



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL - UFMS
Campus de CAMPO GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL
MESTRADO



VANESSA DE OLIVEIRA TORRES

**Variações morfológicas, químicas e genéticas de *Stereocaulon alpinum*
Laurer (*Stereocaulaceae*) e seus fotobiontes da região sul da América do
Sul e Antártica Marítima**

Campo Grande - MS
AGOSTO – 2021

VANESSA DE OLIVEIRA TORRES

Variações morfológicas, químicas e genéticas de *Stereocaulon alpinum* Laurer (*Stereocaulaceae*) e seus fotobiontes da região sul da América do Sul e Antártica Marítima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (PPGBV) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Dra. Aline Pedroso Lorenz

Campo Grande - MS
AGOSTO – 2021

Ficha Catalográfica

Torres, Vanessa Oliveira

Variações morfológicas, químicas e genéticas de *Stereocaulon alpinum* Laurer (*Stereocaulaceae*) e seus fotobiontes da região sul da América do Sul e Antártica Marítima. 64p.

Dissertação – Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

1. Fungos liquenizados, 2. Bipolar, 3. Abordagem integrativa 4. Fotobionte
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Instituto de Biociências

Comissão Julgadora

Prof.^a Dr.^a Gecele
Matos Paggi

Dr.^a Priscila C. da
Costa

Dr.
Wellington S. Fava

Prof. Dr. Marcos
Kitaura

Prof.^a Dr.^a Aline
Pedroso Lorenz
Orientadora

Agradecimentos

Queria agradecer à CAPES primeiramente, pelo apoio financeiro e por ter me dado essa oportunidade de fazer mestrado na área que eu gosto. Também ao MCTI e CNPq por terem financiado a PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro), sem eles eu não conseguiria as coletas da espécie estudada. À UFMS (Universidade Federal de Mato Grosso do Sul), pelo suporte nos laboratórios para atender a todas as minhas experiências durante o mestrado. Ao meu laboratório de coração, o LEBio (Laboratório de Ecologia e Biologia Evolutiva), que além de conter equipamentos de ótima funcionalização há pessoas incríveis que me fizeram ter um mestrado mais leve, cheio de ensinamentos e risadas entre um experimento e outro. Um agradecimento em especial para a minha orientadora Dra. Aline Pedroso Lorenz, que me acompanha desde a graduação, e anos e anos se passam e ela sempre tem algo novo a me ensinar. Sem ela indiscutivelmente, eu não teria conseguido chegar aqui. Aos meus colegas do LEBio, M.Sc. Mayara Zanella, a Bióloga Paola Gomes, ao Dr. Marcos Kitaura (que deixou saudade no LEBio), à Dra. Priscila Costa (bióloga feminista que admiro) e a nossa querida técnica Josiane Theodoro. Tenho algumas palavras especiais para: M.Sc Jean Torres pelo aprendizado no quesito taxonomia, no qual sempre me ajudou e se esteve presente ao longo do meu mestrado, retirando todas as dúvidas quando solicitadas, sendo um profissional excelente e companheiro de liquens, à M.Sc Andressa Rodrigues que além de companheira de profissão e de laboratório se mostrou ser muito mais que isso. Uma amiga que me ajudou muito a chegar onde estou e que a admiração por ela como cientista só aumenta! Obrigada Andressa, pelas risadas e ensinamentos, foram fundamentais esse ano. E ao Dr. Wellington Fava, que esteve do meu lado já em vários momentos, e além de amigo é um companheiro essencial dentro da academia. Ele já vem me acompanhando há anos, e sempre está disposto pra tudo que “der e vier”. Agora, a minha família! Aos meus pais, Marcos Garcia Torres e Claudia Helena de Oliveira, dedico este trabalho, pois nada faria sem a ajuda deles. Me apoiam em tudo que faço e me ajudam em tudo que podem. Aliás, obrigada mãe! Por ter criado filhas com o objetivo de estudarem e serem independentes... te devo o mundo. Às minhas irmãs, Rebecca de Oliveira Torres e Jéssica de Oliveira Torres, por terem morado comigo por oito anos e sentido todas as fases de uma mulher na pós graduação. Vocês são minha base! E é claro, a minha sobrinha, Fernanda Torres, que me orgulho muito e sempre irei incentivar em tudo que quiser ser.

SUMÁRIO

Resumo Geral.....	6
Abstract.....	7
Introdução geral	8
Objetivos.....	10
Referências.....	11
Artigo.....	14
1. Introdução	16
2. Material e métodos.....	18
3. Resultados.....	22
4. Discussão	28
5. Conclusão.....	31
Referências.....	31

Resumo Geral

Os líquens são resultantes da associação simbiótica entre fungos e fotobiontes (algas verdes e/ou cianobactérias), ocorrendo em habitats diversos e presentes também em ambientes extremos, estando entre os principais componentes da vegetação polares e alpinas. Dentre as 150 espécies bipolares conhecidas, *Stereocaulon alpinum*, é muito utilizada em estudos importantes para biotecnologia, como por exemplo em estudos de bioprospecção de compostos químicos por apresentar diversas propriedades bioativas, tais como antimicrobiano, antimitótico, citotóxico, enzimas inibitórias, toxicológicas e imunomoduladoras. A espécie foi inicialmente reportada como polifilética e não bipolar. Neste estudo utilizamos uma abordagem integrativa, incluindo dados morfológicos, anatômicos, químicos e genéticos de espécimes de *S. alpinum* coletados em ambos os hemisférios (norte e sul). Um total de 35 espécimes da espécie foram analisados e para as análises filogenéticas foram utilizadas sequências de DNA do micobionte (ITS e β -tubulina) e dos fotobiontes, alga verde (gene da actina) e cianobactérias (gene 16S), respectivamente. Dos espécimes analisados, geramos um total de 67 sequências. Sua morfologia possui discretas variações dentro da espécie na altura e disposição dos pseudopodécios, estágios-cor dos cefalódios, forma dos filocládios e espessura do tomento, porém nenhuma que diversifique geneticamente, sendo assim uma espécie com alta plasticidade fenotípica. Neste estudo a química de *S. alpinum*, comprovou-se ser diversa sem padrões filogenéticos e geográficos. Os fotobiontes (alga verde e cianobactéria) foram *Asterocholoris* sp. e *Nostoc* sp. respectivamente, reforçando a associação desses gêneros para a espécie *S. alpinum*. Diante disso, o estudo revelou que a espécie *S. alpinum* é uma espécie monofilética e bipolar.

Abstract

Lichens result from the symbiotic association between fungi and photobionts (green algae and/or cyanobacteria), occurring in diverse habitats, including extreme environments, potentiated among the main components of polar and alpine vegetation. *Stereocaulon alpinum* is widely used in biotechnological studies that bioprospect compounds, such as antimicrobial, antimitotic, cytotoxic, inhibitory, toxicological and immunomodulatory enzymes. The species was billed as polyphyletic and not bipolar. This study uses an integrative approach, including morphological, anatomical, chemical, and genetic data of *S. alpinum* specimens collected in both hemispheres (northern and southern). A total of 35 specimens of the species were fulfilled, and for the phylogenetic analyses, the DNA sequences of the mycobiont (ITS and β -tubulin) and photobionts, green algae (actin gene), and cyanobacteria (16S gene) were used, respectively. From the completed copies, we generated a total of 67 sequences. Its morphology has slight variations within the species in the height and disposition of pseudopods, color stages of cephalodia, the shape of phyllocladia, and thickness of tomentum, but none that genetically diversifies, making it a species with high phenotypic plasticity. In this study, the chemistry of *S. alpinum* proved to be diverse without phylogenetic and geographic patterns. The photobionts (green algae and cyanobacteria) were *Asterochloris* sp. and *Nostoc* sp. respectively, reinforcing the association of these genera with *S. alpinum*. Therefore, the study revealed that an *S. alpinum* type is a monophyletic and bipolar species.

Introdução Geral

Líquens

Um líquen é um ecossistema autossustentável formado pela interação de um fungo juntamente com um arranjo extracelular de um ou mais parceiros fotossintéticos e ainda um número indeterminado de outros organismos microscópicos (Hawksworth e Grube 2020). Nessa associação simbiótica, há os fotobiontes, nos quais são parceiros fotossintéticos, que consistem em uma alga verde e/ou cianobactéria (Lutzoni, 2009). Aproximadamente 100 espécies dentro de 40 gêneros dos fotobiontes (algas verdes e cianobactérias) foram relatadas para mais de 20.000 espécies de micobiontes (Kirk, Cannon, Minter, & Stalpers, 2008). Os gêneros mais comuns de fotobiontes em líquens são *Trebouxia* e *Trentepohlia* para Algas Verdes e *Nostoc* para cianobactéria (Lutzoni, 2009). Outro gênero de alga verde comum encontrado em líquens é o *Asterochloris*, porém ele é restrito a certos gêneros de líquens, sendo os melhores amostrados e estudados associados aos gêneros *Cladonia*, *Lepraria* e *Stereocaulon* (Kosecka et al. 2021). Os fotobiontes ficam protegidos da exposição excessiva à radiação solar, dessecação e alterações de temperatura, ao mesmo tempo que fornecem carboidratos e outros nutrientes para o micobionte (Honegger, 2012).

Líquén Bipolar

Os líquens são altamente diversos em habitats tropicais, dominam também paisagens em ambientes extremos, estando entre os principais componentes das vegetações polares e alpinas (Sipman e Aptroot 2001). Dentro dos que compõem as vegetações alpinas, temos os líquens bipolares, podendo ser conhecido por outros termos como anfitropical e antitropical, nome dado para as espécies distribuídas de forma disjunta em ambos os hemisférios e ocorrendo principalmente nos polos. As famílias Lecanoraceae, Verrucariaceae, e Cladoniaceae são as famílias com o maior número de espécies bipolares (Garrido-Benavent et al. 2017). Cerca de 150 espécies bipolares são conhecidas e estudadas além de *Stereocaulon alpinum*, como *Cetraria aculeata* (Mendoza et al, 2013), *Xanthoria elegans* (Murtagh et al. 2002).

Stereocaulaceae

Stereocaulaceae apresenta cerca de cinco gêneros e 250 espécies. A família já foi proposta como sinônimo de *Cladoniaceae*, a partir da abordagem filogenética temporal (Kraichak et al. 2018). Essa abordagem, consiste em encontrar objetivamente o ponto de corte temporal para classificações de mesmas categorias, preservando o status taxonômico da maioria dos taxa (Kraichak et al., 2017). Porém em 2019, Lücking descartou a proposta pois há conflitos nomenclaturais entre as mesmas, além de ter ficado fora da banda temporal delimitada na separação e ainda ter diferenças morfológicas (Lücking, 2019).

Stereocaulon Hoffm é o gênero mais diverso da família, representado por cerca de 140 spp (Lücking et al. 2017). É considerado um gênero cosmopolita (Park et al. 2018), no qual inclui um grande número de espécies morfológicamente variáveis o que podem explica antecipadamente os problemas de monofilia . Além disso, há variações mínimas entre as espécies tendo formas intermediárias existentes causando dificuldades com limites de espécies em muitos casos (Hognnaba ,2006).

Marcadores moleculares do micobionte e fotobionte

Duas regiões foram utilizadas para as análises do organismo micobionte, a técnica de *DNA Barcoding*, tendo como marcador universal de fungos, incluindo os liquenizados, a região dos espaçadores intergênicos ITS1 e ITS2, denominados de Espaçadores Internos Transcritos do DNA Ribossomal Nuclear (ITS) (Hebert et al. 2003; Schoch et al. 2012) e o loci *β -tubulina*. O *DNA barcoding*, consiste em uma sequência curta padronizada de DNA entre 400 e 800 bp de comprimento que, em teoria, pode ser facilmente isolada e caracterizada para todas as espécies em o planeta (Kress et al. 2012).

A região do espaçador transcrito interno (ITS) inclui duas regiões não codificantes variáveis que estão aninhados na repetição de rDNA entre a subunidade pequena altamente conservada (5.8S), e os genes de rRNA de subunidade grande. Há várias características que o tornam uma região-alvo conveniente para a identificação molecular de fungos, como por exemplo, nos fungos toda a região ITS está frequentemente entre 600 e 800 pb e pode ser facilmente amplificada com “primers universais” que são complementares as sequencias dentro dos genes de rRNA, o que o faz um bom *DNA barcoding* dos fungos (Gardes e Bruns 1993).

A *B-tubulina* utilizada também para o micobionte, é uma proteína que desde (1999) vem sendo estudada para resolver relações de ordem superior entre os fungos. A proteína *B-tubulina*, é uma proteína altamente conservada (Keeling e Doolittle 1996), porém as posições do terceiro códon e íntrons são variáveis e o gene também se mostrou útil no interespecífico e até mesmo no nível infraespecífico na taxonomia de fungos (Hognabba 2006, 2014).

Para algas verdes utilizamos o loci Actina tipo I para a análise dos dados. Esta região foi amplificada utilizando os primers ActinF2 Astero-5' e ActinR2 Astero-3' (Skaloud e Peksa 2010). A região 16S do DNA ribossomal foi amplificada para as cianobactérias, utilizando os primers fd1 e revAL (Weber e Kabsch 1994).

Por fim, líquens representa uma importância ecológica com o biomonitoramento da qualidade do ar devido a sua alta sensibilidade e rápida respostas a alterações ou mudanças climáticas (Nash 2008; Ellis 2019; Koch et al. 2016), além de ter diversas propriedades bioativas, tais como antimicrobiano, antimitótico, citotóxico, enzimas inibitórias, toxicológicas e imunomoduladoras (Kim et al. 2018), como o caso da espécie *Stereocaulon alpinum*. Estudos sugerem que a espécie não seja bipolar, de acordo com um artigo publicado em 2006 por Högnabba, no qual espécies do hemisfério sul e norte se encontraram em clados separados (Högnabba 2006).

Com isso, utilizaremos a abordagem integrativa, incluindo dados morfológicos, anatômicos, químicos e genéticos de espécimes de *Stereocaulon alpinum*, coletados na América do Sul e Antártica. Incluímos também no conjunto de dados um espécime coletado no hemisfério norte (Finlândia) para que as comparações da bipolaridade sejam confirmadas. Além disso, também geramos dados genéticos dos dois tipos de fotobiontes (algas verdes e cianobactérias) encontrados na espécie para verificar a identidade e variabilidade genética desses fotobiontes presentes nos espécimes estudados.

Objetivo Geral

Compreender a distribuição do fungo liquenizado *Stereocaulon alpinum* por meio de análises genéticas, morfológicas e químicas.

Objetivos específicos

- Confirmar, por meio de análises morfológicas e genéticas, quais são os principais fotobiontes associados a *S. alpinum*;
- Avaliar a distribuição da variabilidade genética das populações de *S. alpinum* no extremo sul da América do Sul e na Antártica marítima, contribuindo para o conhecimento das conexões florísticas entre estas duas áreas.

