



Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica)  
Quinta da Boa Vista s/nº  
São Cristóvão – Rio de Janeiro – RJ  
20.940-040

**Ecologia e Conservação de Musgos Endêmicos ou Ameaçados nos Campos de  
Altitude do Parque Nacional do Itatiaia**

Mateus Tomás Anselmo Gonçalves

Orientadora: Dra. Nivea Dias dos Santos

Coorientador: Dr. Denilson Fernandes Peralta

Rio de Janeiro

2021



Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica)  
Quinta da Boa Vista s/nº  
São Cristóvão – Rio de Janeiro – RJ  
20.940-040

**Ecologia e Conservação de Musgos Endêmicos ou Ameaçados nos Campos de  
Altitude do Parque Nacional do Itatiaia**

Mateus Tomás Anselmo Gonçalves

Dissertação de Mestrado

Área: Ciências Biológicas (Botânica)

Orientadora: Dra. Nivea Dias dos Santos

Coorientador: Dr. Denilson Fernandes Peralta

Rio de Janeiro

Junho/2021

**Ecologia e Conservação de Musgos Endêmicos ou Ameaçados nos Campos de  
Altitude do Parque Nacional do Itatiaia**

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES

Orientadores: Dra. Nivea Dias dos Santos & Dr. Denilson Fernandes Peralta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências  
Biológicas (Botânica), Museu Nacional, da Universidade Federal do Rio de Janeiro -  
UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências  
Biológicas (Botânica).

Aprovado por:

---

Presidente, Prof. Dra. Nivea Dias dos Santos

---

Prof. Dra. Lana da Silva Sylvestre (Titular Interno)

---

Prof. Dra. Adaíses Simone Maciel Silva (Titular Externo)

---

Prof. Dra. Adriana Quintella Lobão (Suplente Interno)

---

Prof. Dr. Cláudio Nicoletti de Fraga (Suplente Externo)

Rio de Janeiro  
Junho, 2021

## CIP – Catalogação na Publicação

GG635e      Gonçalves, Mateus Tomás Anselmo  
                 Ecologia e Conservação de Musgos Endêmicos ou  
                 Ameaçados nos Campos de Altitude do Parque Nacional  
                 do Itatiaia / Mateus Tomás Anselmo Gonçalves. -- Rio  
                 de Janeiro, 2021.  
                 110 f.

                 Orientadora: Nivea Dias dos Santos.  
                 Coorientador: Denilson Fernandes Peralta.  
                 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Museu Nacional, Programa de Pós  
Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), 2021.

                 1. Musgos. 2. Conservação. 3. Ecologia. 4.  
Floresta Atlântica. 5. Campos de Altitude. I.  
Santos, Nivea Dias dos, orient. II. Peralta,  
Denilson Fernandes, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a  
responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos que tornaram possível a conquista de mais esta etapa em minha vida: a conclusão do mestrado.

Primeiramente, agradeço a minha família, principalmente meus pais Renilda Tomás Gonçalves e Miquéias Anselmo Gonçalves que sempre acreditaram que eu seria capaz de alcançar todos os objetivos que eu traçasse. Aos meus irmãos Quézia Tomás Gonçalves e Miquéias Anselmo Gonçalves Junior por todo apoio e compreensão e à minha sobrinha Ana Júlia Rodrigues Gonçalves por todas as alegrias que proporciona para nossa família. Aos meus familiares, em especial à minha tia Rosilene dos Reis Tomás e meu primo Alex dos Reis de Paula Lopes por serem um suporte emocional durante a realização deste trabalho. À minha tia Neiva Gonçalves por ceder microscópio e outros materiais de laboratório do CENTENA para que eu pudesse finalizar as identificações dos materiais coletados durante o isolamento social devido à pandemia.

Aos meus orientadores Nivea e Denilson gostaria de externar minha gratidão por todo o apoio, oportunidades, orientação e por todo o aprendizado que fui capaz de obter através do conhecimento que construímos ao longo desta jornada. Vocês são uma inspiração.

À turma 2019/1 do mestrado do PPGBOT, da qual admiro cada um mesmo com nossa distância, Eliza Christina do Nascimento, Luís Felipe Zuñe, Tibério da Silva e Victor Machado, sempre que estivemos juntos foram momentos de alto astral apesar do “sofrimento” compartilhado durante as etapas do curso. Um agradecimento especial à Eliza e ao Weverson Cavalcante pelas nossas videochamadas em que construímos conhecimento acerca de diversos assuntos, dentre eles a confecção de mapas e utilização da ferramenta GeoCat e agradeço também por todas as nossas conversas e companheirismo que tivemos durante este percurso.

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica do Museu Nacional pela oportunidade de estudo, e a seus docentes pela qualidade das disciplinas oferecidas. Um agradecimento especial ao Cláudio Nicoletti de Fraga pelas revisões e sugestões dadas ao trabalho desde o projeto até a pré-banca, suas contribuições foram de demasiada importância.

Ao Eudocio Rafael Otávio da Silva pelo companheirismo e parceria durante todos esses anos, obrigado por me aturar em meus momentos de desespero e crises, sempre falando que tudo ia dar certo.

Aos amigos que tornaram essa caminhada mais leve, em especial à Gabriella Bragança Guarnier e Ana Carolina Rodrigues da Cruz pelas nossas trocas durante nossas longas viagens de Seropédica até o Museu Nacional enfrentando metrô e ônibus lotados.

Ao LabCripto, em especial à Mayara Wienskoski por compartilhar seus conhecimentos e a minha querida UFRuralRJ por ceder os equipamentos necessários e por continuar fazendo parte da minha vida pessoal e acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do fornecimento da bolsa de mestrado. Sem a bolsa a dedicação à esta pesquisa não seria possível.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) órgão responsável pela concessão da licença de coleta.

Ao Parque Nacional do Itatiaia pela autorização, estrutura e apoio à pesquisa e pelo constante trabalho na conservação da biodiversidade frente a todas as adversidades que o país apresenta na atualidade.

A todos,  
Muito obrigado!!

## RESUMO

GONÇALVES, Mateus Tomás Anselmo. **Ecologia e Conservação de Musgos Endêmicos ou Ameaçados nos Campos de Altitude do Parque Nacional do Itatiaia**. Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado em Botânica). Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

A Floresta Atlântica possui elevada diversidade de espécies e alto grau de endemismo. Seus remanescentes sofrem impactos de origem antrópica que constituem ameaças para a brioflora, visto ser o domínio com maior riqueza de espécies deste grupo. Os campos de altitude constituem um ecossistema associado à Floresta Atlântica restrito aos topos das cadeias de montanhas mais elevadas da região sudeste do país e abrigam uma brioflora única, com elevadas taxas de diversidade, endemismo e espécies ameaçadas. O objetivo deste trabalho foi conhecer a ecologia e reavaliar o *status* de conservação em escala regional dos musgos endêmicos ou ameaçados que ocorrem nos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia. Foram realizadas expedições na área de estudo para coleta dos espécimes de musgos endêmicos ou ameaçados, visando conhecer suas formas de vida, distribuição geográfica, substratos colonizados, biologia reprodutiva e traços funcionais. A avaliação do *status* de conservação seguiu a proposta da União Internacional para Conservação da Natureza adaptada para briófitas, além da utilização da ferramenta *online* GeoCAT para o cálculo da extensão de ocorrência e área de ocupação. Os vetores de ameaça foram caracterizados com base em observações de campo e dados de literatura. Foram registradas 43 espécies, a forma de vida mais representativa foi do tipo tufo (86%), 52% das espécies são generalistas e as especialistas somam 48%. A maioria dos táxons possui padrão fitogeográfico Endêmico do Brasil (41%), seguido por Endêmicas do PNI (17%). A análise funcional, demonstrou a formação dos grupos funcionais que refletem à Ordem taxonômica. Em relação ao *status* de conservação em escala regional, após a reavaliação 29 espécies foram categorizadas como ameaçadas (dentre elas, oito Criticamente em Perigo, seis Em Perigo, 15 Vulneráveis). *Andreaea subulata*, que apresenta distribuição no país restrita ao estado do Rio de Janeiro e foi considerada como possivelmente extinta regionalmente, foi redescoberta nas Agulhas Negras e categorizada como Criticamente em Perigo. O aumento do conhecimento sobre esta e outras espécies salienta a importância dos campos de altitude do PNI para a conservação da brioflora brasileira.

**Palavras-chave:** musgos, biodiversidade, briófitas

## ABSTRACT

GONÇALVES, Mateus Tomás Anselmo. **Ecologia e Conservação de Musgos Endêmicos ou Ameaçados nos Campos de Altitude do Parque Nacional do Itatiaia**. Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado em Botânica). Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The Atlantic Forest has a high diversity of species and a high degree of endemism. Its remnants suffer impacts of anthropic origin that pose threats to the bryoflora, as it is the domain with the greatest species richness in this group. The high-altitude fields constitute an ecosystem associated with the Atlantic Forest, restricted to the tops of the highest mountain ranges in the southeast region of the country and harbor a unique bryoflora, with high rates of diversity, endemism and endangered species. The objective of this work was to understand the ecology and reassess the conservation status at a regional scale of the endemic or threatened mosses that occur in the high-altitude fields of the Itatiaia National Park. Expeditions were carried out in the study area to collect specimens of endemic or threatened mosses, in order to discover their life forms, geographic distribution, colonized substrates, reproductive biology and functional traits. The assessment of conservation status followed the proposal of the International Union for Conservation of Nature adapted for bryophytes, in addition to the use of the online tool GeoCAT to calculate the extent of occurrence and area of occupation. Threat vectors were characterized based on field observations and literature data. There were 43 species recorded, the most representative life form was the turf type (86%), 52% of the species are generalists and the specialists add up to 48%. Most taxa have a phytogeographic pattern Endemic to Brazil (41%), followed by Endemic to the PNI (17%). Functional analysis demonstrated the formation of functional groups that reflect the taxonomic order. Regarding conservation status at a regional scale, after reassessment 29 species were categorized as threatened (among them, eight Critically Endangered, six Endangered, 15 Vulnerable). *Andreaea subulata*, whose distribution in the country is restricted to the state of Rio de Janeiro and was considered possibly extinct regionally, was rediscovered in the Agulhas Negras and categorized as Critically Endangered. The increase in knowledge about this and other species highlights the importance of the PNI's high-altitude fields for the conservation of Brazilian bryoflora.

**Key-words:** mosses, biodiversity, bryophytes



## SUMÁRIO

Lista de Tabelas .....	xixi
Lista de Figuras.....	xii
Introdução Geral .....	13
Fundamentação Teórica.....	15
Floresta Atlântica.....	15
Campos de altitude .....	18
Ecologia e importância das briófitas.....	19
Conservação de espécies.....	24
Conservação de briófitas do Parque Nacional do Itatiaia .....	25
Referências.....	28
Capítulo 1: Aspectos ecológicos e reprodutivos de musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia .....	35
Resumo .....	35
Abstract.....	36
Introdução .....	37
Material e Métodos .....	39
Caracterização do local de estudo: .....	39
Levantamento dos dados, trabalho de campo e estudo do material:.....	40
Classificação dos substratos colonizados e formas de vida.....	41
Padrões de distribuição fitogeográfica.....	41
Estudo dos traços funcionais .....	42
Resultados .....	42
Diversidade.....	43
Padrões fitogeográficos .....	43
Substratos preferenciais .....	45
Formas de vida.....	46
Sistema sexual e presença de esporófito.....	46
Análise funcional.....	51
Discussão .....	55
1) Diversidade, distribuição e ecologia.....	55
2) Biologia reprodutiva e raridade .....	58
3) Traços funcionais .....	59
Referências.....	63
Capítulo 2: Conservação de musgos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia: uma análise regional para a Serra da Mantiqueira.....	72
Resumo .....	72
Abstract.....	73

Introdução .....	74
Material e Métodos .....	76
Caracterização do local de estudo: .....	76
Listagem das espécies.....	77
Classificação do status de conservação .....	77
Análises com a ferramenta GeoCAT - Cálculo de EOO e AOO.....	80
Caracterização das ameaças.....	81
Resultados.....	81
Discussão .....	91
Ameaças aos musgos dos campos de altitude do PNI .....	91
Recomendações .....	92
Referências.....	93
Capítulo 3: Rediscovering of <i>Andreaea subulata</i> Harv., a rare moss in Brazil.....	99
Abstract.....	99
Introduction.....	99
Material and methods.....	100
Results and Discussion .....	101
Conservation.....	104
Principal Threats.....	105
Recommendations.....	105
References.....	105
Considerações Finais .....	108
ANEXOS .....	110

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1.</b> Definição das formas de vida das briófitas. ....	22
<b>Tabela 2.</b> Espécies de briófitas que ocorrem nos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, categorizadas de acordo com seu risco de extinção no site do Centro Nacional de Conservação da Flora. ....	26
<b>Tabela 3.</b> Traços funcionais atribuídos às espécies e seus respectivos descritores.....	42
<b>Tabela 4.</b> Dados ecológicos sumarizados para as espécies ameaçadas e/ou endêmicas dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil.....	48
<b>Tabela 5.</b> Matriz com traços funcionais dos musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. ....	53
<b>Tabela 6.</b> Exemplo dos critérios quantitativos para determinar o grau de ameaça de um táxon.....	78
<b>Tabela 7.</b> Listagem das espécies de musgos endêmicas e/ou ameaçadas dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil .....	83

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Remanescentes de Floresta Atlântica. ....	18
<b>Figura 2.</b> Formas de vida de briófitas .....	22
<b>Figura 3.</b> Exemplos de musgos acrocárpico e pleurocárpico.....	24
<b>Figura 4.</b> Mapa do Parque Nacional do Itatiaia e área dos campos de altitude. ....	40
<b>Figura 5.</b> Riqueza de espécies por famílias dos musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. ....	43
<b>Figura 6.</b> Padrões Fitogeográficos das espécies de Briófitas ameaçadas de extinção e/ou endêmicas dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. ....	44
<b>Figura 7.</b> Alguns musgos endêmicos do Parque Nacional do Itatiaia. ....	45
<b>Figura 8.</b> Substratos preferenciais colonizados pelos musgos ameaçados e/ou endêmicos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. ....	45
<b>Figura 9.</b> Formas de vida dos musgos ameaçados e/ou endêmicos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia. ....	46
<b>Figura 10.</b> Exemplos de formas de vida encontradas. ....	46
<b>Figura 11.</b> Sistema sexual dos musgos ameaçados e/ou endêmicos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia. ....	47
<b>Figura 12.</b> Biplot da Análise de Componentes Principais dos traços funcionais dos musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. ....	52
<b>Figura 13.</b> Filídio de <i>Sphagnum</i> sp.com hialocistos. ....	60
<b>Figura 14.</b> <i>Leptodontium stellatifolium</i> seco. ....	61
<b>Figura 15.</b> <i>Leptodontium</i> sp. úmido. ....	61
<b>Figura 16.</b> Filídio de <i>Paraleucobryum longifolium</i> subsp. <i>brasiliense</i> .....	62
<b>Figura 17.</b> Mapa do Parque Nacional do Itatiaia e área dos campos de altitude. ....	77
<b>Figura 18.</b> Diagrama hierárquico das categorias de ameaça da IUCN .....	80
<b>Figura 19.</b> Número de espécies de musgos classificados nas diferentes categorias de ameaça para a região da Serra da Mantiqueira. ....	82
<b>Figure 20.</b> Location of the new record of <i>A. subulata</i> in the Itatiaia National Park, Rio de Janeiro State, Brazil. ....	101
<b>Figure 21.</b> Rock fissures on the Agulhas Negras peak, where <i>A. subulata</i> was collected. ....	103
<b>Figure 22.</b> Global distribution of <i>A. subulata</i> . ....	103

## Introdução Geral

O Brasil é o país mais biodiverso do mundo, possuindo entre 15-20% da biodiversidade do planeta (The Brazil Flora Group 2018, Flora do Brasil 2020). De acordo com dados da Flora do Brasil (2020), são reconhecidas 46.975 espécies para a flora brasileira (algas, fungos, briófitas, samambaias e licófitas, gimnospermas e angiospermas), distribuída por um território de cerca de 8,5 milhões de km<sup>2</sup> (Forzza et al. 2010). O Brasil apresenta zonas climáticas distintas, como a zona equatorial na Região Norte, zona tropical nas Regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste e áreas temperadas na Região Sul (MMA 2020, IBGE 2020). A variação climática, aliada à diversidade de relevo e outros aspectos ecológicos, históricos e biogeográficos, ocasionam mudanças na composição de espécies e fitofisionomias da vegetação, possibilitando a diferenciação dos domínios fitogeográficos brasileiros: Amazônia, Cerrado, Floresta Atlântica, Caatinga e Campos Sulinos (Fiaschi & Pirani 2009). Cabe ressaltar que os domínios fitogeográficos Floresta Atlântica e Cerrado estão entre os 34 *hotspots* mundiais prioritários para a conservação da biodiversidade, visto que apresentam uma elevada riqueza de espécies com alto grau de endemismo, sobrepostos a uma gama enorme de diferentes ameaças (Myers et al. 2000; Mittermeier et al. 2005).

Em relação à brioflora do Neotrópico, esta é bastante diversa, devido à grande variação climática e de paisagens presentes na região neotropical. Existem aproximadamente 4.000 espécies de briófitas registradas para a América Tropical, das 13.000 espécies de briófitas reconhecidas para o mundo (Gradstein et al. 2001; Costa 2015). O Neotrópico também possui 50 gêneros de hepáticas e 80 de musgos endêmicos (Schuster 1990; Gradstein & Raeymaekers, 2000). A brioflora brasileira apresenta ca. 1.342 espécies distribuídas em 112 famílias e 382 gêneros, e representa 33% das espécies neotropicais e 10% das espécies mundiais (Flora do Brasil 2020; Gradstein et al. 2001; Costa & Peralta 2015).

A Floresta Atlântica (FA) apresenta elevada diversidade de espécies e alto grau de endemismo tanto para a flora vascular (Tabarelli et al. 2005) quanto para a brioflora (Costa & Luizi-Ponzo 2010). Localizada ao longo da costa brasileira, os fragmentos remanescentes de FA sofrem impactos de origem antrópica devido à retirada de lenha, captura ilegal de animais, coleta ilegal de plantas, corte raso de madeira, introdução de espécies exóticas e expansão urbana, visto que se localiza na região com maior concentração populacional no Brasil (Galindo-Leal & Câmara 2005). Sua fragmentação e desmatamento constituem evidentes ameaças à diversidade de espécies de briófitas

(antóceros, hepáticas e musgos) visto que este é o domínio com a maior riqueza de espécies destes grupos, abrigando 1.342 espécies (Flora do Brasil, 2020). Em específico à flora de musgos, o Brasil abriga aproximadamente 900 espécies, distribuídas em 73 famílias e 280 gêneros e a FA constitui o domínio fitogeográfico com maior riqueza, com 772 espécies (Flora do Brasil 2020).

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI), foco deste estudo, está inserido no domínio fitogeográfico da FA e apresenta elevada importância para a conservação de briófitas por apresentar amplo gradiente altitudinal, o que possibilita a formação de distintas fitofisionomias florestais relacionadas à floresta ombrófila densa, bem como uma região de campos de altitude, uma fitofisionomia campestre, localizada acima de 2000m de altitude (Safford 1999a, Aximoff et al. 2016; Santos & Costa 2010; Costa et al. 2018). Devido ao grau de isolamento dos campos de altitude, esta região apresenta elevadas taxas de endemismo e também táxons com distribuição disjunta, compartilhados apenas entre montanhas neotropicais com características similares (Safford 2007; Martinelli 2007; Assis & Mattos 2016; Costa et al. 2018), constituindo ambientes de grande interesse para a conservação da história biogeográfica de diversos táxons.

Os campos de altitude do PNI sofrem pressões antrópicas devido às queimadas, o turismo em excesso, o uso como áreas de pastagem para o gado, além da introdução de espécies exóticas e a ameaça pela elevação da temperatura atmosférica e outras mudanças climáticas relacionadas ao aquecimento global (Aximoff 2011, Aximoff & Rodrigues 2011, Safford 1999b 2007). Por esta fitofisionomia abrigar um elevado número de espécies vegetais ameaçadas, endêmicas e raras (*i.e.* espécies com baixa abundância e/ou restrita distribuição geográfica), além de prover serviços ecossistêmicos necessários para um equilíbrio ambiental, os campos de altitude são considerados uma das áreas prioritárias para conservação brasileiras (Martinelli 1996, Aximoff 2011).

Conhecer a biodiversidade é fundamental para a elaboração de medidas que visem a conservação de habitats e espécies, além de possibilitar a elaboração de planos de manejo e avaliação de impactos socioambientais nos ecossistemas naturais (Martinelli et al. 2013). Além disso, a criação de listas vermelhas constitui um passo primordial para a conservação de espécies endêmicas e/ou ameaçadas e, com isto, medidas podem ser tomadas para a conservação destas espécies em seu ambiente natural. No entanto, as lacunas de conhecimento sobre a diversidade, as relações ecológicas e evolutivas e a distribuição geográfica representam um fator limitante para a proposição de planejamentos e tomadas de decisões sobre estratégias de conservação das briófitas.

Por este motivo, o presente trabalho visa incrementar as informações sobre os táxons de musgos ameaçados e/ou endêmicos que ocorrem nos campos de altitude do PNI, contribuindo com dados que possam ser utilizados como ferramentas para a conservação dessas espécies.

Sendo assim, a proposta do primeiro capítulo, intitulado “**Ecologia e aspectos reprodutivos e funcionais de musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia**”, foi analisar as formas de vida, os padrões fitogeográficos, os substratos e os microambientes colonizados pelos musgos endêmicos e/ou ameaçados, além de caracterizar a biologia reprodutiva e os traços funcionais dos táxons, de forma a compreender sua distribuição.

A proposta do segundo capítulo, intitulado “**Conservação de musgos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia: uma análise regional para a Serra da Mantiqueira**”, foi reavaliar o *status* de conservação das espécies em escala regional (após 15 anos da primeira análise) e verificar quais são as principais ameaças para os musgos endêmicos ou ameaçados dos campos de altitude do PNI.

O terceiro capítulo, intitulado “**Redescoberta de *Andreaea subulata* Harv., um musgo raro no Brasil**”, teve origem na redescoberta da espécie, não recoletada há quase 100 anos, e assim ampliar o conhecimento de sua distribuição geográfica, ecologia e conservação.

## **Fundamentação Teórica**

### *Floresta Atlântica*

A Floresta Atlântica (FA) corresponde a um domínio fitogeográfico que, antes da colonização europeia cobria de 1,3 a 1,5 milhões de km<sup>2</sup>, estendendo-se por mais de 3.300 km ao longo da costa brasileira (Morellato & Haddad 2000, Galindo-Leal & Câmara 2005). Porém, com o passar dos anos, como consequência da ocupação humana, muitas vezes desordenada e de diferentes tipos de distúrbios antrópicos, restam atualmente apenas 32 milhões de hectares de vegetação nativa no domínio da FA (Figura 1) de acordo com a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS 2019), o que corresponde a 28% de cobertura do domínio (Rezende et al. 2018).

Dependendo da metodologia e da escala adotadas para o estudo da cobertura dos remanescentes da FA, diferentes resultados vêm sendo obtidos ao longo do tempo. A Fundação SOS Mata Atlântica (2020) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

apontam, através do monitoramento divulgado pelo Atlas da Mata Atlântica, a existência de 13,4 milhões de hectares de florestas nativas acima de 3 hectares, o que equivale a 12,4% da área de cobertura original. Para Ribeiro et al. (2009), restam 11.79% (16,377,472 ha) do ecossistema original distribuídos em 245.173 fragmentos. A maioria destes fragmentos apresenta tamanho reduzido (<100 ha) ao longo da costa do Brasil e guarda um elevado número de espécies endêmicas e ameaçadas (Pinto et al. 2006). Independente de se conhecer com exatidão o escore da área relictual, a FA representa uma das regiões mais ameaçadas do mundo e um *hotspot* de biodiversidade, pois apresenta elevado número de espécies endêmicas e ameaçadas e mais de 70% da cobertura original destruída (Myers et al. 2000; Mittermeier et al. 2005).

Myers et al. (2000) estimaram a riqueza da Floresta Atlântica em 20 mil espécies de plantas vasculares, sendo oito mil (40%) endêmicas. Stehman et al. (2009) indicam a presença de 14.552 espécies vasculares, com 6.993 (48%) endêmicas, entretanto os autores ainda consideram que o conhecimento da flora da Floresta Atlântica ainda é insuficiente, visto que novas espécies vegetais têm sido descobertas com o passar dos anos. Atualmente a Flora do Brasil (2020) indica a presença de 16.451 espécies de plantas vasculares com 8.407 (51%) endêmicas.

A diversidade e o endemismo de plantas vasculares na FA estão entre as mais altas no mundo; no entanto, informações sobre a distribuição geográfica de muitos táxons ainda são deficientes (Martini et al. 2007). Alguns trabalhos demonstram níveis estimados de endemismo para a FA, e.g., Martinelli et al. (2008) apontam uma variação de 33% de endemismo para as pteridófitas até mais de 81% das 803 espécies de bromélias na FA. Dentre os gêneros de angiospermas, 159 são endêmicos da FA (Stehmann et al. 2009).

No levantamento apresentado pela Flora do Brasil (2020) são reconhecidas para a FA 1.342 espécies de briófitas, distribuídas em 382 gêneros e 112 famílias. Assim sendo, a Floresta Atlântica é a mais rica região do Brasil com 83% dos táxons de briófitas reconhecidos para o país. Do total de 1.342 espécies, 11 são de antóceros (3 famílias e 6 gêneros), 559 são de hepáticas (38 famílias e 118 gêneros) e 772 são de musgos (71 famílias e 258 gêneros).

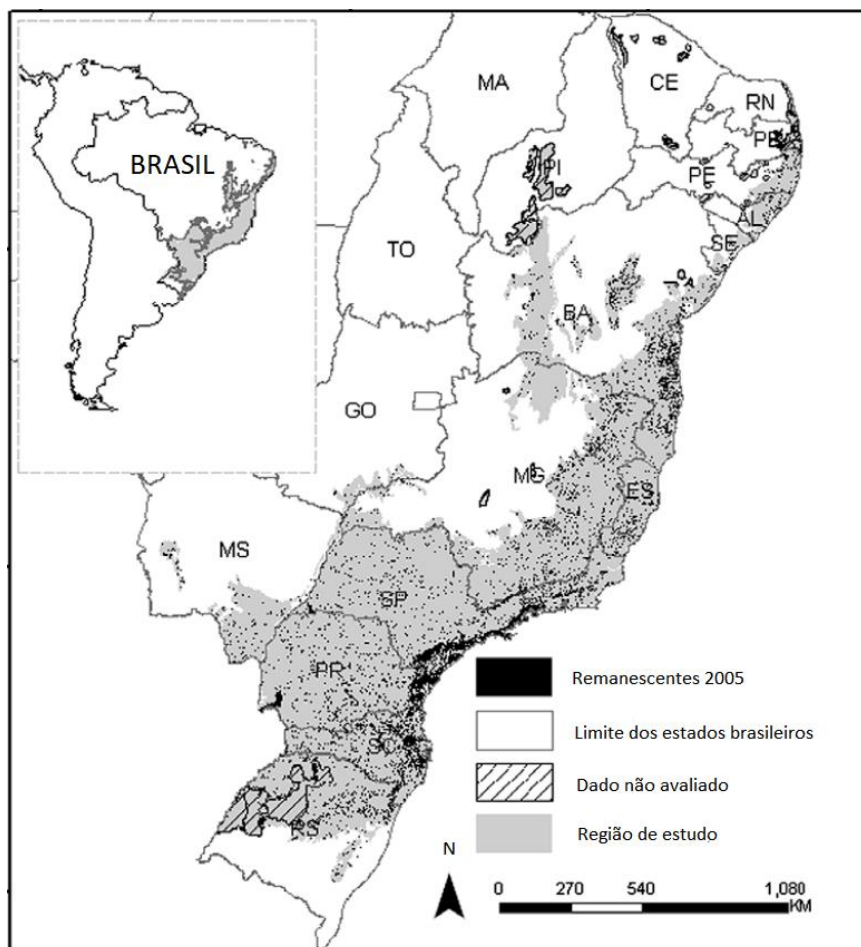
No capítulo sobre as briófitas do livro “Plantas da Floresta Atlântica”, Costa (2009) afirma que as briófitas ocorrem em todas as formações vegetacionais da FA, sobretudo na floresta ombrófila densa, seguida da floresta ombrófila mista, floresta estacional decidual,



floresta estacional semidecidual, restinga, manguezal e formações campestres/afloramentos rochosos, nesta ordem de riqueza de espécies.

No tocante ao endemismo, existem 261 espécies endêmicas da FA, sendo uma de antóceros, 90 de hepáticas e 170 de musgos (Flora do Brasil 2020). A maior concentração de táxons endêmicos na FA é encontrada na Serra da Mantiqueira, principalmente no Parque Nacional do Itatiaia (Costa 2009). Dez famílias, especialmente Sphagnaceae (46), Lejeuneaceae (44) e Sematophyllaceae (14), se destacam pelo número de táxons endêmicos do Brasil (Flora do Brasil 2020).

A história de formação do domínio fitogeográfico da FA está relacionada com a formação dos domínios do Cerrado e da Caatinga, pois houve a expansão da Diagonal de Formações Abertas Secas (DFAS) na América do Sul, iniciada no Plioceno, há ca. cinco milhões de anos atrás (Da Silva & Pinto-da-Rocha 2013). A DFAS foi responsável pela expansão do Cerrado e consequente retração ao leste brasileiro da floresta tropical, que denominamos FA (Da Silva & Pinto-da-Rocha 2013), constituída pelos domínios da Caatinga, a nordeste; do Cerrado, na região central do Brasil; e do Chaco, mais a sudoeste no continente. Alguns fragmentos florestais presentes na Caatinga e no Cerrado compartilham táxons com a Floresta Amazônica e FA, o que indica uma conexão entre essas florestas no passado. Os táxons compartilhados entre Floresta Amazônica e FA e ausentes nos domínios do Cerrado e da Caatinga, com distribuição disjunta, representam relictos de um processo de vicariância iniciado pela expansão das formações abertas (Da Silva & Pinto-da-Rocha 2013; Lima et al. 2017). Uma das evidências que suporta a hipótese da DFAS é a semelhança entre elementos vegetacionais da parte norte da FA e da parte sul amazônica, os quais também ocorrem esparsamente nos brejos de altitude nordestinos presentes na Caatinga (Santos et al. 2007; Lima et al. 2017; Batista 2018). Alguns estudos apontam uma divisão fitogeográfica da FA em duas regiões distintas: a região norte (desde o Rio Grande do Norte ao Espírito Santo) e a sul (desde o Espírito Santo até Santa Catarina), separadas pelo vale do Rio Doce (Santos et al. 2007; Fiaschi & Pirani 2009). A parte sul da FA apresenta maior semelhança florística com a região andina central (Fiaschi & Pirani 2009) e apresenta táxons em comum com fragmentos de matas de galeria esparsas na matriz de Cerrado (Oliveira-Filho & Ratter 1995).



**Figura 1.** Remanescentes de Floresta Atlântica. (Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. 2009).

### *Campos de altitude*

Os campos de altitude representam uma fitofisionomia associada à FA restrita aos topos das montanhas mais elevadas do sudeste brasileiro e estão presentes nas Serras do Mar e da Mantiqueira (Segadas-Vianna & Dau 1965; Safford 1999b). As condições climáticas e pedológicas dos campos de altitude representam uma barreira para o estabelecimento de espécies florestais, fazendo com que esta fitofisionomia esteja em uma situação de maior isolamento em relação aos demais tipos de vegetação da FA (Aximoff 2011) e também entre eles. As regiões de ocorrência dos campos de altitude normalmente estão associadas a temperaturas baixas e riscos de geadas e uma vegetação composta por campos graminóides, com elevado endemismo e alta diversidade de espécies vasculares herbáceas e arbustivas e abundância de briófitas (Brade 1956, Gradstein & Costa 2003; Costa et al. 2015; Aximoff et al. 2016).

