Frey & Schaumann Mo01-01	EU128002
<i>Dendrologotrichum squamosum</i> (Hook.f. & Wilson) Broth. ex Cardot ²	Chile - Frey & Schaumann Mo01-54a	EU128003
<i>Oligotrichum aligerum</i> Mitt.	USA - H. Norris 83978	JQ639413
<i>Oligotrichum falcatum</i> Steere	Russia - Ignatov 97-525, H	JQ639416
<i>Oligotrichum hercynicum</i> (Hedw.) Lam. & DC.	Finland (Uusimaa) - Enroth 25.7.98	AF545014
<i>Oligotrichum parallelum</i> (Mitt.) Kindb.	Canadá (British Columbia) - Hedderson 10043	AF545015
<i>Pogonatum aloides</i> (Hedw.) P.Beauv.	United Kingdom - H: Bell 04.01.07 #1	GU569703
<i>Pogonatum campylocarpon</i> (Müll.Hal.) Mitt.	Brazil (São Paulo) - Hyvönen 6392	AF545017
<i>Pogonatum comosum</i> (Müll.Hal.) Mitt.	Mexico (Oaxaca) - Norris 77508	AY396481
<i>Pogonatum inflexum</i> (Lindb.) Sande Lac.	Japan (Honshu) - Chishiki 1865	AY396486
<i>Pogonatum microstomum</i> (R. Br. ex Schwägr.) Brid.	China - H:Shevock 22895	GU569712
<i>Pogonatum nanum</i> (Hedw.) P.Beauv.	Sweden (Skane) - Hyvönen 6484	AY396484
<i>Pogonatum neesii</i> (Müll.Hal.) Dozy	Taiwan (Taichung) - Hyvönen 4021	AF545023
<i>Pogonatum pergranulatum</i> P.C.Chen	China (Sichuan) - Allen 6501	AY396496

Taxon	Voucher	trnLF
<i>Pogonatum procerum</i> (Lindb.) Schimp.	Honduras (La Paz) - Liesner 26480	AY396489
<i>Pogonatum proliferum</i> (Griff.) Mitt.	Malaysia - H: Bell 31.07.07 #9	GU569716
<i>Pogonatum subulatum</i> (Menzies ex Brid.) Brid.	Australia (Queensland) - Hyvönen 6025	AF545027
<i>Pogonatum urnigerum</i> (Hedw.) P.Beauv. ¹	Finland (Uusimaa) - Hyvönen 6173	AF545028
<i>Pogonatum urnigerum</i> (Hedw.) P.Beauv. ²	Russia (Putorana Plateau) July 1984 Czernyadjeva #54 (LE)	KM381958
<i>Polytrichadelphus ciliatus</i> (Hook. & Wilson) Mitt	Columbia - Rengifo & Arbeláez 17195	GU569722
<i>Polytrichadelphus innovans</i> (Müll. Hal.) A. Jaeger	New Zealand -H: Bell 04.03.08 #4	GU569725
<i>Polytrichadelphus purpureus</i> Mitt.	Columbia - H: Churchill Arbelaez & Rengifo 16296	GU569728
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ¹	United Kingdom - H: Bell 30.04.06 #1	GU569729
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ²	New Zealand - H: Bell 02.03.08 #5	GU569731
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ³	Norway - H: Bell 01.07.06 #13	GU569732
[#] <i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ⁴	Holanda	e4000477236_L0 873952
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ⁵	Antarctic (King George Is.) - Hyoungseok Lee KGI-HS0001 (KOPRI)	KM361636
[#] <i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ⁶	Antártica - J.V. Múndin 372	P10
[#] <i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ⁷	Antártica - T.S. Dantas 186	P9
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ⁸	Chile - H: Bell 1788	GU569730
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ⁹	Finland - H: Bell 02.07.06 #3	GU569733
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ¹⁰	Russia (Sibiryakov Is.) - Kuvaev & Kozhevnikova #1471-9 (MW)	KM381965
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ¹¹	Russia (Yakutia) - Ignatov #00-723 (MHA)	KM381976
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm. ¹²	Russia (Yamal Peninsula) - 14 July 1977 Andreeva s.n. (LE)	KM381980
<i>Polytrichastrum alpinum</i> var. <i>septentrionale</i> (Sw. ex. Brid.) G.L.Sm. ¹³	Russia (Sakhalin) - 15.VIII.2006 Ignatov & Teleganova (MHA)	KM381990
<i>Polytrichastrum alpinum</i> var. <i>septentrionale</i> (Sw. ex. Brid.) G.L.Sm. ¹⁴	Russia (Sakhalin) - 11 Sept 2009 Pisarenko op03179 (MHA)	KM381991