Referências

- Ellis CJ (2019) Climate change, bioclimatic models and the risk to lichen diversity. *Diversity* 11(4): 1–23.
- Fernández-Mendoza, Fernando, Christian P (2013) Pleistocene expansion of the bipolar lichen *Cetraria aculeata* into the Southern hemisphere. *Molecular Ecology* (22): 1961–1983.
- Gardes M, Bruns TD (1993) ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology* (2): 113–118.
- Garrido-Benavent I, Pérez-Ortega S, De los Ríos A (2017) From Alaska to Antarctica: species boundaries and genetic diversity of *Prasiola* (Trebouxioophyceae), a foliose chlorophyte associated with the bipolar lichen-forming fungus *Mastodia tessellata*. *Molecular Phylogenetics and Evolution* (107): 117–131.
- Hawksworth DL, Grube M (2020) Lichens redefined as complex ecosystems. *The New Phytologist* 227(5): 1–3.
- Hebert PD, Cywinska A, Ball SL, Dewaard JR (2003) Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London* 270(1512): 313–321.
- Högnabba F (2006) Molecular phylogeny of the genus *Stereocaulon* (Stereocaulaceae, lichenized ascomycetes). *Mycological Research* 110(9): 1080–1092.
- Högnabba F, Pino-Bodas R, Nordin A, Myllys L, Stenroos S (2014) Phylogenetic position of the crustose *Stereocaulon* species. *The Lichenologist* 46(1): 103–114.
- Kim TK, Kim JE, Youn UJ, Han SJ, Kim IC, Cho CG, Yim JH (2018) Total Syntheses of Lobaric Acid and Its Derivatives from the Antarctic Lichen *Stereocaulon alpinum*. *Journal of natural products* 81(6): 1460–1467.

- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA (2008) Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10th Edition, Wallingford, UK: CABI.
- Koch NM, Branquinho C, Matos P, Pinho P, Lucheta F, Martins SM, Vargas VM (2016) The application of lichens as ecological surrogates of air pollution in the subtropics: a case study in South Brazil. *Environmental Science and Pollution Research* 23(20): 20819–20834.
- Kosecka M, Guzow-Krzemińska B, Černajová I. *et al.* (2021) New lineages of photobionts in Bolivian lichens expand our knowledge on habitat preferences and distribution of *Asterochloris* algae. *Sci Rep* (11): 8701.
- Kraichak E, Huang JP, Nelsen M, Leavitt SD, Lumbsch HT (2018) A revised classification of orders and families in the two major subclasses of Lecanoromycetes (Ascomycota) based on a temporal approach. *Botanical Journal of the Linnean Society* 188(3): 233–249.
- Kress WJ, Erickson DL (eds) (2012) DNA barcodes: methods and proto-cols. *Methods in Molecular Biology*, 858, Springer, Berlin, Germany.
- Lücking R (2019) Stop the abuse of time! Strict temporal banding is not the future of rank-based classifications in fungi (including lichens) and other organisms. *Critical Reviews in Plant Sciences* 38(3): 199–253.
- Lücking R, Hodgkinson BP, Leavitt SD (2017) The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *The Bryologist* 119(4): 361–416.
- Lutzoni F, Miadlikowska J (2009) Lichens. *Current Biology* 19(13): R502–R503.
- Nash T (2008). Introduction. In: Nash T. *Lichen Biology*. 2. Ed. New York: Cambridge University Press. cap.01, p.01.
- Keeling PJ, Doolittle WF (1996) Alpha-tubulin from early-diverging eukaryotic lineages and the evolution of the tubulin family. *Molecular Biology and Evolution* 10(13): 297–1305.
- Park JS, Park CH, Park SY, Jayalal U, Hur JS (2018) Revision of the lichen genus *Stereocaulon* (Stereocaulaceae, Ascomycota) in South Korea. *Mycobiology* (46): 101–113.
- Schoch CL, Seifert KA, Huhndorf S, Robert V, Spouge JL, Levesque CA et al (2012) Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(16): 6241–6246.

- Sipman HJ, Aptroot A (2001) Where are the missing lichens? *Mycological Research* 105(12): 1433–1439.
- Skaloud P, Peksa O (2010) Evolutionary inferences based on ITS rDNA and actin sequences reveal extensive diversity of the common lichen alga *Asterochloris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 54(1): 36–46.
- Urtagh G, Dyer P, Furneaux P, Crittenden P (2002). Molecular and physiological diversity in the bipolar lichen-forming fungus *Xanthoria elegans*. *Mycological Research*, 106(11): 1277–1286.
- Weber K, Kabsch W (1994) Intron positions in actin genes seem unrelated to the secondary structure of the protein. *The EMBO Journal* 13(6): 1280–1286

292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328

Artigo a ser submetido na revista Polar Biology – Springer

Diretrizes de submissão: https://www.springer.com/journal/300/submission-guidelines#Instructions%20for%20Authors_Specific%20remarks%20Text%20Formatt
[ing](#)

ISSN: 0722-4060

Fator de impacto: 1.728 (2019)

Qualis (CAPES): A2

**Variações morfológicas, químicas e genéticas de *Stereocaulon alpinum* Laurer
(*Stereocaulaceae*) e seus fotobiontes da região sul da América do Sul e Antártica
Marítima**

Vanessa de Oliveira Torres¹, Jean Marc Torres², Aline Gianini³, Neli Kika Honda³, Adriano
Afonso Spielmann⁴ & Aline Pedroso Lorenz^{5*}

¹Estudante de Mestrado no curso de Biologia Vegetal, Instituto de Biociências, Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil; ²Estudante de Doutorado no curso de
Biotecnologia e Biodiversidade, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimento e Nutrição,
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil, ; ³Instituto de Química,
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil; ⁴Instituto de
Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil e ⁵Instituto
de Biologia Geral, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil.

*Autor correspondente: aline.lorenz@ufms.br

Resumo: Os líquens são um talo resultante da associação simbiótica entre fungos e
fotobiontes (algas verdes e/ou cianobactérias), ocorrendo em habitats diversos e presentes
também em ambientes extremos, estando entre os principais componentes da vegetação
polares e alpinas. Cerca de 150 espécies bipolares conhecidas, *Stereocaulon alpinum*, é muito
utilizada em estudos importantes para biotecnologia e foi inicialmente reportada como uma
espécie polifilética e não bipolar. Neste estudo utilizamos uma abordagem integrativa,
incluindo dados morfológicos, anatômicos, químicos e genéticos de espécimes de *S. alpinum*
coletados em ambos os hemisférios (norte e sul). Um total de 35 espécimes da espécie foram
analisados e para as análises filogenéticas foram utilizadas sequências de DNA do micobionte
(ITS e β -tubulina) e dos fotobiontes, alga verde (gene da actina) e cianobactérias (gene 16S),
respectivamente. Dos espécimes analisados, geramos um total de 67 sequências. Sua
morfologia possui variações dentro da espécie na altura e disposição dos pseudopodécios,
estágios-cor dos cefalódios, forma dos filocládios e espessura do tomento, porém nenhuma
que diversifique geneticamente, sendo assim uma espécie com alta plasticidade fenotípica.
Neste estudo a química de *S. alpinum*, comprovou-se ser diversa sem padrões filogenéticos e
geográficos. Os fotobiontes (alga verde e cianobactéria) foram *Asterocholoris* sp. e *Nostoc* sp.
respectivamente, reforçando a associação desses gêneros para a espécie *S. alpinum*. Diante
disso, o estudo revelou que a espécie *S. alpinum* é uma espécie monofilética e bipolar.

Palavras chaves: Bipolar, Filogenia, Fungos liquenizados, Simbiose e Taxonomia

1. Introdução

A associação simbiótica entre fungos e fotobiontes (algas verdes e/ou cianobactérias), além de outros microrganismos, formam estruturas conhecidas como líquens (Hawksworth e Grube 2020). E são utilizados em amplos estudos de biomonitoramento da qualidade do ar devido a sua alta sensibilidade e rápida respostas a alterações ou mudanças climáticas (Nash 2008; Ellis 2019; Koch et al. 2016). Os líquens são altamente diversos em habitats tropicais, dominam também paisagens em ambientes extremos, estando entre os principais componentes das vegetações polares e alpinas (Sipman e Aptroot 2001). Espécies que prosperam nestas regiões são submetidas a condições extremas de dessecação, temperatura e irradiação (Lutzoni e Miadlikowska 2009). Um grupo especialmente reconhecido dentro das espécies que vivem em regiões polares são os líquens bipolares. Estes são representados como espécies tendo distribuição geográfica em ambos os hemisférios de forma disjunta (Garrido-Benavent et al. 2017). A explicação nesse padrão de distribuição engloba três principais modelos para a evolução da bipolaridade dessas espécies: por vicariância, “stepping stone” ou “mountain hopping” e dispersão direta (Garrido-Benavent et al. 2017).

Entre ca. 150 espécies bipolares conhecidas, *Stereocaulon alpinum* Laurer é uma espécie muito utilizada em estudos de bioprospecção de compostos químicos por apresentar diversas propriedades bioativas, tais como antimicrobiano, antimitótico, citotóxico, enzimas inibitórias, toxicológicas e imunomoduladoras (Kim et al. 2018). A espécie tem distribuição nas regiões árticas e alpinas do Hemisfério Norte, além da Antártica (Coxson e Marsh 2001, Øvstedal e Smith 2001). Dados filogenéticos têm apontado a existência de duas linhagens distintas em *S. alpinum*, sendo um clado formado por sequências do hemisfério norte e outro do hemisfério sul, levantando a hipótese de que na verdade *S. alpinum* não seria uma espécie bipolar (Högnabba 2006).

Entre os fungos liquenizados, *Stereocaulaceae* não é considerada uma família com alta diversidade e é constituída de cinco gêneros e cerca de 250 espécies. *Stereocaulon* Hoffm. é o gênero mais diverso, com ca. 140 spp. (Lücking et al. 2017). A partir da abordagem filogenética temporal, *Stereocaulaceae* foi proposta como sinônimo de *Cladoniaceae* (Kraichak et al. 2018). Todavia, mesmo havendo a existência de características morfológica e ecológica compartilhadas entre as duas famílias, também existem conflitos nomenclaturais entre as mesmas, já que *Stereocaulaceae* foi proposta anteriormente a *Cladoniaceae*, além disso, pela separação dessas famílias ter ficado fora da banda temporal delimitada, a sugestão de manter

Stereocaulaceae e *Cladoniaceae* como famílias distintas foi proposta a ser mantida (Lücking 2019).

Os representantes de *Stereocaulaceae* são na grande maioria dos casos, caracterizados pela presença de talo dimórfico, cujo talo primário corresponde ao hábito de crescimento crostoso e o talo secundário, fruticoso (Högnabba 2006). Enquanto os demais hábitos encontrados na família são esquamuloso, crostoso e leprarioide (Lücking 2019). Em *Stereocaulon* com talos dimórficos são constituídos de grânulos basais ou espículas (filocládios) presentes no talo primário, sendo estes ligados ao substrato (Lamb 1951). Na maioria das espécies, o talo primário desaparece logo no início do desenvolvimento, originando a partir dele o talo secundário através do alongamento do tecido talino, formando o pseudopodécio, estrutura que sustenta filocládios, apotécios e na maioria das espécies cefalódios, cujas estruturas apresentam grande valor taxonômico para a distinção de espécies (Lamb 1951).

Em *Stereocaulon* dois tipos de fotobiontes são encontrados, sendo eles algas verdes (geralmente dos gêneros *Asterochloris* Tschermak-Woess e *Chloroidium* Nadson) e cianobactérias (normalmente *Nostoc* Vaucher ex Bornet & Flahault ou *Stigonema* C.Agardh ex Bornet & Flahault), os últimos sendo encontrados em estruturas do talo denominadas cefalódios (Huss-Danell 1979; Vančurová et al. 2018). Estudos recentes baseados na filogenia de cianobactérias associadas ao gênero *Stereocaulon* apontam que *Stigonema* apresenta baixa diversidade genética mesmo entre populações distantes geograficamente, sugerindo assim que exista uma alta dispersão do micobionte juntamente com a cianobactéria (Lavoie et al. 2020). Além dos cefalódios, *Stereocaulon alpinum* também apresenta pseudopodécios que geralmente contém um ramo principal distinto cinza, com tomento grosso cinza pálido (Øvstedal e Smith 2001). Curiosamente, nos espécimes de *Stereocaulon alpinum* que ocorrem na Antártica não há relato de desenvolvimento de apotécios. Porém fora da Antártica, na América do Norte, foi reportado apotécios desde 1858 (Fries 1858; Johnson 1938; Thomson 1984). Entre os diversos compostos químicos encontrados em *Stereocaulon*, para a espécie *S. alpinum* são descritos a presença de atranorina e ácido lobárico (Lindsay 1974) podendo, em alguns espécimes haver ausência de ácido lobárico (Øvstedal e Smith 2001). Devido à sua ampla distribuição geográfica, considera-se que esta espécie possua extensa amplitude ecológica (Colesie et al. 2018). Sendo essa distribuição do gênero explicada principalmente por condições climáticas, variáveis de habitat ou substrato e parceiros simbióticos (Vančurová et al. 2018).

A identificação de espécies de *Stereocaulon* não é uma tarefa fácil, pois a alta plasticidade fenotípica e adaptabilidade encontrada em algumas espécies do gênero causam frequentemente confusões taxonômicas, gerando por muitas vezes identificações errôneas

quando essas são feitas baseadas apenas em caracteres morfológicos (Ismed et al. 2018). Diante da dificuldade em identificar espécies com variações morfológicas e químicas intraespecíficas, técnicas de delimitações de espécies são fundamentais para estudos ecológicos e de conservação, avaliações de diversidade e identificação de fatores que impulsionam a diversificação (Lumbsch e Leavitt 2011). Nesse sentido, a abordagem integrativa, técnica amplamente utilizada em estudos com líquens para a identificação de espécies, utiliza diferentes conjuntos de dados, tais como morfológicos, químicos e genéticos para encontrar resultados mais robustos, e que reflitam de forma mais aproximada possível a história evolutiva dos organismos (Fujia et al. 2012; Alors et al. 2016). Baseado nessa abordagem integrativa, estudos para a identificação molecular das espécies de fungos liquenizados utilizam a técnica de *DNA Barcoding*, tendo como marcador universal de fungos, incluindo os liquenizados, a região dos espaçadores intergênicos ITS1 e ITS2, denominados de Espaçadores Internos Transcritos do DNA Ribossomal Nuclear (ITS) (Hebert et al. 2003; Schoch et al. 2012).

Portanto, tendo em vista que os líquens são componentes predominantes e importantes da flora no ecossistema terrestre da Antártica, nosso objetivo foi verificar se a espécie de *Stereocaulon alpinum* apresenta distribuição geográfica bipolar, buscando assim esclarecer os levantamentos apontados por Högnabba (2006) da existência de duas linhagens distintas da espécie. Assim, para o desenvolvimento das análises utilizaremos a abordagem integrativa, incluindo dados morfológicos, anatômicos, químicos e genéticos de espécimes de *Stereocaulon alpinum* coletados na região sul da América do Sul e Antártica. Incluímos também no conjunto de dados um espécime coletado no hemisfério norte (Finlândia) para que as comparações da bipolaridade sejam confirmadas. Além disso, também geramos dados genéticos dos dois tipos de fotobiontes (algas verdes e cianobactérias) encontrados na espécie para verificar a identidade e variabilidade genética desses fotobiontes presentes nos espécimes estudados.

2. Materiais e Métodos

Coleta das amostras

Os espécimes de *Stereocaulon alpinum* analisados no estudo foram coletados durante três expedições brasileiras (verões Antárticos entre 2014 e 2017) na Argentina (Parque Nacional Tierra del Fuego, projeto número 105-CPA-2016), Ilhas Shetland do Sul e Costa Danco na península Antártica. Todos os espécimes foram depositados no herbário CGMS da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Também analisamos o espécime coletado por Sparrius 9266 proveniente da Finlândia, no hemisfério norte. Mapas de distribuição foram

produzidos usando ArcGIS Software 10.1, detalhes das informações são fornecidos na Tabela 1.