Apesar de grande parte dos campos de altitude estarem localizados no interior de unidades de conservação (UCs), eles sofrem inevitavelmente impactos naturais e/ou de

origem antrópica (Aximoff 2011; Safford 1999). No entanto, a pressão antrópica é atualmente o principal vetor de ameaça aos campos de altitude e seu entorno. Dentre os impactos antrópicos, destacam-se o fogo, o turismo em excesso, o uso como áreas de pastagem para o gado, além da introdução de espécies exóticas e a ameaça do aquecimento global, que colocam em risco a existência deste tipo de ambiente (Aximoff 2011). Nos últimos anos, a alta ocorrência de incêndios constitui uma das principais pressões antrópicas sobre este ecossistema (Aximoff et al. 2016), contudo ainda são escassos os trabalhos que abordam os efeitos desse distúrbio sobre a vegetação (Aximoff 2011; Aximoff et al. 2016; Safford 2001). Dentre os fatores que facilitam a propagação do fogo nos campos de altitude estão a vegetação herbácea, com muitas gramíneas; o clima seco e frio, sobretudo no inverno; e a ocorrência de ventos fortes (Safford 1999a).

O elevado número de espécies vegetais ameaçadas, endêmicas e raras e o papel deste ecossistema na regulação do ciclo da água, garantem importância socioambiental, colocando os campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia como área prioritária para a conservação (Martinelli 1996; Aximoff 2011). Tanto as características de isolamento geográfico, quanto os impactos de origem antrópica colocam em risco a existência deste tipo de ambiente.

#### *Ecologia e importância das briófitas*

As briófitas (antóceros, hepáticas e musgos) constituem um grupo monofilético (Cole et al. 2019; Leebens-Mack et al. 2019; Li et al. 2020) e são representadas por três diferentes linhagens evolutivas (Anthocerotophyta, Marchantiophyta e Bryophyta). São plantas criptógamas avasculares com geração gametofítica dominante e que dispersam seus esporos principalmente pelo vento e são capazes de tolerar condições ambientais extremas (Glime 2007; Tuba et al. 2011), como as existentes nos campos de altitude (e.g. ampla variação de temperatura, alta radiação solar). Elas estão amplamente distribuídas no mundo, ocorrendo nos mais variados ecossistemas e em uma grande quantidade de substratos como troncos, ramos e folhas de árvores e arbustos, rochas, barrancos e substratos artificiais (e.g. telhas de cerâmica ou amianto, placas de concreto, dentre outros) (Glime 2007). Estão presentes desde o Ártico até as florestas tropicais, em desertos e ambientes submersos, porém nunca no ambiente marinho (Costa & Luiz-Ponzo 2010).

As briófitas são plantas poiquiloídricas, ou seja, não apresentam controle sobre a perda d'água, sendo o turgor de suas células dependente da umidade do ambiente (Proctor

2000). Existem duas maneiras principais de condução de água nessas plantas, de forma externa e por difusão, denominada ectohídrica, e condução pela parte interna da planta, chamada de endohídrica. Esta forma de condução está presente em briófitas que apresentam células especializadas no transporte de água, os leptóides e hidróides, que formam um tecido de condução primitivo; também existem as mixohídricas que podem absorver água por toda a superfície do corpo e conduzir água internamente (Delgadillo 1990). Geralmente o transporte de água mais comum é realizado por ectohidria. O espaço capilar associado a essas plantas garante uma reserva de água significativa, sem que a perda de água danifique suas células. Desta forma, elas podem tolerar longos períodos de seca mesmo não havendo água intracelular no estado líquido. Após reidratação, seu metabolismo volta ao estado natural em minutos ou horas (Proctor & Tuba 2002).

As briófitas são componentes importantes da vegetação de diversas regiões do mundo, desempenhando um papel vital para o funcionamento dos ecossistemas. Nas regiões do ártico, as briófitas são importantes para manter o “permafrost” (solo permanentemente congelado) e formam as turfeiras, importantes reservatórios de carbono (Francez & Vasander 1995). Estas plantas frequentemente dominam ambientes extremos ou com filtros ambientais pronunciados, tais como os topos de montanha expostos e ambientes não favoráveis para a maioria das plantas vasculares, e.g., como os solos ricos em metais pesados (Tuba et al. 2011; Hallingback & Hodgetts 2000).

As briófitas também apresentam interações com animais, os musgos e hepáticas comumente formam habitats, com temperatura e umidade adequadas para alguns organismos da microfauna, como nematóides, rotíferos, tardígrados, ácaros, minhocas e insetos (Sayre & Brunson 1971; Vanderpoorten & Goffinet 2009). Outrossim, o gametófito das briófitas também constitui um material para construção de ninhos de aves, como alguns representantes dos gêneros de musgos (*Papillaria*, *Floribundaria*, *Meteorium* e *Squamidium*) e hepáticas (*Frullania* e *Plagiochila*) (Bentley & Carpenter 1984; Amelio et al. 2017). Para a nutrição, nos ambientes do ártico, as briófitas constituem uma grande parte da dieta de muitos animais (Prins 1982); mamíferos ingerem grandes quantidades de briófitas pelo seu alto conteúdo de ácido araquidônico, um ácido graxo que promove alta maleabilidade para as membranas plasmáticas em temperaturas baixas (Prins 1982, Glime 2010). Na tundra, as briófitas também podem ser consumidas para nutrição, as cápsulas e os filídios apresentam nutrientes, sendo particularmente palatáveis para alguns crustáceos, insetos e moluscos. Por exemplo, *Ulota phyllantha* Brid. é uma espécie

de musgo da família Orthotrichaceae consumida por um isópode que ingere a lâmina do filídio, exceto a costa (Glime 2007). Cabe destacar que, em ecossistemas tropicais, a herbivoria em briófitas é rara. Em um dos poucos registros existentes, Maciel-Silva & Santos (2011) demonstram baixa ocorrência de herbivoria nos musgos *Hypopterygium tamarisci* (Sw.) Brid. ex Müll.Hal. e *Lopidium concinnum* (Hook.) Wilson (Hypopterygiaceae) na Floresta Atlântica do sudeste brasileiro.

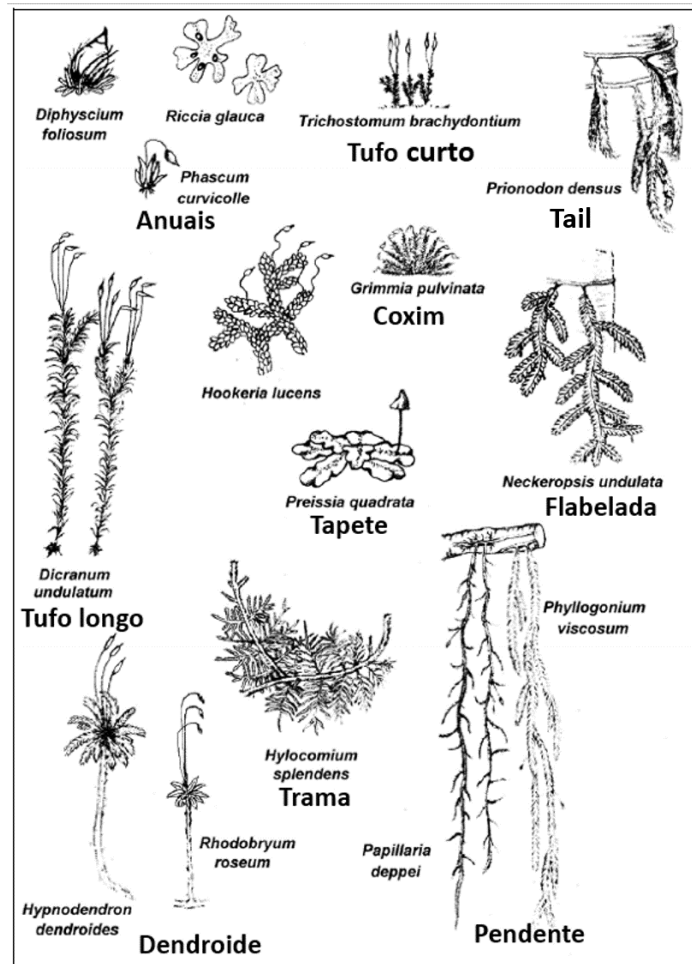
Com relação às interações ecológicas positivas, os antóceros apresentam relações simbióticas com cianobactérias (Adams 2002). Os gametófitos talosos dos antóceros são repletos de cavidades contendo mucilagem. Quando o gametófito envelhece, as cavidades de mucilagem secam, resultando em cavidades vazias, conectadas com o meio externo por poros. Cianobactérias do gênero *Nostoc* podem, então, adentrar por esses poros nas cavidades de mucilagem, formando uma associação simbiótica com o antóceros, onde a cianobactéria providencia nitrogênio para o antóceros e recebe carboidratos em troca.

As briófitas são ótimas bioindicadoras, pois reagem de maneiras previsíveis e mensuráveis frente às mudanças no ambiente (Vanderpoorten & Goffinet 2009). Muitas espécies são sensíveis à poluição e, portanto, úteis em técnicas de biomonitoramento. As briófitas podem ser utilizadas *ex situ* para medir os níveis de poluição através da concentração de poluentes nos seus tecidos ou pela presença de indicadores de *stress*, tais como proporção de pigmentos ou pela concentração de enzimas envolvidas no processo de desintoxicação de poluentes (Vanderpoorten & Goffinet 2009). No Japão, Taoda (1972) demonstrou a eficiência do uso de briófitas para avaliar o impacto da poluição do ar, pois a poluição do ar pode criar um “deserto de musgos” limitando a ocorrência de muitas espécies sensíveis, que desaparecem em ambientes altamente poluídos. Briófitas têm sido usadas para o monitoramento de poluição do ar tanto na Europa quanto na América do Norte (Rao 1982). Sendo muito utilizadas em grandes cidades e áreas com estações elétricas e metalúrgicas para medir a poluição do ar por metais pesados (Maschke 1981, Mäkinen 1987).

As briófitas são extremamente dependentes do ambiente externo para sua sobrevivência e reprodução, por serem poiquiloídricas e possuírem gameta masculino flagelado (Proctor 2000; Goffinet & Shaw 2009). Desta maneira, apresentam diferentes estratégias, como diferentes formas de vida, que maximizam a captura de luz e minimizam a perda de água, possibilitando a sua permanência em diferentes ambientes (Bates 1998).

As diferentes formas de vida (Fig. 2) representam uma das adaptações morfológicas selecionadas pelo ambiente que possibilitou a minimização do estresse

hídrico pela evapotranspiração e a maximização da captação de luz para realização da fotossíntese (Glime 2007). As formas de vida (Tab. 1) são o resultado de dois componentes, a **forma de crescimento** e a **assembleia de indivíduos** e, ambos podem ser consideravelmente modificados pelo ambiente (Smith 1982; Bates 1998; Mägdefrau 1982).



**Figura 2.** Formas de vida de briófitas, traduzido de Mägdefrau (1969). Fonte: Glime (2007).

**Tabela 1.** Definição das formas de vida das briófitas. Fonte: Glime (2007).

Formas de vida	Definição
Anuais	Pioneiras; sem brotos vegetativos remanescentes para continuar um segundo ano. Exemplos: <i>Buxbaumia</i> , <i>Diphyscium</i> , <i>Ephemerum</i> , <i>Phascum</i> , <i>Riccia</i> .
Tufos curtos	Presentes em ambientes abertos e colonizam substratos de solos minerais e rochas; brotos regenerativos; formam tufos espalhados por apenas poucos anos. Exemplo: <i>Barbula</i> , <i>Ceratodon</i> , <i>Didymodon</i> , <i>Marsupella</i> .

Tufos longos	Mais comuns em áreas florestais de zonas temperadas, florestas altomontanas e campos de altitude; podem conduzir água internamente; muito altos; persistem por brotos regenerativos. Exemplos: Bartramiaceae, Dicranaceae, Polytrichaceae <i>Drepanocladus, Herbertus, Sphagnum, Tomenthypnum.</i>
Coxim	Comuns em rochas, cascas de árvore e ambientes do ártico, antártico e alpino; geralmente toleram alta incidência luminosa; crescem para cima e para os lados, gerando formas convexas; persistente para muitos anos; <i>Andreaea, Grimmia, Leucobryum, Orthotrichum, Plagiopus</i> , sem hepáticas.
Tapete	Comuns em rochas, cascas de árvore [em folhas (epifilas) nos trópicos]; plagiotrópicas e persistentes por vários anos. Exemplos Lejeuneaceae, maioria das Marchantiaceae, <i>Homalothecium, Lophocolea, Plagiothecium, Radula.</i>
Trama	No interior de florestas temperadas; retém uma quantidade considerável de água por capilaridade; crescem livremente e são fáceis de remover do substrato; uma nova camada cresce a cada ano. Exemplos: Brachytheciaceae, Hylocomiaceae, <i>Bazzania, Ptilidium, Thuidium, Trichocolea.</i>
Pendentes	Epífitas, especialmente em florestas nebulares tropicais; apresentam um caulídio principal longo com pequenos ramos laterais. Exemplos: Meteoriaceae, Phyllogoniaceae, algumas espécies tropicais de <i>Frullania.</i>
Tails	Em árvores e pedras, ambientes sombreados; radialmente folheado, rastejante, os brotos se afastam do substrato; <i>Cyathophorum, Leucodon, Spiridens</i> , algumas espécies tropicais de <i>Plagiochila.</i>
Flabelada	Em substratos verticais, usualmente onde o clima é chuvoso; rastejante, com ramos em um plano e filídios usualmente retos. Exemplos: Neckeraceae, Pterobryaceae, <i>Thamnobryum</i> e algumas espécies de <i>Plagiochila.</i>
Dendróide	Em solos, usualmente úmidos; caulídio principal com um tufo ou ramos no ápice. Exemplos: <i>Climacium, Hypnodendron, Hypopterygium, Leucolepis, Pleuroziopsis, Symphyogyna Hymenophyllum.</i>
Streamer	gametófitos longos, caulídios flutuantes em riachos ou lagos. Exemplo: <i>Fontinalis.</i>

Smith (1982) descreve que o termo “forma de crescimento” foi definido por Meusel (1935) como o “carácter da planta que só pode ser determinado por análise morfológica detalhada”; e sugere que para Buchloh (1951) “as formas de crescimento são fundamentalmente estabelecidas pela própria organização do corpo da planta”. Então, a forma de crescimento pode ser definida como um termo puramente morfológico (Fig. 3). Termos como “acrocárpico” e “pleurocárpico” foram introduzidos por Bridel (1826) na descrição morfológica de musgos e relatam a posição do esporófito no gametófito, usada posteriormente por Schimper (1860) para indicar características sistemáticas básicas e também foi usado para verificar o comportamento da direção do crescimento no gametófito (Smith 1982).



**Figura 3.** Exemplos de musgos acrocárpico e pleurocárpico. A) *Itatiella ulei*, musgo acrocárpico. B) *Brachythecium sp.*, musgo pleurocárpico (Fotos: D.F. Peralta).

### *Conservação de espécies*

A Biologia da Conservação foi desenvolvida como uma resposta à crise atual com a qual a diversidade biológica se confronta, sendo esta uma ciência multidisciplinar. Os objetivos principais da Biologia da Conservação são: entender os efeitos de atividades antrópicas sobre os ecossistemas, comunidades e espécies; desenvolver abordagens práticas para prevenir a extinção de espécies e caso seja possível, realocar as espécies ameaçadas ao seu ecossistema funcional (Primack & Rodrigues 2001).

A biologia da conservação tenta fornecer respostas a questões específicas aplicáveis a situações reais. Tais questões são levantadas no processo de determinar as melhores estratégias para proteger espécies raras, delinear reservas naturais, iniciar programas de reprodução para



manter a variação genética de pequenas populações e harmonizar as preocupações conservacionistas com as necessidades do povo e governo locais (Primack & Rodrigues 2001).

Nesse sentido, visto o elevado número de espécies que vivem atualmente sob algum grau de ameaça, torna-se necessário o uso de um sistema de classificação que auxilie na categorização das espécies de acordo com o risco de extinção que enfrentam (Hallingback & Hodgetts 2000; Heywood & Iriondo 2003). A probabilidade de extinção de espécies deve ser avaliada com critérios pré-estabelecidos, e as espécies consideradas ameaçadas devem ser divulgadas em listas vermelhas. Em uma lista vermelha, as espécies encontradas em determinada área são ranqueadas de acordo com seus níveis de ameaça padronizados através dos guias da União Internacional de Conservação da Natureza (IUCN).

#### *Conservação de briófitas do Parque Nacional do Itatiaia*

As briófitas do Parque Nacional do Itatiaia (PNI) foram primeiramente estudadas por Müller (1898) no *Bryologiae Serra Itatiaiae*. Neste trabalho, Müller estudou coletas realizadas principalmente por Ernst Ule. Este autor lista 76 espécies de musgos, dentre as quais 59% eram novas para a ciência. Em 1903, Dusén publicou o *Sur la flore de la serra do Itatiaia*, onde o autor atribui a Stephani o estudo das hepáticas listadas, citando 58 espécies (quatro novas para a ciência). Entre as obras clássicas, destaca-se ainda o tratado de Warnstorf (1911) da família Sphagnaceae para o mundo, onde são descritas muitas espécies de *Sphagnum* para Itatiaia.

Nas últimas décadas, diferentes trabalhos florísticos incluem briófitas do PNI, especialmente citações de novas ocorrências ou tratamentos taxonômicos, como: Schäfer-Verwimp & Vital (1989); Frahm (1991); Schäfer-Verwimp (1992); Yano (1992); Reese (1993); Schäfer-Verwimp & Giancotti (1993); Gradstein & Costa (2003); Costa & Lima (2005); Costa (2008); Santos & Costa (2010) e Rezende (2015). Recentemente, Costa et al. (2015) analisaram a diversidade de briófitas ao longo do gradiente de altitude do PNI, com a finalidade de elucidar a riqueza e a composição florística das diferentes fitofisionomias encontradas no Parque. Neste trabalho, os autores listam 519 espécies de briófitas para o Parque. Rezende (2015) estudou as hepáticas ameaçadas do PNI, indicando três espécies como “criticamente em perigo” (CR), três “em perigo” (EN), 26 “vulneráveis” (VU), 12 com “menor preocupação” (LC) e sete com “dados deficientes”

(DD). Costa & Rezende (2015) publicaram um guia com fotografias e ilustrações botânicas das hepáticas consideradas ameaçadas do PNI, com o intuito de despertar a necessidade da valorização e conservação da brioflora do Parque. Gonçalves & Santos (2018) construíram um banco de dados para as briófitas ameaçadas que ocorrem nos campos de altitude do PNI, com informações sobre taxonomia, distribuição geográfica, substratos de ocorrência, status de conservação e principais coletores e coleções; listando 64 espécies de hepáticas e musgos ameaçadas com ocorrência nos campos de altitude do PNI. Esses trabalhos demonstram a importância do PNI como centro de conservação de briófitas neotropicais.

Costa et al. (2015) apontam que a maior riqueza de espécies de briófitas no PNI é encontrada na Floresta Alto Montana (acima de 2.100 m de altitude), sendo que a riqueza de musgos e hepáticas apresentam um pico entre 2.100 e 2.300 m de altitude. O padrão de riqueza dos musgos aumenta em relação a altitude, porém esse padrão não foi encontrado para as hepáticas. Os autores demonstraram que há um contraste, com um número significativamente baixo de espécies nas maiores altitudes (2.500 – 2.600 m) e também nas menores (500 – 700 m).

Existem muitas briófitas endêmicas de campos de altitude (Costa et al. 2005; Rezende 2015, Gonçalves & Santos 2018), o que pode ser explicado pelas características de nicho ecológico necessárias ao seu estabelecimento, como condições específicas de umidade, temperatura e luminosidade ou características biológicas (incluindo a limitação de dispersão dos esporos e dificuldades para realização da reprodução sexuada, que é dependente de água) (Glime 2007). Muitas espécies endêmicas que estão restritas a uma localidade geográfica encontram-se ameaçadas de extinção e este é o caso de espécies de briófitas dos campos de altitude do PNI, que por estarem sujeitas a eventos de distúrbio locais podem ser colocadas em risco.

Em escala nacional, oito espécies de briófitas (Tab. 2) que ocorrem nos campos de altitude de Itatiaia encontram-se na lista vermelha de plantas ameaçadas, de acordo com os dados do portal online do Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora - <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha>).

**Tabela 2.** Espécies de briófitas que ocorrem nos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, categorizadas de acordo com seu risco de extinção no site do Centro Nacional de Conservação da Flora. Legenda: EN (em perigo), NT (quase ameaçada) e VU (vulnerável).

Classificação	Espécie	Categoria
Hepática	<i>Gongylanthus liebmannianus</i> (Lindenb. & Gottsche) Steph.	EN
Musgo	<i>Pringleella subulata</i> (Müll.Hal.) Broth.	EN
Musgo	<i>Atractylocarpus brasiliensis</i> (Müll.Hal.) R.S.Williams	EN
Musgo	<i>Atractylocarpus longisetus</i> (Hook.) E.B. Bartram	EN
Musgo	<i>Campylopus densicoma</i> (Müll.Hal.) Paris	EN
Musgo	<i>Itatiella ulei</i> (Broth. ex Müll.Hal.) G.L.Sm.	NT
Musgo	<i>Leptodontium wallisii</i> (Müll.Hal.) Kindb.	VU

De acordo com Costa & Santos (2009), dentre as 75 espécies de hepáticas ameaçadas do Estado do Rio de Janeiro (RJ), 51 ocorrem no PNI (38 exclusivas). Rezende (2015) indica que das 32 espécies de hepáticas ameaçadas encontradas no PNI, 30 ocorrem nos campos de altitude. Com relação aos musgos, Costa et al. (2005) reportam 37 espécies ameaçadas para os campos de altitude do PNI. Gonçalves & Santos (2018) destacam que 64 espécies de briófitas (36 hepáticas e 28 musgos) são ameaçadas e ocorrem nos campos de altitude do PNI, o que reitera o *status* do PNI como área prioritária para conservação de briófitas (Costa & Paranhos 2008). Apesar dos trabalhos recentes realizados com as briófitas do PNI, as informações presentes nas coleções realizadas para as espécies ameaçadas dos campos de altitude ainda se encontram dispersas na literatura e nos herbários, o que dificulta a proposição de planos de ação, sobretudo para as espécies de musgos.

## Referências

- Adams DG (2002) Cyanobacteria in Symbiosis with Hornworts and Liverworts. pp. 117–121. In: Rai AN, Bergman B, Rasmussen U (eds) Cyanobacteria in Symbiosis. Springer, Dordrecht.
- Amelio LA, Carmo DM, Lima JS, Peralta DF (2017) Bryophytes as a material to build birds' nests in Brazil. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 52 (2): 199-208.
- Aximoff I (2011) O que perdemos com a passagem do fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro? Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. *ICMBio*, n. 2, p.180 – 200.
- Aximoff I, Nunes-Freitas AF, Braga JMA (2016) Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil. *Oecologia Australis* 20(2): 200–218.
- Aximoff I, Rodrigues RC (2011) Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal* 21(1): 83–92.
- Bates JW (1998) Is 'life-form' a useful concept in bryophyte ecology? *Oikos* 82: 223–237.
- Bentley BI, Carpenter EJ (1984) Direct transfer or newly-fixed nitrogen from free-living epiphyllous microorganisms to their host plant. *Oecologia* 63: 52–56.
- Brade AC (1956) A flora do Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* 5: 7-85.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (2020). Disponível em: <https://www.gov.br/mma/ptbr/assuntos/climaazoniodesertificacao/mudancasclimaticas>
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2020). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia.html>
- Briófitas in Flora do Brasil (2020). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128466>>. Acesso em: 05 jan. 2021
- Cole TCH, Hilger HH, Goffinet B (2019) Bryophyte Phylogeny Poster (BPP) *PeerJ Preprints* 7: e27571. Disponível em: <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27571> (Acesso em: 05/11/2019)
- Costa DP (2008) Metzgeriaceae. *Flora Neotropica*, monograph 102: 1–169.

- Costa DP, Imbassahy CAA, Silva VPAV (2005) Diversidade e Importância das Espécies de Briófitas na Conservação dos Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 56: 13–49.
- Costa DP, Lima FM (2005) Moss diversity in the tropical rainforests of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 28(4): 671–685.
- Costa DP, Luizi-Ponzo AP (2010) Introdução: as briófitas do Brasil. pp. 61–68. In: RC Forzza et al. (org.). Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online]. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Costa DP, Rezende MA (2015) Threatened Liverworts of Itatiaia National Park, Rio de Janeiro – Brazil. *Field Guides*. Disponível: <https://fieldguides.fieldmuseum.org/guides/guide/803>.
- Costa DP, Santos ND (2009) Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. *Acta Botanica Brasilica* 23(4): 913–922.
- Costa DP (2015) Diversity and conservation of Pottiaceae (Pottiales) in the Atlantic Rainforest. *Acta Botanica Brasilica* 29(3): 354–374.
- Costa DP, Paranhos CP (2008) Conservation priorities for the bryophytes of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Bryology* 30: 133–142.
- Costa DP, Couto GP, Siqueira MF, Churchill SP (2018) Bryofloristic affinities between Itatiaia National Park and tropical Andean countries. *Phytotaxa* 346: 203–220
- Costa DP, Luizi-Ponzo AP (2010) Introdução: as briófitas do Brasil. pp. 61–68. In: Forzza, RC., et al. (org.). Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online]. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Costa DP, Peralta DF (2015) Bryophytes diversity in Brazil. *Rodriguésia* 66(4): 1063–1071. DOI: 10.1590/2175-7860201566409
- Costa DP, Santos ND, Rezende MA, Buck WR, Schaefer-Verwimp A (2015) Bryoflora of the Itatiaia National Park along an elevation gradient: diversity and conservation. *Biodiversity and Conservation* 24(9): 2199–2212.

- Da Silva MB, Pinto-da-Rocha R (2013) História biogeográfica da Mata Atlântica: Opiliões (Arachnida) como modelo para sua inferência. In: Carvalho, A.J.B. & Almeida, E.A.B. Biogeografia da América do Sul: Padrões e Processos. São Paulo: Roca. 306 p.
- Delgadillo CM & Cárdenas MAS (1990) Manual de Briófitas. Universidad Nacional Autónoma de México. (2) pp 27.
- Dusén P (1903) Sur la flore de la Serra do Itatiaia. Arquivos do Museu Nacional Rio de Janeiro 13: 1–119.
- Fiaschi P, Pirani JR (2009) Review of plant biogeographic studies in Brazil. Journal of Systematics and Evolution 47: 477-496.
- Forzza RC, Baumgratz JFA, Costa A et al. (2010) Introdução. Pp 19-22. In: Catálogo de plantas e fungos do Brasil, vol. 1. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Flora do Brasil (2020) Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2021
- Flora do Brasil (2020) Briófitas. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128472> (Acesso em: 20/03/2021).
- Frahm JP (1991) Dicranaceae: Campylopodioideae, Paraleucobryoideae. Flora Neotropica, monograph 54: 1–238.
- Francez A, Vasander H (1995) Peat accumulation and peat decomposition after human disturbance in French and Finnish mires. Acta Oecologica 16: 599–608.
- Galindo-Leal C, Câmara IG (2005) Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. pp. 3–12. In: Galindo-Leal C, Câmara IG (eds.). Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica - Belo Horizonte: Conservação Internacional.
- Gonçalves MTA, Santos ND (2018) Campos de Altitude do Parque Nacional do Itatiaia: um hotspot para briófitas. Diversidade e Gestão 2(2): 90–105.
- Glime JM (2007) Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Disponível em: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>. Acesso em 16/03/2021).

- Glime JM (2010) Bryophyte Ecology. Vol. 2. Bryological Interaction [online]. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Disponível em: <http://www.bryoecol.mtu.edu/> (Acesso em 10/10/2019).
- Gradstein SR, Churchill SP, Salazar-Allen N (2001) Guide to the bryophytes of Tropical America. *Memoirs of The New York Botanical Garden* 86: 1–577.
- Gradstein SR, Costa DP (2003) The hepaticae and anthocerotae of Brazil. *Memoirs of The New York Botanical Garden* 87: 1–336.
- Gradstein SR, Raeymaekers G (2000) Tropical America (incl. México). pp. 38–44. In: T. Hallingbäck, & N. Hodgetts. (compilers). Mosses, Liverworts and Hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN/SCC Bryophyte Specialists Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Hallingbäck T, Hodgetts N (2000). Mosses, Liverworts, and Hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN/SSC Bryophyte Specialist Group. p. 54-56.
- Heywood VH, Iriondo JM (2003) Plant conservation: old problems, new perspectives. *Biological Conservation* 113: 321–335.
- Leebens-Mack JH; Barker MS; Carpenter EJ et al. (2019) One thousand plant transcriptomes and the phylogenomics of green plants. *Nature* 574: 679–685.
- Li F, Nishiyama T, Waller M et al. (2020) Anthoceros genomes illuminate the origin of land plants and the unique biology of hornworts. *Nat. Plants* 6: 259–272. doi: <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0618-2>
- Lima JR, Santos ND, Tozzi AMGA, Mansano VF (2017) Using legumes as indicators in the seasonally dry vegetation types in South America. *Ecological Indicators* 73: 708–715.
- Maciel-Silva AS, Santos ND (2011) Detecting herbivory in two mosses from an Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Bryology* 33(2): 140–147. doi:10.1179/1743282010y.0000000023
- Mägdefrau K (1982) Life-forms of bryophytes. pp. 45-58. In: Smith, A.J. (Ed.) *Bryophyte Ecology*. London, Chapman and Hall Ltd.
- Mäkinen A (1987) Use of *Hylocomium splendens* for regional and local heavy metal monitoring around a coal-fired power plant in southern Finland. *Symposia Biologica Hungarica* 35: 777–794.
- Martinelli GM (1996) Campos de altitude. 2ª Ed., Editora Index. Rio de Janeiro. p. 160.