Taxon	Voucher	trnLF
<i>Polytrichastrum sphaerothecium</i> (Besch.) J.-P. Frahm ¹	CB97	FJ572435
<i>Polytrichastrum sphaerothecium</i> (Besch.) J.-P. Frahm ²	CB168	FJ572481
<i>Polytrichum brachymitrium</i> Müll.Hal.	Brazil (Minas Gerais) - Hyvönen 6230 (H)	AF545034
# <i>Polytrichum commune</i> Hedw. var. <i>commune</i> ¹	Holanda	e30233187_L087 3960
# <i>Polytrichum commune</i> Hedw. var. <i>commune</i> ²	Holanda	e4002185900_L0 874435
# <i>Polytrichum commune</i> var. <i>perigoniale</i> (Michx.) Hampe ¹	Holanda	e4002185921_L0 873958
# <i>Polytrichum commune</i> var. <i>perigoniale</i> (Michx.) Hampe ²	Holanda	e4002185957_L0 873957
<i>Polytrichum densifolium</i> Wilson ex Mitt.	Rússia (Moscow Province) - Fedosov 10-1-70, MW	KP342483
<i>Polytrichum ericoides</i> Hampe	Columbia - Sastre-De Jesús & Acosta 13325	GU569755
# <i>Polytrichum formosum</i> Hedw. ¹	Holanda	e25923806_L087 3972
# <i>Polytrichum formosum</i> Hedw. ²	Holanda	e4002186051_L0 873959
<i>Polytrichum hyperboreum</i> R.Br.	Finlândia - H: Bell 02.07.06 #2	GU569756
* <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Antártica (South Orkney Islands) - R.I.L. Smith 10768	Amostra 30
* <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Antártica (South Sandwich Islands) - P. Convey 28B	Amostra 38
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ¹	(Sem localidade) - Hyvoenen 6794	AF257784
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ²	Finlândia (Uusimaa) - Hyvönen 6193	AF545036
# <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ³	Holanda	e30104900_L087 2946
# <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁴	Holanda	e4002185917_L0 873968
# <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁵	Holanda	e4002185945_L0 873967
# <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁶	Holanda	e4002186083_L0 873969

Taxon	Voucher	trnLF
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁷	Finlândia - H: Bell 29.06.07 #1	GU569757
* <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. ⁸	Antártica (South Shetlands Islands) - P.P.U. Aquino 134	Amostra 37
* <i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Antártica (Península Antártica) - A. Batista sn°	Amostra 42
<i>Polytrichum longisetum</i> Sw. ex Brid. ¹	Rússia (Kamchatka) - 13.VIII.2005, Czernyadjeva 36, LE	KP342478
<i>Polytrichum longisetum</i> Sw. ex Brid. ²	Rússia (Khanty-Mansi District) - Surgut, 9.VIII.2000, Czernyadjeva & Kuzmina 73, LE	KP342471
<i>Polytrichum pallidisetum</i> Funck ¹	Rússia (Mari El) - 15.X.1999, Popov & Bogdanov s.n., LE	KP342468
<i>Polytrichum pallidisetum</i> Funck ²	Rússia (Bashkortostan) - 23.VII.1995, Solometch 4, LE	KP342469
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Antártica (South Shetlands Islands) - J. Bordin 2628	Amostra 07
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	Suécia (Södermanland) - Lars Hedenäs sn° (S-B184162)	Amostra 15
<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ¹	Finlândia (Uusimaa) - Hyvönen 6205 (H)	AF545037
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ²	USA (Califórnia) - J.R. Shevock 12899	Amostra 53
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ³	Antártica (South Shetlands Islands) - A.M. Carvalho 50	Amostra 26
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁴	Antártica (South Shetlands Islands) - P.P.U. Aquino 125	Amostra 27
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁵	Antártica (Antarctic Peninsula) - R.I.L. Smith 11944	Amostra 33
* <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. ⁶	USA (Nevada) - J.R. Shevock 26143	Amostra 52
* <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Antártica (South Shetlands Islands) - T.S. Dantas 351	Amostra 09
* <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Suécia (Lyckesle Lappmark) - Lars Hedenäs sn° (S-B195996)	Amostra 02
* <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	USA (Carolina do Norte) - L.E. Anderson 26,911	Amostra 11
* <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Antártica (South Georgia Islands) - S. Cable 299	Amostra 45
* <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Canadá (Avalon Península) - B. Allen 28595	Amostra 46
<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ¹	(Sem localidade) - Hyvoenen 6820	AF257782
# <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ²	Holanda	e25923805_L087 3962
# <i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ³	Holanda	e4002185908_LO 873964

Taxon	Voucher	trnLF
<i>#Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁴	Holanda	e4002185912_L0 873965
<i>#Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁵	Holanda	e4002185925_L0 873963
<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁶	Finlândia - H: Bell 30.06.06 #11	GU569758
<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁷	Chile - H: Bell 1775	GU569759
<i>*Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁸	Antártica - T.S. Dantas 151	Amostra 29
<i>*Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ⁹	Antártica - T.S. Dantas 172	Amostra 39
<i>*Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid. ¹⁰	Antártica - P. Convey 854	Amostra 43
<i>Polytrichum subpilosum</i> P.Beauv. ¹	Malawi (Mulanji) - Wigginton M1397a (H)	AF545038
<i>Polytrichum subpilosum</i> P.Beauv. ²	Reunion - H: Hedderson 16281	GU569760
<i>Psilopilum cavifolium</i> (Wilson) I. Hagen	Finland - H: Bell 05.07.06 #2	GU569761
<i>Psilopilum laevigatum</i> (Wahlenb.) Lindb.	Canadá (Ellesmere Island) - Hedderson 5938 (RNG)	AF545039