Morfologia, anatomia e química

Um total de 35 espécimes de *Stereocaulon alpinum* foram analisados. Para a identificação em nível específico das amostras analisamos características morfológicas, de acordo com o protocolo de Lamb (1977), tais como: tipos de cefalódios, tipo de pseudopodécios e coloração dos mesmos, tipo de substrato (rocha, musgos e solo), forma de desenvolvimento (ereto, prostrado), coloração do tomento, presença ou ausência de sorédios e tipos/tamanhos dos esporos, utilizando para isso estereomicroscópio Olympus SZX7 e microscópio Olympus CX22LED, baseados nas bibliografias especializadas sobre o gênero (Lamb 1951, 1977, 1978).

Além disso, para o processo de identificação específica também realizamos *Spot tests*, utilizando hidróxido de potássio (teste K), hipoclorito de sódio (teste C) e parafenilenodiamina (teste P), seguindo as recomendações de Orange et al. (2010). O protocolo para a descrição da espécie foi baseado nas características morfológicas e químicas descritas por Lamb (1977). Já diferenças observadas entre os talos foram incluídas nas descrições, e as imagens foram capturadas com uma Canon EOS Rebel T3i acoplada a um estereomicroscópio Olympus SZX7 e um microscópio Olympus CX22LED. Os componentes químicos dos espécimes foram identificados através de Cromatografia em Camada Delgada (CCD) seguindo a metodologia de Orange et al. (2010), de microcristalização seguindo Honda & Vilegas (1998).

Extração de DNA, PCR e Sequenciamento

As extrações de DNA foram feitas a partir de 0.015–0.025 g do talo de cada espécime, utilizando o Wizard® Genomic DNA Purification Kit (Promega, Madison, USA), seguindo as recomendações do fabricante. As regiões gênicas e espaçadoras foram obtidas pelo processo de amplificação por reação em cadeia da polimerase (PCR). Utilizamos duas regiões para as análises do organismo micobionte: os espaçadores internos transcritos do DNA ribossomal nuclear (ITS) e o *loci* β -tubulina. A região ITS foi obtida utilizando os primers ITS1F (Gardes e Bruns 1993) e ITS4 (White et al. 1990); enquanto para o *loci* β -tubulina utilizamos os primers Bt3-LM e Bt10-LM (Myllys et al. 2001). Para algas verdes utilizamos o *loci* Actina tipo I para a análise dos dados. Esta região foi amplificada utilizando os primers ActinF2 Astero-5' e ActinR2 Astero-3' (Skaloud e Peksa 2010). A região 16S do DNA ribossomal foi amplificada para as cianobactérias, utilizando os primers fd1 e revAL (Weber e Kabsch 1994).

As reações para PCR da região ITS foram de 25 µL contendo: 5.0 µL de Buffer (Promega 5x), 0.5 µL de cada primer (2mM), 5.0 µL de dNTPs (2mM); 3.0 µL de MgCl₂ (25mM), 0.2 µL de Taq DNA polimerase (Promega 5U/ µL) e 2.0 µL de DNA gênomico. As condições de amplificação foram: desnaturação inicial a 94°C por 5 min; 30 ciclos de desnaturação a 95°C por 30 s, anelamento a 54,8°C por 30 s, extensão a 72°C por 1 min e extensão final a 72°C por 5 min. Já a reação de PCR para β-tubulina conteve 25 µL, utilizando para isso 10µL de GoTaq® Flexi DNA Polymerase (Promega), 2.0 µL de cada primer; 9.0 µL de H₂O ultrapura e 2 µL de DNA gênomico. As condições de amplificação foram: desnaturação inicial a 94°C por 5 min, seguidos de 30 ciclos de desnaturação a 94°C por 30 s, anelamento a 52°C por 30 s, extensão a 72°C por 1 min e extensão final a 72°C por 5 min.

Para a obtenção das regiões Actina tipo I de algas verdes e 16S rDNA de cianobactérias as reações de PCR contiveram 26 µL com: 0.8 µL H₂O ultrapura; 5.0 µL de Buffer (Promega 5X), 5.0 µL de cada primer (2mM), 5.0 µL de dNTPs (2 mM), 0.2 µL de Taq DNA polimerase (Promega 5 U/µL), 3.0 µL de MgCl₂ (25 mM) e 2 µL de DNA genômico. As condições de PCR para amplificação do *loci* Actina tipo I seguiram: desnaturação inicial a 94°C por 5 min, posteriormente 35 ciclos de desnaturação a 94°C por 1 min, anelamento a 50°C por 1 min, extensão a 72°C por 2 min e extensão final a 72°C por 10 min. Para a obtenção da região 16S as condições foram: desnaturação inicial a 95°C por 5 min, seguidos de 30 ciclos de desnaturação a 94°C por 30 s, anelamento a 58°C por 30 s, extensão a 72°C por 1 min e extensão final a 72°C por 10 min. Todos os processos de amplificações foram realizados no termociclador Veriti (Applied Biosystems).

Os produtos de PCR foram visualizados em gel de agarose 1% corados com GelRed®. A purificação dos produtos de PCR foi realizada com o Kit de purificação de produtos de PCR em coluna (Ludwig Biotecnologia), seguindo as recomendações do fabricante. O sequenciamento das amostras foi realizado pelo método de Sanger pela empresa Macrogen (Coréia do Sul).

Análises Filogenéticas

Para verificar a posição filogenética dos micobiontes e fotobiontes presentes nos espécimes morfolologicamente identificados como *S. alpinum*, as sequências produzidas foram comparadas com sequências obtidas no GenBank (Material Suplementar S1). Do micobionte, foram utilizadas 96 sequências de 44 espécies de *Stereocaulon*, representando os principais clados encontrados no gênero (Högnabba 2006, 2014; Park et al 2018). As análises foram feitas separadamente (ITS e β -tubulina) e com os marcadores concatenados. Sequências de *Cladonia rangiformis* e *C. ahtii* foram utilizadas como grupos externos. Para as análises das algas e cianobactérias foram utilizadas sequências geradas por estudos de fotobiontes de fungos liquenizados, incluindo de espécies de *Stereocaulon*, além de sequências que se mostraram geneticamente similares nas análises exploratórias com a ferramenta BLAST (Johnson et al. 2008). Informações sobre a fonte (líquen ou vida livre), voucher, origem geográfica e referências das sequências de algas e cianobactérias estão descritas na Tabela Suplementar S2 e S3.

A leitura das sequências obtidas e a construção dos alinhamentos foram feitas no programa Geneious v9.1.2 (Kearse et al. 2012). Para os alinhamentos, foi usado o *plugin* MAFFT v7.308 (Katoh et al. 2002) ajustado com o algoritmo G-INS-i, *scoring matrix* 1PAM/k=2, e os demais parâmetros ajustados como padrão. Devido ao grande número de *indels* (eventos de inserção/deleção) encontrados na região ITS, o programa Gblocks 0.97b (http://molevol.cmima.csic.es/castresana/Gblocks_server.html) foi utilizado para remover os sítios alinhados de maneira ambígua, ajustando-se os parâmetros menos restritivos (Talavera e Castresana 2007). Os modelos de substituição nucleotídica foram selecionados usando o *Bayesian Information Criterion* (BIC) com auxílio do programa jModelTest 2 (Darriba et al. 2012). Para a reconstrução das árvores filogenéticas, duas abordagens foram escolhidas: inferência bayesiana e máxima verossimilhança, ambas usando o portal CIPRES (Cyberinfrastructure for Phylogenetic Research; Miller et al. 2010). A análise bayesiana foi feita programa MrBayes 3.1.2 (Huelsenbeck e Ronquist 2001) usando o modelo GTR+I+G. A análise foi feita com duas corridas simultâneas independentes com quatro cadeias de Markov Monte Carlo (MCMC) que convergiram sobre dez milhões de gerações. Uma árvore foi amostrada a cada 10.000 gerações. A convergência foi confirmada através da inspeção da probabilidade *log* depois da corrida com auxílio do programa Tracer 1.7 (Rambaut et al. 2018). Como *burn-in*, foram descartadas 25% das primeiras árvores obtidas. As análises de máxima verossimilhança foram implementadas com o programa RAxML 8.2.12 (Stamatakis 2014),

assumindo o modelo GTRGAMMA e os demais parâmetros ajustados como padrão. Os valores de suporte foram estimados com 1000 pseudoreplicações de bootstrap. A visualização e a edição das árvores resultantes foram feitas no programa FigTree v1.4.4 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>). Foram considerados fortemente suportados os ramos com probabilidade posterior ≥ 0.95 na inferência bayesiana e bootstrap ≥ 75 na máxima verossimilhança.

Adicionalmente, para avaliar os padrões de variação intraespecífica, um alinhamento contendo apenas sequências de ITS dos espécimes morfológicamente identificados como *S. alpinum* foi utilizado para definir haplótipos com o programa DNASP 5.10.1 (Librado e Rozas 2009). Uma rede de haplótipos foi inferida com o programa Network 4.2.0.1 (www.fluxusengineering.com), pelo método de *median-joining* (Bandelt et al. 1999).

3. Resultados

Nos locais de estudos foram coletados 150 espécimes de *Stereocaulon*, sendo estes identificados previamente (em campo) como *Stereocaulon alpinum*. Posteriormente, em laboratório, esses espécimes foram triados e identificados baseados em características morfológicas e químicas, seguindo bibliografias especializadas (Lamb 1951, 1977, 1978). Após esta triagem, dos 150 espécimes identificados como *S. alpinum*, apenas 34 espécimes (ca. 22%) realmente corresponderam a espécie. Os demais 116 espécimes foram identificados como outras espécies do gênero, tais como *Stereocaulon glabrum* (Müll. Arg.) Vain. e *Stereocaulon tomentosum* Fr. Além disso, obtivemos um espécime fresco identificado como *S. alpinum* coletado na Finlândia (Sparrius 9266). Este espécime foi importante para a interpretação dos nossos resultados, uma vez que pode ser analisado tanto fenotipicamente como morfológicamente, sendo utilizado, portanto, como nossa referência para o hemisfério norte.

Dos 35 espécimes analisados morfológicamente, geramos um total de 67 sequências. Destas 52 sequências correspondem ao microbionte, sendo 34 sequências da região ITS e 17 do *loci* β -tubulina. Entre os fotobiontes, geramos cinco sequências do gene da actina tipo I de algas verdes e 10 sequências da região 16S de cianobactérias. Estas informações também estão detalhadas na Tabela 1.

Inferências filogenéticas

Geramos matrizes de sequências para a construção de árvores filogenéticas do micobionte e dos fotobiontes utilizando as abordagens de Máxima Verossimilhança (ML) e de Inferência Bayesiana (IB). As filogenias dos micobiontes foram construídas a partir de alinhamento de 115 sequências da região ITS (528 pb), do gene β -tubulina (697 pb), e com esses marcadores concatenados. As filogenias com os marcadores separados e concatenados, assim as construídas por diferentes métodos de análise (ML e IB) não apresentaram incongruências nos ramos fortemente suportados, portanto apenas a IB com as sequências concatenadas é apresentada na Figura 2. Os resultados mostraram que espécimes identificados com *S. alpinum* pertencem a duas linhagens distintas.

A análise das sequências do gene da actina I das algas verdes encontradas nos espécimes de *S. alpinum* indicaram que elas pertencem ao gênero *Asterochloris*. O alinhamento de 104 sequências, pertencentes a diferentes espécies e linhagens de *Asterochloris*, resultou em uma matriz de 706 nucleotídeos. As cinco sequências obtidas de espécimes de *S. alpinum* foram idênticas e agruparam com sequências de *Asterochloris* sp. de *Stereocaulon paschale* (L.) Hoffm. e *S. vesuvianum* Pers. (Figura 4). Esse grupo mostrou ser proximamente relacionado (grupo irmão) de *A. irregularis* (Hildreth & Ahmadjian) Skaloud & Peksa, presentes em espécimes de *Stereocaulon alpinum*, *S. botryosum* Ach., *S. pileatum* Ach., *S. vesuvianum*, além de *Cladonia mitis* Sandst. (Figura 4). As cinco sequências geradas de algas verdes foram obtidas de espécimes de *S. alpinum* coletados nas Ilhas Shetland do Sul (Ilha Elefante e Ilha Rei George) e Terra do Fogo (Argentina e Chile).

Para cianobactérias, 92 sequências da região 16S foram comparadas em uma matriz de dados com 738 pares de bases alinhados. Nossos dados mostraram que as cianobactérias associadas a *S. alpinum* pertencem ao gênero *Nostoc* (clado “*Nostoc* II” sensu O’Brien, J. Miadlikowska e F. Lutzoni. 2005) (Figura 3). Neste Clado “*Nostoc* II” há duas espécies do Gênero, sendo elas: *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet & Flahault e *Nostoc punctiforme* Hariot. A amostra do hemisfério norte estudada não foi utilizada nessa análise.

Considerando apenas 26 espécimes da linhagem bipolar de *S. alpinum*, detectamos oito haplótipos de ITS (micobionte) distribuídos entre as populações da Terra do Fogo e da Antártica marítima (Figura 1). O haplótipo H1 foi o mais amplamente distribuído e abundante, estando presente em oito populações. Os haplótipos menos frequentes foram H3, H4, H5 e H6,

ocorrendo apenas em um espécime cada. Os haplótipos H3 e H4 mostraram ser exclusivos da região da Terra do Fogo na Argentina, enquanto H5, H6, H7 e H9 foram encontrados apenas na Antártica. Sendo H5 encontrado na Ilha Rei George, H6 na Ilha Greenwich, H7 nas Ilhas Greenwich, Ilha Nelson e Costa Danco. Já o H9 é exclusivo da Península Antártica, ocorrendo em Costa Danco (Figura 1).

Análises químicas

Identificamos através de Cromatografia em Camada Delgada (CCD) os compostos químicos de 15 espécimes de *Stereocaulon alpinum* coletados no hemisfério sul. Todos os espécimes apresentam atranorina e ácido lobárico como principais componentes químicos. Entretanto, alguns compostos (traços ou não) estão presentes em determinados espécimes e ausentes em outros. Dentro do conjunto de dados analisado separamos os espécimes em três principais grupos químicos (G1, G2 e G3), como detalhado na Tabela 2. Muitos desses compostos encontrados ainda estão em fase de estudo, pois não foram encontrados na bibliografia ou seu perfil químico é muito semelhante a outros compostos.

Já através dos Spot tests, obtivemos para a espécie: filocládio K⁺ amarelo, C⁻, KC⁻, PD⁺ amarelo enxofre, UV⁺ branco. Atranorina e ácido lobárico (maior), com três isômeros não identificados (depsidona) com estrutura muito próxima ao ácido lobárico (-H₂). Três substâncias com FR menor que o ácido lobárico, provavelmente lobarina, oxisifulina, ácido colensóico ou ácido picroliquênico. Às vezes, também ácido bourgeânico.

Tabela 2. Descrição dos compostos químicos encontrados nos espécimes de *Stereocaulon alpinum*.

Grupo	Composição química
G1	Atranorina e ácido lobárico. Três Isômeros (depsidonas) 634 estruturas muito próxima ao ácido lobárico (-H2). Três substâncias de Rf menor que o ácido lobárico (provavelmente lobarina, 635 oxisifulina, ácido colensóico ou picrolíquênico).
G2	Atranorina e ácido lobárico. Três Isômeros (depsidonas) 636 estruturas muito próxima ao ácido lobárico (-H2). Bis- antraquinona de estrutura não definida. Três substâncias de Rf 637 menor que o ácido lobárico (provavelmente lobarina, oxisifulina, ácido colensóico ou picrolíquênico) e uma substância não 638 identificada.
G3	Atranorina e ácido lobárico. Três Isômeros (depsidonas) 639 estruturas muito próxima ao ácido lobárico (-H2). Ac. bourgeânico, oxisifulina, lobarina ou traços das mesmas. 640

643 **Taxonomia**

644 ***Stereocaulon alpinum*** Laurer in Funck, Cryptogamische Gewachse des Fichtelgebirg's. Heft
645 33: 6 (1827). FIGS. 5a-l

646 Type: Austria. Alps of Tirol and Karnten, "besonders schon am Pasterzen Gletscher, 1827,
647 s.coll. (holótipo desconhecido; isotipos LE, FH - Funck, Crypt. Gew. Bes. Fichtelgeb. Ed. II, n.
648 684, fide Lamb 1977).