- Martinelli G, Vieira CM, Gonzalez M, Leitman P, Piratininga A, Costa AF da, Forzza, RC (2008) Bromeliaceae da Mata Atlantica Brasileira: lista de espécies, distribuição e conservação. *Rodriguésia* 59: 209–258.
- Martini AMZ, Fiaschi P, Amorim AMA, Paixão JL (2007) A hot-point within a hot-spot: a high diversity site in Brazil's Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation* 16: 3111–3128.
- Maschke J (1981) Moose als Bioindikatoren von Schwermetall Immissionen. *Bryophytorum Bibliotheca* 22: pp.
- Meusel H (1935) *Nova Acta Leopold. NF*, 3,123-277.
- Mittermeier RA, Fonseca GAB, Rylands AB, Brandon K (2005) A brief history of biodiversity conservation in Brazil. *Conservation Biology* 19: 601 – 607.
- Morellato LPC & Haddad CFB (2000) Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 786-792.
- Müller C (1898) *Bryologiae Serrae Itatiaiae*. *Bulletin de l'Herbier Boissier* 6: 18–48.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Oliveira-Filho AT, Ratter JA (1995) A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburgh Journal of Botany* 52: 141–194.
- Pinto LP, Bedê L, Paese A, Fonseca M, Paglia A, Lamas I (2006) Mata Atlântica brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. In: Rocha CFD, Bergallo HG, Van Sluys M, Alves MAS. *Biologia da conservação: conservação essenciais*. RiMa pp. 91-118.
- Primack RB, Rodrigues E (2001) *Biologia da conservação*. Editora Planta. v. 8: 328p.
- Prins HHT (1982) Why Are Mosses Eaten in Cold Environments Only? *Oikos* 38: 80-374.
- Proctor MCF (2000) Mosses and alternative adaptation to life on land. *New Phytologist* 148: 1 – 6.
- Proctor MCF, Tuba Z (2002) Poikilohydry and homoihydry: antithesis or spectrum of possibilities? *New Phytologist* 156: 327–349.
- Reese WD (1993) *Calymperaceae*. *Flora Neotropica*, monograph 58: 1–102.
- Rezende MA (2015) *Conservação de Briófitas na Mata Atlântica do Sudeste do Brasil: Uma Análise das Espécies de Hepáticas Endêmicas e/ou Ameaçadas do Parque Nacional do Itatiaia*. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-



Graduação em Botânica, Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

- Rezende CL, Scarano FR, Assad ED, Joly CA, Metzger JP, Strassburg BBN, Tabarelli M, Fonseca GA, Mittermeier RA (2018) From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16: 208–214.
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, Hirota MM (2009) The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142: 1141–1153
- Safford HD (1999a) Brazilian páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 26: 693–712.
- Safford HD (1999b) Brazilian páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography* 26: 713–737.
- Safford HD (2007) Brazilian Páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 34: 1701–1722.
- Santos ND, Costa DP (2010) Altitudinal zonation of liverworts in the Atlantic Forest, Southeastern Brazil. *The Bryologist* 113: 631–645.
- Santos AMM, Cavalcanti DR, Silva JMC, Tabarelli M (2007) Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. *Journal of Biogeography* 34: 437-446.
- Sayre, RM, Brunson, LK (1971) Microfauna of moss habitats. *Amer. Biol. Teacher* 33: 100-102, 105.
- Segadas-Vianna F, Dau L (1965) Ecology of the Itatiaia Range, Southeastern Brazil - Climates and Altitudinal Climatic Zonation. *Arquivos do Museu Nacional* 53: 31–53.
- Schäfer-Verwimp A, (1992) New or interesting records of Brazilian bryophytes, III. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 71: 55–68.
- Schäfer-Verwimp A, Giancotti C (1993) New or interesting records of Brazilian bryophytes, IV. *Hikobia* 11: 285–292.
- Schäfer-Verwimp A, Vital DM (1989) New or interesting records of Brazilian bryophytes. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 66: 255–261.
- Schuster RM (1990) Origins of neotropical leafy Hepaticae. *Tropical Bryology* 2: 239–264.

- Smith AJE (1982) *Bryophyte Ecology*. Chapman and Hall, 11 New Fetter Lane, London, EC4P 4EE.
- Stehmann JR, Forzza RC, Sobral M, Salino A, Kamino LHY (eds.) (2009) *Plantas da Floresta Atlântica*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Tabarelli M, Pinto LP, Silva JMC, Hirota MM, Bedê LC (2001) Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade* v. 1, pp. 132-138
- Tabarelli M, Mantovani W (1999) A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo–Brasil). *Revista Brasileira de Biologia* 59(2): 239-250
- Taoda H (1972) Mapping of atmospheric pollution in Tokyo based upon epiphytic bryophytes. *Japanese Journal of Ecology* 22: 125–133.
- The Brazil Flora Group 2018. Brazilian Flora 2020: Innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). *Rodriguesia* 69(4): 1513-1527. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201869402>
- Tuba Z, Slack N, Stark LR (Eds.) (2011), *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 35–54.
- Vanderpoorten A, Goffinet B (2009) *Introduction of Bryophytes*. Cambridge University Press.
- Warnstorf C (1911) Sphagnales, Sphagnaceae (*Sphagnologia Universalis*). In: Engler A. *Das Pflanzenreich*, W. Engelmann, Leipzig.

## **Capítulo 1**

### **Aspectos ecológicos e reprodutivos de musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia**

Mateus Tomás Anselmo Gonçalves<sup>1</sup>, Denilson Fernandes Peralta<sup>2</sup> & Nivea Dias dos Santos<sup>3</sup>

1. Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica) e-mail: mateus-tomas@hotmail.com

2. Núcleo de Briologia, Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil

3. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Botânica/ICBS, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

#### **Resumo**

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) possui amplo gradiente altitudinal, o que possibilita a existência de diferentes tipos de fitofisionomias, como os campos de altitude (CA). Os CA do PNI abrigam uma brioflora única, com elevada diversidade, endemismo e espécies ameaçadas. O presente estudo objetiva contribuir para o conhecimento da ecologia dos musgos com ocorrência nos CA-PNI, visando conhecer sua distribuição geográfica, formas de vida, substratos colonizados, biologia reprodutiva e traços funcionais. Os substratos colonizados, formas de vida e presença de esporófitos foram registradas em campo, sendo complementados por consultas à literatura e material de herbário. Os padrões fitogeográficos e sistema sexual foram obtidos a partir da literatura. Os grupos funcionais foram avaliados através da análise de componentes principais (PCA). Foram registradas 43 espécies de musgos endêmicos e/ou ameaçados, estes apresentaram majoritariamente a forma de vida do tipo tufo (86%), 54% das espécies são generalistas com relação ao substrato, sendo 23% das espécies terrícolas, 16% rupícolas e 7% corticícolas. A maioria dos táxons apresentou o padrão fitogeográfico Endêmico do Brasil (42%), seguido por Endêmicas do PNI (16%). Das amostras de herbário estudadas e das populações coletadas em campo 56% das espécies não apresentaram esporófitos. O sistema sexual predominante foi dióico (51%), enquanto monóicos representaram 21%. Houve a formação de grupos funcionais que refletem a taxonomia, com traços (e.g. ápice hialino, costa, pigmentação) que auxiliam na tolerância às condições ambientais existentes nos CA. Os resultados obtidos complementam o conhecimento em relação à flora de musgos do PNI e preenchem lacunas sobre a ecologia dos táxons raros que poderão auxiliar na sua conservação.

**Palavras-chave:** briófitas, conservação, Floresta Atlântica, endemismo, traços funcionais

## **Abstract**

The Itatiaia National Park (PNI) has a wide altitudinal gradient, which allows the existence of different types of phytophysionomies, such as altitude fields (CA). The PNI CAs are home to a unique bryoflora, with high diversity, endemism and endangered species. The present study aims to contribute to the knowledge of the ecology of mosses occurring in CA-PNI, aiming to know their geographic distribution, forms of life, colonized substrates, reproductive biology and functional traits. The colonized substrates, life forms and presence of sporophytes were recorded in the field, complemented by consultations with the literature and herbarium material. The phytogeographic patterns and sexual system were obtained from the literature. Functional groups were assessed using principal component analysis (PCA). 43 species of endemic and / or endangered mosses were recorded, these mostly presented the tuft type of life (86%), 54% of the species are generalists with respect to the substrate, 23% of terrestrial species, 16% rupicolous and 7 % cork. Most taxa presented the phytogeographic pattern Endemic to Brazil (42%), followed by Endemic to the PNI (16%). Of the herbarium samples studied and populations collected in the field, 56% of the species did not present sporophytes. The predominant sexual system was dioecious (51%), while monoids represented 21%. There was the formation of functional groups that reflect the taxonomy, with features that help in tolerating the environmental conditions existing in the CA. The results obtained complement the knowledge regarding the PNI moss flora and fill in gaps about the ecology of rare taxa that may assist in their conservation.

**Keywords:** bryophytes, conservation, Atlantic Forest, endemism functional traits

## Introdução

As briófitas constituem um grupo monofilético de plantas (Cole et al. 2019; Leebens-Mack et al. 2019; Li et al. 2020) representadas por três diferentes linhagens evolutivas (Anthocerotophyta, Bryophyta e Marchantiophyta). Elas possuem semelhanças como a alternância de gerações com dominância do gametófito, a poiquiloidria e a dispersão por esporos e diásporos assexuados (Longton & Schuster 1983; Goffinet & Shaw 2009; Glime 2007, Proctor & Tuba 2002).

Os musgos (Bryophyta) são organismos que se organizam em colônias de indivíduos distribuídas como manchas separadas umas das outras no ambiente e comportam-se como sub-populações de uma mesma metapopulação (Söderström & Herben 1997). Nessas metapopulações, a expressão das características genéticas dos indivíduos é determinada pelos diásporos que originaram cada colônia (Maciel-Silva et al. 2013). À vista disso, torna-se possível encontrar populações puramente femininas ou masculinas de táxons dióicos, cujo grau de isolamento das populações influencia as chances de fecundação dos indivíduos femininos e, como consequência, influenciando na produção de esporófitos, dispersão, distribuição geográfica e raridade (Longton 1992; Longton & Schuster 1983; Oliveira & Pôrto 2001; Vanderpoorten et al. 2019; Patiño & Vanderpoorten 2018).

Dispersão é um mecanismo que possibilita às espécies colonizarem novos habitats ou, até mesmo, manterem fluxo gênico entre populações com distribuição disjunta (Begon et al. 2007; Barbé et al. 2016; Maciel-Silva et al. 2016). Partindo desse princípio, algumas plantas são capazes de se dispersar à longa distância, como é o caso dos musgos. Essas plantas avasculares têm o vento como principal agente dispersor de seus esporos (estruturas formadas nos esporófitos, gerados a partir da reprodução sexuada), os quais são pequenos, leves e resistentes à dessecação e podem ser transportados pelas correntes atmosféricas (Patiño & Vanderpoorten 2018).

Musgos podem ser considerados “raros” por uma variedade de razões, embora sejam mais comumente consideradas raras àquelas espécies com baixa abundância e/ou restrita distribuição geográfica, e.g. endêmicas ou disjuntas (Söderström & During 2005; Gaston 1994). A raridade representa um importante critério para classificar uma espécie como ameaçada de extinção (Hallingbäck et al. 1998, IUCN 2012).

Espécies ameaçadas, em geral, apresentam pequena extensão de ocorrência (EOO - área contida dentro do menor limite imaginário contínuo que possa ser traçado para englobar todos os pontos conhecidos, inferidos ou projetados da presença atual de uma espécie), assim como pequena área de ocupação (AOO – soma das áreas ocupadas por uma espécie no interior da sua EOO). Uma pequena EOO pode ser consequência da dificuldade de musgos dióicos em realizar reprodução sexuada e produzir esporófito/esporos, o que promove uma distribuição restrita (Longton 1992; Laaka-Lindberg et al. 2000; Longton 2006). Em contrapartida, a raridade de espécies monóicas pode estar relacionada com problemas decorrentes da autofertilização obrigatória e possível depressão endogâmica (Longton 1992; 2006). Além disso, muitas espécies de musgos não possuem meios eficazes de propagação assexuada, o que reflete em pequena AOO, visto ser este o principal mecanismo de colonização local de populações de briófitas (Longton 1992; Laaka-Lindberg et al. 2000; Longton, 2006, Maciel-Silva et al. 2013). Desse modo, o grau de raridade e ameaça de espécies de musgos pode estar relacionado ao tipo de sistema sexual e à ocorrência de reprodução assexuada.

Muitas espécies de musgos raros (endêmicos e/ou ameaçados) ocorrem nos campos de altitude (CA) do Parque Nacional do Itatiaia (PNI) (Costa et al. 2005; Gonçalves & Santos, 2018). Os CA constituem um ecossistema insular, bem delimitado e frágil, que sofre pressões relacionadas a distúrbios, como o fogo, áreas de pastagem para o gado, introdução de espécies exóticas e turismo excessivo (Brade 1956, Safford 1999b; Aximoff et al. 2016). Isso, conseqüentemente, põe em risco as espécies de briófitas que ocorrem nessa região devido principalmente à perda de habitat (Aximoff 2011, Costa et al. 2005).

Embora sejam raras, as espécies de musgos que conseguem se estabelecer e colonizar microambientes nos CA apresentam mecanismos de escape (estratégia r) ou tolerância (estratégia k) às pressões ambientais existentes nesse ecossistema. A capacidade das espécies de plantas de lidar com variações ambientais depende de características morfofisiológicas relacionadas às respostas aos fatores abióticos, i.e., traços funcionais, que afetam a sobrevivência, o crescimento e a reprodução dos indivíduos (Keddy 1992; Violle et al. 2007). Partindo desse princípio, os musgos ameaçados e/ou endêmicos devem apresentar traços funcionais que confirmam resistência ou resiliência aos filtros ambientais existentes nos campos de altitude, e.g., intensa radiação solar, elevada amplitude térmica (diária e anual) e variação na disponibilidade hídrica (Safford 1999b, Martinelli 1996). Dentre tais traços que possibilitam a sobrevivência das briófitas, a literatura aponta

características morfológicas relacionadas à intensa insolação (e.g. filídios escurros, ápice pilífero – Kürschner 2004), disponibilidade hídrica reduzida (e.g. filídios côncavos, tubulares, hialocistos, lamelas – Kürschner & Parolly 2005), transporte de água e suporte mecânico para os filídios (e.g. costa - Proctor 1979), gametófitos enegrecidos e diminuição na quantidade de clorofila a (elevada temperatura – Meyer & Santarius 1998; Glime 2007), entre outros.

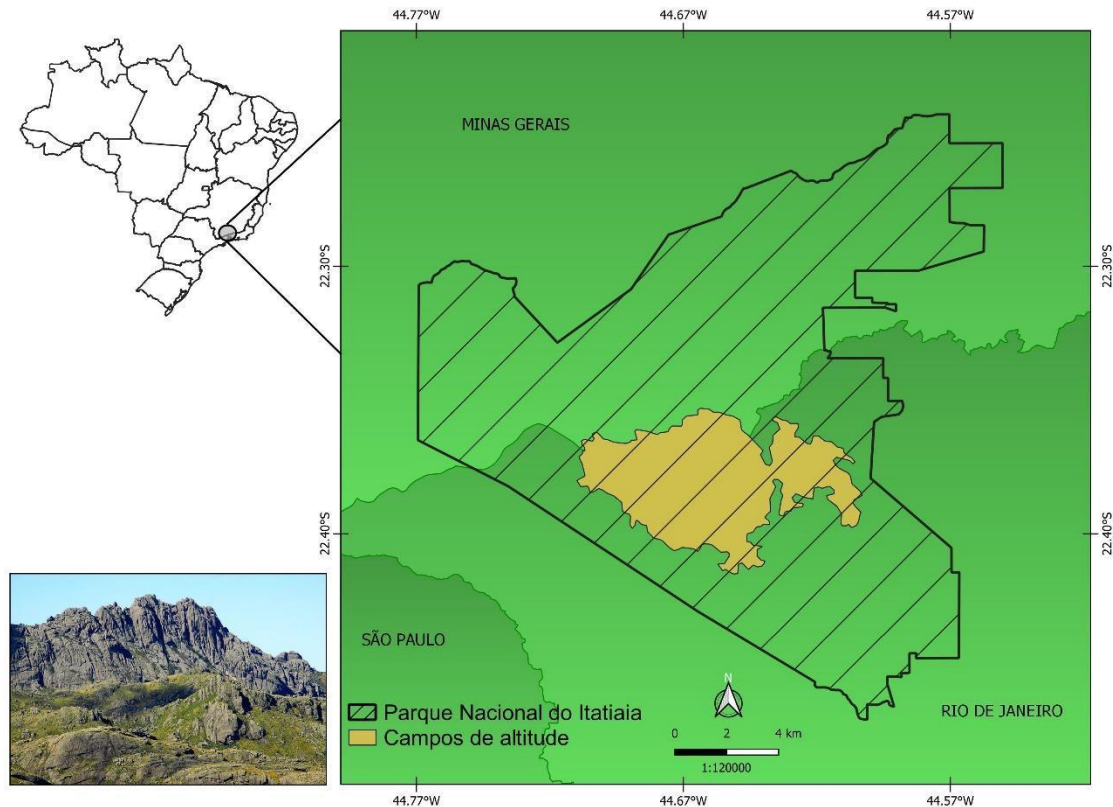
O presente trabalho tem por objetivo contribuir para o conhecimento da ecologia dos musgos ameaçados e/ou endêmicos com ocorrência nos campos de altitude do PNI, tendo como foco as seguintes questões: 1) Qual a diversidade, distribuição geográfica, formas de vida e substratos colonizados? 2) De que forma a biologia reprodutiva das espécies se relaciona com sua raridade? 3) Quais são os principais traços funcionais das espécies? 4) É possível a distinção de grupos funcionais entre as espécies?

## **Material e Métodos**

### *Caracterização do local de estudo:*

O PNI está localizado na divisa dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Os CA pertencem ao domínio fitogeográfico da Floresta Atlântica e, no PNI, está localizado acima de 2.000 m de altitude com ponto culminante de 2.791 m (Pico das Agulhas Negras) (Fig. 4). Os CA estão situados no sudeste do Brasil (22°25' S, 44°40' W) em uma área de aproximadamente 50 km<sup>2</sup> (Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999a, Martinelli 1996). Apresenta clima subtropical de altitude, com temperatura média anual de 11,5°C, precipitação média anual entre 1.000 e 2.500 mm e estação chuvosa compreendida entre os meses de dezembro a fevereiro (Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999a).

Os solos desse ecossistema são rasos e moderadamente férteis e as rochas são majoritariamente ígneas (sienito) (Segadas-Vianna & Dau 1965). Sua vegetação é composta principalmente por mosaicos de arbustos (*Baccharis*, *Vernonia*, *Eupatorieae*, *Myrtaceae*), plantas herbáceas (*Cyperaceae*, *Xyridaceae*) e pequenos bosques de árvores curtas que crescem em matriz contínua de gramíneas (*Poaceae*) e bambus (*Chusquea spp.*) (Segadas-Vianna & Dau 1965).



**Figura 4.** Mapa do Parque Nacional do Itatiaia e área dos campos de altitude.

*Levantamento dos dados, trabalho de campo e estudo do material:*

A listagem inicial das espécies ameaçadas com 28 espécies de musgos com seus respectivos materiais examinados foi obtida de Gonçalves & Santos (2018). Novos materiais examinados foram identificados nos herbários (R, RB, RBR, SP), bases de dados online (JABOT, SpeciesLink, GBIF), além de consulta em listas vermelhas nacionais e regionais (Costa et al. 2005, Martinelli et al. 2018, Fundação Biodiversitas 2007), trabalhos florísticos/taxonômicos (Costa et al. 2015) e novas coletas. A listagem das espécies endêmicas (endêmicas do Brasil ou endêmicas do PNI) foi obtida a partir dos dados da Flora do Brasil (2020) e de Costa et al. (2005).

Os táxons estão apresentados em ordem alfabética de família, gênero e espécie seguindo o sistema de classificação proposto por Goffinet et al. (2009). Para identificação foram utilizadas chaves disponíveis na literatura especializada (e.g. Guia de Musgos [dados não publicados], Costa et al. 2010, Frahm 1991, Peralta & Yano 2010, Peralta 2020, Costa 2016) e análise dos espécimes sob estereomicroscópio, microscópio óptico utilizando pinças, lâminas, lamínulas, placa de petri, seringa, agulha e conta gotas. Quando necessário, cortes transversais foram feitos nos filídios e lâminas permanentes foram



confeccionadas com gelatina glicerinada de Kaiser (1880) para preservar o material analisado. Todo material de herbário foi fotografado, assim como as etiquetas das exsicatas, com a intenção de organizar uma planilha dos locais de ocorrência descritos, informações sobre substratos de ocorrência e coordenadas geográficas.

Cada espécime (material de herbário e novas coletas) foi analisado quanto à presença de esporófitos, gametângios e/ou propágulos de reprodução assexuada. Além disso, o sistema sexual (dióico e/ou monóico) foi verificado através da análise das amostras de herbário e/ou coletas, sendo complementados por dados de literatura (e.g. revisões taxonômicas, floras).

A metodologia de coleta seguiu Glime (2017), onde uma pequena amostra foi coletada com auxílio de canivete, espátula ou manualmente para desprender as plantas do substrato e, quando muito aderidas, foram removidas juntamente com parte do substrato para melhor preservação da sua estrutura original e secas ao ar livre. As amostras serão depositadas no herbário R com duplicatas no herbário RBR.

#### *Classificação dos substratos colonizados e formas de vida*

Os substratos foram registrados através das informações das etiquetas das exsicatas de herbário, literatura especializada, material coletado, sendo complementados pelo site da Flora do Brasil (2020), seguindo a proposta de Robbins (1952): corticícolas (espécies que ocorrem sobre troncos, ramos e raízes vivas); rupícolas (espécies que ocorrem diretamente sobre rochas); terrícolas (espécies que ocorrem diretamente no solo ou barrancos). Os táxons que apresentaram especificidade para um tipo de substrato foram classificados como “especialistas” e os que foram encontrados em mais de um tipo de substrato foram classificados como “generalistas”.

A classificação das formas de vida foi obtida por meio das expedições de campo e também mediante consulta à Flora do Brasil (2020) e seguiu a proposta de classificação de Mägdefrau (1969), sendo essas: tufo; coxim; tapete; trama e flabelada (Fig. 2).

#### *Padrões de distribuição fitogeográfica*

Os padrões fitogeográficos foram obtidos a partir de Costa et al. (2011) e Gonçalves & Santos (2018), sendo complementados com dados da Flora do Brasil (2020) com adaptações. São eles: Endêmico do PNI - espécies restritas ao PNI; Endêmico do Brasil - espécies com ocorrências restritas ao Brasil; América do Sul - espécies com ampla

distribuição na América do Sul; Neotropical - espécies restritas à região tropical das Américas; Disjunta entre Terra do Fogo e PNI (Tfg-Ita) – espécies com disjunção entre a terra do fogo os campos de altitude do PNI; Disjunta entre América e África (Af-Am) - formada por espécies que possuem sua distribuição nos continentes africano e americano; e Amplo - representado por espécies com distribuição ampla no mundo, com ocorrência em mais de três continentes.

### *Estudo dos traços funcionais*

As informações referentes aos traços funcionais foram obtidas a partir de literatura especializada sobre as espécies ou observação direta sobre material de herbário e coletados em campo. A matriz funcional possui informações semiquantitativas, ou seja, dados codificados. O descritor “Ordem” relativo à Ordem taxonômica, foi marcador e está representado por diferentes cores no diagrama da PCA.

A matriz (Tab. 6) possui 42 espécies de musgos e nove descritores de traços funcionais. Cada descritor recebeu um código numérico como qualitativo (categorias - 0 até n) ou quantitativo (presença e ausência - 0 e 1), como visto na tabela abaixo (Tab. 3):

**Tabela 3.** Traços funcionais atribuídos às espécies e seus respectivos descritores.

<b>Traços funcionais</b>	<b>Descritores</b>
<b>Forma de crescimento</b>	(0) pleurocárpico, (1) acrocárpico
<b>Coloração do gametófito</b>	(0) esbranquiçada, (1) verde-amarelada, (2) esverdeada, (3) verde-acizentada, (4) enegrecida
<b>Largura da costa</b>	(0) ausência de costa, (1) menor do que a metade da largura do filídio, (2) igual à metade do filídio, (3) maior do que a metade do filídio
<b>Tamanho da costa</b>	(0) ausência de costa, (1) subpercurrente, (2) percurrente, (3) excurrente
<b>Células hialinas</b>	(0) ausentes, (1) células hialinas apenas na base ou ápice dos filídios, (2) muitas células hialinas no filídio
<b>Ápice hialino</b>	(0) ausência, (1) presença
<b>Curvatura dos filídios</b>	(0) plano, (1) ondulado, (2) côncavo, (3) falcado
<b>Inclinação dos filídios</b>	(0) patente a eswarroso, (1) ereto, (2) imbricado, (3) apresso
<b>Margem dos filídios</b>	(0) lisa, (1) levemente serrulada/denticulada, (2) serrulada/denticulada
<b>Largura do gametófito</b>	(0) menor ou igual a 1mm, (1) de 2 a 4 mm, (2) de 5 a 7 mm, (3) maior ou igual a 10mm

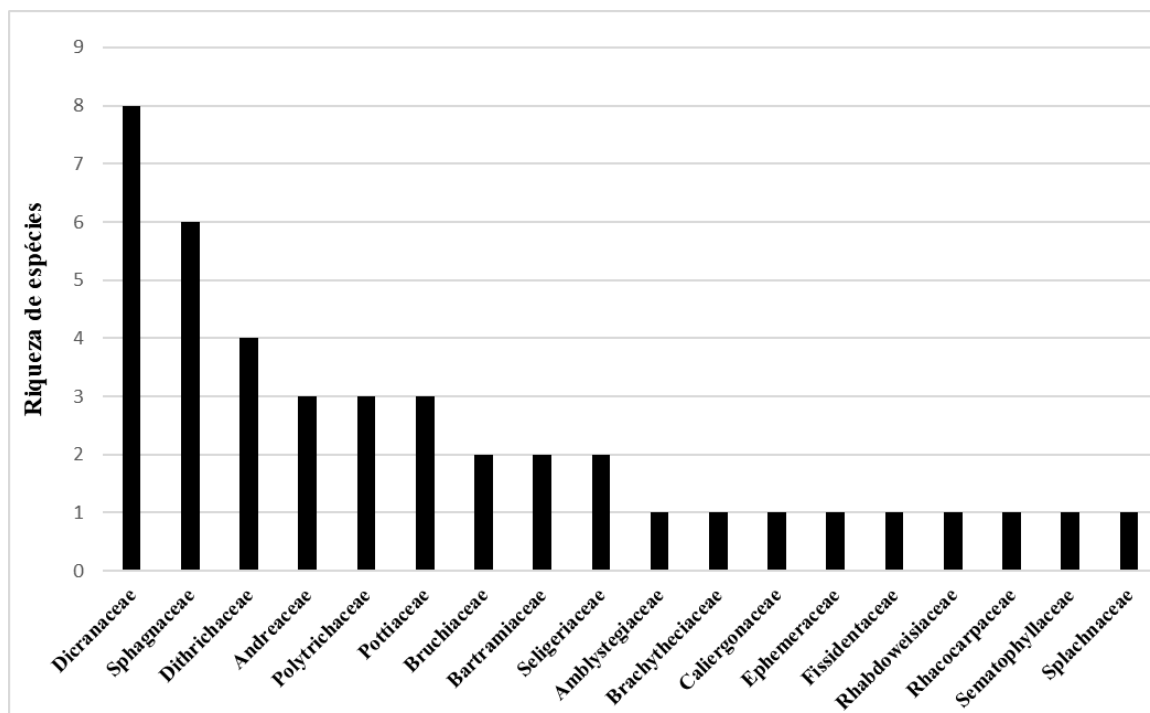
Para avaliar a existência de grupos funcionais entre as espécies a matriz foi submetida a Análise de Componentes Principais (PCA) através do software Fitopac, versão 2.1 (Shepherd 2010).

## **Resultados**

## Diversidade

A tabela 4 apresenta os 42 musgos raros com ocorrência nos campos de altitude do PNI, sendo 14 espécies ameaçadas de extinção em escala regional (estados do Rio de Janeiro e/ou Minas Gerais) ou nacional (Costa et al. 2005; Martinelli et al. 2018; Fundação Biodiversitas 2007) e endêmicas do Brasil; 18 ameaçadas e de ampla distribuição e dez endêmicas do Brasil, contudo não categorizadas como ameaçadas.

Essas espécies estão distribuídas em 18 famílias, sendo as principais: Dicranaceae (oito espécies/três gêneros), Sphagnaceae (6/1), Ditrichaceae (4/3), Bruchiaceae (2/2), Polytrichaceae (3/3), Pottiaceae (3/1), Andreaeaceae (3/1), Seligeriaceae (2/2) e Bartramiaceae (2/1), as famílias restantes apresentaram uma espécie e um gênero (Fig. 5).

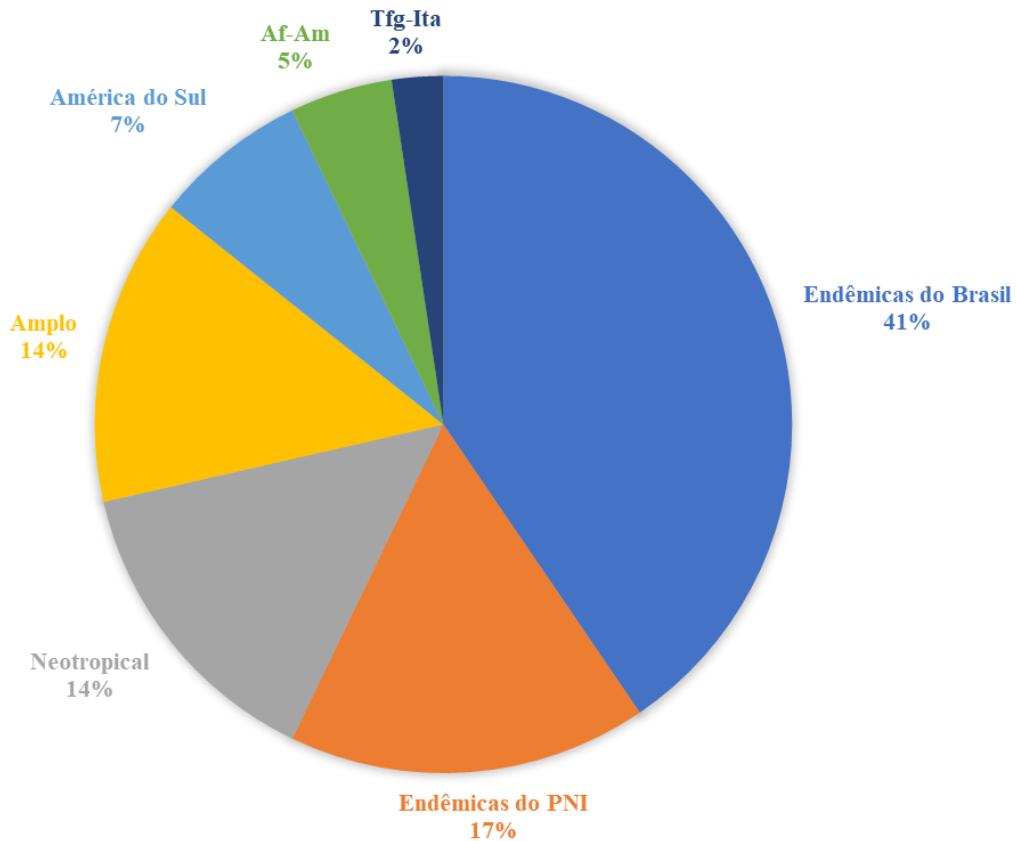


**Figura 5.** Riqueza de espécies por famílias dos musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil.

As espécies *Andreaea microphylla* Müll. Hal., *A. spurioalpina* Müll. Hal. e *A. squarrosofiliformis* Müll. Hal. foram excluídas pelo motivo de terem sido revisadas taxonomicamente por Peralta (2020) e consideradas como sinônimos de *A. rupestris* Hedw., o registro de *Trematodon pauperifolius* Müll. Hal. feito por Müller (1898) foi errôneo para o PNI, assim como o material de herbário que estava com identificação equivocada (Voucher: DM Vital 19955), por este motivo também foi excluída.

## Padrões fitogeográficos

Sete padrões fitogeográficos foram registrados para as espécies (Fig. 6), onde a maioria (17 spp.) tem distribuição Restrita ao Brasil, seguidas das espécies Endêmicas do PNI (7 spp.), a saber (Fig. 7): *Crumuscus vitalis* (Fig. 7A), *Brachydontium notorogenes*, *Ditrichum itatiaiae* var. *brevipes*, *Eobruchia bruchioides*, *Ephemerum pachyneuron*, *Paraleucobryum longifolium* subsp. *Brasiliensis* (Fig. 7B) e *Pringleella subulata*.



**Figura 6.** Padrões Fitogeográficos das espécies de Briófitas ameaçadas de extinção e/ou endêmicas dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil.

Os padrões fitogeográficos Neotropical e Amplo apresentaram seis espécies cada, enquanto o padrão América do Sul apresentou três espécies, duas espécies apresentaram distribuição Disjunta entre América e África e uma apresentou distribuição Disjunta entre a Terra do Fogo e os campos de altitude do PNI.