649 **Synonym:** $\equiv$ *Stereocaulon tomentosum* var. *alpinum* (Laurer) Th. Fr., De Stereoc. et Pilophor.
650 Comment.: 30 (1857). $\equiv$ *Stereocaulon tomentosum* subsp. *alpinum* (Laurer) Th. Fr., Monogr.
651 Stereoc. et Pilophor.: 357 (1858). $\equiv$ *Stereocaulon paschale* f. *alpinum* (Laurer) Mudd, Manual
652 Brit. Lich.: 66 (1861). $\equiv$ *Stereocaulon paschale* var. *alpinum* (Laurer) Du Rietz, Svensk Bot.
653 Tidskr. 20: 96 (1926).

654 *Talo* saxícola, terrícola ou muscícola. Talo primário evanescente. Talo secundário formado por
655 *pseudopodécios* decumbentes a eretos ou eretos, levemente dorsiventrais, firmemente aderidos
656 ao substrato quando saxícolas ou frouxamente aderidos ao substrato quando muscícolas, *ramos*
657 *teretes* a levemente achatados, dicotomicamente anisotômicos a irregularmente ramificados,
658 decorticados, creme ao longo e nos ápices, marrom pálido na base, sem ou com poucos ramos,
659 1,5–5,0 cm de altura, 0,5–1,0 (–1,2) mm de diâmetro. *Tomento* frequente a abundante ao longo
660 do pseudopodécio e na parte inferior dos filocládios, esbranquiçado a rosado, às vezes marrom
661 claro na parte basal do pseudopodécio. *Filocládios* verruciformes a ligeiramente
662 esquamuliformes ou distintamente esquamuliformes e ramificados, crenados, esbranquiçados a
663 creme, 0,5–1,0 mm de diâmetro, confluentes ou sobrepostos, frequentes a abundantes nos
664 ápices, principalmente aglomerados no topo do pseudopodécio, poucos ao longo e na base dos
665 pseudopodécios. *Sorais* ausentes. *Apotécios* biatorinos, raros, terminais, planos e com margens
666 finas quando imaturos, sem margem, ondulados e convexos quando maduros, disco marrom a
667 marrom escuro, 1,5–3,5 mm de diâmetro, anfitécio creme esbranquiçado, tomentoso.
668 *Cefalódios* esféricos, comumente esverdeados e cobertos por tomento, às vezes amarronzados
669 e fissurados, 0,1–0,4 mm de diâmetro, frequentes a abundantes, localizados principalmente na
670 parte inferior dos filocládios, às vezes sobre os ramos, frequentes a abundantes, contendo
671 *Nostoc* em filamentos. *Picnídio* ausente.

672 **Anatomia:** *Pseudopodécio* formado por hifas paquidermatosas, incolores no centro, 3–4 μ m de
673 diâmetro, amareladas nas camadas mais externas, 4–7 μ m de diâmetro. *Tomento* formado por
674 hifas ramificadas dicotomicamente anisotômicas a irregularmente de 4–7 μ m de espessura.
675 *Filocládios* com córtex prosoplectenquimático, 20–25 μ m de altura, camada de algas 50–60 μ m
676 de altura, camada medular 170–200 μ m de altura, hifas 5–7 μ m de espessura. *Apotécios* com
677 hipotécio e excípulo próprio indiferenciados, incolor, 40–50 μ m de altura, himênio incolor a

amarelado, 45–55 µm de altura, paráfises com ápices capitados e amarronzados, *ascos* clavados, 25–45 × 5–10 µm, com 8 ascósporos, *ascósporos* com 3 septos transversais, 20–27 × 3 µm, incolores. *Cefalódios* com parede indiferenciada de 10–20 µm de altura, formados por hifas amarronzadas de 4–5 µm de espessura. Filamentos de *Nostoc* embutidos em cápsulas rodeadas por hifas entrelaçadas. *Conídio* não visto.

Observações: Os espécimes analisados neste estudo mostram que *S. alpinum* é consistente em suas características morfológicas diagnósticas. Esta espécie é caracterizada pelo pseudopodécio coberto por tomento rosado (Fig. 5j), filocládios verruciformes a esquamuliformes, esbranquiçados a creme, crenados, geralmente aglomerado no topo do pseudopodécio, a presença de atranorina e ácido lobárico, e pelo cefalódio esférico contendo *Nostoc* em filamentos (Fig. 5i).

Porém, em outras características morfológicas como altura e disposição dos pseudopodécios, estágios-cor dos cefalódios, forma dos filocládios e espessura do tomento, esta espécie apresenta algumas variações. Os pseudopodécios diferem entre 1,5 e 5,0 cm de altura, podem crescer decumbentes (Fig. 5a) nas partes proximais do talo e eretos nas partes centrais, ou eretos (Fig. 5b) em todas as partes do talo.

Tradicionalmente, talos com pseudopodécios eretos e maiores que 5,0 cm altura correspondem a *S. alpinum* var. *erecta* Frey, enquanto talos com pseudopodécios decumbentes nas partes proximais e menores que 5,0 cm de altura, correspondem a *S. alpinum* var. *alpinum* Laurer (Lamb 1977, 1978; Oset 2014), neste estudo encontramos e analisamos essas duas variedades morfológicas.

No espécime L.B. Sparrius 9266 da Finlândia, os filocládios são distintamente granulares coralóides, ramificados e sobrepostos (Fig. 5e), e o tomento é denso ao longo do talo e nos cefalódios (Fig. 5k), enquanto nos espécimes do Parque Nacional Tierra del Fuego e da Antártica os filocládios são verruciformes (Fig. 5c) a ligeiramente esquamuliformes, confluentes e não ramificados (Fig. 5d), e o tomento é mais fino ao longo do talo e nos cefalódios (Fig. 5f).

Os cefalódios geralmente encontrados são esverdeados e cobertos por tomento esbranquiçado a rosado (Fig. 5f), mas às vezes também são encontrados cefalódios amarronzados, fissurados e sem tomento (Fig. 5g), os cefalódios esverdeados correspondem a estágios jovens de desenvolvimento em que muitas colônias de cianobactérias estão presentes (Fig. 5h) e dão a aparência de cor esverdeada, enquanto que os cefalódios amarronzados

correspondem a estágios mais antigos de desenvolvimento em que as colônias de cianobactérias estão se deteriorando e morrendo, gerando a perda da cor esverdeada. Como essa variação está relacionada aos estágios de desenvolvimento, é possível encontrar talos apenas com cefalódios esverdeados, talos apenas com cefalódios amarronzados ou talos com ambos os estágios de desenvolvimento.

4. Discussão

Em estudo anterior da filogenia do gênero *Stereocaulon*, com os marcadores moleculares ITS e β -tubulina, Högnabba (2006) relevou através de dados filogenéticos a existência de duas linhagens distintas em *S. alpinum*, sendo um clado formado por sequências do hemisfério norte e outro do hemisfério sul, levantando a hipótese de que na verdade *S. alpinum* não seria uma espécie bipolar. Entretanto, os resultados do presente estudo mostraram que os espécimes de *S. alpinum* coletados na Argentina, Chile, Antártica, e Finlândia, bem como outras sequências do GenBank (Argentina), foram recuperadas como monofiléticas (Clado II) e distintas das sequências provenientes da Áustria e da Itália (Clado I) (Figura 2). A partir disso, foi possível reconhecer que os espécimes de *S. alpinum* do Clado II pertencem a mesma espécie, confirmando assim que *S. alpinum* é uma espécie bipolar, com distribuição nos Hemisférios Norte e Sul.

Embora as sequências do GenBank oriundas da Áustria e da Itália estejam identificadas como *S. alpinum*, é provável que pertençam a outra espécie do gênero, geneticamente distinta, mas semelhante morfológicamente. Isso porque as comparações morfológicas e químicas com o tipo da espécie indicaram que são a mesma. Porém, a localização geográfica do tipo e da descrição é muito reduzida e permite pouca comparação.

A partir do padrão de compartilhamento de haplótipos verificamos que espécimes de *Stereocaulon alpinum* entre os dois continentes, há o compartilhamento de dois haplótipos (H1 e H8), sendo o H1 possivelmente o haplótipo ancestral que ocorre em quase todas as populações com exceção de duas áreas da Antártica (Figura 1). Uma possível explicação para esse padrão de distribuição geográfica dentro e entre as populações de *Stereocaulon alpinum* é que possivelmente houve um evento de dispersão seguido de diversificação. Uma hipótese para a origem de *S. alpinum* que parece provável é a distribuição geográfica que pelo estudo pode não ser tão ampla assim. Três hipóteses seriam prováveis para isso: pelo fato do gênero apresentar muita variação morfológica intraespecífica; pela descrição ser muito incompleta, sendo fácil de enquadrar espécies em *S. alpinum*; ou também por ter várias espécies realmente crípticas que não foram descobertas ainda.

A identificação de espécies de *Stereocaulon* não é uma tarefa fácil, devido à alta plasticidade fenotípica encontrada em algumas espécies do gênero, causando assim frequente confusões taxonômicas (Ismed et al. 2018). Diante dos espécimes analisados nesse estudo (Tabela 1), *S. alpinum* é consistente em suas características morfológicas diagnósticas. Esta espécie é caracterizada pelo pseudopodécio coberto por tomento rosado, os filocládios verruciformes esquamuliformes, esbranquiçados a creme, crenados, geralmente aglomerados no topo do pseudopodécio e pelo cefalódio esférico contendo *Nostoc* em filamentos. Contudo, outras características morfológicas como altura, disposição do pseudopodécio, estágios e cor dos cefalódios e forma dos filocládios, *S. alpinum* apresenta algumas variações. Os pseudopodécios diferem até 4,5 cm de altura, podendo crescer decumbentes e eretos dependendo de sua localização. Os talos de *S. alpinum* var. *erecta* e *S. alpinum* var. *alpinum*, se diferenciam tradicionalmente pelo pseudopodécio. Se os pseudopodécios crescerem eretos e forem maiores que 5 cm correspondem a *S. alpinum* var. *erecta*, se crescerem decumbentes a eretos e forem menores que 5 cm de altura, correspondem a *S. alpinum* var. *alpinum* (Lamb 1977, 1978; Oset 2014). Os cefalódios geralmente encontrados são esverdeados e amarronzados, sendo os esverdeados correspondendo a estágios jovens de desenvolvimento, enquanto que os cefalódios amarronzados correspondem a estágios mais antigos de desenvolvimento. Como essa variação está relacionada aos estados de desenvolvimento, é possível encontrar talos com cefalódios em todos os estados de desenvolvimento. Além dessas variações morfológicas da espécie, foram encontradas no espécime Sparrius 9266 procedente da Finlândia, discretas variações morfológicas em relação aos espécimes do Hemisfério Sul. Em Sparrius 9266, os filocládios são distintamente esquamiformes, ramificados e sobrepostos, e o tomento é denso sobre os cefalódios; enquanto que nos espécimes da Tierra del Fuego e Antarctica, os filocládios variam de verruciformes a levemente esquamiformes, não se ramificam, são confluentes, e o tomento é menos denso sobre os cefalódios. Além da morfologia, identificamos os principais compostos químicos dos espécimes de *S. alpinum*, encontrando principalmente a presença de ácido lobárico e atranorina como já descritos para a espécie (Lindsay 1974). Estudos posteriores com o gênero apontaram a existência de diversos compostos químicos, corroborando que *S. alpinum* possui atranorina e ácido lobárico como química principal, mas acrescentando que em alguns espécimes pode haver a ausência do ácido lobárico (Øvstedal e Smith 2001).

Em nosso conjunto de dados, identificamos os compostos químicos de 15 espécimes de *Stereocaulon alpinum* coletados no Hemisfério Sul (Figura 2). A química da espécie demonstrou ser diversa, contendo nos espécimes compostos como: atranorina, ácido lobárico,

três isômeros (depsidonas) com estruturas muito próxima ao ácido lobárico (-H₂), três substâncias de R_f menor que o ácido lobárico (provavelmente lobarina, oxisifulina, ácido colensóico ou picroliquênico), além de Bis-antraquinona de estrutura não definida e ácido bourgeânico. Houve variação infra-específica, com alguns compostos (traços ou não) estão presentes em determinados espécimes e ausentes em outros. Assim separamos os espécimes em três grupos químicos principais (G1, G2 e G3), como detalhado na Tabela 2. A principal diferença encontrada foi a presença de bis-antraquinona no espécime (APL765) coletado na Ilha Nelson (Antártica), e a presença de ácido bourgeânico nos espécimes do Grupo 3 (MCScur206, MCScur750, MCScur193 e MCScur843) coletados na Antártica (Figura 2). A maioria dos espécimes pertencem ao Grupo 1, o qual não apresenta esses componentes (bis-antraquinona ou ácido bourgeânico). No entanto, essas diferenças químicas não apresentaram um padrão de distribuição geográfica, nem tiveram suporte nas análises filogenéticas do micobionte (Figura 2).

No gênero *Stereocaulon* dois tipos de fotobiontes são encontrados, sendo eles algas verdes (geralmente dos gêneros *Asterochloris* e *Chloroidium*) e cianobactérias (normalmente *Nostoc* ou *Stigonema*) (Huss-Danell 1979; Vančurová et al. 2018). Nos espécimes de *S. alpinum* analisados neste estudo, detectamos uma linhagem de *Asterochloris* que já havia sido encontrada em *S. paschale* e *S. vesuvianum* (Figura 4). Esta linhagem, identificada aqui como *Asterochloris* sp., é proximamente relacionada a *A. irregularis*, uma espécie já relatada como simbionte de diferentes espécies de *Stereocaulon* e *Cladonia*.

Entretanto, as cianobactérias de *S. alpinum* da Antártica revelaram ser do gênero *Nostoc* (Clado II sensu O'Brien, J. Miadlikowska e F. Lutzoni. 2005), diferindo de outras cianobactérias associadas ao gênero *Stereocaulon*, como por exemplo, *Stigonema* (Lavoie et al. 2020). Uma única sequência, de um espécime coletado na Ilha Rei George (MCS193), não agrupou com as outras sequências geradas de *Nostoc* de *Stereocaulon alpinum*, ficando mais próxima de sequências de *Nostoc* de *Nephroma expallidum* (Nyl.) Nyl., *N. arcticum* (L.) Torss. e *Protopannaria pezizoides* (Weber) P.M. Jørg. & S. Ekman.

Diante disso, a espécie *S. alpinum* é uma espécie monofilética e bipolar (ocorrendo no hemisfério sul e hemisfério norte). Sua morfologia possui variações entre os espécimes, especialmente em caracteres como altura e disposição dos pseudopodécios, estágios-cor dos cefalódios, forma dos filocládios e espessura do tomento, sendo assim uma espécie com alta plasticidade fenotípica. A química de *S. alpinum* é diversa e sem padrões filogenéticos e geográficos. Os fotobiontes (algas verdes e cianobactérias) dos espécimes do sul foram *Asterochloris* e *Nostoc* respectivamente, ambos de linhagens simbióticas já conhecidas em

outros fungos liquenizados. Sendo uma linhagem de alga verde e três linhagens de *Nostoc*. Também sugerimos revisar sequencias oriundas do Genbank em geral do hemisfério norte, uma vez que aparentemente tem duas espécies diferentes na Europa.

5. Conclusão

E por fim, com nossos dados, concluimos que *Stereocaulon alpinum* tem distribuição geográfica restrita para regiões polares ou áreas próximas. Divergindo de estudos anteriores no qual apontavam que *S. alpinum* era cosmopolita (Oset 2004; Lamb 1977; Thomson 1984). As sequencias do clado não bipolar (Figura 2) provenientes da Itália (AT1036) e da Áustria (AT1194) pertencem a uma espécie provavelmente restrita a essa região da Europa. Porém, para termos certeza sobre a distribuição geográfica precisaríamos ter dados moleculares dessas regiões.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado por Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES): Bolsa de mestrado da PG, Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal, UFMS, Brasil.

Referências

- Alors D, Lumbsch HT, Divakar PK, Leavitt SD, Crespo A (2016) An integrative approach for understanding diversity in the *Punctelia rudecta* species complex (Parmeliaceae, Ascomycota). PLoS One 11(2): e0146537
- Bandelt HJ, Forster P, Röhl A (1999) Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. Molecular Biology and Evolution (1): 37-48
- Brien OHE, Miadlikowska J, Lutzoni F (2005) Assessing host specialization in symbiotic cyanobacteria associated with four closely related species of the lichen fungus *Peltigera*. European Journal of Phycology (40): 363–378.
- Colesie C, Büdel B, Hurry V, Green TGA (2018) Can Antarctic lichens acclimatize to changes in temperature? Global change biology 24(3): 1123–1135

- 839 Coxson DS, Marsh J (2001) Lichen chronosequences (postfire and postharvest) in lodgepole
840 pine (*Pinus contorta*) forests of northern interior British Columbia. Canadian Journal of Botany
841 79(12): 1449–1464
- 842 Darriba D, Taboada GL, Doallo R, Posada D (2012) jModelTest 2: more models, new heuristics
843 and parallel computing. Nature Methods (9): 772
- 844 Ellis CJ (2019) Climate change, bioclimatic models and the risk to lichen diversity. Diversity
845 11(4): 1–23
- 846 Fujita MK, Leaché AD, Burbrink FT, McGuire JA, Moritz C (2012) Coalescent-based species
847 delimitation in an integrative taxonomy. Trends in ecology & evolution 27(9): 480–488
- 848 Fries TM (1858) Monographia Stereocaulorum et Pilophororum. Acta Regiae Soc Sci Upsal
849 Ser 3 2(1): 307–380.
- 850 Gardes M, Bruns TD (1993) ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-
851 application to the identification of mycorrhizae and rusts. Molecular Ecology (2): 113–118
- 852 Garrido-Benavent I, Pérez-Ortega S, De los Ríos A (2017) From Alaska to Antarctica: species
853 boundaries and genetic diversity of *Prasiola* (Trebouxiophyceae), a foliose chlorophyte
854 associated with the bipolar lichen-forming fungus *Mastodia tessellata*. Molecular
855 Phylogenetics and Evolution (107): 117–131
- 856 Hawksworth DL, Grube M (2020) Lichens redefined as complex ecosystems. The New
857 Phytologist 227(5): 1–3
- 858 Hebert PD, Cywinska A, Ball SL, Dewaard JR (2003) Biological identifications through DNA
859 barcodes. Proceedings of the Royal Society of London 270(1512): 313–321
- 860 Högnabba F (2006) Molecular phylogeny of the genus *Stereocaulon* (Stereocaulaceae,
861 lichenized ascomycetes). Mycological Research 110(9): 1080–1092
- 862 Högnabba F, Pino-Bodas R, Nordin A, Myllys L, Stenroos S (2014) Phylogenetic position of
863 the crustose *Stereocaulon* species. The Lichenologist 46(1): 103–114
- 864 Honda NK, Vilegas W (1998) A química dos liquens. Química Nova 22(1): 110–125
- 865 Huelsenbeck JP, Ronquist F (2001). MRBAYES: Bayesian inference of phylogeny.
866 Bioinformatics 17.8, 754–755.

- 867 Huss-Danell K (1979) The cephalodia and their nitrogenase activity in the lichen *Stereocaulon*
868 *paschale*. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie 95(5): 431–440.
- 869 Ismed F, Lohézic-Le Dévéhat F, Guiller A, Corlay N, Bakhtiar A, Boustie J (2018)
870 Phytochemical review of the lichen genus *Stereocaulon* (Fam. Stereocaulaceae) and related
871 pharmacological activities highlighted by a focus on nine species. Phytochemistry Reviews
872 17(5): 1165–1178.
- 873 Johnson GT (1938) The taxonomic importance and phylogenetic significance of the cephalodia
874 of *Stereocaulon*. Ann Mo Bot Gard (3): 729.
- 875 Katoh K, et al. (2002) MAFFT: a novel method for rapid multiple sequence alignment based
876 on fast Fourier transform. Nucleic Acids Research (30): 3059–3066.
- 877 Kearse M, Moir R, Wilson A, Stones-Havas S, Cheung M, Sturrock S, Buxton S, Cooper A,
878 Markowitz S, Duran C, Thierer T, Ashton B, Meintje P, Drummond A (2012). Geneious Basic:
879 an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of
880 sequence data. Bioinformatics, 28(12): 1647–1649.
- 881 Kim TK, Kim JE, Youn UJ, Han SJ, Kim IC, Cho CG, Yim JH (2018) Total Syntheses of
882 Lobaric Acid and Its Derivatives from the Antarctic Lichen *Stereocaulon alpinum*. Journal of
883 natural products 81(6): 1460–1467.
- 884 Koch NM, Branquinho C, Matos P, Pinho P, Lucheta F, Martins SM, Vargas VM (2016) The
885 application of lichens as ecological surrogates of air pollution in the subtropics: a case study in
886 South Brazil. Environmental Science and Pollution Research 23(20): 20819–20834.
- 887 Kraichak E, Huang JP, Nelsen M, Leavitt SD, Lumbsch HT (2018) A revised classification of
888 orders and families in the two major subclasses of Lecanoromycetes (Ascomycota) based on a
889 temporal approach. Botanical Journal of the Linnean Society 188(3): 233–249.
- 890 Lamb IM (1951) On the morphology, phylogeny, and taxonomy of the lichen genus
891 *Stereocaulon*. Canadian Journal of Botany 29(5): 522–584.
- 892 Lamb IM (1977) A conspectus of the lichen genus *Stereocaulon* (Schreb.) Hoffm. Journal of
893 the Hattori botanical laboratory (43): 191–355.
- 894 Lamb IM (1978) Keys to the species of the lichen genus *Stereocaulon* (Schreb.) Hoffm. Journal
895 of the Hattori Botanical Laboratory (44): 209–250.

- 896 Lavoie C, Renaudin M, McMullin RT, Gagnon J et al (2020) Extremely low genetic diversity
897 of *Stigonema* associated with *Stereocaulon* in eastern Canada. *The Bryologist* 123(2): 188–203.
- 898 Librado PJR, Rozas J (2009) DnaSP v5: A Software for Comprehensive Analysis of DNA
899 Polymorphism Data. *Bioinformatics* (11): 1451–1452.
- 900 Lindsay DC (1974). The macrolichens of South Georgia. *British Antarctic Survey* (89)
- 901 Lücking R (2019) Stop the abuse of time! Strict temporal banding is not the future of rank-
902 based classifications in fungi (including lichens) and other organisms. *Critical Reviews in Plant*
903 *Sciences* 38(3): 199–253.
- 904 Lücking R, Hodkinson BP, Leavitt SD (2017) The 2016 classification of lichenized fungi in the
905 Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *The Bryologist* 119(4):
906 361–416.
- 907 Lumbsch HT, Leavitt SD (2011) Goodbye morphology? A paradigm shift in the delimitation
908 of species in lichenized fungi. *Fungal Diversity* (50):59–72.
- 909 Lutzoni F, Miadlikowska J (2009) Lichens. *Current Biology* 19(13): R502–R503.
- 910 Miller MA, Schwartz T (2010) Creating the CIPRES Science Gateway for Inference of Large
911 Phylogenetic Trees. *Gateway Computing Environments Workshop (GCE)*, New Orleans, LA,
912 2010, pp. 1-8.
- 913 Myllys L, Lohtander K, Tehler A (2001) β -tubulin, ITS and group I intron sequences challenge
914 the species pair concept in *Physcia aipolia* and *P. caesia*. *Mycologia* 93(2): 335–343.
- 915 Nash T (2008). Introduction. In: Nash T. *Lichen Biology*. 2. Ed. New York: Cambridge
916 University Press. cap.01, p.01.
- 917 Orange A, James PW, White FJ. 2010. Microchemical methods for the identification of lichens.
918 *British Lichen Society* (2): 102.
- 919 Oset M (2015). The lichen genus *Stereocaulon* (Schreb.) Hoffm. in Poland—a taxonomic and
920 ecological study. *Monographiae Botanicae* (104): 1–81.
- 921 Øvstedal DO, Smith RI (2001) Lichens of Antarctica and South Georgia. A Guide to their
922 Identification and Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 411pp

923 Pennisi E (2016) A lichen ménage à trois. *Science* 353 (6297): 337.

924 Rambaut A, Drummond AJ (2018) Posterior Summarization in Bayesian Phylogenetics Using
925 Tracer 1.7. *Systematic Biology* (67): 901–904.

926 Schoch CL, Seifert KA, Huhndorf S, Robert V, Spouge JL, Levesque CA et al (2012) Nuclear
927 ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for
928 Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(16): 6241–6246.

929 Sipman HJ, Aptroot A (2001) Where are the missing lichens? *Mycological Research* 105(12):
930 1433–1439.

931 Skaloud P, Peksa O (2010) Evolutionary inferences based on ITS rDNA and actin sequences
932 reveal extensive diversity of the common lichen alga *Asterochloris* (Trebouxiophyceae,
933 Chlorophyta). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 54(1): 36–46.

934 Stamatakis A (2014) RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of
935 large phylogenies. *Bioinformatics* (9):1312-1313.

936 Tavalera G, Castresana J (2007) Improvement of Phylogenies after Removing Divergent and
937 Ambiguously Aligned Blocks from Protein Sequence Alignments. *Systematic Biology* (56):
938 564–577.

939 Thomson JW (1984) American Arctic lichens. The Macrolichenes. New York, NY: Columbia
940 University Press.

941 Vančurová L, Muggia L, Peksa O, Řídká T, Škaloud P (2018) The complexity of symbiotic
942 interactions influences the ecological amplitude of the host: A case study in *Stereocaulon*
943 (lichenized Ascomycota). *Molecular ecology* 27(14): 3016–3033

944 Weber K, Kabsch W (1994) Intron positions in actin genes seem unrelated to the secondary
945 structure of the protein. *The EMBO Journal* 13(6): 1280–1286

946 White TJ, Bruns TD, Lee S, Taylor J (1990) Amplification and direct sequencing of fungal
947 ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*
948 (18): 315–322

949

950

Material suplementar

Informações adicionais podem ser encontradas online na guia de informações de suporte deste artigo.

Legenda das figuras

Figura 1. Inferência filogenética bayesiana (*maximum clade credibility tree*) baseada na matriz de dados concatenados dos marcadores ITS e Beta-Tubulina. Ramos de cor vermelha tiveram altos valores de suporte, tanto na inferência bayesiana (probabilidade posterior ≥ 0.9), como na análise de máxima verossimilhança (bootstrap ≥ 70). As sequências geradas pelo estudo estão incluídas no grupo *Stereocaulon alpinum* Clado Bipolar. Os círculos coloridos ao lado das sequências do Clado Bipolar representam os grupos químicos encontrados a partir das análises químicas realizadas.

Figura 2. A) Mapas dos pontos de coleta com a indicação dos haplótipos de ITS de cada lugar. **B)** *Median-joining network* com sequências do marcador ITS de *Stereocaulon alpinum* e suas distribuições geográficas na região sul da América do Sul e Antártica baseado nas. No quadro 1 é ilustrado os tipos de haplótipos encontrados no sul da América do Sul e Península Antártica. Enquanto no quadro 2 é apresentado a distribuição e variação dos haplótipos apenas para a Antártica. Já no quadro 3 é representado a rede de haplótipos encontrados na espécie *S. alpinum*, bem como sua frequência de acordo com o tamanho do círculo.

Figura 3. Inferência filogenética bayesiana (*maximum clade credibility tree*) de cianobactérias associadas a *Stereocaulon alpinum* baseada na matriz de dados da região 16S. Ramos grifados em negrito foram considerados altamente suportados tanto na inferência bayesiana (probabilidade posterior ≥ 0.9) como na análise de máxima verossimilhança (bootstrap ≥ 70). As sequências geradas pelo estudo estão incluídas no Clado *Nostoc* II.

Figura 4. Inferência filogenética bayesiana (*maximum clade credibility tree*) de algas verdes associadas a *Stereocaulon alpinum* baseada na matriz de dados da região actina tipo I. Ramos

grifados em negrito foram considerados suportados tanto na inferência bayesiana (probabilidade posterior ≥ 0.9) como na análise de máxima verossimilhança (bootstrap ≥ 70). O ramo com (•) está presente o clado das sequências desse estudo.

Figura 5. a-l: *Stereocaulon alpinum*. a, Pseudopodécio decumbente; b, Pseudopodécio ereto; c, Filocládios verruciformes; d, Filocládios esquamuliformes, confluentes; e, Filocládios esquamuliformes, ramificados e sobrepostos; f, Cefalódios esverdeados cobertos por um tomento fino; g, Cefalódios amarronzados e fissurados; h, Seção transversal de um cefalódio; i, filamentos de *Nostoc* agrupados em capsulas rodeadas por hifas entrelaçadas. j, tomento rosado; k, Cefalódio coberto por um tomento espesso; l, Apotécio ondulado com disco marrom-enegrecido. Escalas: a-b, 1.0 cm; h, 20 tr; i, 50 μm ; c-l = 1 μ .

1001

1002 **Tabela S1.** Sequências utilizadas nesse estudo oriundas do GenBank. Os campos indicados com (-) não foram encontrados nas bibliografias que
 1003 os espécimes foram publicados e nem no GenBank.