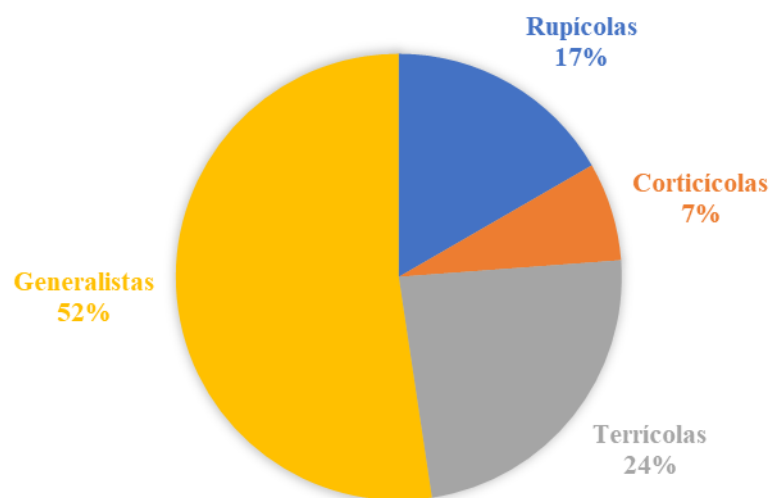


**Figura 7.** Alguns musgos endêmicos do Parque Nacional do Itatiaia. A) *Crumuscus vitalis*, Foto: D.F. Peralta, B) *Paraleucobryum longifolium* subsp. *brasiliense*, Foto: D.F. Peralta

Em relação ao padrão Endêmicas do Brasil, 52% estão distribuídas exclusivamente na região sudeste, 29% apresentam distribuição em duas regiões geopolíticas brasileiras e apenas 19% são amplamente distribuídas no país (i.e. presentes em três ou mais regiões geopolíticas).

#### *Substratos preferenciais*

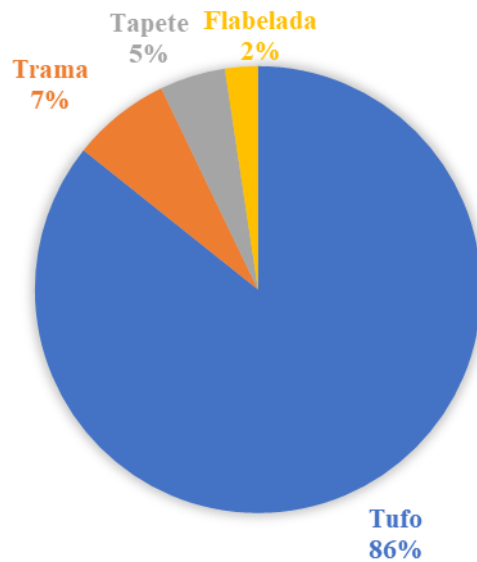
No que diz respeito ao estabelecimento em substratos preferenciais 52% das espécies foram consideradas generalistas (Fig. 8). As especialistas somam 48%, sendo que 17% são rupícolas, 24% terrícolas e 7% corticícolas.



**Figura 8.** Substratos preferenciais colonizados pelos musgos ameaçados e/ou endêmicos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil.

### Formas de vida

Foram caracterizados quatro tipos de formas de vida (Fig. 9), sendo tufo (Fig. 10A) a mais frequente (36 espécies - 86%), seguido da forma de vida trama (Fig. 10B) (três espécies - 7%), tapete (duas espécies - 5%) e flabelada (uma espécie - 2%).



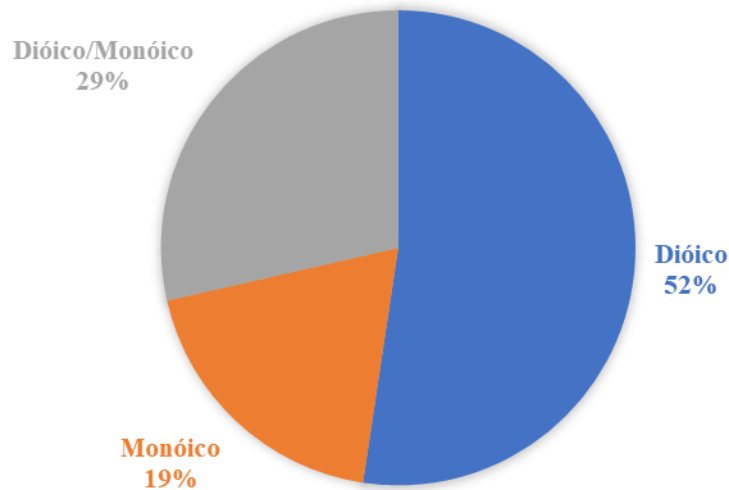
**Figura 9.** Formas de vida dos musgos ameaçados e/ou endêmicos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia.



**Figura 10.** Exemplos de formas de vida encontradas. A) Tufo - *Campylopus cuspidatus* var. *dicnemoides* e *Sphagnum* sp.. B) Trama – *Warnstorfia exannulata*.

### Sistema sexual e presença de esporófito

O sistema sexual predominante foi dióico (52%), seguido dos táxons que podem apresentar os dois tipos de sistema sexual (monóico e dióico) com 29% e os táxons monóicos somaram 19% (Fig. 11).



**Figura 11.** Sistema sexual dos musgos ameaçados e/ou endêmicos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia.

Como observado na tabela 4, verifica-se que 57% das espécies endêmicas e/ou ameaçadas não apresentaram esporófitos nas exsicatas analisadas, apenas 38% apresentaram esporófitos. Além disso, não foi possível obter informações sobre presença do esporófito para *Pringleella subulata* e *Drepanocladus perplicatus*, visto que para a primeira nenhum material testemunho foi encontrado nos herbários ou bases de dados *online*, e para a segunda Hedenäs (2003) aponta que a condição sexual, perigônio, periquécio e esporófito são desconhecidos. No entanto, Brotherus (1924) na descrição de *P. subulata* aponta a presença de esporófito.

**Tabela 4.** Dados ecológicos sumarizados para as espécies ameaçadas e/ou endêmicas dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil (\* = espécies endêmicas).

Família	Espécie	Padrão Fitogeográfico	Forma de vida	Substrato/Microambiente	Presença de esporófito	Sistema sexual	Voucher
<b>Amblystegiaceae</b>	<i>Drepanocladus perplicatus</i> (Dusén) G. Roth	América do Sul	Trama	Rocha	-	Dioica ou monoica	SP389130
<b>Andreaceae</b>	<i>Andreaea acutifolia</i> Hook.f. & Wils.	Amplo	Tufo	Rocha	Ausente	Dioica	Gonçalves M.T.A., 44 (R)
	<i>Andreaea rupestris</i> Hedw.	Amplo	Tufo	Rocha	Ausente	Dioica ou monoica	RB592507
	<i>Andreaea subulata</i> Harv.	Amplo	Tufo	Rocha	Ausente	Dioica ou monoica	RB475260
<b>Bartramiaceae</b>	<i>Breutelia microdonta</i> (Mitt.) Broth.	Brasil	Tufo	Serrapilheira e Rocha	Presente	Dioica	SP395650
	<i>Breutelia wainioi</i> Broth.	Brasil	Tufo	Serrapilheira e Rocha	Presente	Dioica	SP418884
<b>Brachytheciaceae</b>	<i>Brachythecium podadelphus</i> Müll.Hal.	Brasil	Tapete	Solo e Tronco	Ausente	Dioica	SP421019
<b>Bruchiaceae</b>	* <i>Eobruchia bruchioides</i> (Müll.Hal.) W.R.Buck	Endêmica do PNI	Tufo	Solo	Presente	Monoica	SP395652
	* <i>Pringleella subulata</i> (Müll.Hal.) Broth.	Endêmica do PNI	Tufo	Rocha e Solo	-	Dioica	Material tipo não foi consultado.
<b>Caliergonaceae</b>	<i>Warnstorfia exannulata</i> (Schimp.) Loeske	Amplo	Trama	Rocha	Ausente	Dioica	SP460451
<b>Dicranaceae</b>	<i>Atractyloctopus brasiliensis</i> (Müll.Hal.) R.S. Williams	Brasil	Tufo	Serrapilheira e Solo	Presente	Monoica	Gonçalves MTA, 128 (R)
	<i>Atractyloctopus longisetus</i> (Hook.) E.B.Bartram	Neotropical	Tufo	Tronco	Presente	Monoica	Gonçalves M.T.A., 125 (R)
	<i>Campylopus cuspidatus</i> var. <i>dicnemoides</i> (Müll.Hal.) J.-P.Frahm	Neotropical	Tufo	Solo	Ausente	Dioica	SP147013
	<i>Campylopus densicoma</i> (Müll.Hal.) Paris	Neotropical	Tufo	Rocha e Tronco	Presente	Dioica	SP125737



Família	Espécie	Padrão Fitogeográfico	Forma de vida	Substrato/Microambiente	Presença de esporófito	Sistema sexual	Voucher
	<i>Campylopus fragilis</i> subsp. <i>fragiliformis</i> (J.-P.Frahm) J.-P.Frahm	Brasil	Tufo	Solo e Tronco	Ausente	Dioica	SP147016
	<i>Campylopus gemmatus</i> (Müll.Hal.) Paris	Brasil	Tufo	Tronco	Ausente	Dioica	SP353654
	<i>Campylopus jamesonii</i> (Hook.) A.Jaeger	Am-Af	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica	SP122994
	* <i>Paraleucobryum longifolium</i> ssp. <i>brasiliense</i> (Broth.) P.Müll. & J.-P.Frahm	Endêmica do PNI	Tufo	Rocha, Solo e Tronco	Ausente	Dioica	SP136450
<b>Ditrichaceae</b>	<i>Cladastomum robustum</i> Broth.	Brasil	Tufo	Solo	Ausente	Dioica	R000237153
	<i>Cladastomum ulei</i> Müll.Hal.	Brasil	Tufo	Solo	Ausente	Dioica	SP353218
	* <i>Crumuscus vitalis</i> W.R.Buck & Snider	Endêmica do PNI	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Monoica	SP460940
	* <i>Ditrichum itatiaiae</i> var. <i>brevipes</i> (Müll.Hal.) Paris	Endêmica do PNI	Tufo	Solo	Ausente	Monoica	SP480208
<b>Ephemeraceae</b>	<i>Ephemerum pachyneuron</i> Müll.Hal.	Endêmica do PNI	Tufo	Solo	Presente	Dioica ou monoica	SP125807
<b>Fissidentaceae</b>	<i>Fissidens wallisii</i> Müll.Hal.	Neotropical	Flabelado	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	SP123025
<b>Polytrichaceae</b>	<i>Itatiella ulei</i> (Broth. ex Müll.Hal.) G.L.Sm.	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Presente	Dioica	SP123028
	<i>Notoligotrichum minimum</i> (Cardot) G.L.Sm.	Tfg-Ita	Tufo	Solo	Presente	Dioica	Gonçalves M.T.A., 164 (R)
	<i>Polytrichum angustifolium</i> Mitt.	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica	SP125124
<b>Pottiaceae</b>	<i>Leptodontium flexifolium</i> (Dicks.) Hampe	Amplo	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica	RB533781

Família	Espécie	Padrão Fitogeográfico	Forma de vida	Substrato/Microambiente	Presença de esporófito	Sistema sexual	Voucher
	<i>Leptodontium stellatifolium</i> (Hampe) Broth.	Neotropical	Tufo	Rocha e Solo	Presente	Dioica	RB354107
	<i>Leptodontium wallisii</i> (Müll.Hal.) Kindb.	Am-Af	Tufo	Rocha, Solo e Tronco	Presente	Dioica	RB488360
<b>Rhacocarpaceae</b>	<i>Rhacocarpus inermis</i> (Müll.Hal.) Lindb.	Brasil	Trama	Rocha	Presente	Dioica	SP125713
<b>Rhabdoweisiaceae</b>	<i>Oreoweisia brasiliensis</i> Hampe	América do Sul	Tufo	Rocha	Presente	Monoica	PC0709277
<b>Sematophyllaceae</b>	<i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr.)W.H.Welch & H.A. Crum	Neotropical	Tapete	Tronco	Presente	Dioica ou monoica	SP123059
<b>Seligeriaceae</b>	<i>Blindia magellanica</i> Schimp.	Amplo	Tufo	Solo	Ausente	Dioica	Gonçalves M.T.A., 135 (R)
	* <i>Brachydontium notorogenes</i> W.R.Buck & Schaf.-Verw.	Endêmica do PNI	Tufo	Solo	Presente	Autoica	NY01025802
<b>Sphagnaceae</b>	<i>Sphagnum exquisitum</i> H.A. Crum	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	RB662357
	<i>Sphagnum longicomosum</i> Müll.Hal.	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	SP220179
	<i>Sphagnum perforatum</i> Warnst.	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	RB245703
	<i>Sphagnum platyphylloides</i> Warnst.	América do Sul	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	RB245705
	<i>Sphagnum pseudoramulinum</i> H.A.Crum	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	RB245648
	<i>Sphagnum rotundatum</i> Müll.Hal. & Warnst.	Brasil	Tufo	Rocha e Solo	Ausente	Dioica ou monoica	RB259528
<b>Splachnaceae</b>	<i>Tetraplodon mnioides</i> Müll.Hal.	Brasil	Tufo	Solo	Presente	Monoica	R000080939

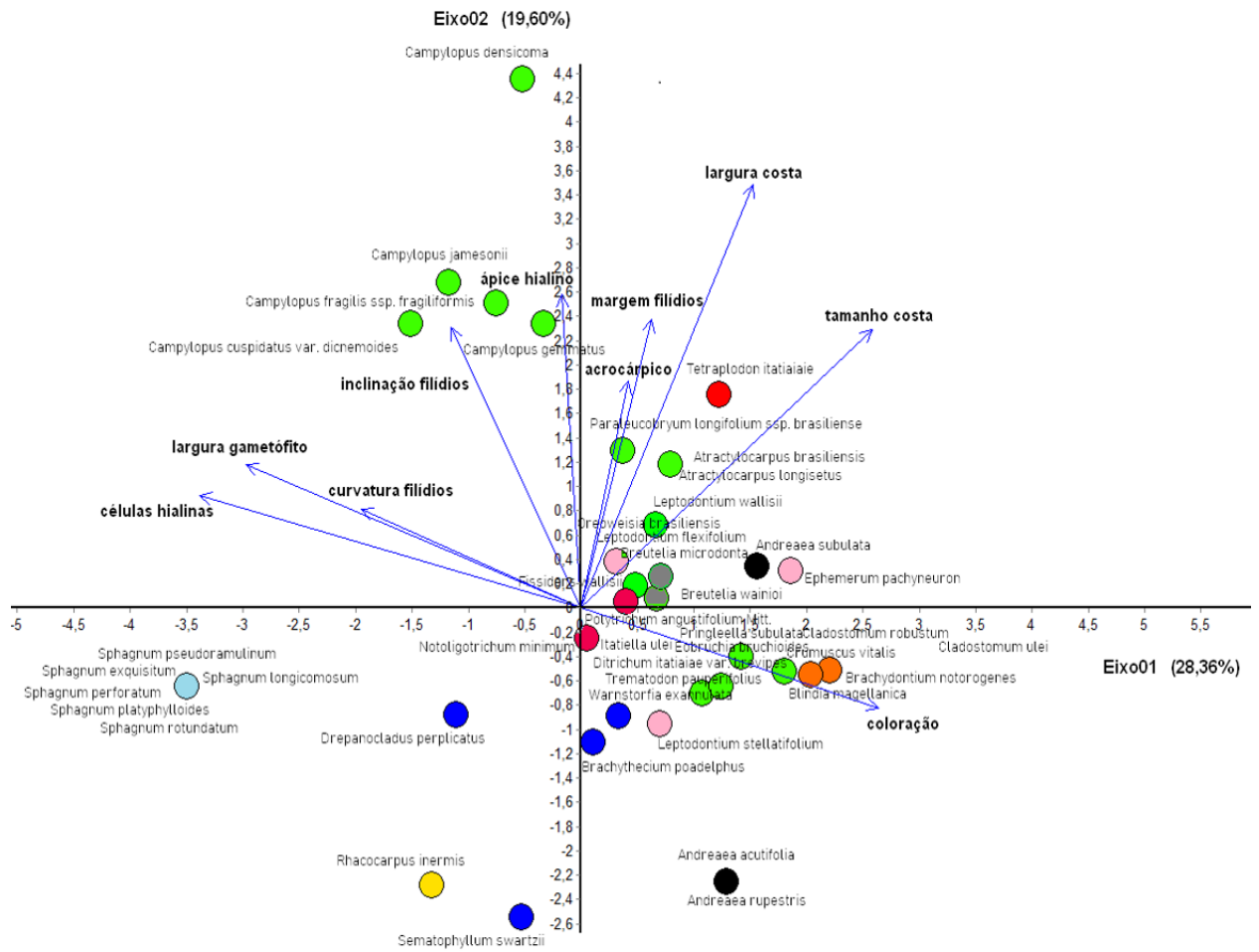
### *Análise funcional*

Com relação aos traços funcionais das espécies (Tab. 5), musgos acrocárpicos são predominantes com 37 espécies (88%), seguidos dos pleurocárpicos com cinco espécies (12%); 76% dos musgos possuem costa; 33% apresenta filídios com células hialinas; 7% ápice hialino; 33% apresentam modificações nas margens. No tocante à forma dos filídios, 43% são côncavos, 36% planos, 12% ondulados e 9% falcados. Com relação à inclinação dos filídios, expandidos a eretos somam 76%; imbricados, 14%; patentes a esgarçados, 10%. Referentes à largura do gametófito, 26% são menores que 1mm, 29% medem de cinco a sete milímetros, 26% têm espessura de dois a quatro milímetros e 19% são maiores que dez milímetros.

Na ordenação da Análise de Componentes Principais (PCA), a porcentagem da variância acumulada dos eixos 1 e 2 foi de 48%. O primeiro eixo (E1) foi mais fortemente correlacionado com as células hialinas (0,93), largura do gametófito (0,79) e coloração (-0,74). O segundo eixo (E2) com o tipo de crescimento acrocárpico (0,76) e largura da costa (0,53) (Fig. 13). A PCA (Fig. 12) resultou em um diagrama, onde é possível verificar a separação do grupo do gênero *Campylopus* (quadrante superior esquerdo) que ficaram agrupados principalmente pela presença do ápice hialino e inclinação dos filídios, bem como a formação do grupo do gênero *Sphagnum* (quadrante inferior esquerdo) por conta da presença dos hialocistos e gametófito com largura robusta (superior a 10mm), compartilhando o quadrante com representantes de outros gêneros, mesmo que com baixa coesão entre os musgos pleurocárpicos, formado pelas espécies *Brachythecium podelphus*, *Drepanocladus perplicatus*, *Rhacocarpus inermis*, *Sematophyllum swartzii* e *Warnstorfia exannulata*.

A coloração e a presença de células hialinas tiveram forte correlação na separação dos grupos no E1, visto que os táxons com pigmentação mais escura foram ordenados nos quadrantes do lado direito e os táxons com pigmentação mais clara foram ordenados ao lado esquerdo, assim como as espécies mais robustas em relação à largura do gametófito que foram ordenadas nos quadrantes do lado esquerdo e as mais delgadas foram ordenadas ao lado direito do diagrama. Provavelmente existe um sinal filogenético nos traços funcionais analisados, pois foi verificada a formação de grupos funcionais com espécies pertencentes às mesmas ordens, e.g., ordem Dicranales (gênero *Campylopus*) no quadrante superior esquerdo, ordem Sphagnales (quadrante inferior esquerdo), ordem

Hedwigiales (quadrante inferior esquerdo), ordem Hypnales (quadrantes inferiores), ordem Bartramiales (quadrante superior direito).



**Figura 12.** Biplot da Análise de Componentes Principais dos traços funcionais dos musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. Legenda: Dicranales: verde, Hypnales: azul escuro, Andreales: preto, Polytrichales: rosa escuro, Pottiales: rosa claro, Bartramiales: cinza, Sphagnales: azul claro, Hedwigiales: amarelo, Grimmiales: laranja, Splachnales: vermelho.

**Tabela 5.** Matriz com traços funcionais dos musgos endêmicos e/ou ameaçados dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil.

Espécie	ordem	acrocárpico	coloração	células hialinas	ápice hialino	largura costa	tamanho costa	curvatura filídios	inclinação filídios	margem filídios	largura gametófito
<i>Drepanocladus perplicatus</i>	0	0	1	1	0	1	2	3	1	0	1
<i>Andreaea acutifolia</i>	1	1	4	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Andreaea rupestris</i>	1	1	4	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Andreaea subulata</i>	1	1	4	0	0	2	3	3	1	0	1
<i>Breutelia microdonta</i>	3	1	2	0	0	1	2	1	1	1	2
<i>Breutelia wainioi</i>	3	1	2	0	0	1	2	1	1	1	2
<i>Brachythecium poadelphus</i>	0	0	1	0	0	1	1	2	1	1	0
<i>Eobruchia bruchioides</i>	5	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0
<i>Pringleella subulata</i>	5	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0
<i>Warnstorfia exannulata</i>	0	0	2	0	0	1	3	3	1	0	1
<i>Atractylocarpus brasiliensis</i>	5	1	2	0	0	2	3	2	1	1	2
<i>Atractylocarpus longisetus</i>	5	1	2	0	0	2	3	2	1	1	2
<i>Campylopus cuspidatus</i> <i>var. dicnemoides</i>	5	1	1	1	1	1	2	2	2	0	2
<i>Campylopus densicoma</i>	5	1	1	1	1	3	3	2	2	1	2
<i>Campylopus fragilis ssp.</i> <i>fragiliformis</i>	5	1	1	1	0	3	2	2	2	1	2
<i>Campylopus gemmatus</i>	5	1	1	1	0	3	2	2	2	1	1
<i>Campylopus jamesonii</i>	5	1	1	1	0	3	2	2	2	1	3
<i>Paraleucobryum longifolium</i> subsp. <i>brasiliense</i>	5	1	1	1	0	3	3	0	1	0	2
<i>Cladostomum robustum</i>	5	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0
<i>Cladostomum ulei</i>	5	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0
<i>Crumuscus vitalis</i>	5	1	2	0	0	1	3	0	1	0	0
<i>Ditrichum itatiaiae</i> var. <i>brevipes</i>	5	1	2	0	0	2	2	0	0	0	2
<i>Ephemerum pachyneuron</i>	4	1	2	0	0	2	2	0	1	1	0

<b>Espécie</b>	<b>ordem</b>	<b>acrocárpico</b>	<b>coloração</b>	<b>células hialinas</b>	<b>ápice hialino</b>	<b>largura costa</b>	<b>tamanho costa</b>	<b>curvatura filídios</b>	<b>inclinação filídios</b>	<b>margem filídios</b>	<b>largura gametófito</b>
<i>Fissidens wallisii</i>	5	1	2	0	0	1	2	0	2	0	1
<i>Itatiella ulei</i>	2	1	2	0	0	1	2	2	1	0	2
<i>Notoligotrichum minimum</i>	2	1	2	0	0	1	2	2	1	0	2
<i>Polytrichum angustifolium</i> <i>Mitt.</i>	2	1	2	0	0	1	3	2	1	0	2
<i>Leptodontium flexifolium</i>	4	1	2	0	0	1	1	1	1	2	1
<i>Leptodontium stellatifolium</i>	4	1	2	0	0	1	1	0	1	0	1
<i>Leptodontium wallisii</i>	4	1	1	0	0	1	2	1	1	2	1
<i>Rhacocarpus inermis</i>	7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3
<i>Oreoweisia brasiliensis</i>	5	1	1	0	0	1	1	1	1	2	1
<i>Sematophyllum swartzii</i>	0	0	2	0	0	0	0	3	1	0	0
<i>Blindia magellanica</i>	8	1	4	0	0	2	3	2	0	0	1
<i>Brachyodontium notorogenes</i>	8	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0
<i>Sphagnum exquisitum</i>	6	1	0	2	0	0	0	2	1	0	3
<i>Sphagnum longicomosum</i>	6	1	0	2	0	0	0	2	1	0	3
<i>Sphagnum perforatum</i>	6	1	0	2	0	0	0	2	1	0	3
<i>Sphagnum platyphylloides</i>	6	1	0	2	0	0	0	2	1	0	3
<i>Sphagnum pseudoramulinum</i>	6	1	0	2	0	0	0	2	1	0	3
<i>Sphagnum rotundatum</i>	6	1	0	2	0	0	0	2	1	0	3
<i>Tetraplodon mnioides</i>	9	1	2	1	1	1	3	0	0	2	1

## Discussão

### 1) Diversidade, distribuição e ecologia

Dentre as famílias mais representativas das espécies ameaçadas e/ou endêmicas de musgos, destaca-se Dicranaceae (8 spp.). Nesta família, cabe ressaltar o elevado número de espécies ameaçadas e/ou endêmicas de *Campylopus*, embora o gênero apresente ampla extensão latitudinal e altitudinal (desde o nível do mar até 4.500 m de altitude) com a maioria das espécies generalista em relação ao substrato, ocorrendo em areia, solo húmico, rochas, troncos vivos e/ou em decomposição (Frahm, 1990). A alta riqueza de espécies de distribuição restrita às elevadas montanhas da Floresta Atlântica, em especial à Serra da Mantiqueira, reitera a singularidade dos campos de altitude do PNI, que apresenta afloramentos rochosos, barrancos, pequenas árvores que formam microambientes favoráveis para o estabelecimento desses musgos e coloca esse ecossistema como área prioritária para conservação (Gonçalves & Santos 2018).

O gênero com maior número de espécies ameaçadas e/ou endêmicas, *Sphagnum* L. (Sphagnaceae), possui a maioria dos seus representantes no Brasil com ocorrência em altitudes elevadas (Costa et al. 2011; Guia de Musgos dados não publicados). Cabe ressaltar que o crescente impacto do extrativismo e comercialização de suas espécies, frente às demandas do segmento floricultor, atua como importante ameaça (Negrelle et al. 2014, Rancura et al. 2010). Essa pressão antrópica coloca em risco as espécies, ressaltando a necessidade de planos de ação e a importância dos campos de altitude do PNI para a conservação das espécies do gênero.

A terceira família mais representativa, Ditrichaceae, abrange aproximadamente 25 gêneros e 185 espécies no mundo, ocorre geralmente em regiões temperadas e subtropicais (Gradstein et al. 2001, Costa 2009). No Neotrópico, existem 15 gêneros e cerca de 42 espécies, dos quais sete gêneros e 11 espécies estão presentes no Brasil (Peralta 2012; Gradstein et al. 2001; Guia de Musgos, dados não publicados). Formam plantas pequenas a medianas, crescem em tufo densos ou frouxos, e no PNI geralmente são encontradas próximas às estradas ou margens de trilha, ambientes com elevado impacto antrópico. O PNI é o centro de diversidade desta família no Brasil, apresentando os seguintes gêneros: *Ceratodon*, *Ditrichum*, *Cladastomum*, *Crumuscus*, *Chrysoblastella* e *Rhamphidium* (Silva et al. 2019). Dentre esses gêneros, destacam-se as espécies *Crumuscus vitalis* e *Ditrichum itatiaiae* var. *brevipes* que são endêmicas do PNI e encontradas principalmente na floresta alto-montana e campos de altitude em solo.

Schuster (1983) e Gradstein & Pócs (1989) destacam que em regiões tropicais, as razões de endemismo de briófitas são maiores em áreas de topos de montanha, em oposição aos elementos de terras baixas que, geralmente, são amplamente distribuídos. Regiões de topos de montanhas são ambientes insulares e vulneráveis e as espécies que vivem ali ocupam áreas pequenas e com populações restritas, que estão sujeitas ao stress, deriva genética e rápida evolução (Schuster 1983). Os musgos tratados neste estudo apresentam padrões fitogeográficos restritos. Considerando que (i) as briófitas apresentam, em geral, padrões fitogeográficos amplos, com muitas espécies Neotropicais ou Pantropicais (Gradstein & Costa 2003; Costa et al. 2011) e (ii) os campos de altitude constituem ecossistemas frágeis, que sofrem pressões relacionadas a distúrbios, como o fogo, turismo excessivo, pastagens (Safford 1999; Aximoff et al. 2016) e ao efeito das mudanças climáticas (Safford 2007), os resultados demonstram a singularidade da vegetação dos campos de altitude do PNI e sua condição de *hotspot* para briófitas.

Nos campos de altitude do PNI são recorrentes as formações de afloramentos rochosos. Frahm (1996) reitera que briófitas de afloramentos rochosos apresentam padrões fitogeográficos de larga amplitude e taxas baixas de endemismo. No entanto, neste trabalho foram registradas diversas espécies endêmicas do Brasil com preferência por substrato rochoso nos campos de altitude. Sugere-se que esses ambientes possam representar áreas de refúgio para táxons que apresentam baixas taxas de imigração e menor capacidade competitiva (Frahm, 1996; Burke et al., 1998; Silva & Germano, 2013).

Frahm (2008) discute as possíveis razões para distribuições restritas em briófitas, sendo elas: endemismo, tamanho do habitat, forma de vida, idade do táxon, extinção local, preferência especializada por microambiente/substrato, falta de um dos sexos e baixa habilidade em dispersão a longas distâncias. Espécies consideradas de ampla distribuição são geralmente generalistas em relação ao tipo de substrato colonizado e espécies restritas dependem da disponibilidade de microambientes/substratos específicos para colonização (Frahm 2008), visto que apresentam dependência de condições e recursos específicos de determinado tipo de microambiente, e.g. o musgo *Andreaea subulata* apresenta especificidade de substrato, sendo encontrado preferencialmente em rochas graníticas com presença de água (vide capítulo 3).

Em relação à forma de vida, um estudo de musgos raros realizado na região de Alberta (Canadá) (Vitt & Bellard, 1997) chegou à conclusão de que a raridade depende da forma de vida, estratégia de vida e preferência de habitat. Onde os musgos mais comuns naquele estudo, são pleurocárpicos perenes de vida longa com forma de vida do tipo tapete,



estas características conferem maior habilidade competitiva. Vitt & Bellard (1997) constataram que as espécies raras apresentaram nichos mais restritos, sendo encontradas em fissuras rochosas em penhascos, o que levou à conclusão de que quanto menor o microambiente (habitat), mais rara a espécie.

No tocante aos substratos colonizados, cabe destacar que solo e rocha constituem os principais substratos disponíveis para colonização de briófitas em ecossistemas de topo de montanha (Santos et al. 2017), como os campos de altitude, o que explicaria o elevado número de musgos raros que colonizam esses substratos. Constata-se a vulnerabilidade das espécies de briófitas terrícolas ou rupícolas, que, se estabelecem próximas a trilhas ou estradas por conta da maior disponibilidade luminosa para realização da fotossíntese, e esses são ambientes que sofrem diretamente impactos antrópicos, por conta do turismo e de queimadas (Aximoff & Rodrigues 2011). As espécies generalistas foram encontradas em rochas, solo e troncos de árvore nos mais diferenciados ambientes (e.g. próximas às margens de trilha, no meio da vegetação, afloramentos rochosos). Em relação às corticícolas (3 spp.), as árvores de grande porte não conseguem se estabelecer nos campos de altitude devido às características do solo (e.g. profundidade) (Aximoff et al., 2014). Desta forma, a vegetação dos campos de altitude é caracterizada por plantas arbustivas, herbáceas, bambus e pequenas árvores e são nestas plantas que geralmente são encontrados os musgos corticícolas, visto que o córtex (casca) apresentam condições como pH, umidade e rugosidade que criam microambientes favoráveis para o estabelecimento das briófitas (Batista & Santos 2016).