1004

Name	Código	Nº de acesso GenBank		Localidade	Voucher	Herbário	Referência
		ITS	β -tubulina				
<i>Cladonia ahtii</i>		AF453275	AF458486	-	-	-	Högnabba (2006)
<i>C. rangiformis</i>		AF455172	AF458522	-	-	-	Högnabba (2006)
<i>Stereocaulon alpestre</i>	AT1031	DQ396893	DQ396976	Islândia	Baldursdóttir S. n.	H	Högnabba (2006)
<i>S. alpinum</i>	AT1194	DQ396960	DQ397032	Áustria	Feuerer 60471a	HBG	Högnabba (2006)
<i>S. alpinum</i>	AT1036	DQ396898	DQ396978	Itália	Hyvönen 6877a	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. alpinum</i>	AT1075	DQ396915	DQ396993	Argentina	Stenroos 5459	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. alpinum</i>	AT1077	DQ396917	DQ396995	Argentina	Stenroos 5496	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. alpinum</i>	AT1040	DQ396900	DQ396979	Argentina	Stenroos 5499	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. alpinum</i>	AT1044	DQ396903	DQ396982	Argentina	Stenroos 5523	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. arcticum</i>	AT1183	DQ396956	DQ397029	Svalbard	Inoue 28229	TUR	Högnabba (2006)

<i>S. azureum</i>	FH56	DQ396966	DQ397036	Madeira	Krebs 5175	B	Högnabba (2006)
<i>S. botryosum</i>	AT1175	DQ396952	DQ397026	Svalbard	Inoue 28228	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. coniophyllum</i>	AT1143	DQ396936	DQ397011	China	Obermayer 8634 soresiate	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. coniophyllum</i>	AT1144	DQ396937	DQ397012	China	Obermayer 8635 soresiate	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. coniophyllum</i>	AT1148	DQ396939	DQ397014	China	Obermayer 8354	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. coniophyllum</i>	AT1153	DQ396941	DQ397016	China	Obermayer 8181	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. coniophyllum</i>	AT1155	DQ396943	DQ397018	China	Obermayer 8643	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. corticatum</i>	AT1047	DQ396904	DQ396983	Argentina	Stenroos 5403	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. corticatum</i>	AT1048	DQ396905	DQ396984	Argentina	Stenroos 5545	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. cumulatum</i>	FH7	KF682458	DQ099628	Noruega	Haugan SK00-114	O	Högnabba (2014)
<i>S. curtatum</i>	AT1167	DQ396949	DQ397023	Japão	Inoue 28955	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. delisei</i>	FH69	KF682457	DQ397046	Noruega	Hognabba 558	H	Högnabba (2014)
<i>S. dendroides</i>	Hur 141476	KY660026	KY827015	Coreia	Hur 141476	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. dendroides</i>	Hur 141477	KP324743	KY827016	Coreia	Hur 141477	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. depreaultii</i>	AT1164	DQ396947	DQ397021	Japão	Inoue 28664	TUR	Högnabba (2006)

<i>S. evolutum</i>	AT1085	DQ396922	DQ396999	Finlândia	Stenroos 5595	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. exutum</i>	AT1165	DQ396948	DQ397022	Japão	Inoue 28958	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. exutum</i>	AT1170	DQ396950	DQ397024	Japão	Inoue 28953	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. exutum</i>	Hur 130030	KF644361	KY827017	Coreia	Hur 130030	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. exutum</i>	Hur 130031	KF644362	KY827018	Coreia	Hur 130031	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. farinaceum</i>	FH74	DQ396973	DQ397049	Finlândia	Hognabba 382	H	Högnabba (2006)
<i>S. foliolosum</i>	AT1138	DQ396933	DQ397008	China	Obermayer 8645	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. foliolosum</i>	AT1140	DQ396934	DQ397009	China	Obermayer 8357	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. foliolosum</i>	AT1154	DQ396942	DQ397017	China	Obermayer 8644	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. foliolosum</i>	AT1172	DQ396951	DQ397025	China	Inoue 28949	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. fronduliferum</i>	FH6	DQ396962	DQ397033	Nova Zelândia	Vezda Lich.rar. exS. 279	H	Högnabba (2006)
<i>S. glabrum</i>	AT1041	DQ396901	DQ396980	Argentina	Stenroos 5508	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. glabrum</i>	AT1042	DQ396902	DQ396981	Argentina	Stenroos 5509	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. glabrum</i>	AT1054	DQ396906	DQ396985	Argentina	Stenroos 5460	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. glabrum</i>	AT1069	DQ396909	DQ396987	Argentina	Stenroos 5356	TUR	Högnabba (2006)

<i>S. glabrum</i>	AT1070	DQ396910	DQ396910	Argentina	Stenroos 5288	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. glabrum</i>	AT1071	DQ396911	DQ396989	Argentina	Stenroos 5287	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. glabrum</i>	AT1072	DQ396912	DQ396990	Argentina	Stenroos 5406	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. glareosum</i>	FH77	DQ396974	DQ397052	Finlândia	Hognabba 469	H	Högnabba (2006)
<i>S. intermedium</i>	AT1142	DQ396935	DQ397010	China	Obermayer 8634 granulose	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. intermedium</i>	AT1147	DQ396938	DQ397013	China	Obermayer 8637	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. intermedium</i>	AT1150	DQ396940	DQ397015	China	Obermayer 8642	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. intermedium</i>	AT1163	DQ396946	DQ397020	China	Inoue 28948	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. intermedium</i>	Hur 130044	KF928151	KY827019	Coreia	Hur 130044	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. intermedium</i>	Hur 130055	KF928152	KY827020	Coreia	Hur 130055	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. japonicum</i>	AT1162	DQ396945	DQ397019	Coreia	Inoue 28951	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. japonicum</i>	Hur 120706	KY660024	KY827021	Coreia	Hur 120706	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. japonicum</i>	Hur 130069	KF644365	KY827022	Coreia	Hur 130069	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. myriocarpum</i>	AT1133	DQ396931	DQ397006	China	Obermayer 8202	GZU	Högnabba (2006)
<i>S. myriocarpum</i>	AT1134	DQ396932	DQ397007	China	Obermayer 8158	GZU	Högnabba (2006)

<i>S. myriocarpum</i>	AT1177	DQ396954	DQ397028	China	Inoue 28950	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. nanodes</i>	FH71	DQ396970	DQ397048	Noruega	Løfall bpl-L 9587	O	Högnabba (2006)
<i>S. nigrum</i>	Hur 060664	KF644367	KF644367	Coreia	Hur 060664	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. nigrum</i>	Hur 070924	KF644368	KF644368	Coreia	Hur 070924	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. nivale</i>	FH125	KF682456	KF682459	EUA: Washington	Glew 020928-1	WTU	Högnabba (2014)
<i>S. nivale</i>	FH126	KF682455	KF682460	EUA: Washington	glew 020928-3	H	Högnabba (2014)
<i>S. octomerellum</i>	Hur 121094	KY660025	KY827025	Coreia	Hur 121094	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. octomerellum</i>	Hur 141479	KP324748	KY827026	Coreia	Hur 141479	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. paschale</i>	AT1035	DQ396897	DQ396977	Finlândia	Ahti 60905	H	Högnabba (2006)
<i>S. paschale</i>	AT1087	DQ396924	DQ397001	Finlândia	Stenroos 5597	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. pendulum</i>	FH64	DQ396969	DQ397041	Japão	Hognabba 247	H	Högnabba (2006)
<i>S. pileatum</i>	Hur 121815	KP324749	KY827027	Coreia	Hur 121815	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. pileatum</i>	Hur 121822	KF928154	KY827028	Coreia	Hur 121822	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. plicatile</i>	FH238	KF682454	KF682461	Suécia	Nordin 6510	UPS	Högnabba (2014)
<i>S. ramulosum</i>	AT1160	DQ396944	DQ099629	Havaí	Inoue 27242	GZU	Högnabba (2006)

<i>S. rivulorum</i>	FH60	DQ396967	DQ397038	Noruega	Sipman 22112	B	Högnabba (2006)
<i>S. sasakii</i>	AT1186	DQ396957	DQ397030	Japão	Sasaki 13823	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. sasakii</i>	AT1187	DQ396958	DQ397031	Japão	Sasaki 13825	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. saxatile</i>	AT1078	DQ396918	DQ396996	Finlândia	Stenroos 5591	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. saxatile</i>	AT1081	DQ396920	DQ396920	Finlândia	Stenroos 5594	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. saxatile</i>	AT1086	DQ396923	DQ397000	Finlândia	Stenroos 5596	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. saxatile</i>	AT1089	DQ396926	DQ397003	Finlândia	Stenroos 5600	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. saxatile</i>	AT1090	DQ396927	DQ397004	Finlândia	Stenroos 5603	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. saxatile</i>	AT1092	DQ396928	DQ397005	Finlândia	Stenroos 5606	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. soreidiiferum</i>	Hur 130032	KF928155	KY827029	Coreia	Hur 130032	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. soreidiiferum</i>	Hur 130046	KF928156	KY827030	Coreia	Hur 130046	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. taeniarum</i>	AT1080	DQ396919	DQ397053	Finlândia	Stenroos 5593	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. tomentosum</i>	AT1032	DQ396894	DQ396976	Islândia	Ahti 60910	H	Högnabba (2006)
<i>S. tomentosum</i>	AT1061	DQ396908	DQ396986	Argentina	Stenroos 5414	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. tomentosum</i>	AT1073	DQ396913	DQ396991	Argentina	Stenroos 5428	TUR	Högnabba (2006)

<i>S. tomentosum</i>	AT1074	DQ396914	DQ396992	Argentina	Stenroos 5445	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. tomentosum</i>	AT1076	DQ396916	DQ396994	Argentina	Stenroos 6610	TUR	Högnabba ¹⁰¹² (2006)
<i>S. tomentosum</i>	AT1084	DQ396921	DQ396998	Finlândia	Stenroos 5607	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. tornense</i>	FH78	DQ396975	DQ099632	Noruega	Dahlkild S. n.	H	Högnabba (2006)
<i>S. urceolatum</i>	AT1193	DQ396959	DQ099624	Suécia	Muhr S. n.	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. verruciferum</i>	AT1037	DQ396899	DQ099633	Argentina	Stenroos 5289	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. verruculigerum</i>	AT1128	DQ396930	DQ099634	Indonésia	Java, Surdiman S. n.	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. verruculigerum</i>	Hur 130015	KP324750	KY827031	Coreia	Hur 130015	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. verruculigerum</i>	Hur 130016	KF644373	KY827032	Coreia	Hur 130016	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. vesuvianum</i>	AT1088	DQ396925	DQ397002	Finlândia	Stenroos 5599	TUR	Högnabba (2006)
<i>S. vesuvianum</i> var. <i>nodulosum</i>	Hur 090157	KF644374	KY827033	Coreia	Hur 090157	KoLRI	Park et al (2018)
<i>S. vesuvianum</i> var. <i>nodulosum</i>	Hur 130038	KF644375	KY827034	Coreia	Hur 130038	KoLRI	Park et al (2018)

1013 **Tabela Suplementar**

1014 **Tabela S2.** Sequências utilizadas nesse estudo oriundas do GenBank. Os campos indicados com (-) não foram encontradas as informações
 1015 correspondentes nas bibliografias dos espécimes, nem no GenBank.

1016

Espécie de micobionte/alga verde	Voucher	Origem Geográfica	Nº de acesso Actina GenBank	Referência
<i>Lepraria lobificans</i> /Asterochloris sp.	Nelsen 3960	USA	EU008704	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Lepraria lobificans</i> /Asterochloris sp.	Nelsen 3973	USA	EU008707	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Lepraria caesioalba</i> /Asterochloris sp.	Nelsen 3966	USA	EU008697	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Lepraria sp.</i> /Asterochloris sp.	Nelsen 2453	China	EU008716	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Lepraria cf. caesioalba</i> /Asterochloris friedlii	Peksa 234	Slovakia	AM906020	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria cf. caesioalba</i> /Asterochloris friedlii	Peksa 235	Slovakia	AM906021	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria lobificans</i> /Asterochloris sp.	Nelsen 3974	USA: Wisconsin	DQ229898	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Lepraria caesioalba</i> /Asterochloris friedlii	Peksa 225	Romania	AM906022	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Cladonia rangiferina</i> /Asterochloris sp.	RidkaI6	India	MH382117	Vancurova et al. (2018)
<i>Cladonia corymbescens</i> /Asterochloris sp.	RidkaIH31	India	MH382119	Vancurova et al. (2018)
<i>Cladonia fimbriata</i> /Asterochloris sp.	Peksa 796	Slovakia	FM955674	Skaloud and Peksa (2009)

1017 Continuação Tabela S2.

1018

<i>Cladonia rei/Asterochloris sp.</i>	Peksa 787	Slovakia	FM955675	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris sp.</i>	Nelsen 2181b	Costa Rica: San José	DQ229896	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Pilophorus cf. cereolus/Asterochloris sp.</i>	Nelsen 2233f	Costa Rica: San José	DQ229895	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Cladonia scabriuscula/Asterochloris sp.</i>	Ridka IH20	India: Maharashtra	KP318682	Skaloud et al. (2015)
<i>Stereocaulon cf. obesum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA504	Panama	MH382135	Vancurova et al. (2018)
<i>Lepraria sp./Asterochloris sp.</i>	Nelsen 2211a	Costa Rica	EU008711	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Stereocaulon /Asterochloris woessiae</i>	VancurovaA359	Portugal: Madeira	MH382128	Vancurova et al. (2018)
<i>Cladonia foliacea/Asterochloris woessiae</i>	Peksa 1008	Czech Republic:Central Bohemia	AM906049	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon azoreum/Asterochloris woessiae</i>	VancurovaA337	Portugal: Madeira	MH382127	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris woessiae</i>	VancurovaO110	Faroe Islands	MH382145	Vancurova et al. (2018)
<i>Lepraria borealis/Asterochloris woessiae</i>	Bayerová 3401	Bulgaria	AM906045	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris woessiae</i>	Peksa 231	Czech Republic	AM906047	Skaloud and Peksa (2009)

1019 Continuação Tabela S2.

1020

<i>Lepraria borealis/Asterochloris woessiae</i>	Bayerová 3402	Bulgaria	AM90604 8	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria nylanderiana/Asterochloris woessiae</i>	Peksa 542	Czech Republic: Central Bohemia	AM90604 6	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria nigrocincta/Asterochloris sp.</i>	Nelsen 3637b	Costa Rica	EU008710	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Lepraria sp./Asterochloris sp.</i>	Nelsen 2166a	Costa Rica	EU008714	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Cladonia macrophylla/Asterochloris sp.</i>	Vancurova O98	Faroe Islands	MH38215 0	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon saxatile/Asterochloris sp.</i>	Talbot KIS 187	Alaska, USA	DQ229897	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon alpinum/Asterochloris sp.</i>	Vancurova A37 8	Iceland: Southern Peninsula	MH38212 9	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon saxatile/Asterochloris sp.</i>	Vancurova A39 2	Iceland	MH38213 1	Vancurova et al. (2018)
<i>Lepraria sp./Asterochloris sp.</i>	Nelsen 2585	China	EU008715	Nelsen and Gargas (2007)
<i>Cladonia sp./Asterochloris mediterranea</i>	not informed	Spain: Alicante, Villena	KP257351	Moya et al. (2015)
<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris lobophora</i>	Peksa 194	Czech Republic	AM90603 8	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris lobophora</i>	Peksa 166	Czech Republic	AM90603 7	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria cf. caesioalba/Asterochloris lobophora</i>	Peksa 196	Czech Republic	AM90603 6	Skaloud and Peksa (2009)

1021 **Continuação Tabela S2.**

1022

<i>Lepraria cf. caesioalba/Asterochloris lobophora</i>	Peksa 233	Czech Republic	AM906035	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria borealis/Asterochloris lobophora</i>	Peksa 866	Czech Republic	KP318679	Skaloud et al. (2015)
<i>Diploschistes muscorum/Asterochloris lobophora</i>	Peksa 182	Czech Republic	AM906040	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris lobophora</i>	VancurovaDS3.1	Russia: Eastern Siberia	MH382136	Vancurova et al. (2018)
<i>Cladonia cf. bacillaris/Asterochloris sp.</i>	Nelsen 3950	USA: Pennsylvania	DQ229892	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon alpinum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaL958	Austria: Tyrol	MH382141	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon cf. alpinum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaO50	Canada	MH382146	Vancurova et al. (2018)
<i>Anzina carneonivea/Asterochloris phycobiontica</i>	not informed	Italy:Trento	AM906042	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria neglecta/Asterochloris phycobiontica</i>	Bayerová 3606	Ukraine:East Carpathians	AM906043	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria neglecta/Asterochloris phycobiontica</i>	Bayerová 3600	Ukraine:East Carpathians	AM906044	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon tomentosum/Asterochloris sp.</i>	Talbot 400	USA: Alaska	DQ229893	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris sp.</i>	VancurovaL1074	USA: Alaska	MH382137	Vancurova et al. (2018)

1023

1024 Continuação Tabela S2.

1025

<i>Stereocaulon alpinum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaL1642	Greenland: Disko Island	MH382138	Vancurova et al. (2018)
<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris echinata</i>	Peksa 551	Czech Republic	FM955671	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria sp./Asterochloris echinata</i>	Peksa 186	Czech Republic	AM906017	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria sp./Asterochloris echinata</i>	Peksa 185	Czech Republic	FM955670	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria rigidula/Asterochloris sp.</i>	Peksa 855	Czech Republic	FN556047	Peksa and Skaloud (2011)
<i>Diploschistes muscorum/Asterochloris sp.</i>	Peksa 495	Czech Republic	KP318681	Skaloud et al. (2015)
<i>Xanthoria parietina/Asterochloris italiana</i>	not informed	Italy	AM906030	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon alpinum/Asterochloris italiana</i>	VancurovaA10	Argentina: Tierra del Fuego	MH382121	Vancurova et al. (2018)
<i>Trebouxia magna/Asterochloris sp.</i>	not informed	not informed	DQ229894	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon azoreum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaO70	Portugal: Madeira	MH382147	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris sp.</i>	VancurovaA14	Argentina: Neuquen	MH382124	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon paschale/Asterochloris sp.</i>	Talbot 101	USA: Alaska	DQ229891	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris sp.</i>	VancurovaO10	Mexico: Oaxaca	MH382144	Vancurova et al. (2018)
<i>Cladonia fimbriata/Asterochloris sp.</i>	Peksa 815	Slovakia	FM955676	Skaloud and Peksa (2009)

1026

1027 **Continuação Tabela S2.**

1028

<i>Cladonia rei/Asterochloris sp.</i>	Peksa 921	Czech Republic:East Bohemia	FM955677	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Cladonia mitis/Asterochloris irregularis</i>	Peksa 789	Slovakia:Gelnica	AM906029	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon alpinum or Stereocaulon paschale/Asterochloris irregularis</i>	VancurovaL1645	Greenland: Ilulissat	MH382139	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon alpinum/Asterochloris irregularis</i>	VancurovaL1646	Greenland: Disko Island	MH382140	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon subcoralloides/Asterochloris sp.</i>	Talbot 167	USA: Alaska	DQ229890	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon pileatum/Asterochloris irregularis</i>	Peksa 999	Czech Republic:Bohemian Switzerland	AM906028	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon sp./Asterochloris irregularis</i>	not informed	Iceland:Langa River	AM906027	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon vesuvianum/Asterochloris irregularis</i>	VancurovaL992	Austria: Styria	MH382143	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon botryosum/Asterochloris sp.</i>	Talbot 153	USA: Alaska	DQ229889	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon paschale/Asterochloris sp.</i>	VancurovaL988	USA: Alaska	MH382142	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon vesuvianum/Asterochloris sp.</i>	Talbot 281	USA: Alaska	DQ229888	Nelsen and Gargas (2006)
<i>Stereocaulon pileatum/Asterochloris glomerata</i>	VancurovaO75	Portugal: Madeira	MH382148	Vancurova et al. (2018)

1029

1030 **Continuação Tabela S2.**

1031

1032

<i>Cladonia squamosa/Asterochloris glomerata</i>	not informed	USA:Massachusetts, Leverett	AM906025	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon evolutoides/Asterochloris glomerata</i>	not informed	USA:Massachusetts, Mt Wachusett, Princeton	AM906024	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Diploschistes muscorum/Asterochloris glomerata</i>	Peksa 498	Czech Republic	AM906026	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Pilophorus acicularis/Asterochloris magna</i>	not informed	USA:Washington, Olympic National Park	AM906041	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Cladonia cristatella/Asterochloris erici</i>	not informed	USA:Massachusetts, Whitinsville	AM906018	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Cladonia furcata/Asterochloris sp.</i>	RidkaIH23	India	MH382118	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon vesuvianum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaO76	Faroe Islands	MH382149	Vancurova et al. (2018)
<i>Lepraria rigidula/Asterochloris gaertneri</i>	Peksa 236	Czech Republic	AM906023	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria rigidula/Asterochloris gaertneri</i>	Peksa 877	Czech Republic	FM955672	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria rigidula/Asterochloris gaertneri</i>	Peksa 900	Czech Republic	FM955673	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris sp.</i>	Peksa 873	USA	FN556051	Peksa and Skaloud (2011)
<i>Lepraria sp./Asterochloris sp.</i>	Peksa 870	USA	FN556052	Peksa and Skaloud (2011)
<i>Stereocaulon cf. alpinum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA386	Iceland	MH382130	Vancurova et al. (2018)

<i>Stereocaulon nanodes/Asterochloris sp.</i>	Peksa 1011	Slovakia	MH382116	Vancurova et al. (2018)
<i>Lapraria alpina/Asterochloris sp.</i>	Peksa 860	Spain	FN556048	Peksa and Skaloud (2011)
<i>Stereocaulon vesuvianum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA11	Argentina: Tierra del Fuego	MH382122	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon vesuvianum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA3	Argentina: Santa Cruz	MH382125	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon cf. alpinum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA1	Argentina: Santa Cruz	MH382120	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon myriocarpum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA319	Costa Rica: PN Chirripo	MH382126	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon myriocarpum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA498	Venezuela: Pico Bolivar	MH382133	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon myriocarpum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA496	Venezuela: Pico Bolivar	MH382132	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon myriocarpum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA502	Venezuela: Pico Bolivar	MH382134	Vancurova et al. (2018)
<i>Stereocaulon vesuvianum/Asterochloris sp.</i>	VancurovaA13	Argentina: Tierra del Fuego	MH382123	Vancurova et al. (2018)
<i>Lepraria neglecta/Asterochloris leprarii</i>	Peksa 207	Czech Republic	AM906034	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria neglecta/Asterochloris leprarii</i>	Peksa 183	Czech Republic	AM906031	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris leprarii</i>	Peksa 173	Czech Republic	AM906032	Skaloud and Peksa (2009)

1035 **Continuação Tabela S2.**

1036

<i>Lepraria caesioalba/Asterochloris leprarii</i>	Peksa 204	Czech Republic	AM906033	Skaloud and Peksa (2009)
<i>Stereocaulon dactylophyllum/ Asterochloris excentrica</i>	not informed	USA:Vermont, Stowe	AM906019	Skaloud and Peksa (2009)

1037

1038 **Tabela S3.** Sequências utilizadas nesse estudo oriundas do GenBank de cianobactéria. Os campos indicados com (-) não foram encontradas as
 1039 informações correspondentes nas bibliografias dos espécimes, nem no GenBank.

1040

1041

Espécie do micobionte/cianobactéria	Voucher	Origem geográfica	Nº de acesso 16S GenBank	Referência
<i>Nephroma arcticum/Nostoc sp.</i>	not informed	Lapland, Jehkats	JQ007763	Kaasalainen et al. (2012)
<i>Nephroma arcticum/Nostoc sp.</i>	JR08_B	Finland, Saarijärvi	KF359685	Kaasalainen et al. (2015)
<i>Nephroma arcticum/Nostoc sp.</i>	UK10_564	Finland, Saarijärvi	KF359686	Kaasalainen et al. (2015)
not informed/Nostoc sp.	not informed	not informed	LC103276	Segawa et al. (2017)
<i>Nephroma arcticum/Nostoc sp.</i>	JR08_H18	Finland, Laukaa	KF359688	Kaasalainen et al. (2015)
<i>Peltigera evansiana/Nostoc sp.</i>	UK08_159	USA, Oregon	KF359715	Kaasalainen et al. (2015)
<i>Stereocaulon tomentosum/Nostoc sp.</i>	Stenroos 5428	Argentina: Tierra del Fuego	DQ265952	Hognabba (2006)
<i>Protopannaria pezizoides/Nostoc sp.</i>	UK08_120	Finland, Kuhmo	KF359684	Kaasalainen et al. (2015)
cold-fumarole soil (elev. 5824 m)/Nostoc sp.	not informed	Socompa Volcano, Andes	FJ592873	Costello et al. (2009)
<i>Nephroma arcticum/Nostoc sp.</i>	not informed	Lapland, Jehkats	JQ007764	Kaasalainen et al. (2012)
<i>Nephroma expallidum/Nostoc sp.</i>	Hansen, 31 vii 1998	SW Greenland	AY333642	Lohtander et al. (2003)
<i>Protopannaria pezizoides/Nostoc sp.</i>	JR08_A	Finland, Saarijärvi	KF359687	Kaasalainen et al. (2015)
<i>Nephroma expallidum/Nostoc sp.</i>	not informed	not informed	AY328896	Oksanen et al. (2004)
<i>Peltigera lichen substrate/Nostoc sp.</i>	not informed	Chile	KX255143	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera membranacea/Nostoc sp.</i>	D. Bastian & M. Dignard 575	Canada	DQ185248	O'Brien et al. (2005)
<i>Peltigera sp./Nostoc sp.</i>	not informed	Chile	KX255147	Zuniga et al. (2017)

1042 **Continuação Tabela S3.**

1043

Permafrost darkness/Nostoc sp.	not informed	Russia: Siberia, Kolyma Lowland	EU282432	Vishnivetskaya (2009)
<i>Peltigera evansiana</i>/Nostoc sp.	not informed	USA, OR, Marion Co.	JQ007784	Kaasalainen et al. (2012)
<i>Peltigera praetextata</i>/Nostoc sp.	Rikkinen V2a	NW U.S.A.	AY333639	Lohtander et al. (2003)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255127	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255130	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255092	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255084	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255064	Zuniga et al. (2017)
<i>Collema</i> sp./Nostoc sp.	JR000734	China, Hunan	KF359712	Kaasalainen et al. (2015)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255279	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera</i> lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255172	Zuniga et al. (2017)
<i>Peltigera rufescens</i>/Nostoc sp.	F. Lutzoni 99.07.18-24	Poland	DQ185249	O'Brien et al. (2005)
not informed/Nostoc commune	not informed	China	EU178142	Unpublished
Soil/Nostoc punctiforme	M. Lefèvre SAG 71.79	France	DQ185258	O'Brien et al. (2005)
mature forest of Lenga Beech (Nothofagus pumilio)/Nostoc sp.	not informed	Chile: Tierra del Fuego	KC514662	Unpublished
free-living/Nostoc sp.	not informed	Norway: Kvaløya	EU022740	Unpublished

1044

1045 **Continuação Tabela S3.**

1046

<i>Pannaria obscura/Nostoc sp.</i>	Tibell 14002 (1983)	Australia	EF174232	Elvebakk et al. (2008)
not informed/Nostoc sp.	not informed	Norway: Skibotn	EU022742	Unpublished
Nothofagus pumilio forest/Nostoc sp.	not informed	Chile: Aysen Region, Coyhaique National Reserve	KF718392	Zuniga et al. (2015)
Peltigera lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255239	Zuniga et al. (2017)
Peltigera lichen substrate/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255207	Zuniga et al. (2017)
mature forest of Lenga Beech (Nothofagus pumilio)/Nostoc sp.	not informed	Chile: Tierra del Fuego, Karukinka's Natural Park	KC514661	Zuniga et al. (2017)
Peltigera lichen substrate, volcanic hillside, Deception/Nostoc sp.	not informed	Antarctica	KX255325	Zuniga et al. (2017)
Peltigera lichen substrate, grassland, Navarino/Nostoc sp.	not informed	Chile	KX255274	Zuniga et al. (2017)
Peltigera lichen substrate, volcanic hillside, Deception/Nostoc sp.	not informed	Antarctica	KX255334	Zuniga et al. (2017)
not informed/Nostoc sphaeroides	not informed	China	EU178144	Unpublished
not informed/Nostoc flagelliforme	not informed	China	EU178143	Unpublished
<i>Pseudocyphellaria gilva/Nostoc sp.</i>	Elvebakk 06:202	Chile	EF536023	Elvebakk et al. (2008)
<i>Pannaria andina/Nostoc sp.</i>	Elvebakk 06:307	Chile	EF536022	Elvebakk et al. (2008)
Soil/Nostoc sp.	A. Watanabe PCC 6720	Indonesia	DQ185240	O'Brien et al. (2005)
not informed/Nodularia sp.	not informed	not informed	AB075991	Tomitani et al. (2006)

1047 Continuação Tabela S3.

1048

not informed/Dolichospermum spiroides	not informed	Japan:Shiga, Otsu, Lake Biwa	AB271212	Ishikawa et al. (2006)
<i>Coccocarpia stellata/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R17	Costa Rica	EU818951	Lucking et al. (2009)
<i>Dictyonema glabratum/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R06	Costa Rica	EU818954	Lucking et al. (2009)
<i>Dictyonema sericeum/Scytonema sp.</i>	Lücking 16561	Costa Rica	EU818966	Lucking et al. (2009)
<i>Dictyonema glabratum/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R16	Costa Rica	EU818948	Lucking et al. (2009)
<i>Dictyonema glabratum/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R19	Costa Rica	EU818957	Lucking et al. (2009)
<i>Dictyonema glabratum/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R11	Costa Rica	EU818955	Lucking et al. (2009)
<i>Lichinodium sp./Rhizonema sp.</i>	not informed	Canada	KT883991	Cornejo & Scheidegger (2016)
<i>Dictyonema glabratum/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R18	Costa Rica	EU818956	Lucking et al. (2009)
<i>Parmeliella parvula/Scytonema sp.</i>	not informed	Canada	KT883970	Cornejo & Scheidegger (2016)
<i>Stereocaulon fronduliferum/Nostoc sp.</i>	Malcom & Vezda; Vezda exs. 279	New Zealand	DQ265951	Stenroos et al. 2006
<i>Coccocarpia palmicola/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R13	Costa Rica	EU818950	Lucking et al. (2009)
<i>Dictyonema glabratum/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R20	Costa Rica	EU818958	Lucking et al. (2009)

1049

1050 Continuação Tabela S3.

1051	<i>Dictyonema aeruginosulum/Scytonema sp.</i>	Nelsen 3754	Costa Rica	EU818952	Lucking et al. (2009)
	<i>Coccocarpia palmicola/Scytonema sp.</i>	Lücking et al. R03	Costa Rica	EU818949	Lucking et al. (2009)
	"soil"/ <i>Westiellopsis sp.</i>	not informed	Papua New Guinea	AJ544222	Gugger et al. (2004)
	"cryptoendolithic in sandstone in freshwater"/ <i>Nostochopsis lobatus</i>	not informed	South Africa	AJ544080	Gugger et al. (2004)
	not informed/ <i>Hapalosiphon delicatulus</i>	not informed	not informed	AB093484	Unpublished
	not informed/ <i>Fischerella musciola</i>	PCC 7414	New Zealand	AF132788	Turner et al. (1999)
	" <i>Dinghu mountain</i> "/ <i>Stigonema dinghuense</i>	not informed	China	KJ786940	Song et al (2015)
	<i>Stereocaulon exutum/Stigonema sp.</i>	Inoue 28958	Japan	DQ265950	Stenroos et al. 2006
	" <i>Jureira-Itatins Ecological Station on rock</i> "/ <i>Stigonema sp.</i>	not informed	Brazil	MK471332	Unpublished
	<i>Sphagnum bog/Stigonema ocellatum</i>	not informed	Germany	AJ544082	Gugger & Hoffmann (2004)
	not informed/ <i>Scytonema sp.</i>	not informed	not informed	AB093483	Unpublished
	not informed/ <i>Scytonema sp.</i>	not informed	not informed	AY069954	Unpublished
	"geothermal rock"/ <i>Scytonema sp.</i>	not informed	New Zealand	DQ235801	Unpublished
	Crystal Cave, limestone/ <i>Scytonema hofmanni</i>	PCC 7110	Bermuda	AF132781	Tomitani et al. (2006)