Algumas formas de vida possibilitam maior conservação de água e nutrientes entre os indivíduos, o que consiste em uma estratégia adaptativa para garantir a sobrevivência da colônia frente às adversidades ambientais (Glime 2010). Cabe destacar que a forma de vida agregada tufo (86% dos táxons) é típica de musgos acrocárpicos que ocorrem em áreas abertas com alta intensidade luminosa e ocorre geralmente sobre solos minerais ou rochas (Bates 1998, Magdefrau 1969), principais substratos disponíveis para colonização em campos de altitude. Além disso, as formas de vida tufo e coxim são as mais tolerantes à dessecação (Bates 1998) e auxiliam (i) no controle hídrico, visto que a água fica armazenada nos espaços entre os gametófitos e (ii) na regulação da temperatura, já que as plantas conseguem reter mais água, diminuindo a temperatura interna da colônia, quando comparada com a do meio externo (Glime 2007). Os musgos que formam tufo também diminuem a razão da superfície/volume, o que ajuda a evitar o dessecamento, já que apenas os filídios do ápice ficam expostos. Esses, quando secos, geralmente se contorcem ou

assumem formas imbricadas, diminuindo sua área foliar para evitar a total dessecação (Bates 1998).

## 2) *Biologia reprodutiva e raridade*

De acordo com Wyatt (1982) a maioria das briófitas são dióicas. O grau de isolamento entre populações femininas e masculinas atua como barreira para a reprodução sexuada (Longton 1992, Laaka-Lindberg et al. 2000; Longton, 2006, Maciel-Silva et al. 2013). A dispersão por esporos não é uma opção para uma variedade de espécies que não conseguem produzir esporófitos. Por exemplo, Longton & Schuster (1983), estudando a flora britânica de musgos, demonstraram que 14% dessas espécies nunca produzem esporófitos, pois não conseguem se reproduzir sexualmente. Longton (1997) constatou que 87% dos musgos britânicos, que apresentam esporófitos desconhecidos, são dióicos. Enquanto os musgos onde os esporófitos são considerados comuns à ocasionais são predominantemente monóicos (83%) (Longton 1997).

A fecundação da oosfera envolve o anterozóide nadando até o arquegônio (Goffinet & Shaw 2009). Em táxons monóicos, tal restrição funcional é praticamente inexistente, visto que a distância entre gametângios femininos e masculinos é mínima. Para espécies dióicas, a fertilização é, em muitos casos, dificultada pela segregação espacial dos sexos (Stark e McLetchie, 2006; Bisang et al., 2015). Os métodos assexuados de reprodução dos gametófitos são, portanto, de extrema importância nas briófitas dióicas. Algumas espécies, em particular, só são conhecidas por se reproduzirem vegetativamente (Maciel-Silva 2017).

Os esporos e os propágulos vegetativos desempenham papéis complementares. Os esporos contribuem para a dispersão à longa distância, mas são produzidos durante um período limitado. Já os propágulos vegetativos (e.g. gemas, filídios quebradiços) são produzidos continuamente, geralmente apresentam um tamanho maior do que os esporos e não possuem mecanismos que promovam sua liberação (Longton & Schuster, 1983; Pohjamo et al., 2006). Portanto, acredita-se que eles contribuam principalmente para a dispersão a curta distância, persistência e crescimento local da população (Longton e Schuster, 1983; Kimmerer, 1991; Kimmerer, 1994; Longton, 1997; Lobel e Rydin, 2009).

A raridade deve se correlacionar com o sistema sexual das espécies, dado que a dispersão a longas distâncias depende principalmente dos esporos (Longton e Schuster, 1983). Laenen et al. (2016) não conseguiram, no entanto, demonstrar uma relação

significativa entre o tamanho da AOO e a condição sexual. Evidências recentes sugerem que os propágulos vegetativos também podem contribuir para a dispersão a longa distância pelo vento. Por exemplo, o musgo *Sphagnum subnitens* se dispersou rapidamente no noroeste da América ao longo de mais de 4000 km por meio da propagação clonal de um único genótipo (Karlin et al., 2011). Stieha et al. (2014) apresentaram ainda evidências para dispersão a longas distâncias potencial por propágulos vegetativos por meio da análise matemática de metapopulações dióicas de hepáticas do gênero *Marchantia*.

Conforme esperado para musgos raros, verificou-se um elevado número de espécies dióicas que apresentaram baixo número de esporófitos nas coleções e nas amostras coletadas (Tab. 4), o que nos leva a inferir que há um baixo investimento na reprodução sexuada. A baixa produção de esporófitos impede que haja dispersão dos esporos a longas distâncias, originando uma distribuição restrita como visto também nos padrões fitogeográficos, onde a maioria constitui elemento endêmico do Brasil (Fig. 9). Evidências experimentais demonstram que os esporos de briófitas endêmicas e raras são menos tolerantes à dessecação e raios UV, o que também pode estar relacionado com uma distribuição restrita, e espécies com ampla distribuição apresentam esporos mais tolerantes a essas condições abióticas (van Zanten & Pócs 1981). No entanto, para ser melhor compreendida a questão da expressão sexual e produção de esporófitos nos musgos ameaçados e/ou endêmicos são necessários estudos de biologia reprodutiva, incluindo avaliação fenológica.

### 3) Traços funcionais

O estabelecimento e a permanência das espécies nos ecossistemas dependem de características que permitam que elas resistam aos filtros ambientais impostos pelo ambiente (Violle et al. 2007). Os grupos funcionais representam conjuntos de espécies que possuem determinados traços que permitem uma resposta similar às condições ambientais e que muitas vezes apresentam um sinal filogenético (Díaz & Cabido 1997; Hooper et al. 2005). Deste modo, os musgos formaram grupos funcionais de acordo com sua ordem taxonômica, visto que quanto mais próximas as espécies são taxonomicamente, maior o compartilhamento de características entre elas. Destaca-se o grupo que abrange as espécies de *Sphagnum* (Sphagnales), que apresentam hialocistos nos filídios (Fig. 13), que conferem uma coloração esbranquiçada, e não apresentam costa. Glime (2007) aponta que os hialocistos são células grandes, hialinas que apresentam elevada capacidade de estocar

água, podendo constituir um mecanismo de resiliência em épocas secas e garantir um equilíbrio na temperatura para a colônia, por conta do calor específico da água. Esta característica do *Sphagnum*, faz com que ele mantenha a umidade sendo muito utilizado em arranjos no ramo da floricultura, em geral, as espécies de *Sphagnum* utilizadas no setor floricultor não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza (Glime 2007, Rancura et al. 2010).



**Figura 13.** Filídio de *Sphagnum* sp.com hialocistos.

O grupo formado pelas espécies de *Campylopus* (Dicranales) apresentou como principais traços funcionais, o ápice hialino, filídios imbricados quando secos e margem levemente serreada. Kürschner (2004) aponta que em ambientes secos, muitas briófitas apresentam ápice hialino e sugerem que este traço é capaz de refletir a luz solar, o que pode proteger as células abaixo contra danos dos raios solares. Kürschner (2004) descreve ainda que na família Pottiaceae, as contorções e encolhimento da lâmina podem depender do tipo de margem foliar para ocorrer. Como a lâmina encolhe durante a secagem, a margem permanece firme e não encolhe, resultando em filídios retorcidos. Os filídios enrolam-se em volta do caule de forma helicoidal, beneficiando a proteção do caulídio e reduzindo a dessecação e protegendo o gametófito contra a radiação solar, como observado em *Leptodontium flexifolium* e *L. stellatifolium* (Figs. 14, 15). Em habitats desérticos, os grãos de areia aderidos são removidos à medida que as folhas retorcidas respondem à absorção de água e se endireitam durante uma chuva (Scott 1982). Glime (2007) sugere que margens denticuladas também podem estar relacionadas com absorção d'água, visto que essas modificações ampliam a área de contato do filídio, o que permite maior absorção deste recurso.



**Figura 14.** *Leptodontium stellatifolium* seco.



**Figura 15.** *Leptodontium* sp. úmido.

*Campylopus densicoma* ficou distante das demais espécies do gênero, devido principalmente ao tamanho da costa, que é do tipo excurrente, o que a difere das demais espécies que apresentam costa percurrente (*Campylopus cuspidatus* var. *dicnemoides*, *Campylopus jamesonii*, *Campylopus fragilis* ssp. *fragiliformis* e *Campylopus gemmatus*). O mesmo acontece com *Andreaea subulata* (Andreales) que difere de *A. rupestris* e *A. acutifolia* por apresentar traços como a presença de costa e filídio falcado. No entanto, *A. subulata* apresenta como substrato preferencial rochas úmidas (Capítulo 3) e as demais são encontradas em rochas geralmente expostas. Supõe-se que a costa em *A. subulata* apresenta uma função mais relacionada ao suporte mecânico dos filídios do que um

mecanismo de condução de água. Nos demais gêneros de Dicranales (*Atractylocarpus*, *Paraleucobryum*, *Leptodontium*, *Eobruchia*, *Pringleella*, *Trematodon*, *Cladastomum*, *Ditrichum*), as espécies apresentam costas bem marcadas e delgadas. A costa presente em algumas espécies de musgos é análoga à nervura (presente nas traqueófitas); contudo, não apresenta sistema vascular. Suas funções podem incluir o movimento de água da base ao ápice do filídio, ou vice-versa (Glime 2007). Proctor (1979) sugere que a presença da costa pode ter consequências funcionais, tanto para o suporte mecânico do filídio ou para condução d'água. Algumas das espécies aqui tratadas apresentam costas largas, como é o caso de *Paraleucobryum longifolium* subsp. *brasiliense*, que apresenta quase que a totalidade da lâmina do filídio marcada pela costa (Fig. 16).



**Figura 16.** Filídio de *Paraleucobryum longifolium* subsp. *brasiliense*.

Em relação à coloração, os táxons com pigmentação mais escura foram agrupados no quadrante inferior direito na PCA. A pigmentação vermelha a enegrecida em regiões alpinas e de altitudes elevadas apresenta como propósito a proteção do aparato fotossintético, mais especificamente a clorofila e também o material genético (DNA) contra danos provenientes dos raios ultravioleta, mas também podem propiciar que os musgos absorvam calor em um clima mais frio (Glime 2007). As espécies *A. acutifolia*, *A. rupestris*, *A. subulata* e *Blindia magellanica* destacam-se pela pigmentação avermelhada-enegrecida e são espécies geralmente encontradas em microambientes com alta incidência luminosa.

### *Conclusões*

Foi constatado um elevado número de espécies ameaçadas e/ou endêmicas de musgos com ocorrência nos campos de altitude do PNI. A maioria das espécies apresentou elevado grau de endemismo, e.g. endêmicas do Brasil e endêmicas do PNI, onde 48% das

espécies são especialistas de algum tipo de substrato, com destaque para rupícolas e terrícolas e apresentam estratégias reprodutivas e/ou funcionais que permitem sua sobrevivência em ambiente com filtros ambientais tão pronunciados. Esses dados demonstram que o PNI constitui um importante remanescente de Floresta Atlântica tanto para a riqueza quanto para a conservação da flora de musgos, vide o número de espécies endêmicas que os campos de altitude abrigam. Isto reforça a necessidade de medidas e esforços voltados para a conservação das espécies e do ecossistema de campos de altitude no PNI, ambiente frágil que sofre constantemente ameaças relacionadas às perturbações antrópicas e variações climáticas.

Assim, as informações geradas com este capítulo permitem um maior conhecimento sobre a brioflora da Serra da Mantiqueira e complementam o conhecimento dos musgos endêmicos e/ou ameaçados do PNI. O conhecimento da ecologia dessas espécies preenche lacunas para obtenção de maiores subsídios que auxiliem na conservação das espécies. Além disso, a documentação das coleções realizadas nos herbários, irão auxiliar estudos futuros relacionados com a conservação e manejo de briófitas do parque.

## **Referências**

- Aximoff I (2011) O que perdemos com a passagem do fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro? Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. *ICMBio* 2: 180 – 200.
- Aximoff I, Alves RG, Rodrigues RC (2014) Campos de Altitude do Itatiaia: Aspectos ambientais, ecológicos e biológicos. *Boletim Parque Nacional do Itatiaia* 18: 5–6.
- Aximoff I, Nunes-Freitas AF, Braga JMA (2016) Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil. *Oecologia Australis* 20(2): 200–218.
- Aximoff I, Rodrigues RC (2011) Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal* 21(1): 83–92.
- Barbé M, Fenton NJ, Bergeron Y (2016) So close and yet so far away: long-distance dispersal events govern bryophyte metacommunity reassembly. *Journal of Ecology* 104(6): 1707–1719.
- Batista WVSM, Santos ND (2016) Can regional and local filters explain epiphytic bryophyte distributions in the Atlantic Forest of southeastern Brazil? *Acta Botanica Brasilica* 30(3): 462–472. doi: 10.1590/0102-33062016abb0179

- Begon M, Townsend CR, Harper JL (2007) *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Porto Alegre: Artmed. 752 p.
- de Bello F, Lavorel S, Díaz S, Harrington R, Cornelissen JHC, Bardgett RD, Berg MP, Cipriotti P, Feld CK, Hering D, Marins da SP, Potts SG, Sandin L, Sousa JP, Storkey J, Wardle DA, Harrison PA (2010) Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation* 19: 2873–2893.
- Bisang I, Ehrlen J, Korpelainen H, Hedenäs L (2015) No evidence of sexual niche partitioning in a dioecious moss with rare sexual reproduction. *Ann. Bot.* 116:771–779.
- Brade AC (1956) A flora do Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* 5: 7-85.
- Brotherus VF (1924) Musci (Laubmoose). *Ergebnisse der botanische Expedition der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften nach Südbrasilien 1901. Band II (Thallophyta und Bryophyta)*. pp. 251–358. In V. F. Brotherus. *Ergebn. Bot. Exp. Südbras., Musci*. Hölder-Pichler-Tempsky, Wien.
- Burke A, Jürgens N, Selly MK (1998) Floristics affinities of an inselbergue archipelago in the southern Namib desert - relic of the past, centre of endemism or nothing special? *Journal of Biogeography* 25: 311-317.
- Cole TCH, Hilger HH, Goffinet B (2019) Bryophyte Phylogeny Poster (BPP) *PeerJ Preprints* 7: e27571. Disponível em: <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27571> (Acesso em: 05/11/2019)
- Costa DP (2015) Diversity and conservation of Pottiaceae (Pottiales) in the Atlantic Rainforest. *Acta Botanica Brasilica* 29(3): 354–374.
- Costa DP, Imbassahy CAA, Silva VPAV (2005) Diversidade e Importância das Espécies de Briófitas na Conservação dos Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 56: 13–49.
- Costa DP, Lima FM (2005) Moss diversity in the tropical rainforests of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 28(4): 671–685.
- Costa DP, Luizi-Ponzo AP (2010) Introdução: as briófitas do Brasil. pp. 61–68. In: RC Forzza et al. (org.). *Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online]*. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro.



- Costa DP, Rezende MA (2015) Threatened Liverworts of Itatiaia National Park, Rio de Janeiro – Brazil. Field Guides. Disponível: <https://fieldguides.fieldmuseum.org/guides/guide/803>.
- Costa DP, Pôrto KC, Luizi-Ponzo AP, Ilkiu-Borges AL, Bastos CJP, Câmara PEAS, Peralta DF, Bôas-Bastos SBV, Imbassahy CAA, Henriques DK, Gomes HCS, Rocha LM, Santos ND, Siviero TS, Vaz-Imbassahy TF, Churchill SP (2011) Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. *Nova Hedwigia* 93(3–4): 277–334.
- Costa DP, Santos ND (2009) Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. *Acta Botanica Brasilica* 23(4): 913–922.
- Costa DP, Santos ND, Rezende MA, Buck WR, Schaefer-Verwimp A (2015) Bryoflora of the Itatiaia National Park along an elevation gradient: diversity and conservation. *Biodiversity and Conservation* 24(9): 2199–2212.
- Díaz S, Cabido M (1997). Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8: 463–474.
- Eldridge DJ (1993) Cryptogam cover and soil surface condition: effects on hydrology on a semiarid woodland soil. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 7(3): 203–217.
- Flora do Brasil (2020) Briófitas. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128472> (Acesso em: 20/03/2021).
- Frahm JP (1990) *Campylopus*, a modern and successful genus!? *Tropical Bryology* 2: 91–101.
- Frahm JP (1996) Diversity, life strategies, origins and distribution of tropical inselberg bryophytes. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México* 67: 73–86.
- Frahm (2008) Diversity, dispersal and biogeography of bryophytes (mosses). *Biodiversity Conservation* 17:277–284. doi: 10.1007/s10531-007-9251-x
- Fundação Biodiversitas (2007) Revisão das Listas das Espécies da Flora e da Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado de Minas Gerais. *Biodiversitas. Relatório. Vol. 1 e 2*. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/publicacoes/> (Acesso em 04/04/2020).
- Gaston KJ (1994) What is rarity? In: *Rarity*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 115–135.

- Glime JM (2007) Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Disponível em: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>. Acesso em 16/03/2021).
- Glime JM (2010) Bryophyte Ecology. Vol. 2. Bryological Interaction [online]. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Disponível em: <http://www.bryoecol.mtu.edu/> (Acesso em 10/10/2019).
- Glime JM (2017) Field Taxonomy and Collection Methods. Chapt. 1-1. In: Glime, J. M. Bryophyte Ecology. Volume 3. 1-1-1 Methods. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Disponível em: <http://www.bryoecol.mtu.edu/> (Acesso em 16/03/2021).
- Goffinet B, Shaw AJ (2009) Bryophyte Biology. Cambridge, Cambridge University Press.
- Goffinet B, Buck WR, Shaw AJ (2009) Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta, pp. 98-126. In: B, Goffinet & A.J. Shaw (2009) Bryophyte biology. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gonçalves MTA, Santos ND (2018) Campos de Altitude do Parque Nacional do Itatiaia: um hotspot para briófitas. *Diversidade e Gestão* 2(2): 90–105.
- Gradstein SR, Churchill SP, Salazar-Allen N (2001) Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of The New York Botanical Garden* 86: 1–577.
- Gradstein SR, Costa DP (2003) The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. *Memoirs of The New York Botanical Garden* 87: 1–336.
- Gradstein SR & Salazar Allen N (1992) Bryophyte diversity along an altitudinal gradient in Dárien National Park, Panama. *Tropical Bryology* 5: 61–71.
- Gradstein SR & Pócs T (1989) Bryophytes. pp. 311–325. in: H. Lieth & M.J.A. Werger. (eds.). *Tropical rain forest ecosystems* Elsevier, Amsterdam.
- Hallingbäck T, Hodgetts N (2000). Mosses, Liverworts, and Hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN/SSC Bryophyte Specialist Group.
- Hallingbäck T, Hodgetts N, Raeymaekers G, Schumacker R, Sergio C, Soderstrom L, Stewart N, Vana J (1998) Guidelines for application of the revised IUCN threat categories to bryophytes. *Lindbergia* 23: 6-12.
- Hedenäs L (2003) Amblystegiaceae (Musci). *Flora Neotropica, Monograph* 89: 1–108.
- Hongyu K, Sandanielo VLM, Junior, GJO (2015) Análise de Componentes Principais:

- resumo teórico, aplicação e interpretação. *Engineering and Science* 5:1. doi: 10.18607/ES20165053
- Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Wardle DA (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75: 3–35.
- IUCN (2012) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iii + 41pp.
- Kaiser E (1880) Verfahren zur herstellung einer tadellosen glycerin-gelatine. *Botanisch Zentralb* 180: 25–26.
- Karlin EF, Andrus RE, Boles SB, Shaw AJ (2011) One haploid parent contributes 100% of the gene pool for a widespread species in northwest North America. *Mol. Ecol.* (20): 753–767.
- Kimmerer RW (1991) Reproductive ecology of *Tetraphis pellucida*. I. Population density and reproductive mode. *Bryologist* (94): 255–260.
- Kimmerer RW (1994) Ecological consequences of sexual versus asexual reproduction in *Dicranum flagellare* and *Tetraphis pellucida*. *Bryologist* (97): 20–25.
- Kürschner H (2004) Life strategies and adaptations in bryophytes from the near and Middle East. *Turkish Journal of Botany*, v. 28, p. 73-84.
- Kürschner H, Parolly G (2005) Ecosociological studies in Ecuadorian bryophyte communities III. Life forms, life strategies and ecomorphology of the submontane and montane epiphytic vegetation of Ecuador. *Nova Hedwigia* 80: 89-113.
- Laaka-Lindberg S, Hedderson TA, Longton RE (2000) Rarity and reproductive characters in the British hepatic flora. *Lindbergia* 25: 78–84.
- Laenen B, Machac A, Gradstein SR, Shaw B, Patiño J, Desamore A, Goffinet B, Cox CJ, Shaw J, Vanderpoorten A (2016). Geographical range in liverworts: does sex really matter? *Journal of Biogeography* 43: 627–635.
- Leebens-Mack JH; Barker MS; Carpenter EJ et al. (2019) One thousand plant transcriptomes and the phylogenomics of green plants. *Nature* 574: 679–685.

- Li F, Nishiyama T, Waller M et al. (2020) *Anthoceros* genomes illuminate the origin of land plants and the unique biology of hornworts. *Nat. Plants* 6: 259–272. doi: <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0618-2>
- Löbel S, Rydin H (2009) Dispersal and life history strategies in epiphyte metacommunities: alternative solutions to survival in patchy, dynamic landscapes. *Oecologia* (161): 569–579.
- Longton RE (1992) Reproduction and rarity in British mosses. *Biological Conservation* 59: 89–98.
- Longton RE (1997) Reproductive Biology and Life-history Strategies. In *Population Studies*. Longton, R. E. Ed., Jim Cramer, Stuttgart, Germany, pp. 65–101.
- Longton RE (2006) Reproductive ecology of bryophytes: what does it tell us about the significance of sexual reproduction? *Lindbergia* 31: 16–26.
- Longton RE, Schuster RM (1983) Reproductive Biology. p. 386–462. In: R.M. Schuster (ed.). *New Manual of Bryology* Hattori Botanical Laboratory, Nichinan.
- Maciel-Silva AS, Silva FCL, Válio IFM (2013) All green, but equal? Morphological traits and ecological implications on spores of three species of mosses in the Brazilian Atlantic forest. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 86(3): 1249-1262
- Maciel-Silva AS, Gaspar EP, Conceição FP, Santos ND, Costa DP (2016) Reproductive biology of *Syzygiella rubricaulis* (Nees) Steph. (Adelanthaceae, Marchantiophyta), a liverwort disjunctly distributed in high-altitude Neotropical mountains. *Plant Biology* 18(4): 601–608.
- Maciel-Silva AS (2017) Asexual regeneration and its implications for local bryophyte establishment in a Brazilian tropical rain forest. *Botany* 95(1) 45–52. doi:10.1139/cjb-2016-0114
- Mägdefrau, K. 1969. Die Lebensformen der Laubmoose. *Vegetatio* 16: 285-297.
- Martinelli GM (1996) *Campos de altitude*. 2ª Ed., Editora Index. Rio de Janeiro. p. 160.
- Martinelli GM (2013) *Livro Vermelho da Flora do Brasil*. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. CNCFLOA.
- Meyer H, Santarius KA (1998) Short-term thermal acclimation and heat tolerance of gametophytes of mosses. *Oecologia* 115: 1–8.
- Negrelle RRB, Bordignon SE, Ferreira MR, Sampaio LK (2014) Extrativismo e comercialização de *Sphagnum* (veludo): características, implicações

- socioeconômicas e ecológicas e perspectivas. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental* 20(1): 53–66.
- Oliveira SM, Pôrto KC (2001) Reproductive phenology of the moss *Sematophyllum subpinnatum* in a tropical lowland Forest of northeastern Brazil. *Journal of Bryology* 23: 17-21.
- Patiño J, Vanderpoorten A (2018) Bryophyte Biogeography. *Critical Reviews in Plant Sciences* 37(2-3): 175–209.
- Peralta DF (2020) The genus *Andreaea* Hedw. (Andreaeaceae, Bryophyta) in Brazil. *Phytotaxa* 451(2): 169–174.
- Pócs T (1980) The epiphytic biomass and its effect on the water balance of two rain forest types in the Uluguru Mountains (Tanzania, East Africa). *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* 26: 143–167.
- Pohjamo M, Laaka-Lindberg S, Ovaskainen O, Korpelainen H (2006) Dispersal potential of spores and asexual propagules in the epixylic hepatic *Anastrophyllum hellerianum*. *Evol. Ecol* (20): 415–430.
- Proctor (1979) Structure and eco-physiological adaptation in bryophytes. 479–509. In G. C. S. Clarke & J. G. Duckett (eds.), *Bryophyte Systematics*. Systematics Association Special Volume No. 14. Academic Press, London & New York.
- Proctor MCF, Tuba Z (2002) Poikilohydry and homoiohydry: antithesis or spectrum of possibilities? *New Phytologist* 156: 327–349.
- Rancura S, Ribeiro MM, Nordi N (2010) Considerações sobre a coleta de *Sphagnum* no município de Cananéia, estado de São Paulo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24(2): 328–334.
- Robbins RG (1952) Bryophyte ecology of a dune in New Zealand. *Acta Geobotanica* 4: 1–31.
- Safford HD (1999a) Brazilian páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 26: 693–712.
- Safford HD (1999b) Brazilian páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography* 26: 713–737.
- Safford HD (2001) Brazilian páramos III. Patterns and rates of postfire regeneration in the campos de altitude. *Biotropica* 33: 282–302.
- Safford HD (2007) Brazilian Páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 34: 1701–1722.

- Santos ND, Costa DP, Kinoshita LS, Shepherd GJ (2017) Variations in Bryophyte Communities in a Short Elevational Gradient in Atlantic Forest of Southeastern Brazil. *Cryptogamie Bryologie* 38: 191–211.
- Segadas-Vianna F, Dau L (1965) Ecology of the Itatiaia Range, Southeastern Brazil - Climates and Altitudinal Climatic Zonation. *Arquivos do Museu Nacional* 53: 31–53.
- Silva MSD (2019) Revisão das espécies brasileiras de Ditrichaceae Limpricht, Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - Universidade Estadual do Rio de Janeiro.
- Silva JB, Germano SR (2013) Bryophytes on rocky outcrops in the caatinga biome: A conservationist perspective. *Acta Botanica Brasilica* 27(4): 827-835.
- Söderström L, Herben T (1997) Dynamics of bryophyte metapopulations. *Advances in Bryology* 6: 205–240.
- Söderström L, During HJ (2005) Bryophyte rarity viewed from the perspectives of life history strategy and metapopulation dynamics. *Journal of Bryology* 27: 261–268
- Stark LR, McLetchie DN (2006) Gender-specific heat-shock tolerance of hydrated leaves in the desert moss *Syntrichia caninervis*. *Physiol. Plant.* (126): 187–195.
- Stehmann JR, Forzza RC, Sobral M, Salino A, Kamino LHY (eds.) (2009). *Plantas de Floresta Atlântica*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:[http://www.jbrj.gov.br/sites/all/themes/corporateclean/content/publicacoes/plan\\_tas\\_floresta\\_atlantica.pdf](http://www.jbrj.gov.br/sites/all/themes/corporateclean/content/publicacoes/plan_tas_floresta_atlantica.pdf) (Acesso em 15/04/2021).
- Stieha CR, Middleton AR, Stieha JK, Trott SH, McLetchie DN (2014) The dispersal process of asexual propagules and the contribution to population persistence in *Marchantia* (Marchantiaceae). *Am. J. Bot.* (101) 348–356.
- Tuba Z, Slack N, Stark LR (eds.) (2011), *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 35–54.
- Vanderpoorten A, Goffinet B (2009) *Introduction of Bryophytes*. Cambridge University Press.
- Vanderpoorten A, Patiño J, Désamoré A, Laenen B, Górski P, Papp B, Holá E, Korpelainen H, Hardy O (2019) To what extent are bryophytes efficient dispersers? *Journal of Ecology*: 107: 2149–2154.
- van Zanten BO, Pócs T (1981) Distribution and dispersal of bryophytes. *Adv. Bryol.* (1): 479–562.

Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116: 882-892.

Wyatt R (1982) Population ecology of bryophytes. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 52: 179–198.

## Capítulo 2

### **Conservação de musgos dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia: uma análise regional para a Serra da Mantiqueira**

Mateus Tomás Anselmo Gonçalves<sup>1</sup>, Denilson Fernandes Peralta<sup>2</sup> & Nivea Dias dos Santos<sup>3</sup>

1. Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: mateus-tomas@hotmail.com

2. Núcleo de Briologia, Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil.

3. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Botânica/ICBS, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

#### **Resumo**

Localizado na Serra da Mantiqueira, o Parque Nacional do Itatiaia – PNI abriga um importante remanescente de Floresta Atlântica e seus campos de altitude guardam elevado número de espécies raras de briófitas. O objetivo deste trabalho foi reavaliar o *status* de conservação em nível regional (Serra da Mantiqueira) de 43 espécies de musgos endêmicos e/ou ameaçados ocorrentes nos campos de altitude do PNI. A metodologia adotada para avaliação do *status* de conservação seguiu a proposta da IUCN adaptada para briófitas, além da utilização da ferramenta *online* GeoCAT para o cálculo da extensão de ocorrência (EOO) e área de ocupação (AOO). Os vetores de ameaça foram caracterizados com base em observações de campo e dados de literatura. Trinta táxons foram considerados ameaçados em nível regional, sendo 15 VU (vulnerável), nove CR (criticamente em perigo) e seis EN (em perigo). Desses, 17 se mantiveram na mesma categoria de ameaça de análises anteriores e dez espécies tiveram suas categorias modificadas (duas de VU para EN, seis de VU para CR, duas de VU para “menor preocupação” [LC]). Além dessas, outras 13 espécies também tiveram a avaliação do grau de ameaça realizada, sendo sete espécies consideradas LC, quatro foram categorizadas como “dados deficientes” (DD) e duas como “quase ameaçadas” (NT). A maioria dos musgos ameaçados possui crescimento acrocárpico (88%) e são endêmicos do Brasil (42%). As ameaças mais recorrentes na região são os incêndios e turismo excessivo, que atuam principalmente no declínio da qualidade do habitat, assim como no declínio da EOO e AOO. São recomendadas algumas ações para minimizar a perda iminente da brioflora, e.g., incentivos à pesquisa, divulgação do grupo vegetal e proteção dos microhabitats. Os resultados obtidos poderão auxiliar na elaboração de estratégias de conservação.

**Palavras-chave:** briófitas, IUCN, lista vermelha, *status* de conservação, vetores de ameaças



## **Abstract**

Located in the Serra da Mantiqueira, the Itatiaia National Park - PNI is home to an important remnant of the Atlantic Forest and its altitude fields hold a high number of rare species of bryophytes. The objective of this work was to reassess the conservation status at the regional level (Serra da Mantiqueira) of 43 species of endemic and/or threatened mosses occurring in the PNI high-altitude fields. The methodology adopted to assess the conservation status followed the IUCN proposal adapted for bryophytes, in addition to the use of the online tool GeoCAT to calculate the extent of occurrence (EOO) and area of occupation (AOO). The threat vectors were characterized based on field observations and literature data. Thirty taxa were considered threatened at the regional level, of which 15 VU (vulnerable), nine CR (critically endangered) and six EN (endangered). Of these, 17 remained in the same threat category as in previous analyzes and ten species had their categories changed (two from VU to EN, six from VU to CR, two from VU for “least concern” [LC]). In addition to these, another 13 species also had their degree of threat assessment carried out, with seven species considered LC, four were categorized as “deficient data” (DD) and two as “almost threatened” (NT). Most threatened mosses have acrocarp growth (88%) and are endemic to Brazil (42%). The most recurrent threats in the region are fires and excessive tourism, which mainly act in the decline of habitat quality, as well as in the decline of EOO and AOO. Some actions are recommended to minimize the imminent loss of bryoflora, e.g., incentives for research, dissemination of the plant group and protection of microhabitats. The results obtained may assist in the elaboration of conservation strategies.

**Key words:** bryophytes, IUCN, red list, conservation status, threat vectors

## Introdução

Na atualidade, é reconhecido em nível mundial que se vive uma crise de biodiversidade, em que as espécies de plantas raras ou ameaçadas enfrentam risco iminente de extinção (Blackmore et al. 2001, Bachman et al. 2018). Apesar do conhecimento sobre os recursos provenientes das plantas serem fundamentais para a sobrevivência da humanidade e de outras espécies (e.g. regulação do clima, provimento de O<sub>2</sub>, alimentos, remédios), a conservação das plantas não recebeu muita atenção no passado (Blackmore et al. 2001, Costa & Bajgielman 2016).

Nos últimos anos, houve maior conscientização do crescente impacto das mudanças climáticas nos ecossistemas que irão aumentar o potencial de perda de espécies vegetais (Hawkins B. et al. 2008). As mudanças climáticas têm efeito direto sobre a perda da diversidade vegetal, e.g., o aumento da temperatura, mudanças nas taxas de precipitação, desertificação, aumento do nível do mar, perda de polinizadores e dispersores, além da ameaça pela destruição e perda de habitats (Jackson & Kennedy 2009).

Visando orientar governantes e sensibilizar a população, listas vermelhas e planos de ação foram criados para evitar a perda dessa diversidade biológica (Jackson & Kennedy 2009). A Organização das Nações Unidas (ONU), preocupada com a perda da biodiversidade nas últimas décadas, tem se empenhado em promover debates a respeito do clima e meio ambiente, organizando conferências, como a COP (Conferência das Partes) de Biodiversidade, onde são traçadas metas e ações para transformar a relação da sociedade com a diversidade biológica (Pessini & Sganzerla 2016).

No Brasil, as análises de conservação de briófitas foram iniciadas no fim da década de 1990, incluindo avaliações em nível nacional e regional. Dentre os trabalhos realizados em nível nacional, destacam-se: o capítulo dentro da tese de doutorado visando a conservação da família Metzgeriaceae, feito por Costa (1999); a primeira lista vermelha de briófitas do Brasil (Yano et al. 2005) e a análise de Costa et al. (2013), que avaliaram as famílias de briófitas no livro vermelho de plantas do Brasil. E em nível regional, foram realizadas análises para os estados de Pernambuco (Pôrto & Germano 2002); Rio de Janeiro (Costa et al. 2005; Costa & Santos 2009); Minas Gerais (Costa et al. 2006) e Espírito Santo (Yano & Peralta 2007, Santos et al. 2019). Destacam-se ainda, os trabalhos de Messina (2015), que analisou a família Sphagnaceae na Reserva Particular do Patrimônio Natural Serra do Caraça e no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros;

Rezende (2015), que estudou as hepáticas ameaçadas do Parque Nacional de Itatiaia (PNI). Além disso outros trabalhos apresentaram resultados importantes para as briófitas ameaçadas, mesmo sem avaliar o grau de ameaça das espécies, tais como Costa & Rezende (2015), que elaboraram um guia com fotografias e ilustrações das hepáticas ameaçadas do PNI e Gonçalves & Santos (2018) que organizaram um compilado de informações para as briófitas ameaçadas (hepáticas e musgos) que ocorrem nos campos de altitude do PNI, com informações sobre taxonomia, distribuição geográfica, substratos de ocorrência, status de conservação e principais coletores e coleções.

Criado por Decreto Federal em 1937 para preservar parte da herança biológica da Serra da Mantiqueira, o PNI foi instaurado entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (ICMBio 2021). O PNI apresenta uma ampla variação altitudinal (600 a 2.791 m alt.) que favorece a ocorrência de diferentes fitofisionomias relacionadas à floresta ombrófila densa, além da fitofisionomia campestre denominada de campos de altitude (CA), encontrados acima do limite das florestas, a partir de aproximadamente 2.000 m alt. (Safford 1999a; Aximoff et al. 2016).

Desde o século XIX, a região do Vale do Rio Paraíba do Sul, onde insere-se o PNI, sofre forte perturbação antrópica, devido principalmente às plantações de café e de diversas espécies frutíferas europeias (Aximoff 2014). A região também sofreu com a retirada de madeira para confecção de dormentes para as estradas de ferro (Aximoff 2014). Segundo Brade (1956), as atividades agrícolas na região foram um dos principais processos responsáveis pela modificação parcial da vegetação do Parque Nacional do Itatiaia (PNI). O PNI guarda um importante remanescente de Floresta Atlântica e sempre foi destacado como uma região de extremo potencial à investigação científica (Dusén 1903; Brade 1956), motivo principal para sua criação como o primeiro Parque Nacional do Brasil.

Os CA representam uma fitofisionomia frágil, isolado nos topos das cadeias montanhosas do sudeste brasileiro (Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999b). Embora grande parte dos CA estejam localizados no interior de unidades de conservação (UC), eles sofrem impactos naturais e de origem antrópica. Esta região sofre com degradação, queimadas, culturas mistas cíclicas e pastagens, além de questões fundiárias não resolvidas, que constituem permanentes ameaças à flora local (Aximoff 2011, Aximoff & Rodrigues 2011, Rocha et al. 2003, Safford 1999b, 2007). O isolamento geográfico e os impactos de origem antrópica colocam em risco a existência deste tipo de ecossistema.

Costa & Santos (2009) apontam que dentre as 75 espécies de hepáticas ameaçadas do Estado do Rio de Janeiro (RJ), 51 ocorrem no PNI (38 ocorrem apenas nesta UC no Estado). Na reavaliação do *status* de conservação das hepáticas, Rezende (2015) indicou 32 espécies como ameaçadas no PNI, das quais 30 ocorrem nos CA. Com relação aos musgos, Costa et al. (2005) reportam ca. 30 espécies ameaçadas para os CA do PNI, o que reitera o status do PNI como área prioritária para conservação de briófitas, corroborando a análise de Costa & Paranhos (2008).

Apesar da importância da diversidade vegetal do PNI (Costa et al. 2015; Condak 2006; Brade 1956, Morim & Barroso 2007, Alves et al. 2016, Monteiro & Guimarães 2009), existem ainda lacunas no conhecimento da diversidade da brioflora, seu potencial e possíveis ameaças. A riqueza de espécies é um dos caminhos para se observar e discutir a biodiversidade (Freitas & Magalhães 2012). Briófitas são plantas pioneiras e bioindicadoras, que atuam na estabilização de solos e na regulação do microclima local (Vanderpoorten & Goffinet 2009), sendo importantes componentes estruturais dos campos de altitude (Ribeiro et al. 2007). Além disso, dada a raridade e o elevado endemismo dos campos de altitude, espécies de briófitas podem representar táxons únicos e seu desaparecimento pode causar diversos impactos nesse ecossistema frágil e ameaçado.

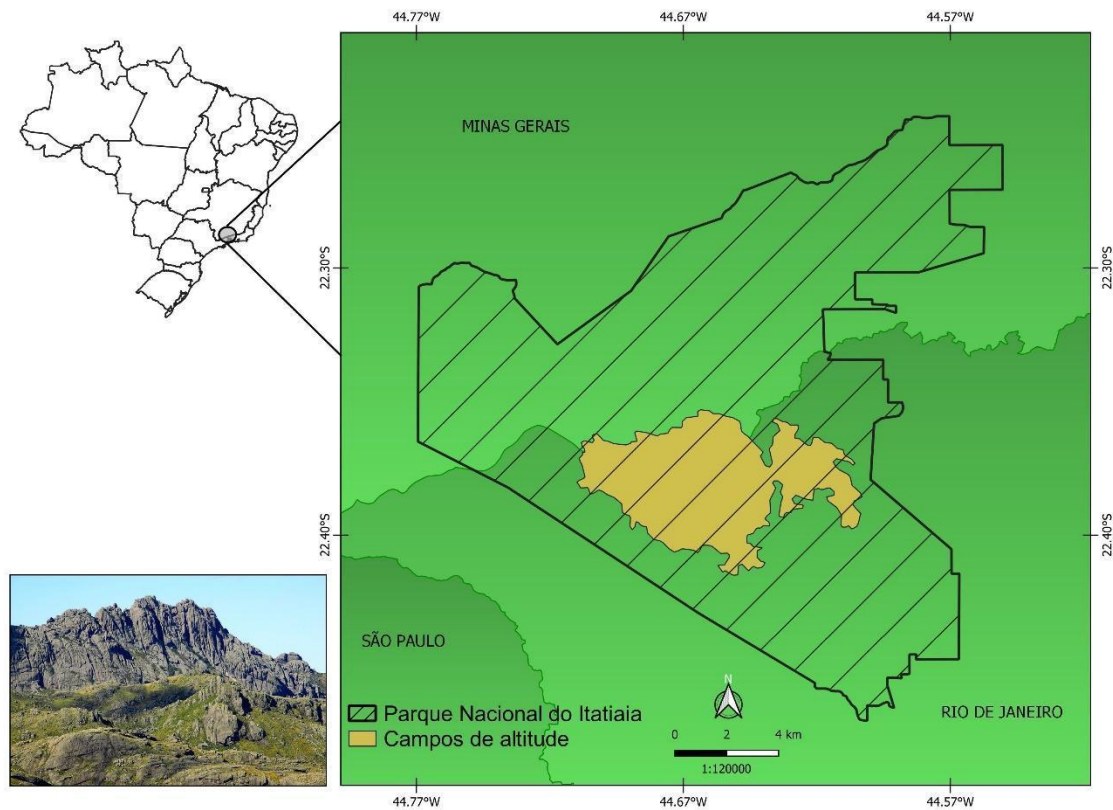
Quando o intuito é diminuir a taxa de extinção de espécies, a avaliação do *status* de conservação é considerado o passo primordial para planejar e priorizar recursos e ações (Mace et al. 2008). Assim, a reavaliação do *status* de conservação dos musgos é necessária, pois representa um alerta para planejamento de ações rápidas e efetivas em prol da conservação das espécies. Deste modo, este trabalho visa reavaliar o *status* de conservação, em nível regional para a Serra da Mantiqueira, dos musgos endêmicos e/ou ameaçados que ocorrem nos campos de altitude do PNI.

## **Material e Métodos**

### *Caracterização do local de estudo:*

Os campos de altitude do PNI se inserem no domínio fitogeográfico da Floresta Atlântica (Fig. 17) na região sudeste do Brasil e são encontrados acima de 2.000 m de altitude com ponto culminante de 2.791 m (Pico das Agulhas Negras). Apresenta área de aproximadamente 50 km<sup>2</sup> (Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999a, Martinelli 1996) e clima subtropical de altitude, com temperatura média anual de 11,5° C, precipitação

média anual entre 1.000 e 2.500 mm e estação chuvosa compreendida entre os meses de dezembro a fevereiro (Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999b).



**Figura 17.** Mapa do Parque Nacional do Itatiaia e área dos campos de altitude.

### *Listagem das espécies*

A lista de espécies ameaçadas foi obtida de Gonçalves & Santos (2018), onde constam 28 espécies de musgos com seus respectivos materiais examinados e identificados. Essa listagem foi atualizada com novas identificações realizadas nos herbários R, RB, RBR e SP. Também foram consultadas informações das bases de dados online dos herbários que constam do CRIA (<http://smlink.cria.org.br/>), JABOT (<http://jabot.jbrj.gov.br/v2/consulta.php>) e GBIF (<http://gbif.org>). Além disso, foram consultadas listas vermelhas nacionais e regionais (Costa, Imbassahy & Silva 2005; Martinelli et al. 2018, Fundação Biodiversitas 2007); o diagnóstico elaborado por Costa et al. (2015) e a Flora do Brasil (2020).

### *Classificação do status de conservação*

Hallingback et al. (1998) adaptaram os critérios da IUCN para as briófitas, indicando cinco critérios quantitativos essenciais para determinar se um táxon é ameaçado

(Tab. 6), e exemplos para simplificar a classificação nas sete categorias de ameaça (IUCN 2012).

**Tabela 6.** Exemplo dos critérios quantitativos para determinar o grau de ameaça de um táxon (Fonte: Vanderpoorten & Goffinet 2009).

<b>Critério</b>	<b>Exemplo de Limites</b>
A. Declínio populacional	30-90% do declínio populacional durante um período de tempo de 10 anos ou 3 gerações, o que for maior
B. Raridade e declínio	Extensão de Ocorrência (EOO) <20.000 km <sup>2</sup> ou Área de Ocupação (AOO) <2.000 km <sup>2</sup> e fragmentação severa, com declínio contínuo ou com extremas flutuações.
C. Tamanho populacional pequeno e fragmentado, declínio ou flutuações	Tamanho populacional <250 indivíduos reprodutivos com declínio contínuo de >10% em 10 anos ou três gerações.
D. Tamanho populacional muito pequeno ou com uma distribuição muito restrita	Número de indivíduos <1000 ou AOO <20 km <sup>2</sup> (ou < cinco localidades)
E. Análises quantitativas do risco de extinção	Análise de viabilidade populacional (Gärdenfors 2000) ou qualquer outra forma de análise estimativa da probabilidade de extinção.

As categorias seguem a nomenclatura inglesa: EX = Extinct; EW = Extinct in the Wild; CR = Critically Endangered; EN = Endangered; VU = Vulnerable; DD = Data Deficient, NE = Not Evaluated; NT = Near Threatened; LC = Least Concern. Espécies que pertencem às categorias CR (Criticamente em Perigo), EN (Em Perigo) e VU (Vulnerável), são classificadas como “ameaçadas”.

Visando melhorar o entendimento das categorias da IUCN para briófitas, Vanderpoorten & Goffinet (2009) descrevem as mais comumente adotadas (Fig. 18):

**EXTINTO (EX):** Um táxon é considerado extinto quando não existem dúvidas de que o último indivíduo morreu. Para briófitas, uma espécie é considerada EX quando esta não é vista nos últimos 50 anos através de sua distribuição de ocorrência. Pode ser considerada Regionalmente Extinta (Regionally Extinct, RE), quando não é considerada globalmente extinta.

**EXTINTO NA NATUREZA (EW):** Um táxon está extinto na natureza quando apenas sobrevive em cultivo, cativeiro ou como população (populações) naturalizadas completamente fora da sua distribuição original.

**CRITICAMENTE EM PERIGO (CR):** Um táxon está em perigo crítico quando enfrenta um risco extremamente elevado de extinção na natureza no futuro imediato. Para briófitas, o critério baseado na área de ocorrência é mais fácil de usar. O táxon deve ser conhecido de uma única localidade ou muitas localidades fragmentadas, ocupando no total  $< 10 \text{ km}^2$  e essa ocupação estar em declínio contínuo. O declínio no tamanho ou na qualidade do habitat é mais frequentemente usado como substituto do declínio populacional real na ausência de dados sobre tendências populacionais.

**EM PERIGO (EN):** Um táxon está em perigo quando não está em CR, mas está enfrentando um risco elevado de extinção na natureza no futuro imediato. Corresponde a um risco de extinção  $\geq 20\%$  em 20 anos ou cinco gerações. A AOO deve ser  $< 500 \text{ km}^2$ . Além disso, o táxon deve ser conhecido em  $\leq$  cinco localidades que também experimentaram um declínio contínuo.

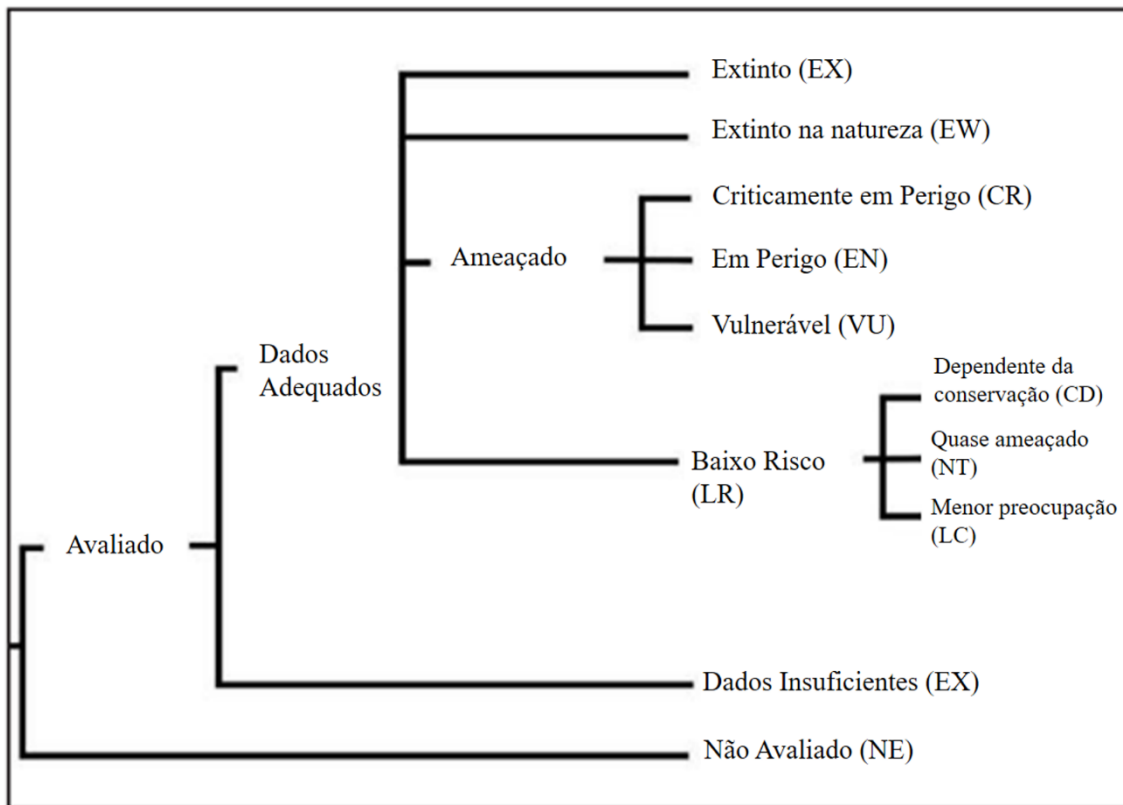
**VULNERÁVEL (VU):** Um táxon é vulnerável quando não está CR nem EN, mas enfrenta um risco alto de extinção na natureza a médio prazo. Corresponde a um risco de extinção  $\geq 10\%$  em 100 anos. A AOO deve ser  $< 2000 \text{ km}^2$ . O táxon deve ser conhecido em  $\leq 10$  localidades onde também experimentaram um declínio contínuo.

**BAIXO RISCO (LR):** Um táxon é de Baixo Risco quando, ao ser avaliado, não satisfaz nenhuma das categorias de CR, EN ou VU e não é um táxon com Dados Insuficientes. Os táxons incluídos na categoria de Baixo Risco podem ser subdivididos em três subcategorias: Dependentes da Conservação (CD), Quase Ameaçado (NT) e Menor Preocupação (LC).

**DADOS INSUFICIENTES (DD):** Um táxon pertence à categoria Dados Insuficientes quando a informação conhecida é inadequada para se fazer uma avaliação, direta ou indireta, do seu risco de extinção com base na distribuição e/ou condição da população. Um táxon nesta categoria pode estar bem estudado e sua biologia ser bem conhecida, mas faltam dados apropriados sobre a sua abundância e/ou distribuição.

**NÃO AVALIADO (NE):** Um táxon é considerado Não Avaliado quando não foi ponderado o seu nível de ameaça em relação a estes critérios.

Tal classificação pode ser vista abaixo (Fig. 18), de maneira simplificada, exemplificando a maneira de agir em relação a classificação. O termo “localidade” define áreas ecológicas e geograficamente distintas onde um único evento de ameaça pode afetar todos os indivíduos daquele táxon presentes na área.



**Figura 18.** Diagrama hierárquico das categorias de ameaça da IUCN (adaptado de Vanderpoorten & Goffinet 2009).

#### *Análises com a ferramenta GeoCAT - Cálculo de EOO e AOO*

A ferramenta “Geospatial Conservation Assessment Tool” (<http://geocat.kew.org/>) foi desenvolvida pela unidade de sistemas de informações geográficas da instituição inglesa *Royal Botanical Gardens* (Bachman et al. 2011) para realizar avaliações baseadas nos critérios de distribuição geográfica propostos pela IUCN, possibilitando calcular automaticamente a extensão de ocorrência (EOO) e a área de ocupação (AOO) de espécies vegetais.

Para esta análise as coordenadas geográficas foram obtidas através das etiquetas das exsicatas e nas bases de dados online, tomando o cuidado para conferir a identificação, ou seja, foram incluídas aquelas com identificação confirmada ou realizadas por especialistas. O voucher e coordenadas foram organizados em planilhas e salvos no formato “csv” (Anexo 1) e então submetidas à plataforma GeoCat Kew (IUCN 2021). A



Extensão de Ocorrência (EOO) de cada espécie foi calculada usando o polígono convexo mínimo e a Área de Ocupação (AOO) de cada espécie foi calculada usando o método de *grid* utilizando o padrão da IUCN de 2Km x 2Km.

### *Caracterização das ameaças*

A caracterização das ameaças aos musgos foi realizada com base no Plano de Ação para Conservação de espécies de briófitas da IUCN (Hallingback & Hodgetts 2000). A proposta de classificação de ameaças de Salafsky et al. (2008) foi utilizada para descrever os vetores de ameaça e ações de conservação. Esta classificação é organizada em três classes: i) identificação de ameaças diretas nos locais de ocorrência ou que afetam uma determinada espécie (residências, comércio, agricultura, atividades humanas, modificações do sistema natural, espécies invasoras, poluição, mudanças climáticas etc.); ii) combinação das ameaças e ações com informações detalhadas de análises de conservação e soluções (expansão de áreas, manejo e restauração de espécies, educação ambiental, legislação etc.); iii) facilitar o cruzamento e compartilhamento de dados permitindo descrever com precisão a ligação entre ameaças e fatores que contribuem para a mesma, visando a comparação de experiências e ações necessárias para a conservação da biodiversidade.

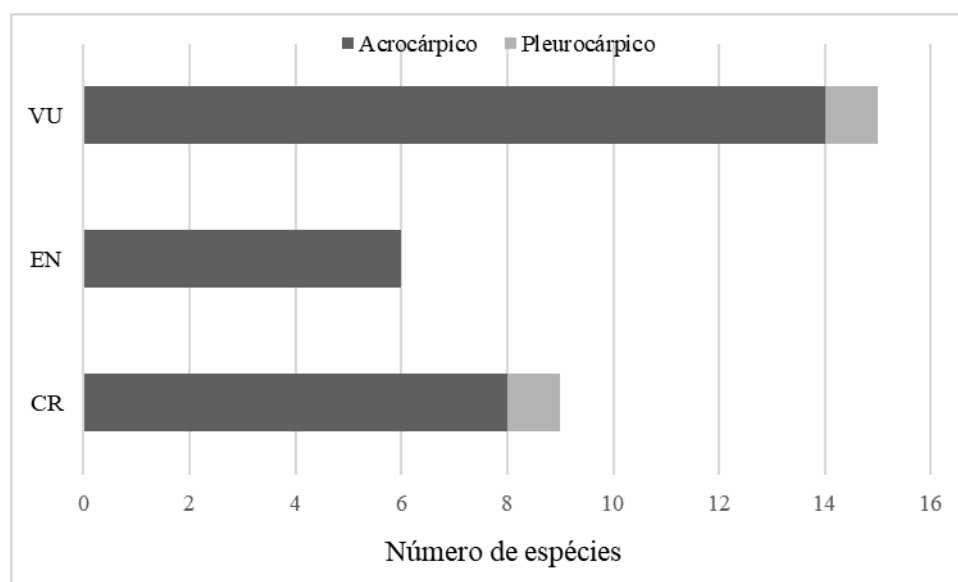
A caracterização das ameaças foi obtida a partir de observações de campo e de dados de literatura (e.g. boletins informativos do PNI, Aximoff 2011, Safford 2001, avaliações do Centro Nacional de Conservação da Flora - CNCFlora): atividades relacionadas ao turismo; culturas anuais e permanentes; criação de animais domésticos com uso de recursos naturais do Parque e pastagens; questão fundiária e frequência e/ou intensidade de fogo.

### **Resultados**

O levantamento (Capítulo 1) registrou 42 espécies de musgos raros para os CA-PNI (Tab. 7), sendo 14 espécies endêmicas e consideradas ameaçadas em escala regional (RJ e MG) ou nacional (Costa et al. 2005; Martinelli et al. 2018; Fundação Biodiversitas 2007), 18 ameaçadas e de ampla distribuição e dez endêmicas do Brasil, não categorizadas como ameaçadas. Após a reavaliação do *status* de conservação, dentre os 42 táxons, 29 foram considerados ameaçados em nível regional, sendo oito CR, seis EN e 15 VU (Tab. 7; Fig. 19).

Dentre as espécies que foram avaliadas anteriormente, 17 mantiveram a mesma categoria de ameaça, dez mudaram de categoria após a reavaliação (duas de VU para EN - *Blindia magellanica* e *Atractylocarpus longisetus*; seis de VU para CR - *Andreaea subulata*, *Eobruchia bruchioides*, *Oreoweisia brasiliensis*, *Pringleella subulata*, *Tetraplodon mnioides* e *Warnstorfia exannulata*; duas de VU para LC - *Fissidens wallisii* e *Sematophyllum swartzii*).

A maioria dos musgos ameaçados apresenta crescimento acrocárpico (88%). Dentre os musgos considerados VU, um é pleurocárpico e 14 são acrocárpicos, já os categorizados como CR, sete são acrocárpicos e um pleurocárpico, os categorizados como EN são acrocárpicos (Fig. 19).



**Figura 19.** Número de espécies de musgos classificadas nas diferentes categorias de ameaça para a região da Serra da Mantiqueira. VU: Vulnerável, EN: Em Perigo, CR: Criticamente em Perigo.

Sete espécies foram consideradas como LC (*Breutelia microdonta*, *Breutelia wainioi*, *Campylopus gemmatus*, *Fissidens wallisii*, *Polytrichum angustifolium*, *Rhacocarpus inermis*, *Sematophyllum swartzii*). Dois táxons tiveram Dados Deficientes (*Andreaea acutifolia* e *Campylopus fragilis* subsp. *fragiliformis*) e dois táxons foram categorizados como NT (*Drepanocladus perplicatus* e *Itatiella ulei*) (Tab. 7). *Ditrichum itatiaiae* var. *brevipes* não foi avaliado (NE), pois apresenta conhecimento taxonômico deficiente.

**Tabela 7.** Listagem das espécies de musgos endêmicas e/ou ameaçadas dos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Brasil (\* = coletada neste trabalho; **Negrito** =espécies que mudaram de categoria).

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Critérios	Justificativa
Dicranaceae	<b>Endêmicas e ameaçadas</b> * <i>Atractylocarpus brasiliensis</i> (Müll.Hal.) R.S. Williams	EN	EN	B1ab(i,ii,iii)	Endêmica da Floresta Atlântica. Restrita aos campos de altitude e floresta alto montana da BA e RJ (Costa et al. 2011). Possui EOO de 549,37 km <sup>2</sup> . A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças decorrentes de atividades urbanas como expansão imobiliária, implantação de atividades agrícolas e presença de fogo provocado, que causam declínio da qualidade e extensão do hábitat. Foi coletada recentemente em solo com serapilheira ou entre vegetação.
Seligeriaceae	<i>Brachydontium notorogenes</i> W.R.Buck & Schaf.-Verw.	CR	CR	B2ab (ii,iii,iv)	Endêmica do PNI. Ocorre na trilha entre o Abrigo Rebouças e Agulhas Negras em afloramento rochoso. A trilha foi visitada e mesmo com esforços de busca, a espécie não foi encontrada. A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças como fogo e turismo predatório, o que acarreta um declínio contínuo da AOO e na qualidade do habitat, além de apresentar poucos registros em coleções científicas.
Brachytheciaceae	<i>Brachythecium poadelphus</i> Müll.Hal.	VU	VU	A4c + B2ab (ii, iii)	Endêmica da Floresta Atlântica, com distribuição nos estados do RJ, MG e SP em UCs. Pouco representada em coleções científicas. Possui AOO de 12,000 km <sup>2</sup> e mesmo a região do planalto do PNI sendo uma das áreas mais bem inventariadas do parque, esta espécie não foi vista ou coletada novamente nesta região, o que leva a inferir que houve declínio no tamanho populacional. A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças como fogo e turismo excessivo, levando ao declínio da qualidade do habitat.
Ditrichaceae	<i>Cladastomum robustum</i> Broth.	VU	VU	B1ab(iii)+2 ab(iii)	Endêmica da Serra da Mantiqueira (MG e RJ). Pouco representada em coleções científicas. São plantas que apresentam estratégia de vida anual, fortemente sazonal, com uma fase de dormência em que forma bancos de esporos. A mortalidade é determinada por fatores abióticos (During 1979). Glime (2007) ressalta que espécies anuais produzem cápsulas cleistocárpicas com ausência de mecanismo especializado de liberação dos esporos. Apresenta AOO de 12,000km <sup>2</sup> e EOO de 284,478km <sup>2</sup> . A espécie e a região sofrem impactos decorrentes do fogo, turismo excessivo, o que gera a diminuição da qualidade do habitat.

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Crítérios	Justificativa
Ditrichaceae	* <i>Crumuscus vitalis</i> W.R.Buck & Snider	EN	EN	B1ab(iii)	Endêmica do PNI. Habitam rochas nas margens das trilhas, ambiente com elevado impacto antrópico. Estratégia de vida normalmente anual, fortemente sazonal; mortalidade determinada por fatores abióticos (During 1979). Apresenta EOO de 2,859 km <sup>2</sup> e AOO de 16,000 km <sup>2</sup> . A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças como fogo e turismo intenso, isto acarreta no declínio contínuo da AOO, qualidade do habitat e número de subpopulações. Além disso, apresenta alta fragmentação entre as subpopulações.
Ditrichaceae	<i>Ditrichum itatiaiae</i> var. <i>brevipes</i> (Müll.Hal.) Paris	VU	NE		Conhecimento taxonômico deficiente.
Bruchiaceae	<b><i>Eobruchia bruchioides</i> (Müll.Hal.) W.R.Buck</b>	VU	CR	B1ab(ii, iii) + 2ab(ii, iii)	Endêmica do PNI, com distribuição exclusiva em campos de altitude. Terrícola encontrada em margem de trilha, ambiente com elevado impacto antrópico. Está sujeita às ameaças do fogo, pisoteio, diminuição da qualidade do habitat e turismo excessivo. Apresenta EOO de 0,059km <sup>2</sup> e AOO de 4,000km <sup>2</sup> . Conhecida para apenas uma localidade com declínio na AOO e na qualidade do habitat. Além de ser pouco representada em coleções científicas, não foi coletada recentemente.
Dicranaceae	* <i>Paraleucobryum longifolium</i> subsp. <i>brasiliense</i> (Broth.) P.Müller & J.-P.Frahm	VU	VU	B2ab(iii)	Endêmica da Floresta Atlântica (RJ e ES). Apresenta distribuição em campos de altitude e floresta alto montana. Possui AOO de 12.000km <sup>2</sup> . Encontrada apenas em UCs (Estação Biológica Mestre Álvaro e PNI). Coletada recentemente na trilha para Agulhas Negras a 2.434 m de altitude em troncos de pequenas árvores. A espécie e a região de ocorrência sofrem com o turismo excessivo e incêndios recorrentes, o que leva ao declínio da qualidade e extensão do habitat.
Bruchiaceae	<b><i>Pringleella subulata</i> (Müll. Hal.) Broth.</b>	VU	CR	B1ab(iii)+B2ab(iii)	Endêmica do PNI, em região de divisa entre RJ e MG. Tem distribuição restrita (EOO=274,21 km <sup>2</sup> ), ocorrendo apenas em campos de altitude. Conhecida apenas pelo material tipo, enfrenta o declínio da qualidade e da extensão do hábitat tanto pela presença de fogo quanto pela pressão antrópica nas regiões de ocorrência da espécie. São necessários esforços de coleta e investimento em pesquisa, a fim de conhecer sua real distribuição geográfica e biologia.
Sphagnaceae	* <i>Sphagnum exquisitum</i> H.A. Crum	VU	VU	B2ab(ii, iii)	Endêmica da Floresta Atlântica (ES, MG, SP, RJ e SC). Apesar de ter ampla EOO (70.608,724 km <sup>2</sup> ), sofre ameaças pelo extrativismo e comercialização, pois, em geral, não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza para atender

às demandas do serviço floricultor (Rancura et al. 2010, Negrelle et al. 2014, Glime 2007). Além disso, possui AOO de 60,000 km<sup>2</sup>, conhecida por menos de dez localidades. Este fato aliado ao extrativismo coloca a espécie como ameaçada.