1052 **Continuação Tabela S3.**

1053

Crystal Cave, limestone/Scytonema hofmanni	PCC 7110	Bermuda	AB075996	Tomitani et al. (2006)
Periphyton/Scytonema arcangeli	not informed	Brazil	KC682101	Komarek et al. (2013)
biological soil crust/Scytonema sp. (No artigo aparece como S. hyalinum)	not informed	USA	DQ531698	Yeager et al. (2007)
Sphagnum bog/Gloeocapsa sp.	PCC 73106	Switzerland	AB039000	Ishida et al. (2001)
kopara microbial mat/Chroococcus submarinus	Not Informed	French Polynesia:Tuamotu archipelago	AJ621832	Unpublished
"seagrasses"/Gloeotheca sp.	Not Informed	Kenia	DQ072918	Uku et al. (2007)
"quartz hypoliths"/Chroococcidiopsis	Not Informed	China	DQ914863	Pointing et al. (2007)

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

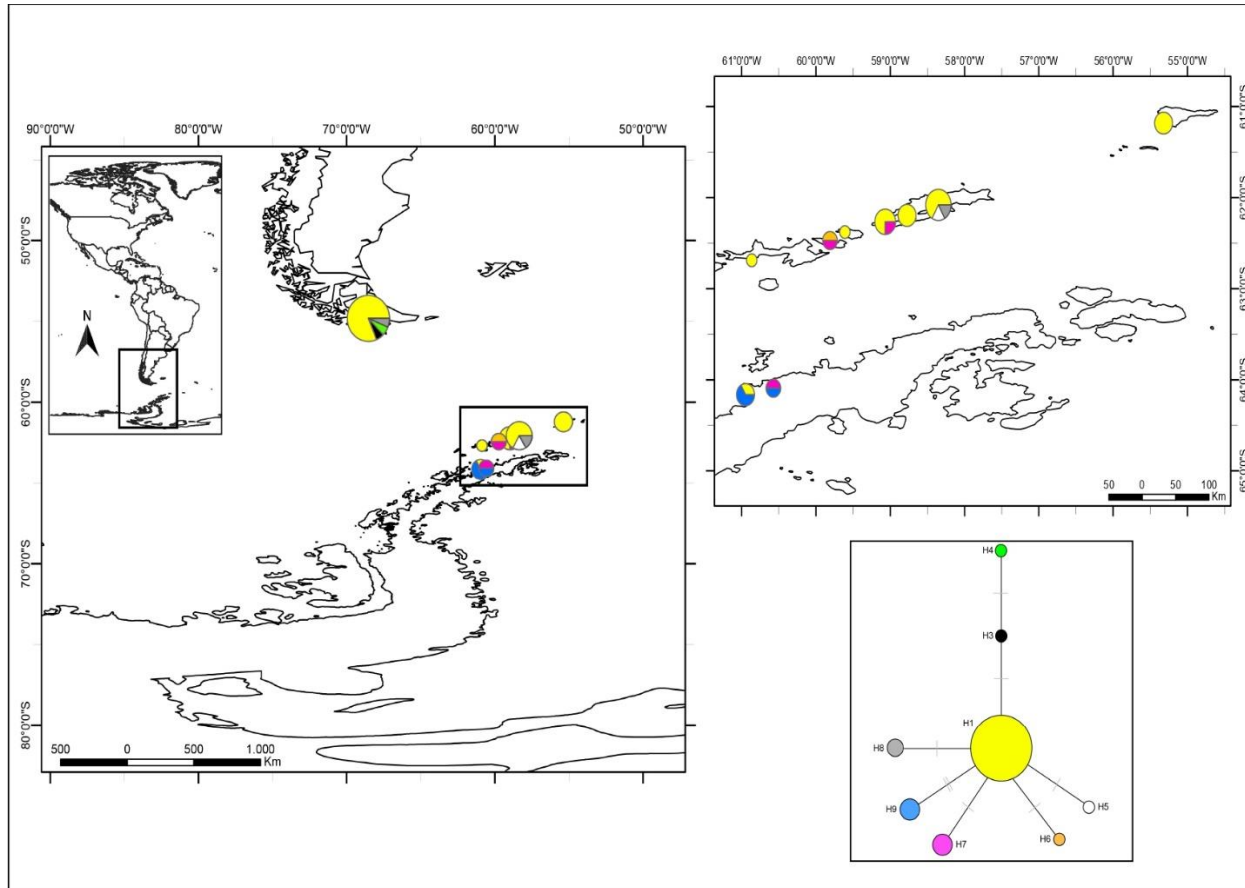


Figura 2. A) Mapas dos pontos de coleta com a indicação dos haplótipos de ITS de cada lugar. **B)** *Median-joining network* com sequências do marcador ITS de *Stereocaulon alpinum* e suas distribuições geográficas na região sul da América do Sul e Antártica baseado nas. No quadro 1 é ilustrado os tipos de haplótipos encontrados no sul da América do Sul e Península Antártica. Enquanto no quadro 2 é apresentado a distribuição e variação dos haplótipos apenas para a Antártica. Já no quadro 3 é representado a rede de haplótipos encontrados na espécie *S. alpinum*, bem como sua frequência de acordo com o tamanho do círculo.

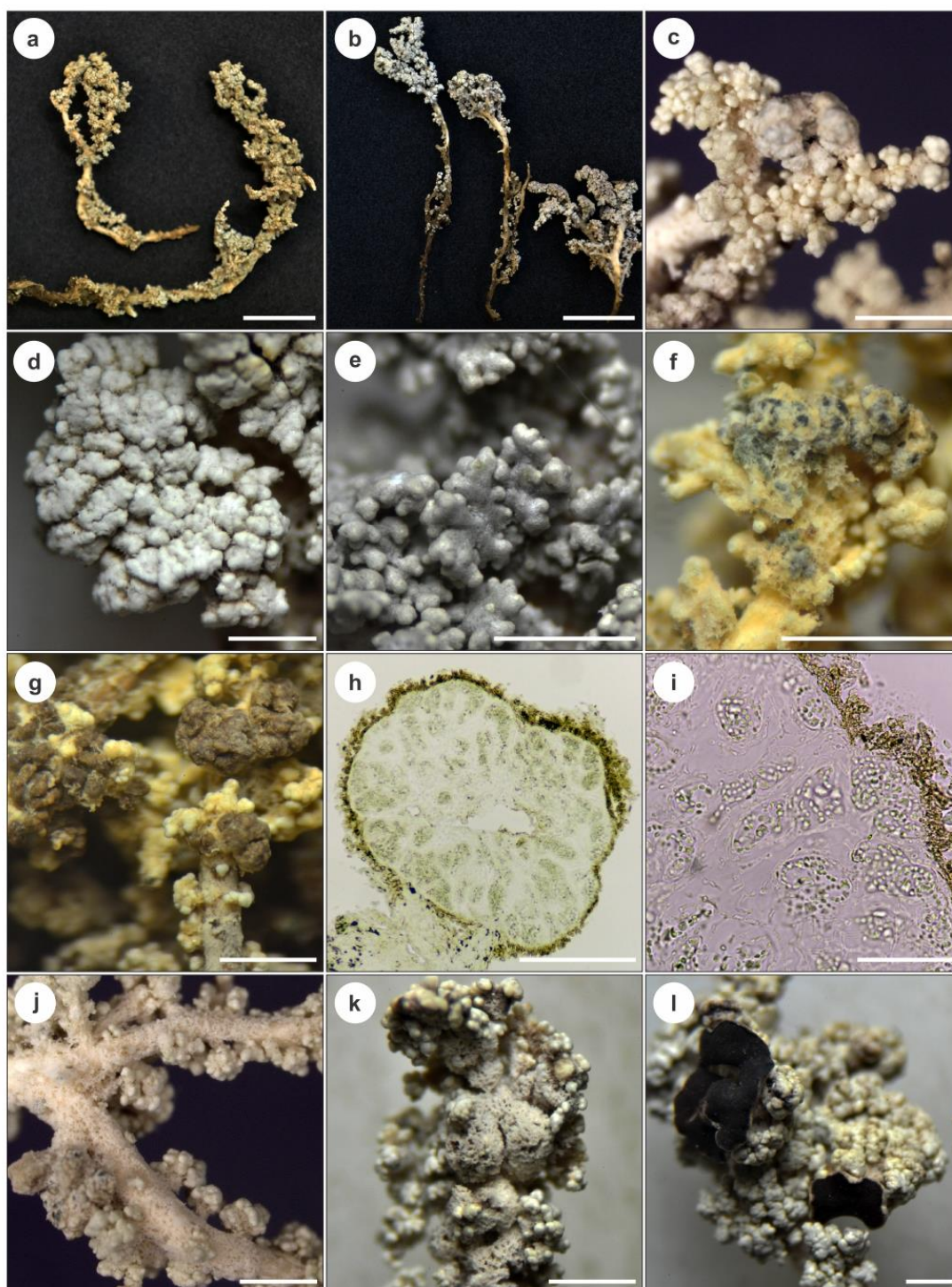


Figura 5. a-l: *Stereocaulon alpinum*. a, Pseudopodécio decumbente; b, Pseudopodécio ereto; c, Filocládios verruciformes; d, Filocládios esquamuliformes, confluentes; e, Filocládios esquamuliformes, ramificados e sobrepostos; f, Cefalódios esverdeados cobertos por um tomento fino; g, Cefalódios amarronzados e fissurados; h, Seção transversal de um cefalódio; i, filamentos de *Nostoc* agrupados em capsulas rodeadas por hifas entrelaçadas. j, tomento rosado; k, Cefalódio coberto por um tomento espesso; l, Apotécio ondulado com disco marrom-negrecido. Escalas: a-b, 1.0 cm; h, 20 tr; i, 50 μ m; c-l = 1 μ m.

Cladonia ahtii

Cladonia rangiformis

Stereocaulon nivale FH125

Stereocaulon nivale FH126

Stereocaulon tornense FH78

Stereocaulon plicatile FH238

Stereocaulon cumulatum FH7

Stereocaulon urceolatum AT1193

Stereocaulon delisei FH69

Stereocaulon corticatum AT1047

Stereocaulon corticatum AT1048

Stereocaulon ramulosum AT1160

Stereocaulon fronduliferum FH6

Stereocaulon alpestre AT1031

Stereocaulon rivulorum FH60

Stereocaulon alpinum AT1036_Itália

Stereocaulon alpinum AT1194_Áustria

Stereocaulon botryosum AT1175

Stereocaulon farinaceum FH74

Stereocaulon glareosum FH77

Stereocaulon intermedium Hur130044

Stereocaulon intermedium Hur130055

Stereocaulon sasakii AT1186

Stereocaulon sasakii AT1187

Stereocaulon tomentosum AT1032

Stereocaulon tomentosum AT1061

Stereocaulon tomentosum AT1073

Stereocaulon tomentosum AT1074

Stereocaulon tomentosum AT1076

Stereocaulon tomentosum AT1084

Stereocaulon nanodes FH71

Stereocaulon verruculigerum AT1128

Stereocaulon depreaultii AT1164

Stereocaulon exutum AT1165

Stereocaulon exutum Hur130031

Stereocaulon octomerellum Hur121094

Stereocaulon octomerellum Hur141479

Stereocaulon pileatum Hur121822

Stereocaulon pileatum Hur121815

Stereocaulon japonicum AT1162

Stereocaulon japonicum Hur120706

Stereocaulon japonicum Hur130069

Stereocaulon verruculigerum Hur130015

Stereocaulon verruculigerum Hur130016

Stereocaulon exutum AT1170

Stereocaulon dendroides Hur141476

Stereocaulon pendulum FH64

Stereocaulon dendroides Hur141477

Stereocaulon exutum Hur130030

Stereocaulon nigrum Hur060664

Stereocaulon nigrum Hur070924

Stereocaulon_curtatum_AT1167

Stereocaulon glabrum AT1041

Stereocaulon glabrum AT1054

Stereocaulon glabrum AT1071

Stereocaulon glabrum AT1072

Stereocaulon glabrum AT1042

Stereocaulon glabrum AT1069

Stereocaulon glabrum AT1070

Stereocaulon myriocarpum AT1133

Stereocaulon myriocarpum AT1134

Stereocaulon myriocarpum AT1177

Stereocaulon intermedium AT1140

Stereocaulon intermedium AT1142

Stereocaulon intermedium AT1147

Stereocaulon intermedium AT1150

Stereocaulon intermedium AT1163

Stereocaulon evolutum AT1085

Stereocaulon alpinum AT1040_Argentina

Stereocaulon alpinum AT1044_Argentina

Stereocaulon alpinum AT1075_Argentina

Stereocaulon alpinum AAS12614_Chile

Stereocaulon alpinum APL432_Ilha_Greenwich

Stereocaulon alpinum APL433_Greenwich

Stereocaulon alpinum APL765_Ilha_Nelson

Stereocaulon alpinum APL784_Ilha_Nelson

Stereocaulon alpinum MCScur206_Península_Antártica

Stereocaulon alpinum MCScur39_Ilha_Rei_George

Stereocaulon alpinum MJK4063_Argentina

Stereocaulon alpinum MJK4067_Argentina

Stereocaulon alpinum MJK4150_Argentina

Stereocaulon alpinum MJK4060_Argentina

Stereocaulon alpinum WSFava123_Ilha_Elefante

Stereocaulon alpinum AT1077_Argentina

Stereocaulon alpinum MCScur750_Costa_Danco

Stereocaulon alpinum SPA9266_Finlândia

Stereocaulon alpinum MCScur165_Ilha_Rei_George

Stereocaulon alpinum MCScur193_Ilha_Rei_George

Stereocaulon alpinum MCScur843_Costa_Danco

Stereocaulon saxatile AT1090

Stereocaulon saxatile AT1092

Stereocaulon foliolosum AT1138

Stereocaulon foliolosum AT1154

Stereocaulon coniophyllum AT1143

Stereocaulon coniophyllum AT1144

Stereocaulon coniophyllum AT1153

Stereocaulon foliolosum T1172

Stereocaulon coniophyllum AT1148

Stereocaulon coniophyllum AT1155

Stereocaulon paschale AT1035

Stereocaulon taeniarum AT1080

Stereocaulon saxatile AT1081

Stereocaulon saxatile AT1086

Stereocaulon paschale AT1087

Stereocaulon saxatile AT1089

Stereocaulon saxatile AT1078

Stereocaulon verruciferum AT1037

Stereocaulon arcticum AT1183

Stereocaulon vesuvianum var nodulosum Hur090157

Stereocaulon vesuvianum var nodulosum Hur130038

Stereocaulon vesuvianum AT1088

Stereocaulon arcticum AT1176

Stereocaulon azureum FH56

Stereocaulon sorediiferum Hur130032

Stereocaulon sorediiferum Hur130046

Stereocaulon alpinum Clado Norte

Stereocaulon alpinum
Clado Bipolar

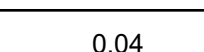
Grupo 1

Grupo 2

Grupo 3

100

Scytonema Class



"Nostoc II" Clade