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Critérios	Justificativa
Sphagnaceae	<i>Sphagnum longicomosum</i> Müll.Hal.	EN	VU	B2ab(ii, iii)	Endêmica do Brasil, presente no Cerrado e Floresta Atlântica (ES, MG, SP, RJ, DF, GO, PR e RS). Apesar de ter ampla EOO (70.945,003 km <sup>2</sup> ), apresenta ameaças decorrentes do extrativismo e comercialização, pois, em geral, não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza para atender às demandas do serviço floricultor (Rancura et al. 2010, Negrelle et al. 2014, Glime 2007). Apresenta AOO de 64,000 km <sup>2</sup> , conhecida para menos de dez localidades, o que a coloca em situação de ameaça.
Sphagnaceae	<i>Sphagnum platyphylloides</i> Warnst.	VU	VU	B1ab(i,ii,iii)	Espécie endêmica do Brasil, ocorrendo no Cerrado e Floresta Atlântica (ES, MG, RJ, GO e DF). Apesar de ter EOO de 162.366,682 km <sup>2</sup> , o táxon está restrito aos topos de montanha. Sofre ameaças pelo extrativismo e comercialização, pois, em geral, não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza para atender às demandas do serviço floricultor (Rancura et al. 2010, Negrelle et al. 2014, Glime 2007). Além disso, possui AOO de 24,000km <sup>2</sup> , conhecida por menos de dez localizações. Este fato aliado ao extrativismo coloca a espécie como ameaçada.
Sphagnaceae	* <i>Sphagnum pseudoramulinum</i> H.A. Crum	VU	VU	B2ab(ii, iii)	Endêmica da Floresta Atlântica (ES, MG, SP, RJ e RS). Possui EOO de 28.792,478km <sup>2</sup> . Apresenta ameaças decorrentes do extrativismo e comercialização, pois, em geral, não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza para atender às demandas do serviço floricultor (Rancura et al. 2010, Negrelle et al. 2014, Glime 2007). Apresenta AOO de 36,000 km <sup>2</sup> , conhecida para menos de dez localidades, o que a coloca em situação de ameaça.
Sphagnaceae	<i>Sphagnum rotundatum</i> Müll.Hal. & Warnst.	VU	VU	B2ab(ii, iii)	Endêmica do Brasil, presente no Cerrado e Floresta Atlântica (GO, MG, RJ, SP, PR, SC). Possui EOO de 27,297 km <sup>2</sup> (RJ, MG) e AOO de 12,000 km <sup>2</sup> . Apresenta ameaças decorrentes do extrativismo e comercialização, pois, em geral, não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza para atender às demandas do serviço floricultor (Rancura et al. 2010, Negrelle et al. 2014, Glime 2007). Apresenta AOO de 12,000 km <sup>2</sup> , conhecida para duas localizações, o que a coloca em situação de ameaça.

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Critérios	Justificativa
Bruchiaceae	<i>Trematodon pauperifolius</i> Müll.Hal.	VU	DD		Registro errôneo para o PNI (Müller 1898). Tipo de Ouro Preto (MG).
	<b>Ameaçadas:</b>				
Andreaceae	* <i>Andreaea acutifolia</i> Hook.f. & Wils.	NE	DD		Apresenta distribuição disjunta no hemisfério sul. Espécie muito semelhante a <i>A. rupestris</i> , o que diferencia as espécies são os filídios periqueciais. Por este motivo, apresenta poucos registros de coleta ou identificações equivocadas. São necessários esforços de coleta e investimentos em pesquisa científica, a fim de certificar a real distribuição geográfica do táxon.
Andreaceae	* <i>Andreaea rupestris</i> Hedw.	VU	VU	B2ab(iii)	Apresenta ampla distribuição mundial, sobretudo em regiões temperadas. Contudo, no Brasil, está restrita aos campos de altitude da região sudeste. É ameaçada por conta da distribuição limitada a ambientes rochosos em campos de altitude, ecossistema ameaçado pelas mudanças climáticas, turismo excessivo e incêndios, o que provoca a diminuição da qualidade do habitat. Possui AOO de 44,000 km².
Andreaceae	* <i>Andreaea subulata</i> Harv.	VU	CR	A1c; B1b(i,ii,iii,i v) + B1c(i,ii,iii)	Apresenta distribuição disjunta no hemisfério sul. Apresenta populações pequenas, restritas a habitat rochoso com presença de água. No Brasil, tem ocorrência no RJ, com coleta recente apenas nas Agulhas Negras (PNI). Além disso, apresentou redução no tamanho populacional nas últimas décadas. Sofre ameaças devido ao turismo excessivo e incêndios que diminuem a qualidade do habitat. Apresenta AOO de 8,000 km².
Dicranaceae	<i>Atractylocarpus longisetus</i> (Hook.) E.B.Bartram	VU	EN	B1ab(iii)+2 ab(iii)	Apresenta distribuição neotropical. No entanto, no Brasil ocorre apenas nos estados do RJ, MG e ES. Encontrada em altitudes que variam de 1.200 a 2.700 m em campos de altitude e floresta ombrófila densa e mista, ambientes que estão sendo degradados por atividades antrópicas, invasão de espécies exóticas e mudanças climáticas. Apresenta EOO de 547,32 km² e está sujeita a perda e o declínio da qualidade do hábitat como principal ameaça.
Seligeriaceae	* <i>Blindia magellanica</i> Schimp.	VU	EN	B2ab(ii,iii, iv)	Apresenta distribuição disjunta de regiões temperadas e montanhas tropicais. Contudo, no Brasil ocorre apenas no estado do RJ (PNI) e ES (Parque Nacional do Caparaó) em UCs. Possui EOO de 1.124,365 km² e AOO de 12,000km². Encontra-se em situação de ameaça, pois sua região de ocorrência sofre com o turismo excessivo e fogo, o que leva ao declínio da qualidade do habitat, além de ser conhecida para duas localidades.

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Critérios	Justificativa
Dicranaceae	* <i>Campylopus cuspidatus</i> var. <i>dicnemoides</i> (Müll.Hal.) J.-P.Frahm	VU	VU	B2ab(ii, iii)	Apesar de ter distribuição neotropical, no Brasil ocorre apenas nos estados do RJ e SC. Apresenta EOO de 6,092 km <sup>2</sup> e AOO de 12,000km <sup>2</sup> . Frahm (1991) cita a ocorrência da espécie no estado do AM no Cerro Duida. No entanto, esse tepui fica localizado na Venezuela, sendo então um registro errôneo para o estado do AM. A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças como fogo e turismo predatório, o que acarreta no declínio contínuo da AOO, EOO e da qualidade do habitat.
Dicranaceae	<i>Campylopus densicoma</i> (Müll.Hal.) Paris	EN	EN	B1ab(i,ii,iii)	Apesar da ampla distribuição no Neotrópico, no Brasil a espécie é restrita aos campos de altitude do Rio de Janeiro (EOO=273,88 km <sup>2</sup> ). Pouco representada em coleções científicas. Para tanto, recomenda-se um maior esforço de coleta para a espécie, a fim de conhecer sua real distribuição geográfica.
Dicranaceae	* <i>Campylopus jamesonii</i> (Hook.) A.Jaeger	VU	VU	B2ab(ii, iii)	Espécie com distribuição disjunta entre África e Neotrópico. No Brasil é conhecida principalmente para regiões de campos de altitude da região sudeste (MG, RJ e SP). Possui microambiente preferencial em campos de altitude à base de <i>Chusquea</i> sp. Apresentando AOO de 52,000 km <sup>2</sup> . A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças como fogo e turismo predatório, o que acarreta no declínio contínuo da AOO, EOO e da qualidade do habitat.
Amblystegiaceae	<b><i>Drepanocladus perplicatus</i> (Dusén) G. Roth</b>	VU	NT		Espécie amplamente distribuída na América do Sul. No trabalho de Costa et al. (2005), a citação do voucher era de <i>Drepanocladus brasiliensis</i> , que é sinônimo de <i>Warnstorfia exannulata</i> . Contudo, poderá estar incluída em alguma categoria de ameaça num futuro próximo por ocorrer em regiões que sofrem com urbanização, presença de fogo e turismo excessivo.
Fissidentaceae	<b><i>Fissidens wallisii</i> Müll.Hal.</b>	VU	LC		Espécie com distribuição neotropical, amplamente distribuída pela Floresta Atlântica, com ocorrência nos estados do ES, MG, RJ, SC e RS. Ocorre principalmente em floresta ombrófila e floresta ombrófila mista. Além disso, encontra-se localizada em UCs ao longo de sua distribuição.
Pottiaceae	* <i>Leptodontium flexifolium</i> (Dicks.) Hampe	VU	VU	B1ab(i, ii, iii)+B2ab(i, ii, iii)	Distribuição ampla no mundo. Contudo, no Brasil, está restrita às montanhas do estado do RJ com EOO de 17,414 km <sup>2</sup> e AOO de 12,000 km <sup>2</sup> . Além disso, apresenta muitas subpopulações nos CA do PNI. Apesar de estar dentro de unidades de conservação, a espécie encontra-se sujeita ao declínio da EOO, AOO

e qualidade do hábitat decorrente das queimadas frequentes nas regiões de ocorrência.

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Crítérios	Justificativa
Pottiaceae	* <i>Leptodontium stellatifolium</i> (Hampe) Broth.	VU	VU	B1ab(iii)+2ab(iii)	Espécie neotropical. No Brasil está restrita à floresta atlântica em campos de altitude, campos rupestres e floresta ombrófila (ES, MG, RJ, SP e SC). Possui distribuição em campos de altitude, campo rupestre, floresta ombrófila e floresta ombrófila mista. Possui EOO de 8.235,581 km <sup>2</sup> e AOO de 48,000km <sup>2</sup> . A espécie e sua região de ocorrência sofrem ameaças decorrentes de atividades urbanas como expansão imobiliária, implantação de atividades agrícolas, turismo excessivo, presença de fogo provocado e introdução de espécies exóticas que causam declínio da qualidade e extensão do hábitat da espécie. Foi coletada recentemente em rocha exposta e afloramento rochoso.
Pottiaceae	* <i>Leptodontium wallisii</i> (Müll.Hal.) Kindb.	VU	VU	B1ab(i,ii,iii)	Disjunta entre América do Sul e África. No Brasil, há registro da espécie em florestas ombrófilas e campos de altitude nos Estados de SP e RJ (EOO=12.534,519 km <sup>2</sup> ), podendo possivelmente ocorrer no estado de MG. Apesar de estar dentro de UCs, a espécie encontra-se sujeita ao declínio da EOO, AOO e qualidade do hábitat decorrente das queimadas frequentes nas regiões de ocorrência.
Polytrichaceae	* <i>Notoligotrichum minimum</i> (Cardot) G.L.Sm.	NE	EN	B1ab(i,ii,iii)	Disjunta entre Terra do Fogo (Argentina) e RJ. No Brasil, a espécie encontra-se restrita ao PNI. Com AOO de 12,000 km <sup>2</sup> , possuindo pequenas subpopulações isoladas entre si. A espécie encontra-se sujeita ao declínio da EOO, AOO e qualidade do hábitat decorrente das queimadas frequentes na região de ocorrência.
Rhabdoweisiaceae	* <i>Oreoweisia brasiliensis</i> Hampe	VU	CR	B1ab(iii)+B2ab(iii)	Espécie rara, com ocorrência disjunta entre os Andes e PNI. Apresenta AOO de 8,000 km <sup>2</sup> . Apresentando populações restritas à trilha para Agulhas Negras. Enfrenta o declínio da qualidade e da extensão do hábitat pela presença do fogo e turismo excessivo na região.
Sematophyllaceae	* <i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr.)W.H.Welch & H.A. Crum	VU	LC		Espécie com distribuição Neotropical. Amplamente distribuída na Floresta Atlântica, com ocorrência em floresta ombrófila e campos de altitude. Apresenta muitos registros de coleta recentes.



Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Critérios	Justificativa
Splachnaceae	<i>Tetraplodon mnioides</i> Müll.Hal.	VU	CR	B1ab(i, ii, iii)+B2ab(i, ii, iii)	Costa et al. (2005) consideraram <i>T. itatiaiae</i> Müll.Hal. como VU. No entanto, o material foi taxonomicamente revisado, sendo considerado sinônimo de <i>T. mnioides</i> . Apesar de ser bem distribuída no hemisfério norte, no Brasil é rara, restrita aos campos de altitude do PNI. Apresenta AOO de 8,000 km². É conhecida de apenas uma localização, sofrendo com a diminuição da qualidade do habitat. Os representantes da família Splachnaceae apresentam dispersão mediada por moscas e crescem sobre detritos orgânicos de animais que pode constituir um fator de raridade para o táxon, visto que apresenta poucas coleções, são necessários esforços de coleta e investimentos em pesquisa científica, a fim de certificar a real distribuição geográfica do táxon e sua ecologia.
Calliergonaceae	<i>*Warnstorfia exannulata</i> (Schimp.) Loeske	VU	CR	B1b(i,ii,iii,iv) + B1c(i,ii,iii)	Ampla distribuição no hemisfério norte. Na América do Sul está restrita às montanhas tropicais. No Brasil, a espécie encontra-se restrita aos campos de altitude do PNI com AOO < 8,000 km². A população encontra-se restrita à região da nascente do Rio Campo Belo. Enfrenta o declínio da qualidade e da extensão do habitat, pela presença do fogo e turismo excessivo na região.
Bartramiaceae	<b>Endêmicas:</b> <i>*Breutelia micrdonta</i> (Mitt.) Broth.	NE	LC		Endêmica e amplamente distribuída na Floresta Atlântica (RJ, ES, MG, SP, SC e PR), encontrada em floresta ombrófila e campos de altitude. Com EOO de 41.129,278 km². Ao longo de sua distribuição é encontrada em UCs.
Bartramiaceae	<i>*Breutelia wainioi</i> Broth.	NE	LC		Endêmica e amplamente distribuída na Floresta Atlântica (RJ, MG, RS) com EOO de 63.674,902 km². Ao longo de sua distribuição é encontrada em UCs.
Dicranaeaceae	<i>*Campylopus fragilis</i> ssp. <i>fragiliformis</i> (J.-P.Frahm) J.-P.Frahm	NE	DD		Por se tratar de uma subespécie, as coleções de herbário precisam ser revistas.
Dicranaceae	<i>Campylopus gemmatus</i> (Müll.Hal.) Paris	NE	LC		Endêmica do Brasil, amplamente distribuída pelo país, presente no Cerrado e Floresta Atlântica, com EOO de 757.647,600 km².
Ditrichaceae	<i>*Cladastomum ulei</i> Müll.Hal.	NE	VU	B1ab(i,ii,iii)	Endêmica da Floresta Atlântica da região sudeste do Brasil com EOO de 1.022,055 km² e AOO de 20,000 km². Restrita aos campos de altitude do PNI e do Parque Nacional do Caparaó (ES). Enfrenta o declínio da qualidade e da extensão do hábitat, pela presença do fogo e turismo excessivo nas regiões de ocorrência.

Famílias	Espécies	Categorias antigas	2021	Critérios	Justificativa
Ephemeraeae	* <i>Ephemerum pachyneuron</i> Müll.Hal.	NE	CR	B1b(i,ii,iii,i v) + B1c(i,ii,iii)	Endêmica do PNI, com registros apenas para a trilha da pedra do altar. Possui AOO < 4,000 km <sup>2</sup> . Além disso, tem estratégia de vida anual e ocorre sobre húmus. Enfrenta o declínio da qualidade e da extensão do hábitat, pela presença do fogo e turismo excessivo nas regiões de ocorrência. Apenas uma coleção recente (2020), encontrada na trilha para Pedra do Altar (PNI) em húmus da espécie de minhocaçu do gênero <i>Rhinodrilus</i> sp.
Polytrichaceae	* <i>Itatiella ulei</i> (Broth. ex Müll.Hal.) G.L.Sm.	NE	NT		Endêmica do Brasil, com EOO de 35.759,011 km <sup>2</sup> na região sudeste. Possui registros nas seguintes UCs: Parque Nacional do Caparaó (MG, ES), PNI (MG, RJ), Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ), Parque Estadual de Campos do Jordão (SP), Parque Estadual do Ibitipoca (MG) (Peralta; Yano, 2010). Além disso, a espécie é restrita a florestas alto-montanas e campos de altitude. Poderá estar incluída em alguma categoria de ameaça num futuro próximo devido a espécie ocorrer em regiões que sofrem com urbanização, presença de fogo e turismo excessivo.
Polytrichaceae	* <i>Polytrichum angustifolium</i> Mitt.	NE	LC		Endêmica da Floresta Atlântica, com ampla distribuição, EOO de 117.152,538km <sup>2</sup> , ocorrendo nos estados do ES, MG, PR, RJ, RS, SC, SP (Peralta, 2009). Possui registros nas seguintes UCs ao longo de sua distribuição: Parque Nacional do Caparaó, Reserva Florestal Pedra Azul, Reserva Biológica de Nova Lombardia, PNI, Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Parque Estadual do Desengano, Parque Estadual de Campos de Jordão, dentre outras (Peralta, 2009).
Rhacocarpaceae	* <i>Rhacocarpus inermis</i> (Müll.Hal.) Lindb.	NE	LC		Endêmica e amplamente distribuída na Floresta Atlântica, ocorrendo nos estados do RJ, MG, ES, SC e RS com EOO 110.237,324 km <sup>2</sup> . Além disso, a espécie ocorre dentro dos limites de diversas Unidades de Conservação ao longo de sua distribuição (CNCFlora 2012).
Sphagnaceae	<i>Sphagnum perforatum</i> Warnst.	NE	VU	B2ab(ii, iii)	Endêmica da Floresta Atlântica (RJ, MG, SP, PR), com EOO de 51.135,844 km <sup>2</sup> e AOO reduzida (16,000 km <sup>2</sup> ). Espécie restrita às florestas alto-montanas e campos de altitude. Apresenta ameaças decorrentes do extrativismo e comercialização, pois, em geral, não são cultivadas, mas extraídas diretamente da natureza para atender às demandas do serviço floricultor (Rancura et al. 2010, Negrelle et al. 2014, Glime 2007).

## Discussão

### *Ameaças aos musgos dos campos de altitude do PNI*

A região dos campos de altitude do PNI, assim como outras áreas desse tipo de ecossistema na região sudeste do país (Serra da Mantiqueira e Serra do Mar) apresentam histórico de incêndios extensos e duradouros há mais de um século, que atuam como principal vetor de ameaça para este tipo de ambiente (Dusén 1955, Brade 1956, Martinelli 1996, 2007, Safford 2001) assim como para os musgos endêmicos e ameaçados. O fogo de origem natural é raro, sendo o de origem antrópica o principal atuante na descaracterização da vegetação local (Aximoff & Rodrigues 2011). No planalto do PNI, em 1963, ocorreu um incêndio que atingiu cerca de 10.000 ha, que permaneceu ativo por mais de 40 dias, destruindo significativas áreas de vegetação (Aximoff & Rodrigues 2011). Além disso, Aximoff e Rodrigues (2011), baseados no histórico de incêndios ocorridos em 2001 (600ha), 2004 (600 ha) e 2007 (800 ha), sugerem um padrão trienal de ocorrência de grandes incêndios, mesmo em áreas não sobrepostas. Reforçando essa hipótese, em 2010 também ocorreu um único incêndio que queimou 1.100 ha de campos de altitude, atingindo áreas como Pedra do Altar e Agulhas Negras (Aximoff 2011, Aximoff & Rodrigues 2011).

Este ecossistema, restrito aos topos das montanhas apresenta elevada riqueza de espécies endêmicas tanto para a flora quanto para a fauna (Martinelli 1996, Safford 1999a, Geise et al. 2004, Gonçalves et al. 2007, Vasconcellos & Rodrigues 2010) e apresenta algumas características que facilitam a passagem do fogo, como o clima seco, vegetação ressecada durante o inverno e ventos fortes (Brade 1956, Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999a, Ribeiro et al. 2007). De acordo com trabalhos antigos (Brade 1956) e atuais (Condak 2006, Morim & Barroso 2007, Alves et al. 2016, Monteiro & Guimarães 2009), a área tem relevante importância biológica, por abrigar espécies sensíveis e ameaçadas de plantas, como hepáticas (*Colura itatyana* Steph., *Metzgeria subaneura* Schiffn., *Marsupella microphylla* R.M. Schust.) samambaias (*Lytoneuron itatiaiensis* (Fée) Yesilyurt, *L. feei* (Brade) Yesilyurt, *Jamesonia brasiliensis* Christ), e angiospermas (*Hindsia glabra* K. Schum, *Schlumbergera microsphaerica* (K.Schum.) Hoewel) (Costa & Santos 2009, Damasceno 2010, Gonzaga et al. 2017, Neto & Peixoto 2012). A recorrência do fogo é prejudicial por levar ao desaparecimento gradual das populações de espécies raras e endêmicas, que poderiam atuar como matrizes genéticas para a recolonização de áreas afetadas (Aximoff 2011, Aximoff et al. 2016). Martinelli et al. (1989) estimaram que

11% das espécies vasculares dos campos de altitude do PNI são localmente endêmicas e 21% são endêmicas nas regiões dos campos de altitude das outras montanhas do sudeste brasileiro.

Além disso, o uso do fogo coloca esse tipo de ecossistema como ameaçado, pois o fato de muitos proprietários rurais com propriedades inseridas em áreas campestres contíguas aos campos de altitude tem seu sustento na atividade agropastoril e utilizam fogo em seu manejo, prática que aumenta o risco do fogo se alastrar para fora da propriedade e atingir áreas protegidas ou mesmo espécies ameaçadas de extinção, que existem naquele tipo de ambiente e que não toleram o fogo (Aximoff 2011).

Dentre outras ameaças observadas em campo, neste estudo, destacam-se: o elevado número de turistas na região que impactam os microambientes de ocorrência dos musgos, com pisoteio, marcas de inscrições nos paredões rochosos, lixo (*e.g.* papel higiênico, plástico, canetas, etc.) e o crescimento acelerado de espécies invasoras. Os sinais de incêndios recentes, além da limpeza de trilhas de forma prejudicial à brioflora local. Além disso, existe a questão da pastagem, questão fundiária (propriedades privadas no interior do parque), expansão e construção de hotéis e pousadas ao redor da área (*buffering zone - zona tampão*) e culturas mistas cíclicas e permanentes ainda constituem as maiores ameaças (Rocha et al. 2003).

### *Recomendações*

Documentar informações sobre espécies ameaçadas contribui para o melhor entendimento e subsidia recursos para agir efetivamente em prol da iminente perda de biodiversidade, além de auxiliar estudos posteriores que visem a conservação dessas espécies.

Hallingbäck & Hodgetts (2000) e Gradstein & Raeymaekers (2000), indicam recomendações para a conservação da brioflora: investimento em pesquisa, reconhecimento de áreas críticas; reconhecimento dos centros de diversidade e endemismo; proteção de habitats para a sobrevivência das espécies e comunidades de briófitas; e formulação de programas multidisciplinares para promover a conservação. Aqui, são propostas as seguintes orientações:

- 1) Reconhecimento do ecossistema dos campos de altitude da Serra da Mantiqueira (domínio fitogeográfico da Floresta Atlântica), como área crítica e prioritária para a conservação.

2) Proteção dos microhabitats de ocorrência das espécies, principalmente das espécies terrícolas que se localizam nas margens das trilhas e que sofrem com o pisoteio dos turistas. Além disso, recomenda-se um mapeamento dessas espécies, sobretudo as classificadas como CR e EN, para que suas áreas de ocorrência sejam preservadas.

3) Elaboração de material para divulgação (manuais, cartilhas, sites, vídeos, etc.) do grupo vegetal e das espécies raras e/ou ameaçadas de briófitas para o público que visita o PNI.

4) Uso sustentável de trilhas, levando em consideração as espécies de briófitas que ocorrem sobre as rochas e que muitas vezes não são percebidas de forma a impedir que populações inteiras de briófitas sejam removidas durante a utilização de trilhas e áreas de escalada.

5) Turismo ecológico, visando favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental em oposição ao turismo predatório, que é aquele que destrói o espaço ambiental.

### **Referências**

- Alves RG, Zaú AS, Oliveira RR (2016) Flora dos campos de altitude em quatro áreas do maciço do Itatiaia, nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. *Pesquisas Botânica* (69):109-140.
- Aximoff I (2011) O que perdemos com a passagem do fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro? *Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas*. *ICMBio* 2: 180–200.
- Aximoff I, Rodrigues RC (2011) Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal* 21(1): 83-92.
- Aximoff I, Alves RG, Rodrigues RC (2014) Campos de Altitude do Itatiaia: Aspectos ambientais, ecológicos e biológicos. *Boletim Parque Nacional do Itatiaia* 18: 5–6.
- Aximoff I, Nunes-Freitas AF, Braga JMA (2016) Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil. *Oecologia Australis* 20(2): 200–218.
- Aximoff I, Rodrigues RC (2011) Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal* 21(1): 83–92.
- Bachman SP, Lughadha EMN, Rivers MC (2018) Quantifying progress toward a conservation assessment for all plants. *Conservation Biology*, 32(2): 1–9. doi: 10.1111/cobi.13071

- Bachman SP, Moat J, Hill AW, de la Torre J, Scott B (2011) Supporting Red List threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. In: Smith V & Penev L (eds.). E-Infrastructures for data publishing in biodiversity science. Sofia: ZooKeys 150: 117-126.
- Blackmore S, Bramwell D, Crane P, et al. (2001) The Gran Canaria Declaration calling for a global program for plant conservation. Botanic Gardens Conservation International. UK Charity Reg. No. 328 475
- Brade AC (1956) A flora do Parque Nacional do Itatiaia. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia 5: 7-85.
- Costa DP (1999) Metzgeriaceae (Metzgeriales, Hepatophyta) no Brasil. Tese de doutorado em Ciências Biológicas (Botânica) não publicada, Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo. 261 pp.
- Costa DP, Imbassahy CAA, Silva VPAV (2005) Diversidade e Importância das Espécies de Briófitas na Conservação dos Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro. Rodriguésia 56: 13–49.
- Costa DP, Pôrto KC, Starling F, Santos ND, Yano O (2006) Briófitas. p. 42–43. In: Drummond, G.M., Martins, C.S. & Mendonça, M.P. (Eds.). Revisão das listas das espécies da flora e fauna ameaçadas de extinção do estado de Minas Gerais. Relatório Final. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas.
- Costa DP, Santos ND (2009) Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. Acta Botanica Brasilica 23: 913–922.
- Costa DP, Fernandez EP, Monteiro NP, Messina T (2013) Briófitas. In: Martinelli G, Moraes MA. (eds.) Livro Vermelho da Flora do Brasil. Rio de Janeiro, CNCFLORA.
- Costa DP, Paranhos CP (2008) Conservation priorities for the bryophytes of Rio de Janeiro State, Brazil. Journal of Bryology 30: 133–142.
- Costa MLMN, Bajgielman, T (Orgs.) (2016) Estratégia Nacional para a conservação ex situ de espécies ameaçadas da flora brasileira. Centro Nacional de Conservação da Flora — CNCFlora: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson, Rio de Janeiro. 24 pp.

- Costa DP, Rezende MA (2015) Threatened Liverworts of Itatiaia National Park, Rio de Janeiro – Brazil. Field Guides. Disponível: <https://fieldguides.fieldmuseum.org/guides/guide/803>.
- Damasceno ER (2010) Distribuição altitudinal e diversidade das Samambaias e Licófitas na Floresta Atlântica do Parque Nacional do Itatiaia, RJ, Dissertação (Mestrado). Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 66 pp.
- Dusén P (1903) Sur la flore de la Serra do Itatiaia. Arq. Mus. Nac. Rio de Janeiro 13: 1–119.
- Freitas WK, Magalhães LMS (2012) Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. Floresta e Ambiente 9(4): 520–540.
- Gärdenfors, U. (2000) Population viability analysis in the classification of threatened species: problems and potentials. Ecological Bulletins, 48, 181–190.
- Gonzaga DR, Neto LM, Peixoto AL (2017) Cactaceae no Parque Nacional do Itatiaia, Serra da Mantiqueira, Brasil. Rodriguésia 68(4): 1397–1410. doi: 10.1590/2175-7860201768420
- Hallingbäck T, Hodgetts N (2000). Mosses, Liverworts, and Hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN/SSC Bryophyte Specialist Group.
- Hallingbäck T, Hodgetts N, Raeymaekers G, Schumacker R, Sergio C, Soderstrom L, Stewart N, Vana J (1998) Guidelines for application of the revised IUCN threat categories to bryophytes. Lindbergia 23: 6–12.
- Hawkins B, Sharrock S, Havens K (2008) Plants and Climate Change: Which Future? Botanic Gardens Conservation International. pp 46-56.
- IUCN (2012) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. 41 pp.
- Neto SJS, Peixoto AL (2012) Rubiaceae do Parque Nacional do Itatiaia. ICMBio - Boletim 14: p. 88-90.

- Jackson PW, Kennedy K (2009) The Global Strategy for Plant Conservation: a challenge and opportunity for the international community. Special Issue: Plant science research in botanic gardens. *Trends in Plant Science* 14(11): 578–580. doi:10.1016/j.tplants.2009.08.011
- Mace GM, Collar NJ, Gaston KJ, Hilton-Taylor C, Akçakaya HR, Leader-Williams N, Milner-Gulland EJ, Stuart SN (2008) Quantification of extinction risk: IUCN's system for classifying threatened species. *Conservation Biology* 22(6): 1424–1442.
- Messina T (2015) Conservação e diversidade de musgos (Sphagnaceae) com potencial de uso na Reserva Particular do Patrimônio Natural Serra do Caraça (Minas Gerais) e no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (Goiás). Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Botânica da Escola Nacional de Botânica Tropical/JBRJ. 79 pp.
- Monteiro D, Guimarães EF (2009) Flora do Parque Nacional do Itatiaia - Brasil: Manekia e Piper (Piperaceae). *Rodriguésia* 60 (4): 999-1024.
- Morim MP (2006) Leguminosae arbustivas e arbóreas da Floresta Atlântica do Parque Nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil: Padrões de distribuição. *Rodriguésia* 57: 27–45.
- Morim MP, Barroso GM (2007) Leguminosae arbustivas e arbóreas da Floresta Atlântica do Parque Nacional do Itatiaia, Sudeste do Brasil: subfamílias Caesalpinioideae e Mimosoideae. *Rodriguésia* 58: 423–468.
- Pessini L, Sganzerla A (2016) Evolução histórica e política das principais conferências mundiais da ONU sobre o clima e meio ambiente. *Revista Iberoamericana de Bioética* 1: 1–1. doi: 10.14422/rib.i01.y2016.009
- Pôrto KC, Germano SR (2002) Biodiversidade e importância das briófitas na conservação dos ecossistemas naturais de Pernambuco, p. 125-152. In: Tabarelli M, Silva JMC. Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. Recife: Massangana.
- Ramos CGV & Sylvestre LS (2010) Lycopodiaceae no Parque Nacional do Itatiaia, RJ e MG, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24: 25–46.
- Rezende MA (2015) Conservação de Briófitas na Mata Atlântica do Sudeste do Brasil: Uma Análise das Espécies de Hepáticas Endêmicas e/ou Ameaçadas do Parque Nacional do Itatiaia. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-



Graduação em Botânica, Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

- Ribeiro KT, Medina BMO, Scarano FR (2007) Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil. *Revista Brasil. Bot.* (30)4: 623-639
- Rocha CFD, Bergallo HG, Alves MAS, Sluys MV (2003) A biodiversidade nos grandes remanescentes de florestas do estado do Rio de Janeiro e nas restingas da Mata Atlântica. RiMA Editora, São Carlos. 146 pp.
- Safford HD (1999a) Brazilian páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 26: 693–712.
- Safford HD (1999b) Brazilian páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography* 26: 713–737.
- Safford HD (2001) Brazilian Paramos III – Patterns and rates of postfire regeneration in campos de altitude. *Biotropica*, 33 (2): 282–302.
- Safford HD (2007) Brazilian Páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 34: 1701–1722.
- Salafsky N, Salzer D, Stattersfield AJ, Hilton-Taylor C, Neugarter R, Butchart SHM, Collen B (2008) A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology* 22(4): 897–911.
- Santos ND, Oliveira JRPM, Silva LTP, Peralta DF (2019) Briófitas ameaçadas no Espírito Santo. pp. 108–123. In: Fraga CN, Formigoni MH, Chaves FG (Orgs) Fauna e flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo. Santa Teresa, Instituto Nacional da Mata Atlântica.
- Segadas-Vianna F, Dau L (1965) Ecology of the Itatiaia Range, Southeastern Brazil - Climates and Altitudinal Climatic Zonation. *Arquivos do Museu Nacional* 53: 31–53.
- Sharrock S (2020). Plant Conservation Report 2020: A review of progress in implementation of the Global Strategy for Plant Conservation 2011-2020. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada and Botanic Gardens Conservation International, Richmond, UK. Technical Series No. 95: 68 pages.

Yano O, Peralta DF (2007) As briófitas ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo, pp. 81–87. In: Simonelli M, Fraga CN (Orgs.). Espécies da flora ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo. Instituto de Pesquisas Mata Atlântica, Vitória.

Yano O, Costa DP, Pôrto KC, Peralta DF (2005) Lista de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção: briófitas. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/floraBr/grupo3fim.asp>.

## Capítulo 3

### Rediscovering of *Andreaea subulata* Harv., a rare moss in Brazil

(Será submetido à *Journal of Bryology*)

Mateus Tomás Anselmo Gonçalves<sup>a\*</sup>, Denilson Fernandes Peralta<sup>b</sup> and Nivea Dias dos Santos<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Museu Nacional – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; <sup>b</sup> Núcleo de Briologia, Instituto de Botânica, São Paulo, Brazil; <sup>c</sup> Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde - Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, Brazil

\*corresponding author e-mail: mateus-tomas@hotmail.com

#### Abstract

**Background** *Andreaea subulata* is a moss species scattered throughout the southern hemisphere, although with only restricted distribution in Brazil in high-altitude fields (campos de altitude) in Rio de Janeiro State. The last recorded Brazilian collection of this species was made approximately 100 years ago on the Agulhas Negras Peak in the Itatiaia National Park (INP). It was never seen or collected again, and was therefore considered regionally extinct. We record the rediscovery of that species and present information concerning its ecology and conservation status in Brazil, and provide a map of its global distribution.

**Methods** The herbarium sheets of *A. subulata* were analyzed to search for the plants on field. Expeditions were carried out in the study area to collect the specimen. The global distribution map of the species was made through QGis software and the analysis of the conservation status followed the guidelines of the International Union for Conservation of Nature adapted for bryophytes.

**Main results** The new found population grows on granitic rocks in humid areas, with a tuft life form and very reduced populations. The conservation status of the species is considered Critically Endangered (CR) in Brazil based on criteria that include reduced population sizes, restricted and declining geographic distribution, and very strict habitat requirements.

**Conclusions** *A. subulata* was rediscovered and categorized as Critically Endangered (CR) and the principal threat for the species in Brazil is the loss of habitat. We provide recommendations for the conservation of the species in the INP, especially the correct maintenance of hiking trails and climbing pitches.

**Keywords:** bryophytes; high-altitude fields; conservation; ecology; moss; rediscovery

#### Introduction

The genus *Andreaea* Hedw. is cosmopolitan, and its species frequently occur in temperate regions and at high elevations on mountains in tropical regions (Schultze-Motel 1970; Peralta 2020). The plants can be recognized by their dark brown, reddish brown, or

grayish color and turf or cushion life-forms, growing directly on granitic or gneissic rock surfaces (Roth 1911, Murray 2012). There are few localities in Brazil that provide favorable conditions for the occurrence of the genus (e.g., rock outcrops at high elevations in colder climates), so that its species have only been recorded in the southeastern and southern regions of the country in the Serra da Mantiqueira and Serra do Mar mountains at elevations between 1,000 and 2,880 m a.s.l.; with occurrences restricted to high-altitude fields (campos de altitude) within the Atlantic Forest phytogeographic domain (Peralta 2020).

The checklist of Brazilian mosses (Costa et al. 2011) cites two *Andreaea* species for Brazil (*Andreaea rupestris* Hedw. and *A. subulata* Harv.), four species and one variety were indicated as insufficiently known, being recorded by only their type materials. Those species were taxonomically evaluated by Peralta (2020), and of the eight taxa previously cited for Brazil, only three species (*A. acutifolia* Hook.f. & Wils., *A. rupestris*, and *A. subulata*) are currently considered valid; the others were synonymized under *A. rupestris* (*A. microphylla* Müll.Hal., *A. spurioalpina* Müll.Hal., *A. spurioalpina* var. *rubricalyx* Müll. Hal., *A. squarroso-filiformis* Müll.Hal., and *A. striata* Mitt.).

*Andreaea subulata* is widely distributed in the southern hemisphere, occurring in Africa, Southeast Asia, South America, Central America, and Oceania (Schultze-Motel 1970, Murray 2012). In Brazil, its range of occurrence is limited to Rio de Janeiro State (Flora do Brasil 2020), and it is known from three collections made 100 years ago. Those collections were analyzed by Schultze-Motel (1970): the material collected by Lützelburg (Voucher: B300232785) in 1916 in the Serra dos Órgãos (Serra do Mar) mountains, and the collection by Maria do Carmo Vaughan Bandeira (Voucher: RB475260, RB210617; RB224544) in 1925 at Itatiaia (Serra da Mantiqueira mountain). There was also a collection made by Dusén at Itatiaia in 1902 (Voucher: R000080129), which is deposited in R (National Museum Herbarium / UFRJ). Due to its rare occurrences, Costa et al. (2005) classified the species as vulnerable (VU) in Rio de Janeiro State (RJ). As it was never collected after 1925, even with numerous recent floristic studies of bryophytes in and around the Itatiaia National Park (INP), Peralta (2020) considered it as probably regionally extinct.

We document here the rediscovery of *Andreaea subulata* in Brazil, and provide information concerning its geographic distribution and ecology, a map of the global distribution, and evaluate its conservation status in Brazil.

## Material and methods

The INP is located between the states of Minas Gerais and Rio de Janeiro (22°25' S, 44°40' W) and occupies an area of approximately 30,000 hectares; its high-altitude fields cover approximately 5,000 hectares (Segadas-Vianna & Dau 1965, Safford 1999a, Safford 1999b). The Agulhas Negras peak is formed by a complex of different rocks (gneiss, granite, magmatic breccia, and sediments) with the predominance of quartz-syenite (Ribeiro Filho 1963, ICMBio 2020). Those minerals constitute the bulk of the high elevation rock outcrops in the INP (Prateleiras, Morro do Couto, Asa de Hermes and Pedra do Altar).

We initially analyzed the herbarium sheets of *A. subulata* held in the RB, R and SP herbaria (RB475260, RB210617, RB224544, SP219938 - duplicates from the same 1925 collection by Maria do Carmo Vaughan Bandeira, and R000080129 - collected in 1902 by Per Karl Hjalmar Dusén). The herbarium labels held only general descriptions of the localities and the substrates colonized by the taxon: "Agulhas Negras. On rocks, not held very tightly; Agulhas Negras on wet rocks". As such, our search for the species was undertaken in the high-altitude fields of the Itatiaia National Park (INP) using the method

of walking and searching (Filgueiras et al. 1994), focusing on the locality described on the herbarium labels.

The techniques adopted for the collection, herborization, and preservation of the botanical material followed Glime (2017). Information concerning the substrates colonized and geographic coordinates, as well as life-forms, were recorded in the field, and photographs were taken of the specimens. The identification of the material was performed through morphological analyses and inspections of transversal sections through the leaves and stem using a stereomicroscope and an optical microscope, as well as by consulting the specialized literature (Peralta 2020).

Information concerning the global geographic distribution of the species was obtained by consulting online databases (INCT - Herbário Virtual da Flora and dos Fungos 2020, and GBIF: The Global Biodiversity Information Facility 2020). The geographic coordinates were organized in an Excel database, and the maps were elaborated using QGIS software (QGIS Development Team 2020).

The analysis of the conservation status of *A. subulata* in Brazil followed the guidelines of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2003) adapted for bryophytes (Hallingbäck & Hodgetts 1998). The Extent of Occurrence (EOO) and Area of Occupation (AOO) were calculated using GeoCat Kew software (<http://geocat.kew.org/>).

## Results and Discussion

The most recent collection of *A. subulata* (dated January 16, 1925) was made by Maria do Carmo Vaughan Bandeira on the Agulhas Negras peak in Itatiaia, RJ. Only now, almost 100 years later, it was rediscovered in a concretion fissure with accumulations of crystals on a rock outcrop with flowing water in the same original region of the INP (-44.66316, -22.37965) (Figure 20).

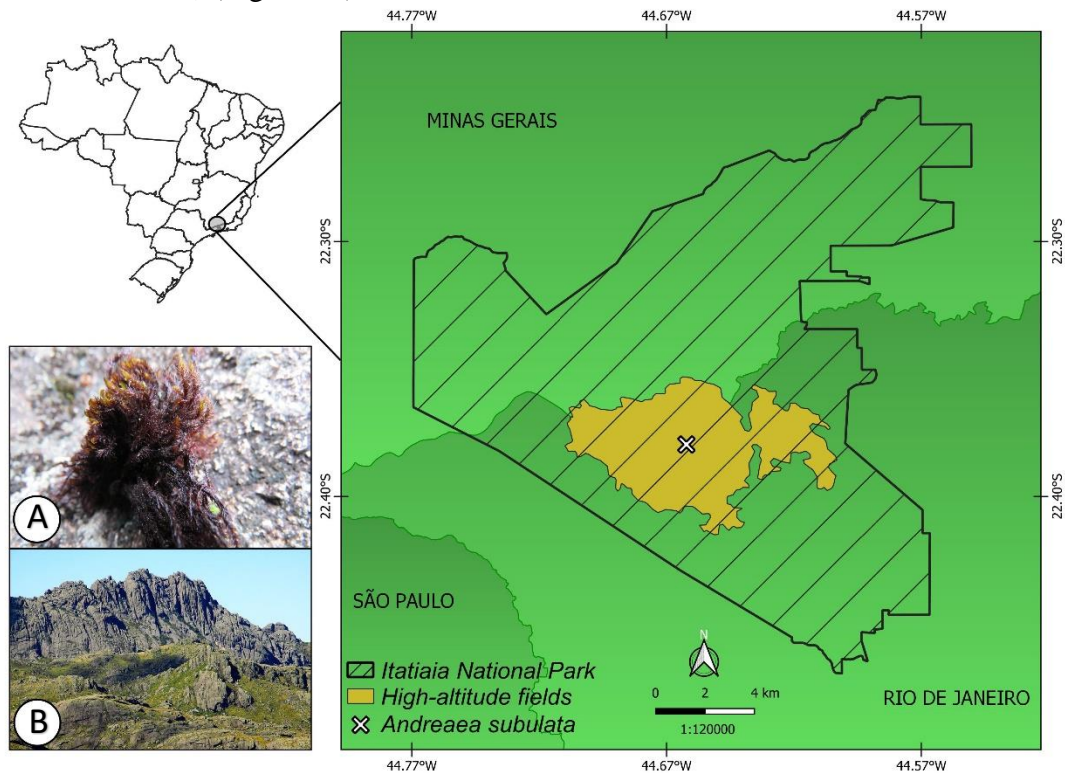


Figure 20. Location of the new record of *A. subulata* in the Itatiaia National Park, Rio de Janeiro State, Brazil. (A) Gametophytes of *Andreaea subulata*. (B) Maciço das Agulhas Negras peak.

*Andreaea subulata* Harv. in Hook., Icon. Pl. Rar. 3: 201. 1840.

Description and illustration by Roth (1911), Magill (1981); Churchill & Linares (1995) and Peralta (2020).

Material examined: BRAZIL. Rio de Janeiro, Serra do Itatiaia, 1902, Dusén [s.n.] (R000080129 - foto), Agulhas Negras, sobre rochas úmidas, 16-I-1925, M.C. Vaughan Bandeira [480] (R, RB475260, RB210617, RB224544, SP219938); idem, trilha para o Pico Agulhas Negras, afloramentos rochosos (-4466316, -2237965), 2700 m alt., 31-X-2020, Peralta, D.F. et al. 26934, 26953 (SP), idem, trilha para o Pico Agulhas Negras, afloramentos rochosos (-4466316, -2237965), 2700 m alt., 31-X-2020, Gonçalves, M.T.A. 158 (R); Serra dos Órgãos (Serra do Mar), 1916, Lützelburg [s.n.] (B300232785 - foto).

According to information provided by our guide, the watercourse cited is the only intermittent stream along the trail that provides access to the Agulhas Negras peak; it is used by alpinists to obtain potable water during the dry season (May through September, when there are greater frequencies of fires in the region [personal information]). There were many fissures in the rocks due to differences in the hardness of the quartz crystals, and water accumulates along an ample stretch of the rock surface throughout the entire year. It did not appear that this locality had suffered from any recent wildfires.

The rock outcrops in the INP (Agulhas Negras, Prateleiras, Morro do Couto, Asa de Hermes and Pedra do Altar) are formed by a granitic complex (Ribeiro Filho 1963), the substrate apparently preferred for colonization by the genus *Andreaea*. All of the rock outcrops in the region were searched, but *A. subulata* was only encountered at Agulhas Negras. The gametophytes of *A. subulata* are small (from 1 to 4 cm long); they are grayish colored in the field, with the apices of the gametophytes being greenish (Figure 21).



Figure 21. Rock fissures on the Agulhas Negras peak, where *A. subulata* was collected.

*A. subulata* differs from *A. rupestris* - the most common species of the genus in high-altitude fields in the INP - by having leaves falcate, costate, and with base subulate. *A. subulata* also resembles young individuals of other genera, such as *Campylopus* Brid. and *Atractylocarpus* Mitt. According to Peralta (2020), the species has a dioecious or autoicous sexual system. We found no evidence of sporophytes or sexual reproductive structures in the population seen in the field, nor among herbarium specimens, only the presence of easily separated leaves that could constitute an asexual reproductive strategy. The absence of sporophytes in the population could be related to the extremely restricted distribution of *A. subulata* in high-altitude fields in the INP, for if sporophytes were frequent there several other colonies would probably have been found, as moss spores are capable of dispersing over long distances. For that reason, phenological studies will be of great importance in understanding the reproductive biology of *A. subulata*.

Other considerations can be made in terms of the restricted area of occupation of the taxon and its ecology. According to data available in the literature (Schultze-Motel 1970, Murray 2012) and information on the herbarium labels of *A. subulata* throughout the world, the species principally grows on humid rock surfaces of granite, sandstone, and siltstone, and is largely encountered near watercourses and/or submersed; plants are also occasionally found at low elevations – near sea level – in forests and woodlands dominated by *Nothofagus* Blume and *Eucalyptus* L'Hér., and in meadows with clumps of vegetation, also along watercourses.

The population we encountered formed small clumps along vertical fissures with dripping water, although with reduced population sizes and very restricted occurrences. The gametophytes form turfs, a life form tolerant of high solar radiation levels and adapted to conserve water (Glime 2007).

In relation to the geographic distribution of *A. subulata* (Figure 22), the species occurs predominantly in the southern hemisphere. Herbarium labels provided information about an interesting distribution pattern - with the elevations of their occurrences decreasing nearer Antarctica, and increasing as they approach the equator.

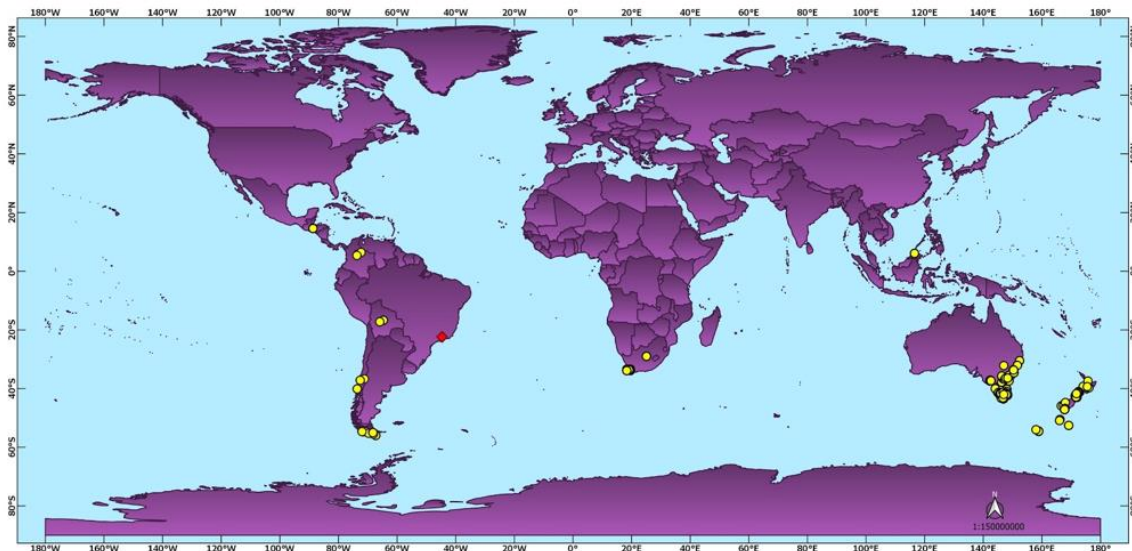


Figure 22. Global distribution of *A. subulata*. Red spot: Rediscovery in Brazil.

According to Schultze-Motel (1970) and Murray (2012), the species was encountered between 3,900 and 4,400 m a.s.l. on Rwenzori mountain (on the frontier

between Uganda and the Democratic Republic of the Congo); between 2,850 and 3,350 m in Borneo (Monte Kinabalu); between 2,100 and 4,100 m in countries in South America; at 900 m in South Africa (Table Mountain); between sea level and 600 m in Tierra del Fuego; from sea level to 1,700 m in Australia (in New South Wales, Victoria, Tasmania, and Macquarie Island) and New Zealand (the Auckland Islands, Campbell, Falkland, and Stewart). This information indicates that, in addition to flowing water, temperature is an important limiting factor for the occurrence of this species, as low temperatures are a common variable in those localities – and most probably influence the establishment and/or maintenance of its populations. According to Schultze-Motel (1970), *A. subulata* occurs in Brazil at elevations between 2,000 and 2,900 m a.s.l., and its rediscovery at a single locality at 2,700 m indicates that its distribution amplitude may have decreased in the last 100 years.

### *Conservation*

In relation to the conservation status of *A. subulata*, it was previously considered Vulnerable (VU) by Costa et al. (2005) in their original analysis of Rio de Janeiro State; its conservation status in Brazil was not evaluated. In light of its extremely restricted distribution in the country, with only two recent collections (October 31, 2020) from the same population in localities that had been frequently surveyed in recent years without encountering any individuals, and the observation that habitat quality had declined there – its conservation status in Brazil is indicated as Critically Endangered (CR). That designation reflects its small area of occupation (less than 10,000 Km<sup>2</sup>), its occurrence in areas intensely visited by tourists, and the fact that it is only known from two localities (Serra dos Órgãos and Serra da Mantiqueira) in high-altitude fields (fragile ecosystems threatened by climate change). The criteria utilized were:

*Andreaea subulata*. Status: CR (Brazil). Criteria: A1c; B1bi,ii,iii,iv; B1ci,ii,iii.

A. Population reductions (past, present, and/or projected). Large population decline (> 50%) observed, as the species was not re-collected in Serra dos Órgãos. Recent collections undertaken in Serra da Mantiqueira identified only a single population in a restricted area at 2,700 m a.s.l. at Agulhas Negras. Its previous distribution, as described by Schultze-Motel (1970) at Agulhas Negras, indicated the occurrence of two populations between 2,800 and 2900 m a.s.l.; those populations were not encountered during recent expeditions.

B. Geographic distribution restricted, and demonstrating fragmentation, decline, or fluctuations. The species demonstrates a restricted area of occupancy, few localities of occurrence, and decline. Its populations are severely fragmented, with small subpopulations, occurring in limited humid microhabitats. Recently recorded within only one 0,1 km x 0,1 km area, and found in only one severely fragmented locality, and in decline. Extension Of Occurrence < 100 km<sup>2</sup>; Area Of Occupation < 10 km<sup>2</sup>; distribution within the country known from only two localities; continuous declines throughout its extent of occurrence, area of occupation, numbers of localities, and habitat quality (areas of intense tourism). Extreme fluctuations in the area of occurrence, area of occupation, or subpopulations;

C. Small population in decline. Not applicable. No detailed information available on population size.

D. Very small or restricted populations. Not applicable. No detailed information available on population size.

E. Not applicable. No quantitative analysis available.



### *Principal Threats*

The high-altitude fields in the INP hold a high diversity of species, with elevated numbers of endemic and/or threatened liverwort and moss species (Gonçalves & Santos 2018; Rezende 2015; Costa & Santos 2009). Wildfires, predatory tourism, areas of pasture, the introduction of exotic species, and climatic change constitute the principal threat vectors for the region (Aximoff 2011). More specifically, in terms of *A. subulata*, the loss of habitat due to climate change is the principal vector that defines it as critically endangered, reflecting its dependence on humid, rocky microenvironments for its establishment as a habitat specialist. According to climate change predictions for the coming decades (Marengo 2014), drought events should become more frequent, intense and persistent, which could result in the disappearance of the humid microenvironments required by the taxon, with direct consequences to its survival. Additionally, uncontrolled tourism also represents a threat to the species, as it occurs in localities experiencing intense visitation.

### *Recommendations*

The Action Plan for bryophytes (Gradstein & Raeymaekers 2000) sets out the following recommendations for the conservation of *A. subulata* in Brazil:

1) Recognition of high-altitude fields ecosystems (within the phytogeographic domain of the Atlantic Forest) as priority and critical areas for conservation.

2) Protection of the microhabitats formed by small watercourses on the Maciço das Agulhas Negras peak to assure the survival of the species. Preservation of the single watercourse on the Agulhas Negras peak, in light of the fact that this species depends on restricted niches in humid environments, and only a single population was encountered along that intermittent stream.

3) Elaboration of informative material (manuals, folders, sites, videos, etc.) for distribution to the public visiting the INP, focusing on bryophytes and the rare and/or threatened species within that group.

4) Promotion of the sustainable use of trails within the park, taking into consideration the bryophytes species occurring on rock faces that are often not perceived by visitors, and avoiding losses of entire populations of bryophytes that can be removed or damaged during the use of hiking trails and climbing pitches.

5) Promotion of ecological tourism, favoring conditions that promote environmental education and the interpretation of natural landscapes, as opposed to predatory visitation that tends to destroy natural areas.

### **Acknowledgments**

This study is part of the master's thesis of Mateus Tomás Anselmo Gonçalves, at the Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica). The authors thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, for the Masters grant awarded to Mateus Tomás Anselmo Gonçalves; Eliza Christina do Nascimento Melo for her help in preparing the maps; Ana Carolina Rodrigues da Cruz and Gledson Julio da Silva for all their help during the fieldwork; INP and its team for supporting the expeditions, and the INP guide Marco Aurélio for his contributions and insights.

### **References**

- Aximoff I. 2011. O que perdemos com a passagem do fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro? Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. *ICMBio* 2: 180–200.
- Costa DP, KC Pôrto, AP Luizi-Ponzo, AL Ilkiu-Borges, CJP Bastos, PEAS Câmara, DF Peralta, SBV Bôas-Bastos, CAA Imbassahy, DK Henriques, HCS Gomes, LM Rocha, ND Santos, TS Siviero, TDF Vaz-Imbassahy & SP Churchill. 2011. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. *Nova Hedwigia* 93: 277–334.
- Costa DP & Santos ND. 2009. Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. *Acta Botanica Brasilica* 23: 913–922.
- Costa DP, Imbassahy CAA & Silva VPAV. 2005. Diversidade e Importância das Espécies de Briófitas na Conservação dos Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 56: 13–49.
- Equipe de Desenvolvimento QGIS. 2020. Sistema de Informações Geográficas QGIS. Projeto da Fundação Geoespacial de Código Aberto. Available at <<http://qgis.osgeo.org/>> accessed on 5 apr. 2021.
- Filgueiras TS, Brochado AL, Nogueira PE & Gualla II GF. 1994. Caminhamento - Um método expedito para levantamentos florísticos qualitativos. *Caderno de Geociências* 12: 39–43.
- GBIF.org (12 December 2020) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.8u5atj>
- Glime JM. 2007. Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Available at <<https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>> accessed on 5 apr. 2021.
- Glime JM & Wagner DH. 2017. Herbarium Methods and Exchanges. Chapt. 3-1. In: Glime, J. M. Bryophyte Ecology. 3-1-1 Volume 3. Methods. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Available at <<http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>> accessed on 5 apr. 2021.
- Gonçalves MTA & Santos ND. 2018. Campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia: um hotspot para briófitas. *Diversidade e Gestão* 2(2): 90–105
- Gradstein SR & Raeymaekers G. 2000. Regional overviews. Tropical America (incl. Mexico). Pp. 38-44. In: T. Hallinbäck & N. Hodgetts (eds.) Mosses, liverworts and hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN SSC Bryophyte Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Hallingbäck T, Hodgetts N, Raeymaekers G, Schumacker R, Sérgio C, Söderström L, Stewart N & Váña J. 1998. Guidelines for application of the revised IUCN threat categories to bryophytes. *Lindbergia* 23: 6–12.
- INCT - Herbário Virtual da Flora e dos Fungos. speciesLink. Available at <<http://inct.splink.org.br>> accessed on April 5, 2021.
- IUCN 2003. Guidelines for application of IUCN Red List Criteria at regional levels: Version 3.0.
- Magill RE. 1981. Bryophyta. Sphagnaceae to Grimmiaceae. Flora of Southern Africa. Part 1, Mosses. Fascicle 1. p. 1–291.
- Marengo JA. 2014. O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, São Paulo, n° 103 pp. 25-32.
- Murray BM. 2012. Australian Mosses Online 55. Andreaeaceae. Australian Biological Resources Study, Canberra. Version 28 June 2012. Available at

- <[http://www.anbg.gov.au/abrs/Mosses\\_online/55\\_Andreaeaceae.html](http://www.anbg.gov.au/abrs/Mosses_online/55_Andreaeaceae.html)> accessed on 5 apr. 2021.
- Peralta DF. 2020. The genus *Andreaea* Hedw. (Andreaeaceae, Bryophyta) in Brazil. *Phytotaxa* 451 (2): 169–174
- Peralta DF, Lima JS, Silva AL, Carmo DM, Santos ELD, Amélio LA, Maria Sulamita DS & Prudêncio RXA. *Andreaeaceae in Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB95875>> accessed on April 5, 2021
- Rezende MA. 2015. Conservação de Briófitas na Mata Atlântica do Sudeste do Brasil: Uma Análise das Espécies de Hepáticas Endêmicas e/ou Ameaçadas do Parque Nacional do Itatiaia. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Ribeiro Filho E. 1963. Geologia e petrologia dos maciços alcalinos do Itatiaia e Passa Quatro. *Boletim FFCL-USP(302). Geologia* (22): 5–93.
- Roth G. 1911. *Die Außereuropäischen Laubmoose I Band*. Dresden. Dritte Lieferung. C. Heinrich, Dresden.
- Safford HD. 1999a. Brazilian páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 26: 693–712.
- Safford HD. 1999b. Brazilian páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography* 26: 713–737.
- Schultze-Motel W. 1970. Monographie der Laubmoosgattung *Andreaea*. 1. Die costaten Arten. *Willdenowia* 6: 25–110.

## Considerações Finais

Os dados gerados com este trabalho demonstram que os CA-PNI constituem um ambiente único e de grande importância biológica, por guardarem elevado número de espécies endêmicas e ameaçadas de musgos, constituindo um importante remanescente de Floresta Atlântica. Os resultados obtidos aprofundam o conhecimento da brioflora do Parque e também integra os conhecimentos sobre o status de conservação dos musgos estudados, visando criar um alerta sobre a possível perda da biodiversidade.

Devido ao elevado número de musgos acrocárpicos endêmicos e/ou ameaçados (38 spp.), a forma de vida tufo predominou. Esta, consiste em uma das formas de maior tolerância contra a dessecação e constitui a principal forma de vida de briófitas que ocorrem sobre o solo e rochas em campos de altitude, pois garante uma maior tolerância a variações de temperatura e maior quantidade de luz, o que pode constituir como uma estratégia para a sobrevivência dessas espécies raras.

Em relação à composição florística e à riqueza de espécies, as famílias como Dicranaceae e Sphagnaceae juntas representam 32% do total de táxons endêmicos e/ou ameaçados e constituem as principais famílias citadas em levantamentos florísticos para florestas alto montanas e campos de altitude em regiões tropicais.

Os resultados obtidos também possuem relevância para a Biologia da Conservação, visto que concentram informações a respeito da distribuição, ecologia, biologia reprodutiva e *status* de conservação dos táxons, subsídios que permitem o planejamento de planos de ação para as espécies ameaçadas, além da proposição de ações que minimizem os impactos que possam incidir sobre elas.

A proteção das espécies endêmicas e/ou ameaçadas, assim como a proteção do ecossistema dos campos de altitude deve ser priorizada no Parque, pois os ambientes de topos de montanha estão cada vez mais sujeitos ao desaparecimento iminente devido às consequências reais do aquecimento global e aos efeitos da perturbação antrópica (desmatamento, incêndio, turismo descontrolado, etc.). O diagnóstico da ecologia e distribuição das espécies ameaçadas pode auxiliar no planejamento de formas de mitigar os efeitos desses vetores de ameaça, representando um dos caminhos para evitar a perda desse ecossistema.

Em relação às ameaças para os musgos encontradas nos CA-PNI, destacam-se aqui as principais: turismo; a forma como é feita a limpeza das trilhas interferindo diretamente na vegetação, barrancos e paredes rochosos; os incêndios recorrentes na região; além da ampliação de hotéis e pousadas próximos às regiões do planalto do Parque. Outros estudos

demonstram que a criação de gado e a presença de animais domésticos (e.g. equinos) na região do Planalto eram frequentes no passado e melhorias foram percebidas nesse sentido, pois foi constatado a ausência desses animais na região.

As informações geradas no presente trabalho contribuem para preencher lacunas e complementar o conhecimento da brioflora local, em especial os musgos ameaçados e/ou endêmicos do PNI, podendo servir como base para estudos em outras UCs que conservam remanescentes de Floresta Atlântica. Recomenda-se que estudos de biologia reprodutiva e fenologia sejam realizados com as briófitas da região, afim de incrementar as informações sobre a brioflora dos CA-PNI.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Link para planilhas utilizadas no cálculo da AOO e EOO:

[https://1drv.ms/u/s!AmDe-ffw-QYyjKYf\\_TwMC1t24J52g?e=cmVVGa](https://1drv.ms/u/s!AmDe-ffw-QYyjKYf_TwMC1t24J52g?e=cmVVGa)